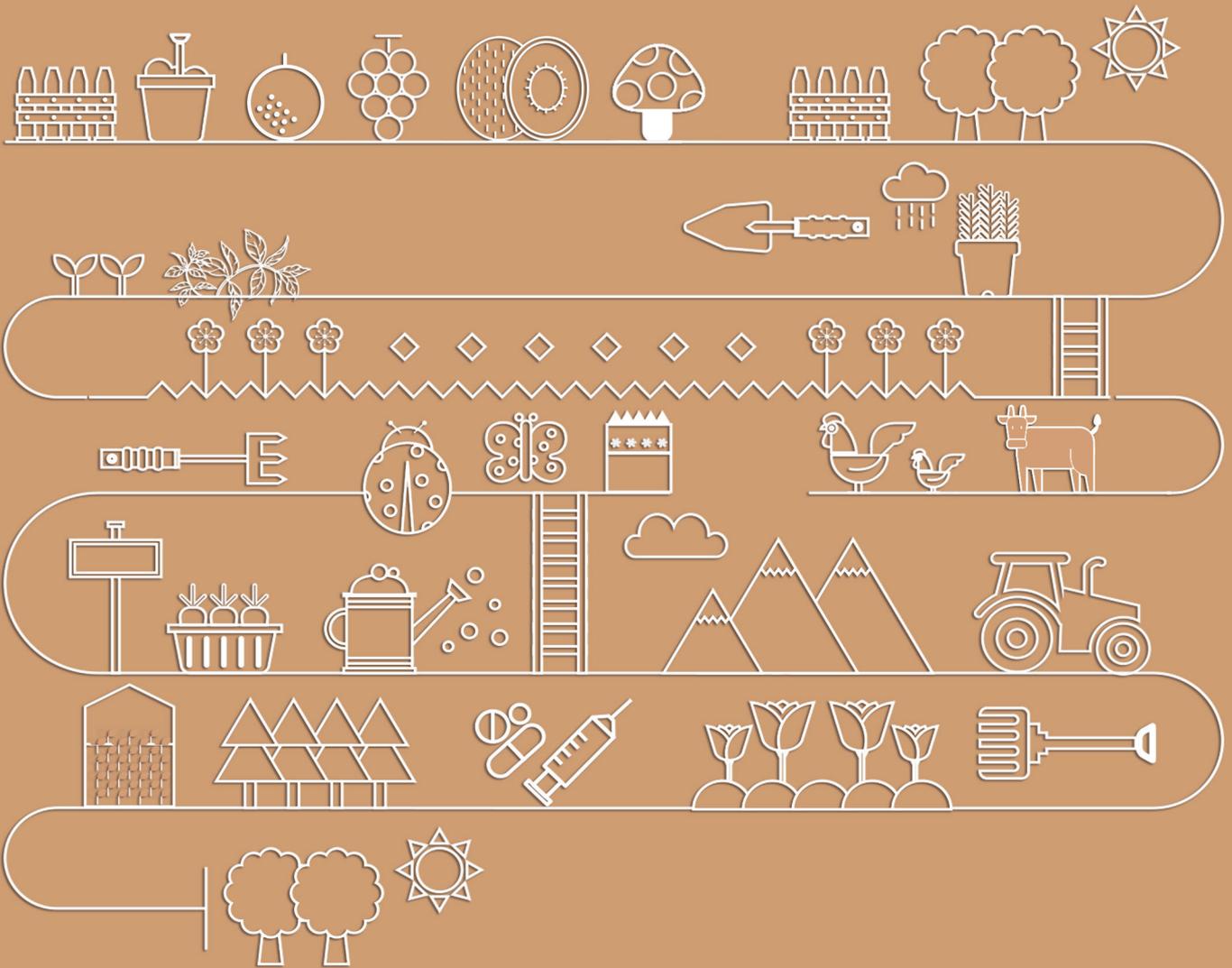


제2차년도
수출전략기술개발사업

키위 수출연구사업단

(동향보고서)



키위 수출연구사업단

- ✓ 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원(수출전략기술개발사업)의 지원을 받아 연구되었음 (No. 618001-5)
- ✓ This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(IPET) through (Export Promotion Technology Development Program), funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA)(No. 618001-5)
- ✓ 내용의 무단 복사, 인용을 제한하며 인용시 대표 저자의 사전 승인을 요청함

주관기관명 : 키위 수출연구사업단

조정안

키위 수출연구사업단 (동향보고서)

CONTENTS

| | |
|---------------------------------------|----|
| 1. 개요 | 1 |
| 2. 키위 국내 및 주요 수출국 동향 | 2 |
| 가. 세계 키위생산 동향 | 2 |
| 나. 국내 키위산업 동향 | 4 |
| 3. 키위 수확 후 관리분야 연구동향 | 6 |
| 가. 국내·외 키위 수확 방법 | 6 |
| 나. 국내·외 키위 수확 시기 결정 방법 | 9 |
| 다. 국내·외 키위 최신 저장 기술 | 14 |
| 참고문헌 | 28 |
| 4. 키위 유통관련 적용기술 | 30 |
| 가. 지시계 개요 | 30 |
| 나. 과일 숙성 지시계 | 31 |
| 다. 시간-온도 이력 지시계 | 34 |
| 라. 키위 품질 지시계 | 41 |
| 참고문헌 | 52 |
| 5. 수출키위 안전성 확보기술 개발 및 키위 과실무름병의 | 57 |
| 국내·외 연구 동향 | |
| 참고문헌 | 66 |

1. 개요

한국산 키위는 2015년 258t을 시작으로 2016년 1,389t, 2017년 1,118t의 수출량을 기록하면서 수출농산물로의 성장 가능성을 보였다. 2016년 수출물량 급증은 연간 11만 톤 수준의 키위를 소비하는 일본시장 진입이 큰 계기가 되었는데 이후 한국산키위의 수출 감소는 대일 수출량 감소가 큰 원인으로 작용하였다. 2018년산 한국산 키위의 일본으로의 수출물량은 500t에 그쳤는데 이러한 원인은 수확후관리 부재에 따른 품질균일화 미흡, 잔류농약 검출, 무엇보다 국내 수출업체간 과당경쟁에 따른 저품질 키위가 대량 유입되면서 일본 현지시장의 재구매 의사가 하락한 것으로 분석되고 있다.

반면 홍콩·싱가포르·말레이시아 등 동남아 국가는 떠오르는 수출시장으로 이미 뉴질랜드 <제스프리> 키위가 시장을 장악해왔던 터라 고품질 키위에 대한 거부감이 없고 소비 저변도 확대되어 있는 상황이다. 최근 검역협상이 완료된 대만 역시 키위소비량이 높은 국가로 한국산 키위의 진출 가능성이 기대되고 있는 시장이다.

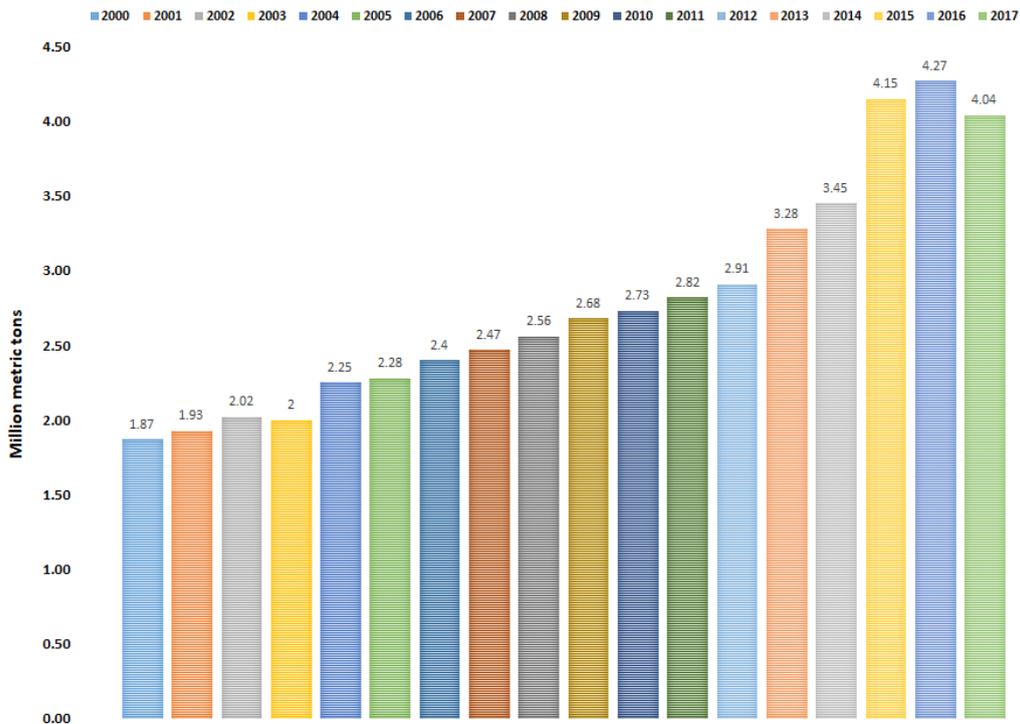
한국산 키위는 세계시장을 장악하고 있는 제스프리 키위의 공급시기와 빗겨가는 최대 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 살려 한국산 키위의 수출증가를 이루기 위해서는 먼저 해결해야할 선결 과제들이 산재해 있다. 이미 우리가 진출하고자 하는 일본 및 동남아시아 프리미엄 시장은 제스프리 키위에 익숙해져 있는 상황으로 한국산 키위의 품질향상을 이루지 못한 상황에서는 저가형 식자재 시장에 머무를 수 밖에 없다.

본 보고서는 이러한 한국산 키위의 품질향상과 수출 규격품 생산증가를 이루기 위해 수행되고 있는 키위 수출연구사업단의 주요 사업별 최근 연구동향을 정리하고 향후 한국산 키위의 수출확대를 위한 기초 자료로서의 역할을 수행하고자 한다.

2. 키위 국내 및 주요 수출국 동향

가. 세계 키위생산 동향

(1) 세계 키위 생산량 변화



출처 : <https://www.statista.com>

그림 1. 세계 키위생산량 변화(2000~2017)

2017년 세계 키위 생산량은 4.04백만톤 수준으로 2007년 2.47백만톤과 비교하여 61.1% 증가하였다.

세계에서 가장 많은 양을 생산하는 국가는 중국 > 이탈리아 > 뉴질랜드 순으로 2017년 중국의 생산량은 2,390만톤으로 이는 세계 생산량의 60%수준을 차지하는 양이다.

그러나 재배면적당 수확량에 있어서는 뉴질랜드가 34,519Kg/ha로 중국 12,131Kg/ha, 이탈리아 19,751Kg/ha와 비교하여 월등히 높은 수준으로 이는 재배품종 및 재배기술의 영향으로 분석되고 있다.

표 1. 국가별 키위 생산현황 (2017년)

| 순위 | 국가명 | 생산량 (Tonnes) | 재배면적 (Ha) | 면적당 수량 Yield (Kg/Ha) |
|----|----------|-----------------|--------------|-------------------------|
| 1 | 중국 | 2,390,287 | 197,048 | 12,131 |
| 2 | 이탈리아 | 523,595 | 26,510 | 19,751 |
| 3 | 뉴질랜드 | 434,048 | 12,574 | 34,519 |
| 4 | 이란 | 294,413 | 10,227 | 28,787 |
| 5 | 칠레 | 225,797 | 8,866 | 25,467 |
| 6 | 그리스 | 182,589 | 7,710 | 23,683 |
| 7 | 프랑스 | 65,036 | 3,795 | 17,137 |
| 8 | 터키 | 43,950 | 2,487 | 17,672 |
| 9 | 미국 | 28,300 | 1,497 | 18,905 |
| 10 | 일본 | 25,600 | 1,875 | 13,656 |
| 11 | 스페인 | 22,965 | 1,544 | 14,874 |
| 12 | 포르투갈 | 21,075 | 2,380 | 8,855 |
| 13 | 대한민국 | 9,140 | 570 | 16,024 |
| 14 | 이스라엘 | 3,800 | 175 | 21,714 |
| 15 | 오스트리아 | 2,082 | 129 | 16,140 |
| 16 | 몬테네그로 | 500 | 25 | 20,001 |
| 17 | 슬로베니아 | 441 | 19 | 23,211 |
| 18 | 스위스 | 421 | 19 | 22,152 |
| 19 | 키르기스스탄 | 414 | 41 | 10,129 |
| 20 | 사이프러스공화국 | 193 | 7 | 27,571 |
| 21 | 불가리아 | 173 | 19 | 9,052 |
| 22 | 튀니지 | 34 | 6 | 5,701 |
| 23 | 캐나다 | 17 | 3 | 6,302 |

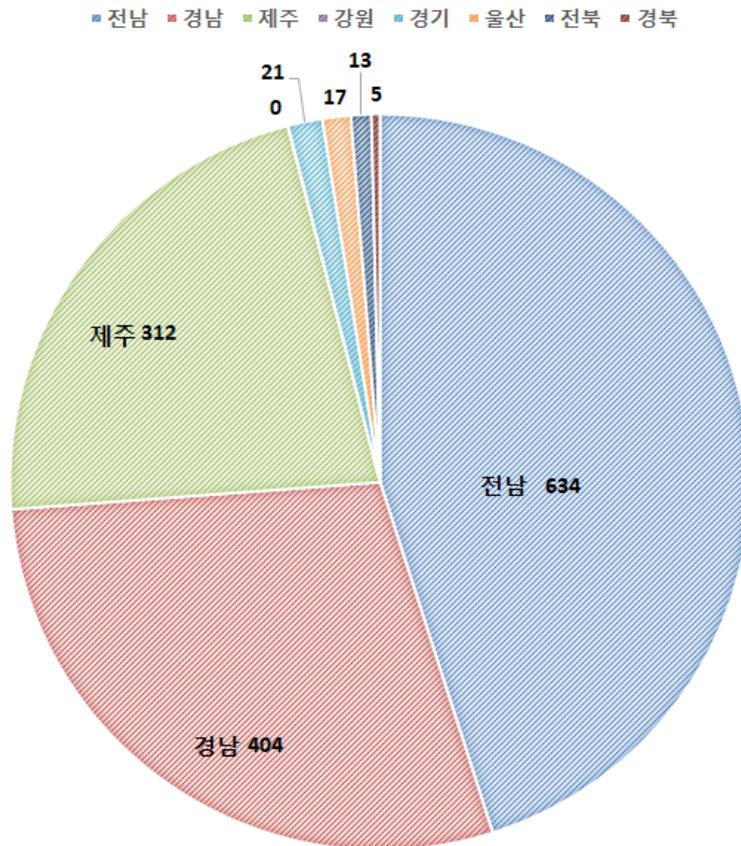
* 출처 : <http://www.fao.org/home/search/en/?q=kiwi>

나. 국내 키위산업 동향

(1) 국내 키위 재배면적

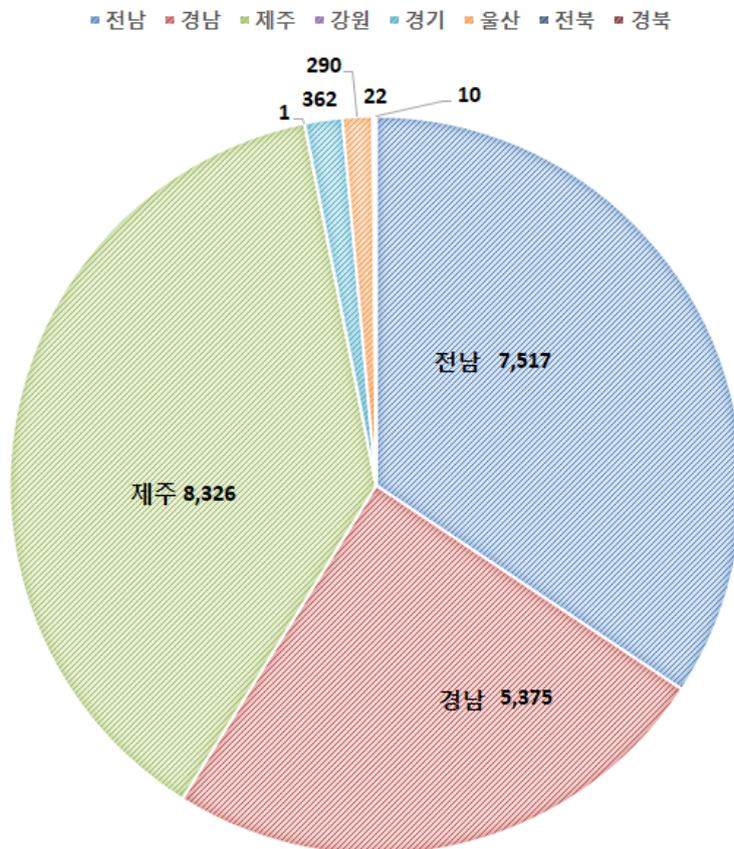
2018년 국내 키위 생산량은 21,904톤으로 연간 2만톤 수준을 유지하고 있다. 면적은 전남 633 ha > 경남 404 ha > 제주 311 ha 순으로 전남지역이 전체 면적의 45% 수준으로 가장 높다.

그러나 생산량 측면에 있어서는 제주 8,326톤 > 전남 7,517톤 > 경남 5,375톤으로 지역별 생산량은 제주 지역이 가장 높다. 이는 재배설비 및 기타 기상요인의 차이로 분석되고 있으며 전남과 경남지역의 단위면적 당 생산량 증가가 요구되는 항목이다.



* 출처 : 시군 취합자료, 추정치임

그림 2. 국내 키위 재배면적 (2018)



* 출처 : 시군 취합자료, 추정치임

그림 3. 국내 지역별 생산량 (2018)

3. 키위 수확 후 관리분야 연구동향

가. 국내·외 키위 수확 방법

(1) 수확 방식

키위의 수확은 적어도 2회에 걸쳐 실시하고 상처가 없고 단단한 큰 과실을 먼저 수확한다(그림 1). 후숙 기간의 길이는 과실의 크기와 관계가 있으므로 대·중·소로 나누어 후숙이 오래 걸리는 대과를 먼저 수확하고 작은 것을 뒤에 수확하도록 한다. 그리고 상처가 있는 과실과 병해충 피해가 있는 과실은 따로 구별하여 수확하는데, 이는 저장 상자에 이런 과실이 1개라도 혼입하게 되면 이것에서 발생하는 에틸렌(ethylene)으로 인해 후숙이 촉진되고 주변의 건전과도 연화가 빨라져 장기저장이 곤란하게 되기 때문이다.¹ 그래서 수확 시에는 물론 운반 시에도 과피의 털의 탈락이나 상처가 생기지 않도록 조심하여 취급하여야 한다.



그림 1. 전라남도 보성의 한 농가에서 재배되는 골드키위

(2) 수확 요령

키위는 사람이 직접 손을 이용하여 수확하며 열매와 줄기가 잘 분리되기 때문에 열매 꼭지에 엄지손가락을 대고 과실을 가볍게 당기면 쉽게 떨어진다. 혹은 열매를 감싸 쥐고 손목을 90도로 꺾으면 과실이 줄기에서 쉽게 떨어진다. 이때 반드시 장갑을 착용하고 수확해야 한다. 키위의 과피는 얇아서 맨손으로 채취할 경우 손톱에 의한 과피의 손상으로 과실 품질과 저장성이 떨어지기 쉽다(그림 2).



그림 2. 키위를 수확하는 모습(Wild River Fruit Firm, Marysville, California)

(3) 수확 시간

수확은 서늘한 아침이나 저녁때에 실시하고 쾌청한 날에는 오전 10시경에 끝마치는 것이 좋다(표 1). 높은 기온에 의해 과실의 온도가 상승한 것을 수확하게 되면 저장고 내에서 과실의 온도가 저하되기까지는 상당한 시일을 요하기 때문이다. 과실의 온도가 15℃ 정도의 것을 수확하여 저온 저장고에 입고하여도 온도가 저하되기까지는 5~6일이 필요하다.² 그리고 과실을 고온이나 직사광선에 두게 되면 과실의 호흡이 왕성하게 되어 에틸렌의 발생이 많아 조기에 연화하게 되므로 수확한 과실, 특히 저장용의 과실은 빠른 시간내에 서늘한 창고로 옮겨야 한다.

표 1. 수확시간 별 키위의 수관상부 과실의 온도

| 시각 | 06시 | 10시 | 12시 | 14시 | 18시 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 과실의 온도 | 8℃ | 15℃ | 21℃ | 23℃ | 15℃ |

(4) 수확 시기

수확 시기는 과실의 품질이나 저장력에 밀접한 관계가 있는데, 수확시기가 빨라 미숙과를 수확하게 되면 후숙한 과실의 당도가 낮고 향기도 적어 품질이 저하된다. 한편 수확 시기가 늦어 나무에 착과된 상태로 서리의 피해를 받게 되면 후숙이나 저장 중 조기에 연화되거나 변질되며 또 발효되는 것이 많아 저장력이 매우 감소된다. 그러므로 수확은 가능하면 수확한 과실이 후숙 후 최상의 품질을 갖도록 하고 저장 할 경우에는 저장력이 손상되지 않게 하는 시기에 하는 것이 이상적이다. 키위의 수확 적기는 전분함량(starch contents)이 최고 수준에 달하였다가 약간 감소하고 가용성 당이 증가하는 시기이다(그림 3).²

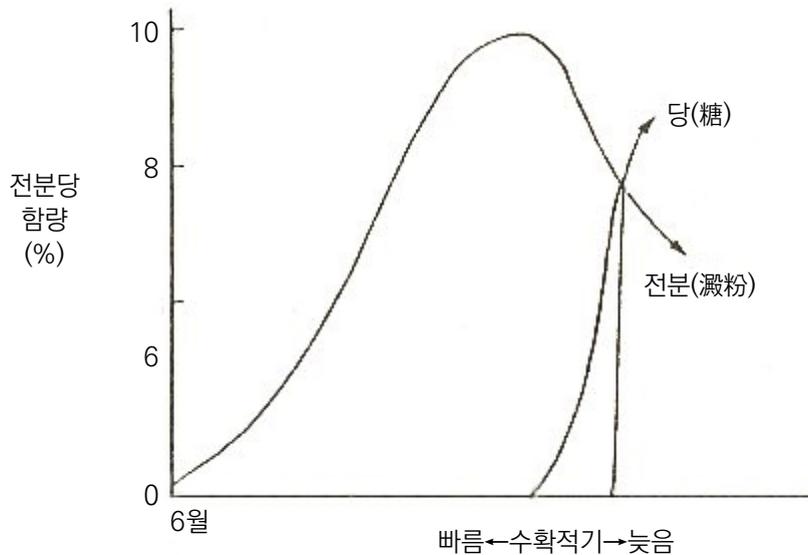


그림 3. 키위의 성숙에 따른 전분과 당 함량

그린키위의 경우 국내에서는 보통 10월 말에서 11월 초에 수확을 하고 남반구에 위치한 뉴질랜드, 칠레에서는 4월에서 6월에 수확을 한다. 또 북반구의 이탈리아, 미국, 프랑스 등은 우리나라와 비슷하게 10월에서 11월이 수확적기이다. 하지만 이 시기는 대략적인 것이고 키위가 유통 후 최상의 품질을 갖도록 하기 위해서는 수확시기 전부터 주기적으로 과실의 품질을 조사하여 최적의 수확적기를 판단하고 수확해야 한다.

나. 국내·외 키위 수확 시기 결정 방법

다른 과실의 경우 성숙기에 이르게 되면 과피색이나 과실의 경도, 향기 등의 변화가 나타나 겉모습을 통해 수확 적기를 판단할 수 있으나 키위는 이와 같은 변화가 나타나지 않으므로 수확의 적기를 과실의 외관으로 판단하기 어렵다. 따라서 일부 과실을 대상으로 품질 평가를 실시하여 수확 적기를 판단하고 있다. 보통은 서리 피해를 받기 전 당도가 6.5-7.0 brix에 이르렀을 때 수확을 하였다. 하지만 당도는 키위가 숙성함에 따라 계속 변화하고 개체별 편차도 커서 당도조사만을 실시하여 수확 적기를 판단할 경우 수확 후와 후숙 후 개체의 품질 편차가 크게 나타난다는 문제점이 있었다.

이후 뉴질랜드를 중심으로 건물중(dry matter)을 기준으로 한 수확적기 판단 기준이 확립되기 시작하였는데, 저장기간동안 계속 변화하는 당도, 산도, 경도 등의 요소들과 달리 건물중은 과실의 성숙 이후에는 거의 변하지 않고 개체별 편차도 작아 수확 적기 판단시에 중요한 평가 요인으로 여겨지게 되었다.^{3,4} 건물중은 수분을 제거했을 때의 무게를 전체 무게에 대한 %로 나타내며 가용성인 당, 유기산, 미네랄, 아미노산 등과 불용성인 탄수화물, 펙틴 등을 모두 포함한다. 키위가 숙성해가는 동안 불용성인 탄수화물은 가용성인 당으로 가수분해됨으로 건물중을 통해 키위의 후숙 후 당도 또한 예측할 수 있다(그림 4).⁵

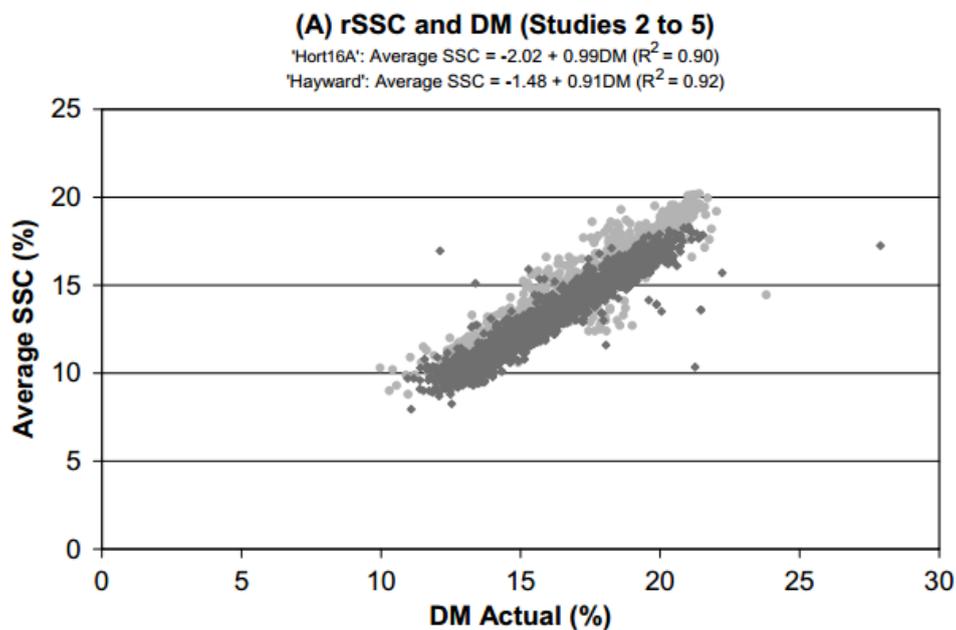


그림 4. 건물중에 대한 후숙 후 가용성 고형분 함량

이에 따라 현재는 수확적기 판단을 위해 몇몇 키위 품종을 대상으로 당도 외에 건물중, 색도 등을 종합하여 수확 적기를 판단하는 기준이 확립되었고 키위 수확 시에 적용되고 있다. 하지만 여전히 여러 품종들은 각각에 맞는 수확 적기 판정 기준이 확립되지 않았다.

(1) 국내

우리나라에서는 보통 서리의 피해를 받기 전인 10월 하순에서 11월 중순 사이에 과실의 당도가 6.5%-7.0%에 달하는 시기를 기준으로 수확기를 정하였다. 하지만 당도만을 조사하여 수확 적기를 판단하였을 때 수확 후 개체별 품질 편차가 크다는 문제점이 있었다. 그것을 반영하여 헤이워드, 해금 등 몇몇 품종에 대해서 농가와 연구소가 연계하여 다양한 품질요소들을 반영한 수확적기 판정 기준을 확립하였고 그를 통해 수확 시기를 결정하고 있다.

(가) 수확 적기 판정을 위한 평가요소

그린키위는 당도와 건물중을 조사하여 수확적기를 판단한다. 당도가 6.2 brix 이상이고 건물중이 최소 기준 이상일 때 수확한다. 그러나 당도가 7-10 brix일 때 수확하는 것이 저장성이 좋고 후숙 후의 과실 품질도 좋아 서리 피해가 없는 한 수확기를 11월 상, 중순까지 늦추기도 한다. 주요 재배품종인 헤이워드의 경우 수확 시의 과실 당도가 6.5 brix 이상이 되어야 후숙 후 14 brix 이상의 당함량을 갖게 되기 때문에 키위의 수확 시기 판단을 위해서는 농가가 직접 과실의 당도를 측정하여 7.0 brix 이상일 때 수확하여야 한다.

골드키위는 당도, 건물중 그리고 색도를 기준으로 수확기를 예측한다. 골드키위는 당도가 8 brix 이상이고 건물중은 16% 이상일 때 수확한다. 그린키위와 달리 평가요소에 색도가 있는 이유는 골드키위의 과육색이 노란색이나 아니냐가 중요한 관건이기 때문이다. 노란색의 과육은 시장에서 요구되는 골드키위의 핵심요인이다. 그런데 과실 내부의 색이 노란색으로 발달하는 것은 나무 상에서 가장 잘 나타나고 저장 중에는 매우 천천히 일어난다. 그래서 과실의 수확기는 과육색이 색도 기준으로 최소한 103° 이하에 도달할 때까지 지연되어야 한다. 보통 이때의 경도는 4-5 kgf 이하이며, 건물중은 18%-21%이며, 당도는 10% 이상이 된다. 골드키위 중 해금의 수확기는 주로 색도와 건물중으로 판별하는데, 색도계로 측정할 때 H값이 103° 보다 낮고, 건물중이 16%에 도달했

을 때가 수확 적기이다(그림 5). 그때 과육의 골드색이 제대로 발현되고 맛이 좋은 골드키위를 생산할 수 있다.



그림 5. 해금 수확기 판정용 색도 참고표

레드키위의 경우 제주도농업기술원에서 레드키위 ‘홍양’ 등 5개 품종에 대한 수확기 판별 기준을 설정하고 보급하여 레드키위의 수확적기 판단을 돕고 있다. 농업기술원에서 설정한 수확 적기 판단을 위한 평가요소는 당도, 색도, 경도, 건물중 총 4가지이다.⁶ 레드키위의 수확적기 판정을 위한 평가요소와 기준은 아래에 제시되어 있다(표 2).

표 2. 레드키위를 포함한 5개 품종에 대한 수확적기 판정 기준(과육색의 a*는 높을수록 빨간색을 나타내며 낮을수록 녹색을 나타낸다. b*는 높을수록 노란색, 낮을수록 파란색을 의미한다.)

| 품종명 | 당도(brix) | 과육색 | 경도 | 건물중(%) |
|------|----------|-----------|------|--------|
| 홍양 | 6.2 | 3.36(a*) | 1329 | 19.4 |
| 엔자레드 | 7.0 | 6.11(a*) | 1237 | 20.4 |
| 한라골드 | 9.7 | 24.73(b*) | 1142 | 15.1 |
| 제시골드 | 7.6 | 25.20(b*) | 926 | 14.7 |
| 메가그린 | 8.1 | -4.20(a*) | 1022 | 18.2 |

(2) 샘플 채취 및 품질 평가 방법

우리나라에서는 적정 수확기 이전부터 주기적으로 과실의 품질 요소들을 평가하여 수확 시기를 결정하고 있다. 이때 과원이나 나무, 과실 간에도 당도의 차이가 크므로 수확 시기의 판단을 위한 과실의 당도조사는 적어도 1나무에서 2~4개, 1과원에서 10~20개의 건전한 과실을 채취하고 그 중앙부의 과즙을 취해 행하여야 한다. 또 해(年)에 따라 수확이 가능한 당도에 달하는 시기가 2~3주 정도 차이가 있으므로 수확시기의 판단을 위한 당도조사는 매년 행하는 것이 좋다. 샘플 채취 방법을 요약하면 다음과 같다. ① 포장에서 대각선으로 5주정도를 선택한다. ② 나무당 햇빛 쏘임이 일정한 열매를 10여개정도 채취한다. ③ 열매 채취 시기는 정오 이전에 하는 것이 좋다. ④ 10여개 과실에서 평균 당도가 6.5-7 brix 정도가 나오고 5~7일간 이 수준이 지속되면 수확적기라고 보면 된다.

당도조사는 농가 차원에서 직접 행하여지지만 건물중 조사는 농가에서 채취한 샘플을 연구소에 보내면 연구소에서 건물중 측정을 하고 수확적기를 판정하여 농가에 알려 주고 있는 실정이다.

(3) 국외

(가) 수확 적기 판정을 위한 평가요소

뉴질랜드에서는 건물중과 당도를 통해 키위의 수확적기를 판단한다.^{4,7} 당도가 최소 6.2% 이상이 되어야 수확을 하고 오랜 기간 저장할 과실들은 당도가 8%-10%일 때 수확을 한다.⁸ 그리고 건물중을 측정하여 키위가 익었을 때의 당도를 예측하고 기준치 이상이 되면 수확한다. 골드키위인 'Hort16A'와 'Zesy002'는 당도와 건물중 외에도 과육의 색깔을 측정하여 수확적기를 판단한다.

이탈리아에서는 당도조사를 통하여 수확기를 정하는 것 같다. 'Summerkiwi®', 'Summer 3373', and 'Jintao'와 같은 조생종은 당도가 6.5-7.5 brix에 도달했을 때 수확한다. 'Hayward'와 같은 만생종은 보통 수정후 160-180일 후 당도가 6 brix에 당도하는 11월 초에 수확하는데 수확기는 재배지역에 따라 달라진다. 그리고 서리 피해가 덜한 따뜻한 지역에서는 과실의 당도가 7.5-9 brix에 이를 때까지 수확기가 더 늦어지기도 한다. 즉 11월 말에서 12월까지도 늦춰질 수 있다.⁹

(나) 샘플 채취 및 품질 평가 방법

뉴질랜드에서 키위의 수확기 판정은 당도의 경우 1회마다 과실 10~15개를 분석하여 그 평균치가 6.2-6.5 brix 일 때 수확한다. 그런데 6.2 brix일지라도 5.8 brix 이하인 것이 2개 이상일 때는 수확하지 않고 한 번 더 분석한 후 분석한 모든 과실의 당도가 5.8 brix 이상이 될 때 수확한다.

건물중의 경우 뉴질랜드에서는 농가에 건물중 측정 매뉴얼을 보급하여 농가에서 직접 당도와 건물중 모두를 조사하고 수확적기를 판단할 수 있게 하고 있다. 매뉴얼의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- ① 과수원을 가로지르며 세 개의 건강한 나무를 선택하고 각 나무를 기둥을 중심으로 5등분하여 과실을 각 구역에서 6개씩 채취한다. (한 그루당 30개의 과실을 채취한다.)
- ② 채취한 과실은 껍질을 벗기지 않은 채 적도방향으로 잘라 전체를 8등분한 두께의 슬라이스를 만든다(그림 6).
- ③ 8시간 45분 동안 건조기에서 건조시킨 후 무게를 재고 다시 2시간 동안 건조시킨 후 다시 무게를 재다. 이 두 무게가 같다면, 건조가 완전히 된 것으로 본다(그림 7).
- ④ 건물중을 계산하고 기준치를 넘겼을 경우 키위를 수확한다¹⁰.

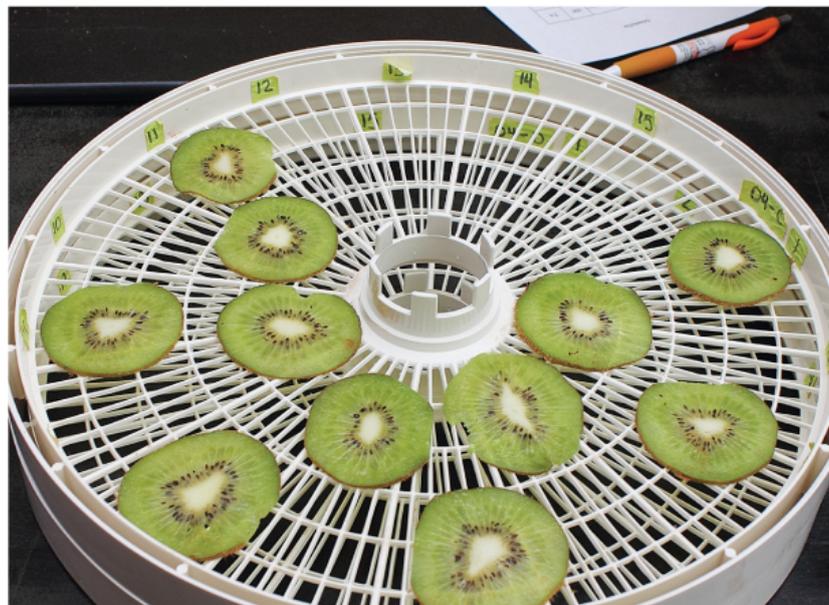


그림 6. 건조기 위에 올려져 있는 키위 슬라이스



그림 7. 완전히 건조된 키위 슬라이스

다. 국내·외 키위 최신 저장 기술

(1) 국내

(가) 플라즈마를 통해 생성된 오존에 의한 저장 기간 증가

Ozonaid에서 발명한 플라즈마 오존 발생 장치는 자연에서 순환하는 오존을 이용해 식물 노화 호르몬인 에틸렌을 분해하여 신선농산물의 신선도를 유지하고 저장 기간을 연장시킨다(그림 8). 그리고 센서 기반 ICT를 이용한 저장 환경 모니터링 서비스를 통해 저온 저장고 고장 시 실시간 대응하여 농산물 품질 관리를 지원한다. 수출입 신선농산물의 신선 저장과 스마트 모니터링을 통한 고품질 신선농산물 유통 서비스를 제공한다.¹¹



그림 8. Ozonaid에서 발명한 오존을 이용한 키위 저장 시스템

2017년 제주도 키위 유통업체에서 골드키위 저장시설에 마이크로 플라즈마 오존 저장시스템을 시범 설치하였다(그림 9). 현재 광촉매 방식이나 오존 촉매 필터 방식의 에틸렌 제거장치를 사용하고 있으나 효과를 높이기 위하여 마이크로 플라즈마 오존 저장 기술을 도입하였다. 높은 습도하에서 에틸렌에 민감한 키위의 저장을 위해서는 숙성도에 맞는 오존저장기술이 필요하며, 특히 작업자가 작업시간 동안에 오존에 노출되지 않도록 간헐적 운전을 통한 안전성 확보와 저장성 개선에 초점을 맞췄다(그림 10).



그림 9. 제주도 키위 유통업체에서 시범 설치한 Ozonaid 플라즈마 오존 발생 장치



그림 10. 플라즈마 오존에 의한 키위 저장 결과

(2) 국외

(가) 키위 저장 시 오존 처리에 의한 *Botrytis cinerea* (*B. cinerea*) 감염 억제

곰팡이 병원체인 *B. cinerea*로 인한 과실 부패는 키위에서 빈번하게 발생하는 질병 중 하나이다. *B. cinerea*의 감염으로 과실의 부패가 진행되고, 에틸렌 발생의 증가로 이어져 트레이 안에 있는 주변 키위의 조기 연화를 유발할 수 있다. 한 연구에서는 Northern Greece Veria에서 수확한 그린 키위 ‘Hayward’를 0°C에서 4달간 저장하면서 오존 0.3 μl l⁻¹를 처리한 키위와 처리하지 않은 것의 *B. cinerea* 발병률을 비교하였다.¹² 키위는 수확 당시 경도는 60.5 ± 2.3 N, 당도는 7.9% ± 0.1%이었고 무게는 95±5g이었다. 그 결과 *B. cinerea*에 대한 발병률이 오존을 처리한 키위가 처리하지 않은 것에 비해 56% 적었고, 병의 심각도에서는 큰 차이가 나지 않았다(그림 11). 그리고 저장기간동안 오존처리한 처리구에서 *B. cinerea*에 대한 포자의 확장이 억제됨을 확인했다(그림 12).

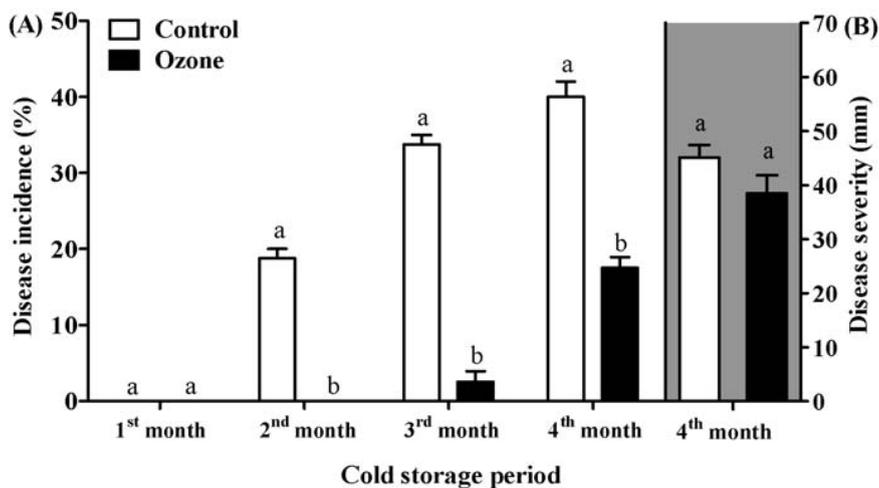


그림 11. 키위에 오존을 처리했을 때 *B. cinerea* 발병률과 심각도

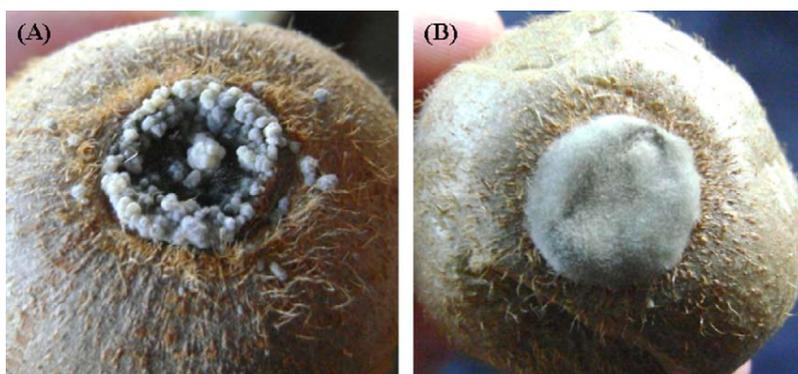


그림 12. 오존 처리에 의한 *B. cinerea*의 포자 억제
(A: 오존처리구, B: 대조구)

(나) 오존 처리가 키위 저장 시 발생하는 *Botrytis cinerea*와 *Penicillium expansum* (*P. expansum*)에 미치는 영향

중국 Shaanxi에서 생산된 Hayward 키위를 시료로 사용했고, 당도 $7.2\% \pm 0.1\%$, arsm $100 \pm 10\text{g}$ 에 표면에 상처가 없는 균일한 크기의 키위를 사용했다. 저장 온도는 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 이었다. 그리고 오존을 처리했을 때, *B. cinerea*와 *P. expansum*의 감염에 의한 부패와 확산이 줄어든 것을 확인하였다(그림 13)¹³. 그리고 오존 처리구와 대조구의 spore number를 비교했을 때 오존을 처리한 것에서 *B. cinerea*와 *P. expansum*에 대한 저항성이 더 높다는 것이 확인되었다(그림 14).

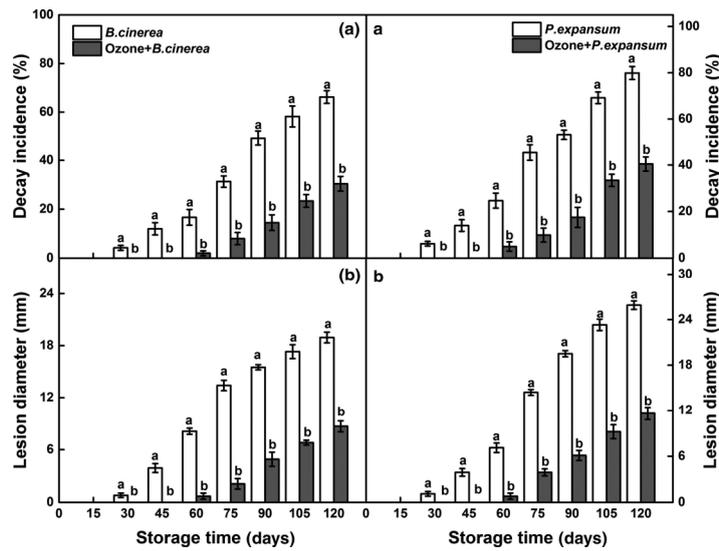


그림 13. *B. cinerea*와 *P. expansum*에 감염시킨 키위에 79.44ppm의 오존을 매일 1시간씩 7일간 처리했을 때 나타난 변화

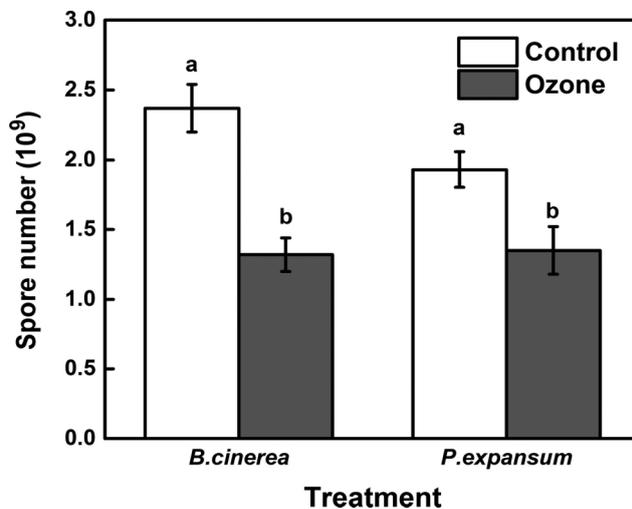


그림 14. 키위에 오존을 처리했을 때 *B. cinerea*와 *P. expansum*의 spore number

(다) Zespri의 Swire Cold Chain Logistics(SCCL) cold storage facility system

Zespri에서는 키위를 선적하는 시간을 단축시킴으로써 더욱 신선하게 키위를 유통할 수 있게 하였다(그림 15)¹⁴. 포트와 SCCL 냉장시설 사이에 셔틀의 수를 많이 확보하여 빠른 시간 안에 저장고에 넣을 수 있는 도킹 작업을 수행한다. SCCL에 도착을 하면 무선 주파수 식별 기술이 장착된 장치로 각 팔레트의 바코드를 스캔한다. 스캔 정보는 WI-FI를 통해 Zespri의 시스템에 연결된 저장 정보 시스템으로 연결되어 키위의 정보가 빠르게 입력된다. 그리고 시스템이 어떤 팔레트를 어디로 수령해야 하는지를 알려 주고 태그를 인쇄하여 팔레트의 다음 운송 지점으로 자동적 연결한다. 전달 후, 키위 품질유지를 위해 품질 관리를 시작한다. 분류 후, 정확성을 보장하기 위해 바코드를 스캔하여 다시 확인한 다음, 최종적으로 유통업체 화물에 적재를 시작한다. 이를 통해 선적 시간을 50%로 단축시켰고 효율성을 향상시켰다.



그림 15. Zespri에서 운영하고 있는 SCCL cold storage facility system

라. 국내·외 키위 최신기술

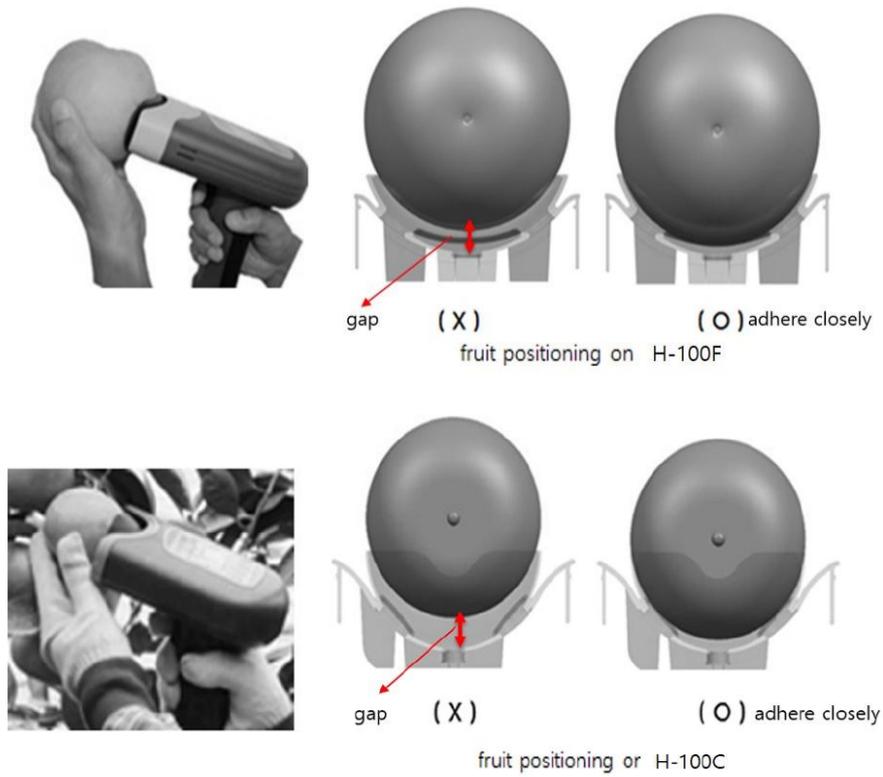
(1) 국내

(가) 비파괴 당도 측정

우리나라의 (주)해아림에서는 ‘H100C’라는 휴대용 비파괴 당도 측정기를 만들었다(그림 16)¹⁵. 빛을 이용하여 과일의 내부품질을 비파괴로 실시간 측정이 가능하다. 과일에 빛을 쬐어 반사돼 나오는 빛의 파장을 재는 원리이다(그림 17). 당은 특정 파장의 근적외선을 흡수하는 성질이 있는데, 반사되는 빛에서 근적외선이 적을수록 과실 안에 당이 많이 들어 있다고 예측할 수 있다.



그림 16. 휴대용 비파괴 당도 측정기 H100C



6. When a browning detected, in case of apple and pear application, a couple of beep sound occurs and displays " **br** " on the LCD screen.

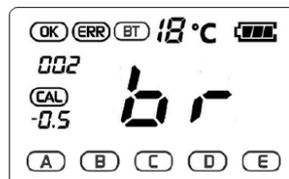


그림 17. 근적외선 방식을 이용한 비파괴 당도측정의 원리

(2) 국외

(가) 무인 키위 수확기

뉴질랜드의 Massey university에서는 무인으로 작동되는 키위 수확기기를 발명했다¹⁶. 전방에 두 대의 카메라를 설치하여 수확기기가 과수원 주변을 잘 돌아다니게 하고, 후방에도 두 대의 카메라가 설치되어 수확기기의 눈이 되어 이동한다(그림 18). 그리고 전방의 키위를 인식하여 정확하게 키위만 골라내는 포크를 달아 두었다. 또한, 적외선 센서를 장착하여 동물과 사람의 움직임을 감지하고, 장애물에 의한 문제가 생기면 바로 정지할 수 있게 고안되었다. 이미 사과 산업에 시범적으로 사용되고 있으며, 키위 산업에도 적용할 예정이라 밝혔다.



그림 18. Massey university에서 발명하여 시험적으로 운행되고 있는 수확기

(나) 자동 키위 선별 및 포장 장치

뉴질랜드의 Massey university에서는 키위를 자동으로 표준에 맞게 선별하고, 선별한 키위를 자동으로 포장하는 시스템을 연구하고 있다(그림 19). 27대의 컴퓨터, 10개의 로봇 팔로 시간당 250~400개의 트레이를 포장할 수 있다. 수확한 키위를 0.1 g 이내로 등급을 매기고 인공 비전을 사용하여 Zespri의 표준으로 등급을 매기면, 자동으로 라벨을 붙여 분별한 뒤 포장 작업까지 수행할 수 있게 설계하였다¹⁶. 키위 판별 시에는 키위의 크기, 무게, 그리고 표면 상처의 유무를 평가할 수 있다.



그림 19. Massey university에서 개발 중인 키위 선별 및 포장 장치

(다) 로봇을 이용한 키위 농장의 데이터 구축

키위 과수원을 스캔하고 재배자에게 정확한 데이터를 통해 농작물에 대한 전체 그림을 제공할 수 있는 배터리 구동식 자율 로봇 시스템이 뉴질랜드 Fieldays에 의해 연구 중이다(그림 20). 자율 로봇 시스템을 통해 과수원 전체적으로 날씨에 어떻게 영향을 받고 있는지를 계산하고, 그에 따라 수확량을 최적화하고 자연에 입는 피해를 최소화하기 위한 데이터 구축을 위한 연구가 진행 중이다¹⁷. 특히 원격제어가 필요 없는 완전한 자율 로봇으로 사람의 도움 없이 자율적인 구동을 통해 전체적인 키위 과수원의 정보를 제공하는 것이 이 기계의 목표이다.



그림 20. 키위 과수원에서 예비실험 중인 배터리 구동식 자율 로봇 시스템

(라) 비파괴 품질조사 기술

근적외선을 과일에 조사하면 특정 파장이 과일 속에 포함하고 있는 당도 성분과 반응하게 되는데, 이때 당도와 관련되는 근적외선 파장이 흡수되는 양이 많을 경우 당도가 높다고 할 수 있고, 적으면 당도가 낮게 된다. 이와 같은 원리에 의해 컴퓨터로 저장된 스펙트럼은 컴퓨터를 통하여 당도 판정에 적합한 검량식을 만들어 미지 시료에 대한 과일의 당도를 예측한다¹⁸.

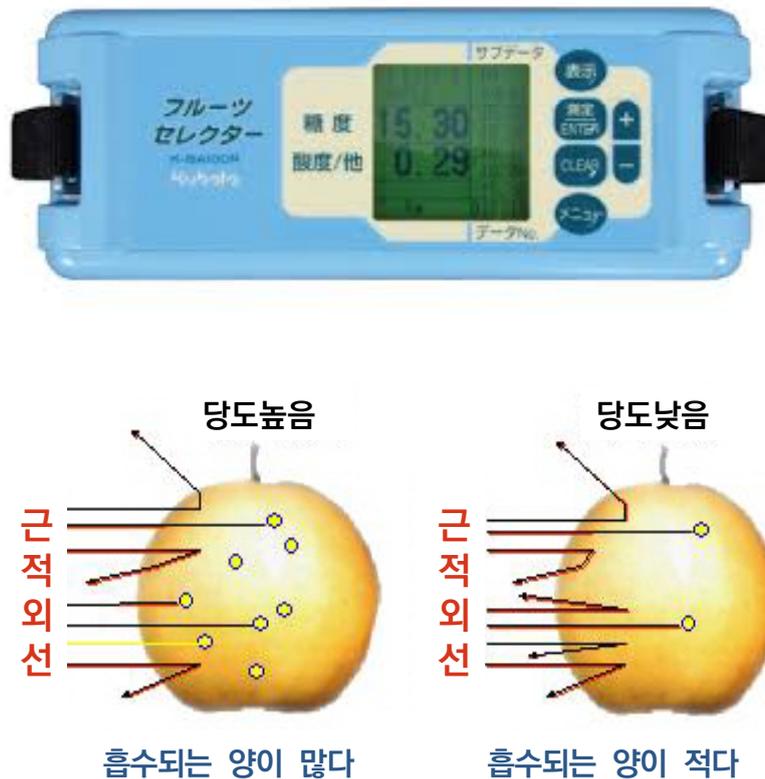


그림 21. 일본 Kubota에서 발명한 분광 분석을 이용한 비파괴 당도, 산도, 장해도 측정기와 원리

근적외선 분광 시스템을 이용하여 과일의 내부품질을 비파괴적으로 측정하기 위한 장치의 일반적인 형태이다. 근적외선을 과일에 조사하면 수광부로부터 그 빛을 받게 되는데 이때 빛의 신호를 전기적 신호 즉, 스펙트럼으로 변환해 주는 장치가 수광부(분광광도계 또는 근적외선 당, 산도 센서)이며, 이곳을 통과하면 파장에 따른 강도 값이 나타나는 스펙트럼이 생성된다(그림 21).

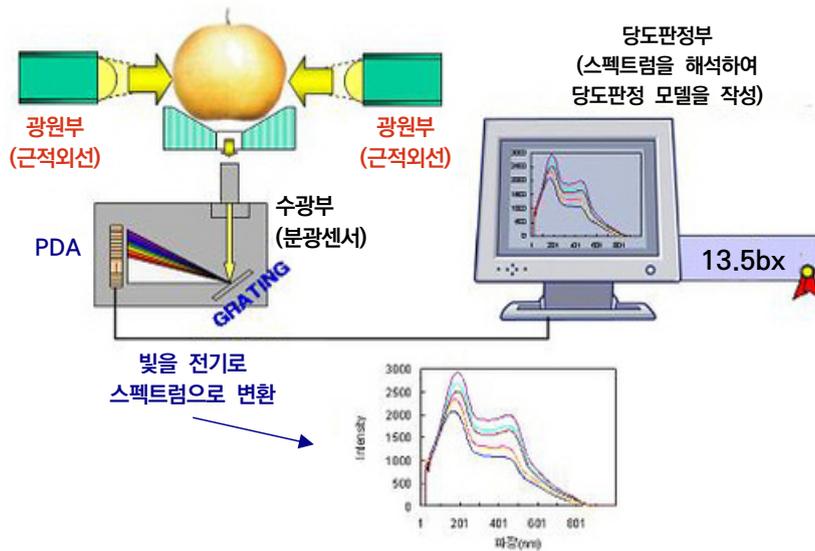
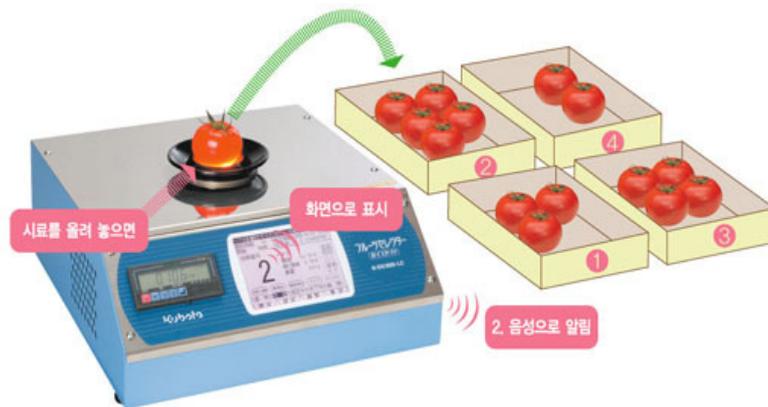


그림 22. 일본 Kubota에서 발명한 분광 분석을 이용한 비파괴 당도, 산도, 장해도 측정기기 구조

(마) 인공 비전을 이용한 과일의 품질검사

인공 비전을 통해 과일의 품질을 조사할 수 있는 방법이 연구 중에 있다(그림 23)¹⁹. 자외선 또는 근적외선 스펙트럼을 사용하면 육안으로 볼 수 없는 결함이나 특징을 탐색할 수 있다. 같은 품종의 과일에서 서로 다른 4가지의 표면 결함을 인공 비전을 통해 확인하였다(그림 24). 그 결과 전체 결함의 91.5%를 탐지했다.

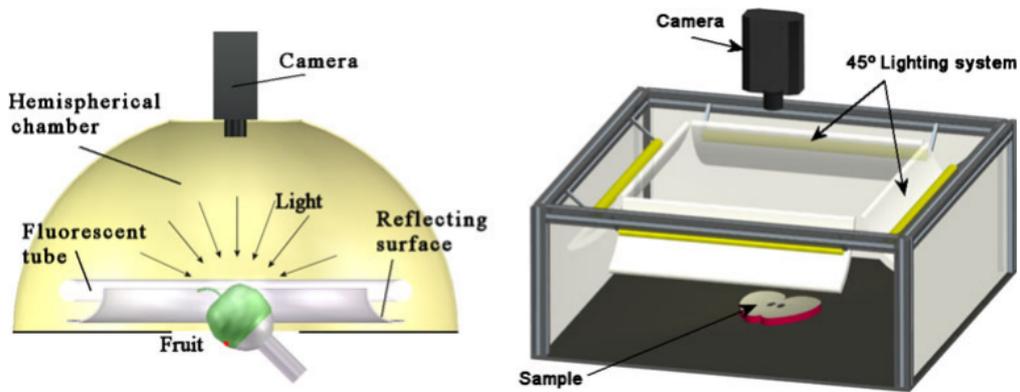


그림 23. 인공 비전을 통한 과일의 품질 조사

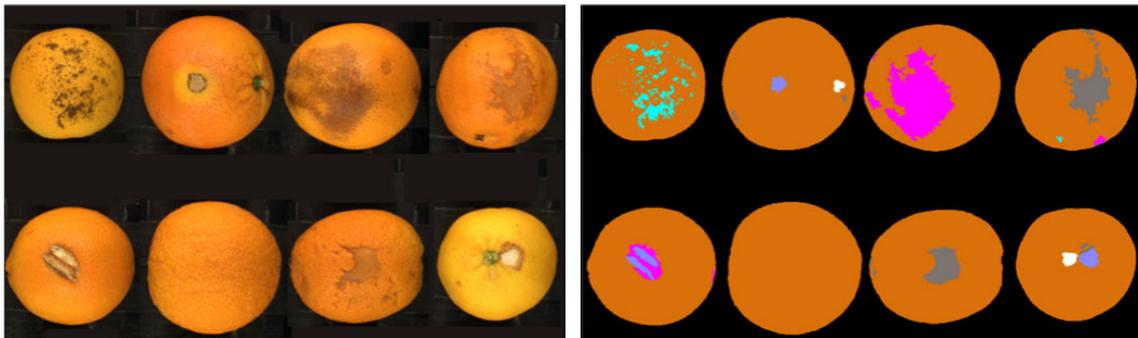


그림 24. 오른쪽: 상처 입은 과일의 육안에서 관찰했을 때 사진
왼쪽: 인공 비전을 통해 관찰된 사진

(바) 휴대용 키위 건물중 측정기

뉴질랜드 Massey university에서 발명한 ‘Harvest manager 300’은 비파괴 건물중 측정기이다(그림 25, 26, 27)²⁰. 키위에서 건물중은 당을 결정하는 sugar와 밀접한 관계가 있다. 건물중은 키위에서 수분이 전부 날아간 후 키위 안에 남아 있는 무게를 측정한 것으로, 건물 안에는 키위의 맛을 담당하는 sugar와 acid가 포함되어 있다. 그래서 이 건물중 측정기는 키위 안에 있는 sugar의 함량을 측정하는 방식으로 고안되었다. 현재는 시험 중에 있다.



그림 25. 비파괴 건물중 측정기 Harvest manager 300



그림 26. Harvest manger 300 프로그램 구동 방식



그림 27. Harvest manager 300 실제 적용 장면

1. 농림수산물교육문화정보원. 참다래. 『농식품백과사전』.
2. 나무로 [Website]. “양다래 재배 총론”. (2019. 10. 12).
<http://www.namu-ro.com/treebank/yusil03/kiwee012.html>
3. Beever, D. J., Hopkirk, G. (1990). Kiwifruit: Science and Management. *Fruit development and fruit physiology*. In: Warrington IJ, Wetson GC (eds.). Auckland, NZ: Ray Richards Pub. 97-126.
4. Harker, F. R., Carr, B. T., Lenjo, M. (2009). Consumer liking for kiwifruit flavour: A meta-analysis of five studies on fruit quality. *Food Quality Preference*, 20, 30-41.
5. Crisosto, G. M., Hasey, J., Zegbe, J. A., Crisosto, C. H. (2012). New quality index based on dry matter and acidity proposed for Hayward kiwifruit. *California Agriculture* 66(2), 70-75.
6. 신동원. 제주농업기술원, 키위 수확시기 판별 새 기준 수립. 헤드라인제주. (2018. 12. 07), (2019. 10. 12).
7. Burdon, J., McLeod, D., Lallu, N., Gamble, J., Petley, M., Gunson A. (2004). Consumer evaluation of ‘Hayward’ kiwifruit of different at-harvest dry matter contents. *Postharvest Biology Technology*, 34, 245-255.
8. Ian Warrington (2018). Kiwifruit Biology, *Horticultural Reviews*, 46, Wiley, 385-422.
9. Testolin, R., Ferguson, A. R. (2009). Kiwifruit (*Actinidia* spp.) production and marketing in Italy. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 37(1), 1-32.
10. Crisosto, C. H., Hasey, J., Cantin, C. M., Garibay, S., Crisosto, G. New kiwifruit dry weight protocol.
11. Ozonaid [Website]. (2019. 10. 13). <http://www.ozonaid.com>
12. Minas, I. S., Karaoglanidis, G. S., Manganaris, G. A., Vasilakakis, M. (2010). Effect of ozone application during cold storage of kiwifruit on the development of stem-end rot caused by *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, 58(3), 203-210.
13. Luo, A., Bai, J., Li, R., Fang, Y., Li, L., Wang, D., ... & Kou, L. (2019). Effects of ozone treatment on the quality of kiwifruit during postharvest storage affected by *Botrytis cinerea*

and *Penicillium expansum*. *Journal of Phytopathology*, 167(7-8), 470-478.

14. Zespri [Website]. (2019. 10. 13). <https://www.zespri.eu/en>
15. (주) 해아림 [Website]. (2019. 10. 13). <http://www.sunforest.kr>
16. Massey university of NewZealand [Website]. (2019. 10. 13).
https://www.massey.ac.nz/massey/about-massey/news/article.cfm?mnarticle_uuid=BB780A13-96BF-57FE-A101-24EE5A231294
17. Marie Foster. Robot to bring accurate data to kiwifruit orchard. Sun live. (2018, Jul 10), (2019. 10. 13).
18. Kubota [Website]. (2019. 10. 13). <https://www.kubota.com>
19. Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J. (2011). Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and bioprocess technology*, 4(4), 487-504.
20. Designers Institute of New Zealand Best Design Award [Website]. (2019. 10. 13).
<https://bestawards.co.nz/product/student-product/massey-university-college-of-creative-arts/harvest-manager-300-non-destructive-dry-matter>

4. 키위 유통관련 적용기술 (지능형 지시계 분야)

가. 지시계 개요

소비자들의 안전하고 신선한 식품에 대한 수요와 관심이 증가하면서 식품의 연장된 shelf life, 품질 조절 등과 함께 새로운 포장 기술인 지능형 포장(intelligent packaging)이 발전하게 되었다 (Barska and Wyrwa, 2017; Kuswandi et al., 2013). 지능형 포장이란 포장의 새로운 세대로서 유통부터 저장, 소비자의 사용까지의 식품의 품질과 안전 등에 대하여 모니터링하고 포장과 식품에 대한 조건, 제조 시간 및 저장, 유통 조건 등의 정보를 제공하는 포장 산업이다 (Barska and Wyrwa, 2017; Patricia and Markus, 2019). 지시계는 바코드와 RFID와 같은 data carriers, 물리적 혹은 화학적 품질을 측정하여 신호를 보내거나 에너지를 정량하는 센서와 함께 지능형 포장 산업의 핵심 기술이다 (Müller and Schmid, 2019).

지시계란 특정 상태, 혹은 물질의 여부 등을 지시하여 줌으로써, 물질의 존재 여부, 서로 다른 물질 사이의 반응의 정도, 혹은 특정 물질의 농도 등을 결정하기 위해 사용된다. 지시계의 종류에는 시간-온도 이력 지시계(Time-Temperature indicators), 신선도 지시계(Freshness indicators), 가스 지시계(Gas indicators)가 대표적이다 (Müller and Schmid, 2019). 시간-온도 이력 지시계는 저장 또는 유통 조건에 맞추어 나타나는 시간 온도 이력에 관하여 식품의 품질 변화 및 유통기한을 실시간으로 나타내는 지시계이다 (Taoukis and Labuza., 1989; Giannakourou et al., 2005; Fu et al., 1991). 적용의 예로는, 육류 (Han et al., 2012; Kim et al., 2012), 냉동 야채 (Giannakourou and Taoukis, 2003), 수산물 (Simpson et al., 2012; Tsironi et al., 2009), 유제품 (Fu et al., 1991) 류의 식품의 품질 저하를 지시하는 용도로 사용되고 있다. 신선도 지시계는 유통 및 저장 중에 포장 내 공기 조성이 변화함에 따라 직접적으로 나타나는 식품의 신선도 변화를 나타내는 지시계이다 (Barska and Wyrwa, 2017). 색 변화를 통해 품질 변화가 나타나며, 발효 식품, 육류 식품, 해산물 등의 품질을 지시한다 (Müller and Schmid, 2019). 가스 지시계는 포장 내의 공기에 영향을 받는 식품의 품질 조건을 나타내는 지시계이다. 가스 지시계의 센서가 식품의 활성, 가스 유입 및 유출, 포장 내 환경 조건 등에 의하여 나타나는 포장 내 공기의 변화에 반응하여 변화를 감지한다 (Müller and Schmid, 2019).

따라서 지시계에 의하여 식품의 품질 변화 및 상태를 판단할 수 있으며, 이러한 결과로 식품 안전이 향상되고, 지시계의 지속적인 모니터링을 통하여 식품 포장의 분석에 있어서 시간과 비용을 절감할 수 있다(Verghese et al., 2015). 이와 같이 여러 가지 이점이 있는 지시계에 대한 연구 개발과 다양한 유형에 적용에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

나. 과일 숙성 지시계

과일은 높은 수분 함량의 식품으로 보관이나 유통 및 판매에 있어서 신선도를 유지하는 것이 어려울 뿐만 아니라 미생물 증식, 과숙 또는 산패에 의하여 상품 가치가 하락하는 경우가 발생한다. 이러한 식품의 품질 손실을 최소화하기 위해서 유통 및 저장 기간 동안 품질 모니터링이 필요하다(Byeon and Eom, 2012). 식품의 품질을 유지하기 위한 고전적인 방법은 온도와 수분 등 주변 환경의 조건을 지속적으로 모니터링 하는 것이다. 그러나 과일의 숙성 상태와 같은 식품의 직접적인 품질을 지시할 수 없다는 단점이 있으므로 소비자로 하여금 적절한 숙성 정도의 과일을 소비하는 데에 있어 어려움이 있다(Kuswandi and Murdyaningsih, 2017; Kuswandi et al., 2013). 따라서 이러한 문제점을 보완하고 과일의 적절한 선도 유지 및 후숙 정도를 나타낼 수 있는 모니터링 방법 및 포장 기술로 숙성 지시계(Ripeness indicator)를 들 수 있다(Byeon and Eom, 2012).

숙성 지시계(ripening indicator)란 과일이 숙성함에 따라 색 변화와 같이 육안으로 식별 가능한 변화를 나타냄으로써 과일의 숙성도를 지시하는 지시계를 의미한다 (Kuswandi et al., 2013). 숙성 지시계는 저비용, 민감성, 편리함, 실제 현장에서 적용하였을 때의 신뢰성을 확보할 수 있다는 장점이 있다 (Smolander, 2003). 현재 상용화된 숙성 지시계로는 Ripe Sense® (Ripesense, Auckland, New Zealand)가 있다. RipeSense®는 배의 숙성 과정에서 방출되는 대사산물인 aromas에 반응하여 배의 숙성도를 색 변화로 나타내는 세계 최초의 지능형 신선도 라벨이다. RipeSense®는 초기 색인 빨간색에서 점차 주황색으로 바뀌고 마지막으로 노란색으로 바뀐다. 소비자가 원하는 성숙도와 일치하는 센서의 색에 도달하면, 소비자는 정확한 성숙도의 과일을 섭취할 수 있다. 또한 이때 과일을 냉장 보관함으로써 숙성 과정을 상당히 늦출 수 있다. 이 기술은 키위, 멜론, 망고, 아보카도 및 석류 등과 같은 다른 과일에도 적용되고 있다 (<http://www.ripesense.com/>).



그림 1. Label of RipeSense®

상용화된 지시계뿐만 아니라 다양한 과일에 적용할 수 있는 숙성 지시계의 개발이 이뤄지고 있다. 첫 번째는 사과 숙성 지시계이다. 이 지시계는 molybdenum(Mo) chromophore를 기반으로 제작되었다. 사과는 숙성하면서 에틸렌 가스를 배출하는데, 이러한 에틸렌 가스의 배출은 지시계의 molybdenum(Mo) chromophore를 부분적으로 환원시켜 Mo(VI)에서 Mo(V)로 변화시키고, 지시계가 흰색 혹은 밝은 노란색에서 파란색으로의 가시적 변화를 일으키면서 사과의 숙성 정도를 나타낸다. 지시계의 민감성은 사용된 ammonium molybdate solution의 pH value(pH 1.4-1.5)와 구성 요소에 따라 다양화될 수 있으며, 정량적인 색 변화 측정을 위해 다른 지시약과 같은 색을 인식하는 물질과도 결합될 수 있으므로, 사과뿐만 아니라 다양한 과일과 저장 조건에서 적용될 수 있다 (Lang and Hübert, 2012).

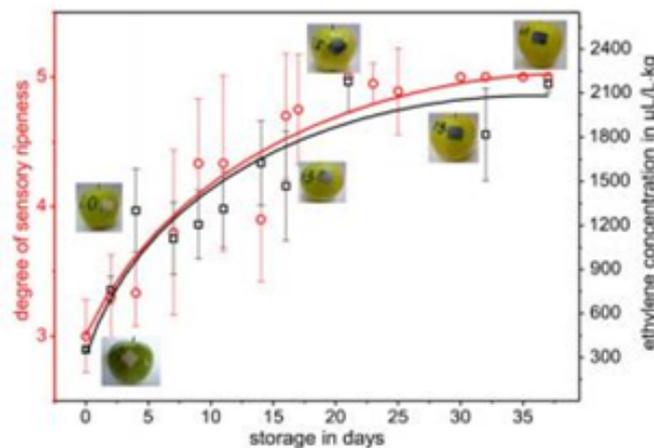


그림 2. Ripening process of Golden delicious apples

두 번째는 구아바 숙성 지시계이다. 구아바는 호흡과 에틸렌 배출로 인하여 후숙을 하는 과일이다 (Brown and wills, 1983). 구아바가 숙성할수록 에탄올, 아세트알데히드, 아세트산 등의 대사 물질을 배출하는데, 이로 인하여 구아바 포장 용기 헤드스페이스의 pH가 저하된다. 이 지시계는 cellulose membrane에 고정된 bromophenol blue를 이용하므로, 저하된 pH에 의하여 bromophenol blue가 파란색에서 초록색으로 변화한다. 따라서 이와 같은 가시적 색 변화로 구아바의 숙성 정도를 지시할 수 있다 (Kuswandi et al., 2013).



그림 3. Labels and color changes of Guava indicator

세 번째는 포도 숙성 지시계이다. 포도 숙성 지시계는 저비용의 간단한 지시계로, CPR membrane을 사용하여 설계되었다. CPR membrane은 pH에 대한 민감성이 높은 물질이므로 포도가 과숙됨에 따라 포장의 헤드스페이스에서 유기산인 주석산과 말레산이 점차 감소하여 pH가 증가하게 되어 지시계가 활성화된다. pH 변화로 인하여 지시계의 chlorophenol red가 흰색에서 베이지색으로 변화한다. 따라서 포도 숙성도 지시계는 가시적 색 변화를 통해 포도의 과숙 정도를 지시한다 (Kuswandi and Murdyaningsih, 2017).

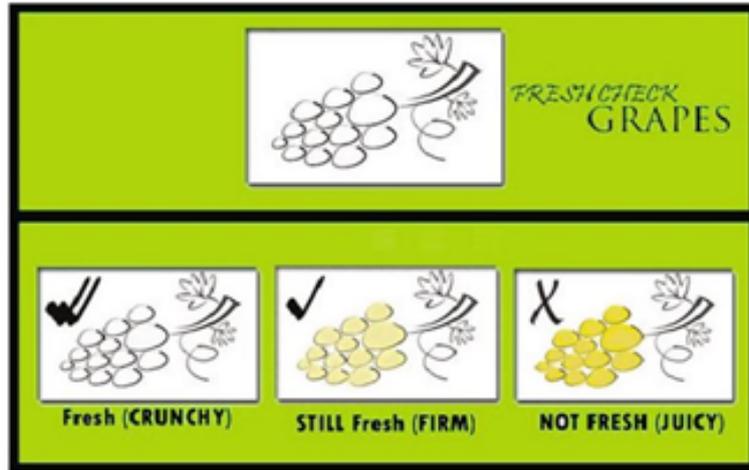


그림 4. Labels and color changes of Grape indicator

키위의 경우, 수확 후 후숙이 진행되는 과일 중 하나이다. 키위 또한 숙성이 진행되면서 에틸렌 가스를 배출하고, 이로 인해 후숙이 진행됨을 알 수 있으므로 에틸렌 가스 적산 지시계를 이용하여 키위의 숙성 정도를 지시할 수 있다. 그러나 에틸렌 가스 적산 지시계는 키위의 포장 내부 혹은 키위 표면에 부착되어야 하므로 지시계의 부착 위치 및 포장의 밀봉 유무에 따라 편차가 발생할 수 있다 (Hu et al., 2016). 뿐만 아니라 에틸렌 발생 및 호흡은 시간-온도 이력에 영향을 받기 때문에 키위 후숙에 있어서 시간-온도 이력 또한 고려해야 될 요소이다 (MacRae et al., 1989; Ritenour et al., 1999). 따라서 키위 포장의 외부에 부착되며, 시간-온도 이력의 영향을 고려하여 키위의 품질을 지시하는 키위 숙성 지시계가 고안되어야 한다.

다. 시간-온도 이력 지시계

시간-온도 이력지시계(TTI)란 식품 포장에 부착되어 시간-온도에 의존적인 변화를 바탕으로 하여 주로 색을 통해 시간-온도 이력을 나타내는 지시계이다. 이를 통하여 육안으로 간편하게 시간-온도 이력의 영향에 의한 식품 품질을 확인할 수 있으므로 냉장 식품을 비롯한 다양한 식품의 유통 및 저장 중의 잔여 유효 기간을 예측하기 위해서 주로 사용되고 있다(Taoukis et al., 1991). 시간-온도 이력에 따른 TTI의 비가역적 색의 변화는 생물학, 화학, 물리화적인 반응들에 기초하여 발생한다(Taoukis and Labuza, 1989).

(1) 생물학적 메커니즘을 기반한 TTI

생물학적 TTI는 주로 미생물과 효소와 같은 생화학적 반응에 기반하는 TTI이다. 두 가지 모두 시간-온도 이력에 따라 미생물, 효소가 기질과 반응하여 생성되는 부산물에서 기인하는 색 변화를 기반으로 한다. 미생물의 경우 주로 효모나 젖산균이 사용되며 pH가 변화됨에 따라 indicator에 의해 색이 변화한다. 효소형의 경우 주로 가수분해, 산화환원효소 반응에 근거하여 색이 변화하는데, 가수분해효소에 의하여 산 발생에 근거한 pH 변화, 색을 가지는 기질부의 분해, 산화환원효소에 의한 기질의 산화, 혹은 환원 등의 기작에 의하여 색이 변화한다 (Varlet-Grancher, 2006; Lee and Jung, 2013; Wu et al., 2015; Kim et al., 2012; Qiao et al., 2013; Qian et al., 2012).

Biological TTI 중 commercialized TTI는 CheckPoint™(VitsabA.B., Malmö, Sweden), ARCzyme®(KSPI, Goyang, Korea), TRACEO®and eO®(CryologS.A., Quimper, France)가 있다. Checkpoint™는 가수분해효소인 lipase를 사용하는 TTI로, 기질인 지질을 가수분해하여 생성되는 지방산이 pH를 저하시켜 색 변화가 나타난다 (Agerhem and Nilsson, 1981; Blixt et al., 1977; Bobelyn et al., 2006).

ARCzyme®은 산화환원효소로 acid blue 25, methyl orange, methyl green 등의 기질을 탈색시켜 색 변화를 나타내거나 ABTS, guaiacol, syringaldazine, hydroquinone 등과 반응하여 색을 형성하는 Laccase를 이용하여 제작된 TTI로 기질부는 ABTS를 사용하여 ABTS가 산화되어 초록색을 나타낸다 (Kim et al., 2012; Kim et al., 2012). TRACEO® and eO®는 젖산균을 사용하며 앞서 언급했듯이 젖산균이 젖산을 생성하여 pH가 저하됨에 따라 첨가된 지시약에 의해 색 변화가 발생한다 (Ellouze et al., 2008; Ellouze and Augustin, 2010).



그림 5. Labels of CheckPoint™



그림 6. Labels of ARCzyme^R



그림 7. Labels of TRACEO[®] andeO[®]

(2) 화학적 메커니즘을 기반한 TTI

화학적 TTI는 시간과 온도의 변화에 의한 화학반응으로 발생하는 색 변화를 이용하여 식품의 품질을 지시한다. 중합반응, 빛에 의한 화학반응, 산화환원 반응 등을 기반으로 하여 색 변화를 나타낸다. 중합반응의 경우 주로 아세틸린기를 가진 단위체의 중합반응이 일어나 polydiacetylene (PDA) 화합물이 형성되어 지시계의 색 변화가 이루어진다. 빛에 의한 화학반응에 기반한 광화학형 TTI는 특정 파장의 빛(UV)에 의해 활성화되어 특정한 색 변화를 나타낸다. 마지막으로 산화환원 반응에 기반한 산화환원형 TTI는 산화환원 반응이나 빛에 의해 야기된 산화환원 반응을 통해 색 변화를 나타낸다 (Gou et al., 2010; Cheng et al., 2013).

화학적 TTI 중 중합반응을 기본 원리로 하는 commercialized TTI는 FreshCheck[®] integrators(Temptime Indicator, Paris, France), HEATmarker[®](Temptime, NewJersey, USA)가 있다(Fields and Prusik, 1983; Patel et al., 1976; Patel and Yee, 1980). FreshCheck[®]는 어두운 바깥 원과 밝은 안쪽 원으로 겹쳐져 구성되어 있다. 온도가 상승하는 경우 반응 시간이 증가하며 안쪽 원이 밝은 색에서 어두운 색으로 변하면서 품질을 지시하게 된다. HEATmarker[®]는 디아세틸린 단위체의 중합반응을 기반으로 하며, 보라색의 원과 디아세틸린 단위체가 부착된 흰색의 직사각형으로 구성되어 있다. 원 안에 겹쳐진 직사각형이 짙은 보라색으로 변화하여 원과 유사한 색을 나타냄으로써 사용자가 육안으로 색 변화를 확인할 수 있다 (Mendoza et al., 2004).



그림 8. Labels of FreshCheck®

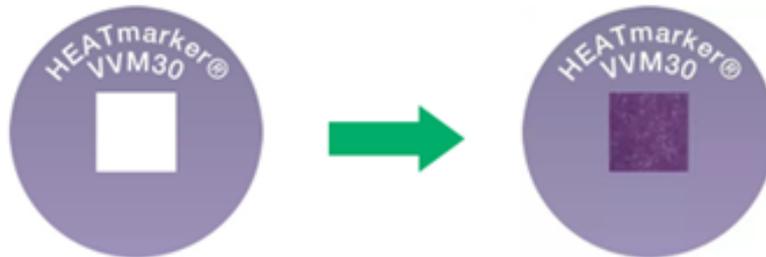


그림 9. Labels of HEATmarker®

광화학형 commercialized TTI에는 OnVu™TTI(Ciba Specialty Chemicals & Fresh-point, SW)가 있다. 이것은 benzyl pyridines와 같은 유기색소나 감광성의 화합물을 기초로 하여 온도와 시간에 따른 속도에 의해 색이 변한다. 자외선에 의해 활성화되며, 파란색의 표시가 하얀색으로 변화함으로써 품질을 지시한다 (Wang et al., 2015).

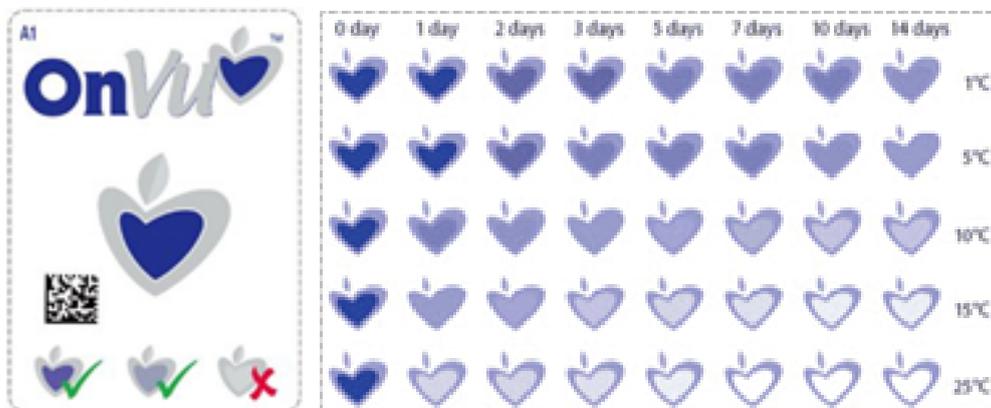


그림 10. Label of OnVu™

산화환원형 TTI에는 상용화 되지 않았으나 anthraquinone derivative를 이용한 인쇄형 TTI가 개발되었다. 이 지시계는 산화환원 반응을 통해 색이 희미해지는 잉크를 이용하여 시간-온도 이력에 따른 품질을 지시한다. 잉크는 anthraquinone derivative에 의해 색을 나타낸다. 베이지색의 anthraquinone β -sulfonate가 sodium hydrosulfite에 의해 환원되어 붉은색을 나타내며, 이는 지시계의 초기 색이다. 지시계가 산소와 접촉 및 시간-온도에 영향을 받아 산화가 진행된다면 잉크의 색이 베이지색을 나타내며 품질 변화를 나타낸다 (Galagan and Su, 2008).



그림 11. Fading of the color in time-temperature indicator

(3) 물리학적 메커니즘을 기반한 TTI

물리학적 TTI는 확산, 나노입자, electronic TTI 기술을 기반으로 한다. 확산을 이용한 TTI는 주로 온도와 확산의 상관관계를 기반으로 하여 색을 띠는 지방산 에스터기의 확산 반응을 이용하였다. 나노입자 기술을 이용하는 TTI는 나노입자가 외부의 변화에 의해 크기나 형태 등이 변화하여 가시적인 색 변화가 달라지는 plasma resonance 현상에 기인한다. Electronic TTI는 온도 신호를 전기 신호로 전환시킨 후 최종적으로 시각적인 결과로 전환시키는 열적 센서를 가지고 있으며, 이것을 통해 식품의 열적 정보를 integral equation과 함께 기록한다 (Manske, 1976).

대표적인 물리학적 commercialized TTI에는 3M Monitor Mark™(3MCo., St-paul, Minnesota), Keep-it®freshTTI(Keep-it Technologies, Oslo, Norway), TempixTTI(TEMPIXCo., Lotangsgatan, Sweden)가 있다. 3M Monitor Mark™는 확산 현상을 기반으로 한 지시계로서, 온도가 높아짐에 따라 확산이 가속화되므로 시간이 지나면 비가역적인 색 변화가 기록되어 정확한 해석이 가능하다. 폴리에스터 막으로 포장된 A와 B 부분으로 나누어 지는데, A 부분은 색을 띠는 지방산 에스터가 저장되어 있고, B 부분은 색을 띠는 지방산 에스터의 확산을 위한 리본 형태로 구성되어 있다. 온도가 상승하면 폴리에스터 포장막이 녹게 되고, 이로 인해 TTI가 즉시 활성화된다 (<http://solutions.3m.com/>; Wang et al., 2015).



그림 12. Labels of 3M Monitor Mark™

Keep-it®freshTTI(Keep-it Technologies, Oslo, Norway) 또한 확산 현상을 기반으로 한 지시계이다. 이 TTI는 밀봉에 의해 분리된 칸을 포함하는 고정된 반응물질(i.e. Fe^{3+})과 이동하는 반응물질(i.e. ferrocyanide)로 구성된다. 따라서 이 TTI는 시간과 온도에 의존한 이동 물질이 고정 물질로 이동함으로써 시각적으로 신호를 주는 칸과 칸 사이의 밀봉을 제거하여 활성화되는 원리를 가지고 있다 (Skjervold et al., 2007).



그림 13. Label of Keep-it®

Tempix TTI(TEMPPIX Co., Lotangsgatan, Sweden)는 특정 물질의 morphological change에 기반한 TTI이다. 이 TTI는 특정 물질이 바코드 옆에 부착되어 있는 형태이며 그 코드는 처음에 온전하며 뚜렷하게 읽을 수 있는 상태이다. 온도가 특정한 값을 초과했을 경우 특정 물질이 액체상으로 이동되고 비가역적인 상태가 되어, 하나 혹은 여러 개의 코드 막대를 읽을 수 없는 상태가 된다 (Norrby and Nygårdh, 2011; <http://tempix.com/the-indicator/>).

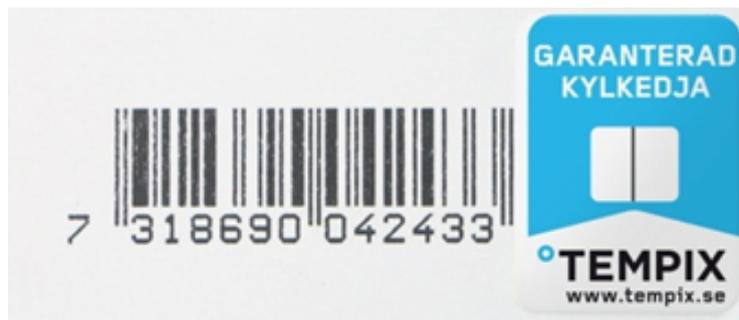


그림 14. Label of Tempix

Commercialized TTI외에도 나노입자를 기반으로 한 TTI와 electronic TTI가 개발되었다. 나노입자를 기반으로 한 TTI는 주위 온도가 상승하면 열을 흡수하여 Ag 나노입자의 가장자리에 강한 자유에너지를 가진 원자의 이동 속도가 빨라지며 Ag 나노입자의 표면 형태가 변하면서 가시 가능한 범위의 파장으로 바뀌게 된다. 즉, 삼각형 형태의 Ag 모서리가 원형으로 변형되면, 일반적으로 선스펙트럼 또는 띠 스펙트럼이 각종 영향에 의해 그 파장이 보다 짧은 방향으로 벗어나는 블루시프트가 결정 표면에서 관찰된다. Electronic TTI는 A, B 두 가지의 지시계가 존재하는 지시계이다. A는 판매가 가능한 상태를 의미하는 지시계이며, B는 상품의 할인이 적용되고 있다는 것을 의미하는 지시계이다. 외부 온도에 의해 식품이 변하면 온도 센서가 oscillator에 정보를 전달하여 oscillator의 빈도가 달라지게 된다. Electronic TTI에 탑재된 counter가 oscillator의 순환을 기록하여 counter 값이 허용 가능한 범위에 있을 때 지시계의 색을 나타내고, 특정 값을 초과했을 경우 microcontroller에 신호를 주어 색을 사라지게 한다. A 지시계와 연결되어 있는 counter 1 (TC₁)의 값이 허용 가능한 범위에 있을 때, A 지시계의 색이 나타나며 판매가 가능한 상태라고 지시한다. TC₁의 값이 허용 가능한 범위를 초과했을 때, A 지시계의 색이 사라지고, B 지시계가 색을 띤다. B 지시계와 연결되어 있는 counter 2 (TC₂)의 값이 허용 가능한 범위를 초과했을 때 B 지시계의 색이 사라

지며 상품을 판매할 수 없는 상태라고 지시한다. 따라서 시각적인 결과를 가지고 복잡한 열적 기록을 파악할 수 있으며 비전문인들이 전문적인 기계 없이도 쉽게 이용할 수 있다 (Pérez-Luna and Betala, 2011; Zweig, 2005; Jensen et al., 2013).

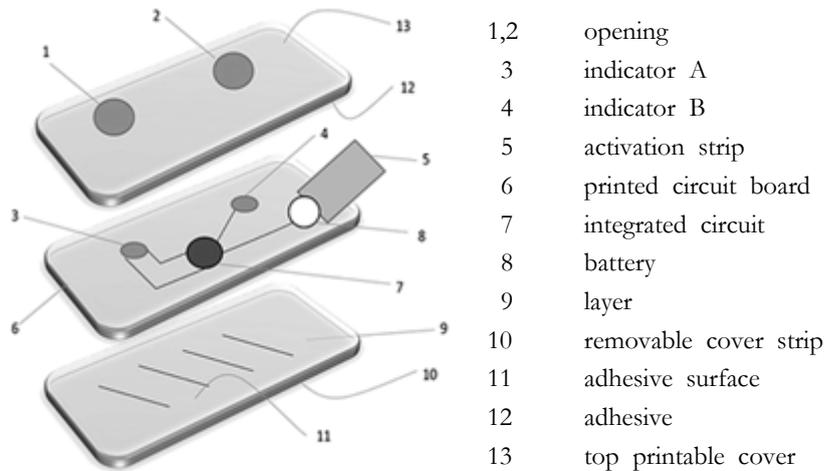


그림 15. Diagram of electronic TTI

라. 키위 품질 지시계

키위는 아열대 과일에 속하는 과일로서 적정 시기에 수확한 뒤 일정 기간 후숙하여 연화시킨 후 섭취하는 과일이며, 저장 조건에 따라 연화되기까지 몇 달 이상 소요되는 과일이다 (Pratt and Reid, 1974). 키위의 후숙은 충분히 성장한 키위가 자체적으로 형성하는 에틸렌이 자가촉매적으로 증가하여 호흡을 급증시키는 climacteric 현상에 기인한다. 에틸렌에 의해 키위의 연화 및 flavor와 관련된 유전자가 발현되며 과실 안으로 공기 중 산소가 흡수되면서 키위 내부의 전분이 당으로 변화하는 효소반응이 촉매되고, 과육이 연화된다. 또한 과량의 유기산이 적정 수준으로 감소하여 당과 향기 성분으로 변환되고 키위 특유의 향을 생성하며 심부의 유백색의 섬유질이 연화되어 섭취하기 용이하게 된다 (Atkinson et al., 2011; MacRae et al., 1992). 일반적으로 키위의 연화 속도 및 섭취하기 적절한 후숙 정도는 과육의 경도를 측정하는 것이 가장 주요한 지표로 알려져 있다 (MacRae et al 1989; Beever and Hopkirk, 1990; McGlone and Kawano, 1998). 현재 국내 키위 소비는 크게 수입산, 국내산 2가지로 나뉜다. 초기에는 뉴질랜드에서 수입한 키위가 소비의 대다수를 차지했지만 2000년대에 들어서 제주도를 시작으로 전

남, 경남 등에서 발생한 국내 키위 재배 농가는 현재 국내 키위 소비의 40% 이상을 차지하고 있다 (Oh et al., 2011). 국내 키위 재배 농가는 키위를 수확한 후 장기간 저장을 위하여 별도의 에틸렌 처리를 하지 않고 저온 저장고에 키위를 보관하여 수확 시기인 11월부터 길게는 익년 6월까지 판매한다. 이 때 마트에서 판매되는 수입 키위와는 다르게 후숙 되지 않은 상태로 판매하여 자체적으로 소비자가 후숙을 더디게 하기 위해서는 냉장에, 후숙을 빠르게 하기 위해서는 실온에 보관하여 섭취하는 것을 권장하고 있다. 하지만 키위의 특성상 외관상으로 후숙의 진행 정도를 알기 어려운 점이 있다. 만약 후숙이 덜 된 키위를 섭취할 경우 다량의 펙틴질로 인해 과육이 너무 단단하고 섬유질이 질기며 신맛이 매우 강하고 향과 단맛이 적어 기호성이 떨어진다. 반대로 후숙이 과하게 진행되어 과숙된 키위의 경우 단맛은 증가하지만 펙틴질의 과도한 분해로 인하여 상처가 쉽게 발생하고 그에 따른 변질로 인해 이취, 곰팡이 등을 발생시켜 섭취에 적합하지 않게 된다 (Hong et al., 1998; Han, 1993). 따라서 키위의 숙성 지시계를 키위 포장에 적용하여 적절한 숙성도의 키위를 소비자가 섭취할 수 있도록 해야 한다.

현재 키위의 후숙을 지시하는 지시계로서 에틸렌 가스 지시계가 사용되고 있다. 에틸렌 가스 지시계는 발생하는 에틸렌 가스와 반응하여 비가역적으로 색이 변화하는 일종의 에틸렌 가스 적산 지시계이다. 그러나 키위의 호흡 반응 및 에틸렌 발생은 시간-온도 이력에 영향을 받으므로 키위의 후숙에는 에틸렌 가스뿐만 아니라 시간-온도 이력 또한 큰 영향을 미친다 (MacRae et al., 1989; Ritenour et al., 1999). 따라서 에틸렌 가스 지시계는 직접적인 시간-온도 이력의 영향을 반영하지 못 하므로, 키위의 후숙도를 간접적으로 지시한다고 할 수 있다 (Asiche et al., 2017; Choi et al., 2013). 뿐만 아니라 키위의 표면에 부착하므로 식품으로 화학 물질이 전이되는 등 안전성 문제가 야기될 수 있어 이를 방지하기 위해 차단 필름 등의 추가 자재가 필요한 실정이다 (Hu et al., 2016). 현재, 에틸렌 가스가 배제된 상태에서도 후숙이 진행된 연구가 있으며 (Asiche et al., 2017) 후숙도를 지시하기 위한 시간-온도 이력의 개념을 적용한 연구는 거의 전무하므로, 키위의 시간-온도 이력을 반영할 수 있으며 키위 포장의 외부에 부착할 수 있는 지시계에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 열대 과일 중 국내 재배 농가에서 생산되어 유통되는 키위의 시간에 따른 최적 후숙 정도를 지시하기 위해 위와 같은 에틸렌 가스 지시계의 단점을 보완한 키위 포장의 지시계로서 시간-온도 이력 지시계인 TTI를 적용하고자 하였다. 또한 농가 등의 키위 공급처에서 사용할 수 있는 참고 온도 관리용 적숙기 지시계와

소비자가 키위를 구매하여 섭취하기에 적절한 상태의 후숙도를 지시하는 적식기 지시계를 개발하고자 하였다.

(1) 키위 품질변화 분석

우선적으로 지시계 개발을 위하여 키위의 품질 지표를 결정하기 위한 실험을 진행하였다. 공시 과실은 창원시 성산구 귀산동 청해농장 과원에서 재배한 키위(그린키위 헤이워드종)를 성숙기(10/28-11/5)에 수확하여 저온 저장고에 저장하였다가 1차적으로 과중이 90-110g이고 상처, 병충해가 없는 것을 선과하였다. 2차적으로 동일한 과중을 기준으로 다시 선과하여 실험에 사용하였다. 이때, 키위의 가장 대표적인 품질 변화 지표로서 등온의 밀폐 조건에서 키위의 에틸렌 발생량을 측정하고 에틸렌 발생의 온도 의존성을 확인하였다. 그 다음 실제 소비자의 조건을 고려하여 단순 밀폐 조건이 아닌 필름을 이용한 일종의 제한적인 MAP 조건으로 키위를 밀봉 포장한 후, 실제 현장에서 판단되는 당도 및 경도를 대상으로 시간에 따른 변화를 측정하여 후숙에 대한 kinetics를 분석하였다. 앞서 언급했듯이 키위의 후숙은 충분히 성장한 키위가 자체적으로 형성하는 에틸렌이 자가촉매적으로 증가하여 호흡을 급증시키는 climacteric 현상에 기인한다. 하지만 공기 중에 노출된 상태에서는 수분의 증발 등으로 인해 후숙이 제대로 진행되지 않는다. 따라서 원활한 후숙의 진행을 위해 LDPE 필름 (50mic, Daemyung Polytec Co., Seoul, Korea)을 이용하여 수분 증발을 막고 키위의 호흡을 저해하지 않는 제한적 MAP 조건을 구성하여 저장 실험을 진행하면서 품질 변화를 측정하였다.

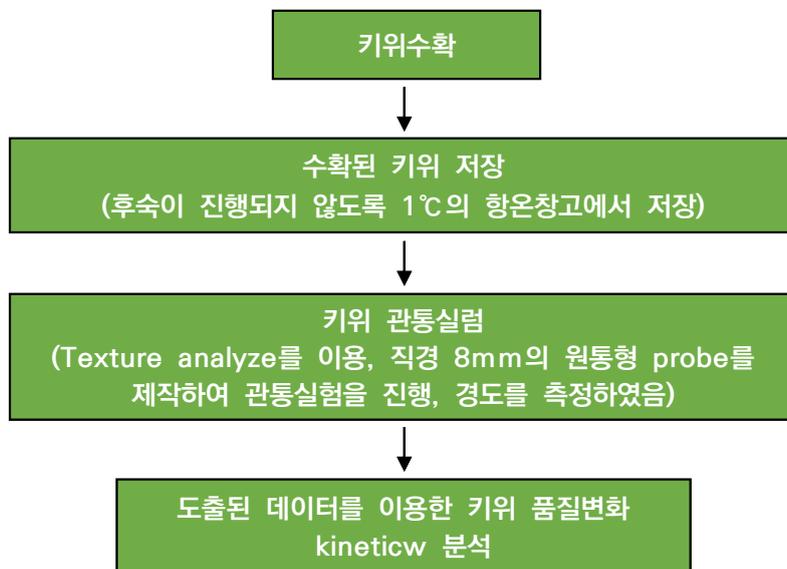


그림 16. 키위 kinetics 분석 개요도

(가) 시간에 따른 당도 및 경도 변화 측정 결과 (n=15)

표 1. 25, 20°C에서의 시간에 따른 키위 경도 및 당도 변화 결과 (n=15)

| 25도 | 0일차 | 1일차 | 2일차 | 3일차 | 4일차 | 5일차 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 경도 (N) | 29.7 ± 7.5 | 26.8 ± 4.9 | 21.7 ± 5.2 | 18.9 ± 4.5 | 16.1 ± 4.8 | 13.7 ± 3.5 |
| 당도 (Brix) | 8.9 ± 1.1 | 10.9 ± 0.9 | 10.2 ± 1.3 | 11.3 ± 1.2 | 11.5 ± 0.5 | 12.9 ± 0.6 |

| 20도 | 0일차 | 1일차 | 2일차 | 3일차 | 4일차 | 5일차 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 경도 (N) | 30.7 ± 6.7 | 28.7 ± 5.5 | 25.9 ± 4.8 | 23.2 ± 3.7 | 21.5 ± 3.9 | 18.4 ± 2.9 |
| 당도 (Brix) | 8.3 ± 1.2 | 9.9 ± 1.1 | 10.9 ± 1.4 | 10.1 ± 1.5 | 12.0 ± 0.7 | 11.0 ± 1.2 |

경도 측정은 texture analyzer (TA-XT2, Stable Micro System Co., London, UK)에 penetrometer cylinder probe (직경 8 mm)를 사용하여 측정하였다. 키위의 중심부를 기준으로 관통 속도를 2 mm/sec로 하여 10 mm 깊이까지 측정하였으며 관통 시 발생하는 최대 경도 (N)를 측정하여 경도값으로 결정하였다. 또한 당도의 경우 키위를 착즙, 디지털당도계를 이용하여 Brix를 측정하였다.

지시계에 적용하기 위한 품질 지표의 요건은 시간에 따른 품질 지표의 변화 양상이 충분히 크고 일관되어 지시계에 색 변화 정도와 대응될 수 있어야 한다는 점이다. 이 때 실험에서 당도에 비해 경도가 상대적으로 변화량이 높고 일관된 변화양상을 나타내어 품질변화를 보다 정확히 대변한다고 판단되었으며, 최종적으로 경도를 지시계 개발을 위한 키위 숙기 품질 지표로 결정하였다.

(나) 시간에 따른 등온 조건에서의 키위 경도 변화

등온 조건에서의 키위의 품질 변화 kinetics 분석 및 온도 의존성 결과를 도출하기 위해 앞서 결정된 경도를 대상으로 일반적인 실내 온도인 15°C, 20°C, 25°C의 등온 조건에서 키위를 저장 실험하며 경도 변화를 측정하였다(n=15).

시간에 따른 경도 변화는 모든 온도군에서 zero-order reaction의 양상을 나타냈으며, 그에 따라서 반응 속도 k값을 도출하였다. 이를 통해 일차적으로 지시계 설계에 요구되는 End point 설계에 반영하기 위한 기반 자료를 확보하였다.

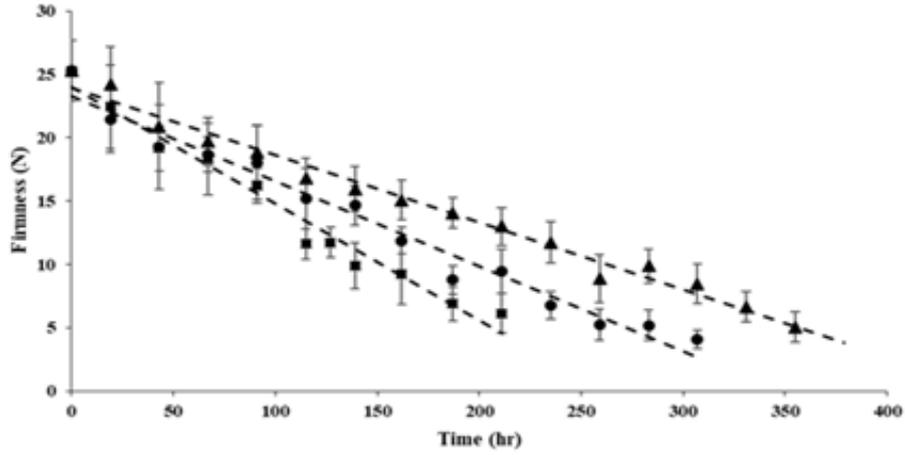


그림 17. 15, 20, 25°C에서의 키위 경도 변화 (n=15)

(다) 경도 변화의 온도 의존성

앞서 도출된 반응 속도 k 값을 기반으로 Arrhenius equation을 통하여 온도 의존성을 분석하였다.

$$\ln k = E_a/RT + \ln k_0$$

여기서 k 는 반응 속도 상수, E_a 는 activation energy (kJ/mol), T 는 절대 온도(K), R 은 기체 상수(8.314×10^{-3} kJ/mol•K)를 의미한다.

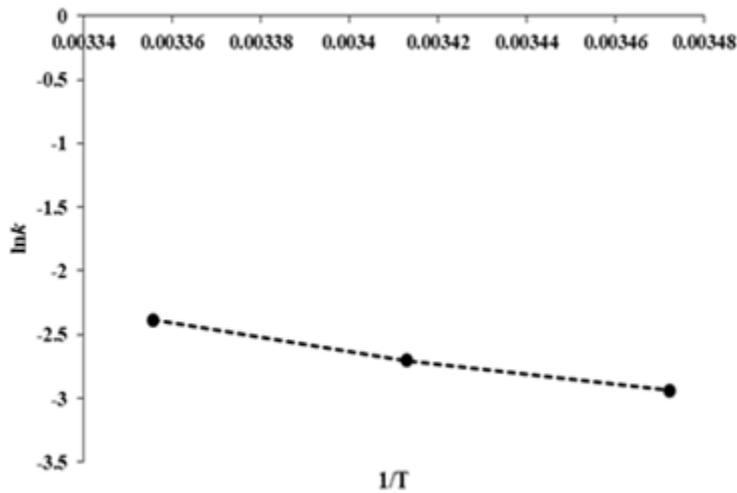


그림 18. 키위의 온도의존성(n=15)

경도 변화의 활성화 에너지(온도의존성)는 39.66 ± 4.64 kJ/mol로 도출하였고, 이 값은 키위의 호흡 반응의 활성화 에너지인 35kJ/mol과 거의 일치함을 확인하였다. 최종적으로 지시계 설계에 요구되는 지시계의 end point 및 온도 의존성 설계에 반영하기 위한 기반 자료를 확보하였다.



그림 19. 키위의 지시계 개발 개요도

(2) 지시계 개발을 위한 키위의 숙기 등급표 구축

지시계 적용을 위해서는 키위의 품질 변화에 대한 등급표가 우선적으로 구축된 후에 지시계의 색 변화와 대응되어야 한다. 이 때 품질 변화 구간을 등급화하여 품질 변화의 정도를 명확히 구분하고, 후에 지시계의 색 또한 등급화하여 사용자가 육안으로 식별했을 때에 품질 변화를 정확히 파악할 수 있도록 한다. 따라서 15-20℃에서의 변온 조건을 구축한 후 같은 조건으로 키위를 저장하며 경도 변화를 측정하고, 이와 동시에 과숙 키위와 미숙 키위의 고유 물성을 관능적으로 경험시켜 물성이 다른 키위를 구별할 수 있도록 훈련된 30인의 관능검사 요원을 대상으로 하여 관능검사를 통해 9점 척도법으로 키위의 기호도를 평가한다.

15-20도

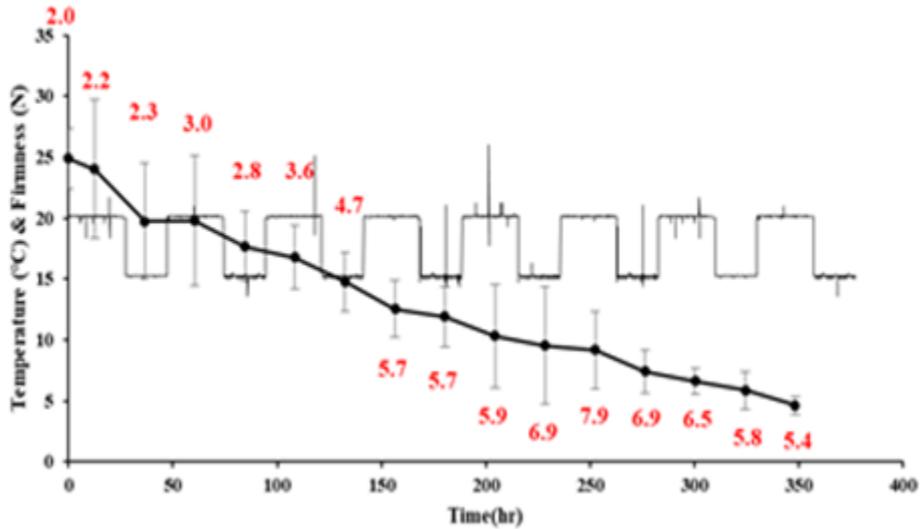


그림 20. 변온 조건(15-20°C)에서의 경도 변화에 따른 관능검사 결과(n=15)

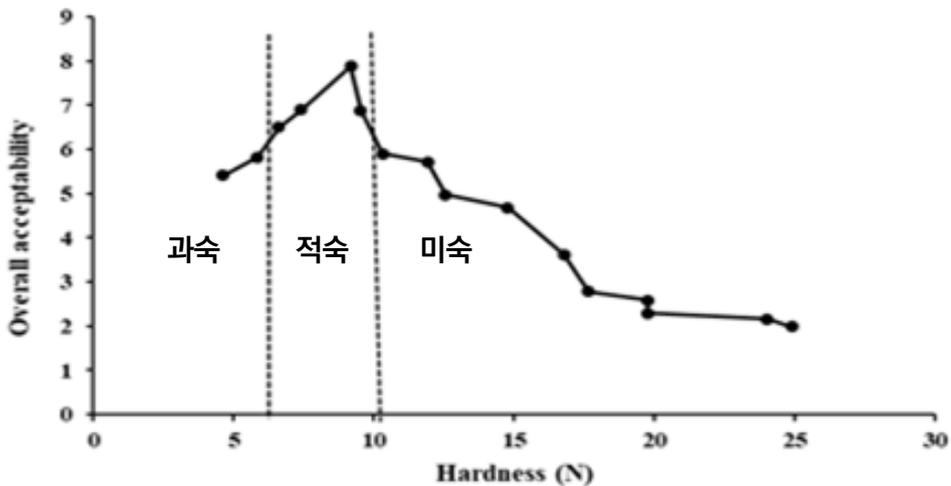


그림 21. 경도에 따른 관능검사 결과에 기반한 숙기 등급 구분

관능검사 결과 기호도는 경도 변화에 따라 완만하게 증가하다가 일정 경도 지점에서 최고점에 이르면 다시 감소하는 양상을 나타낸다. 변온 조건에서의 경도 변화에 따른 관능검사 결과를 기반으로 키위의 숙성도를 크게 미숙 (~10N), 적숙 (10N-6N), 과숙 (6N~)의 3가지로 분류하고 색 변화에 적용하기 위한 숙기 등급화 완료하였다. 이를 통해 지시계 적용 시 설계 factor로 요구되는 지시계의 색 변화 등급화에 반영하기 위한 기반 자료를 확보하였다.

이후 인쇄형 TTI, laccase TTI, lipase TTI를 제작하고 15, 20, 25°C 세 가지 등온 조건을 이용, E_a 를 도출하였으며, dynamic storage condition에서 실증 실험을 진행하였다. 키위의 후숙 정도는 경도를 대상으로 하였으며 TTI의 색 변화와의 관계를 비교 분석하여 키위의 후숙도 지시에 대한 적절한 TTI를 개발하였다.

(3) 창고 온도 관리용 적숙기 지시계

앞서 선행된 연구를 통하여 농가와 같은 키위 공급처에서 사용할 수 있는 창고 온도 관리용 적숙기 지시계를 개발하였다. TTI의 형태로는 인쇄형으로 제작되었다. 인쇄형 TTI는 산화-환원 염료의 산화형과 환원형의 색깔이 다른 점을 원리로 하는 시간-온도 이력지시계로서 산소에 의하여 반응하는 산화-환원 염료는 환원 상태로 유지된 염료가 주변 환경의 산소에 의해 산화되어 원래 가지고 있던 색이 아닌 다른 색으로 변화되는 메커니즘을 이용한다. 인쇄형 TTI의 반응 속도는 커버 필름의 종류 및 두께를 이용하여 조절된다 (Jung et al., 2016). 또한 TTI의 단가를 낮추기 위한 대량 생산 방법으로 산화-환원 염료를 지지체에 전이하는 방법으로 인쇄 방식이 적용되었다.



그림 22. 창고온도관리용 적숙기 지시계 디자인

현재 개발된 인쇄형 적숙기 지시계는 시간-온도 이력에 따라 노란색에서 초록색으로 변화함으로써 색 변화로 키위의 적숙기를 지시한다. 저장고별 1개월, 2개월, 3개월 등으로 shelf life를 다양화하여 적용할 수 있다.

키위의 창고 보관 시 품질 관리의 애로 사항을 해결하기 위해 [주]한국지능형포장산업에서 키위의 숙성도 지시계를 10,000매 구매하여 보성키위영농조합법인에 현장 적용을 진행하였다.



그림 23. 창고 온도 관리용 적숙기 지시계 현장 적용

키위 보관 창고에 1개월, 2개월, 3개월의 색 변화 기간을 가지는 키위 숙성도 지시계를 구매하여 키위 보관 박스에 부착하였고 한국지능형포장산업에서 주기적으로 방문하여 지시계의 품질 모니터링을 진행할 예정이다. 또한 추가적인 보성키위영농조합법인의 요구를 반영하여 색 변화 기간을 조정한 지시계를 추가 구매 후 상대적으로 단기간의 키위 보관 창고 적용이 예정에 있다.

(4) 소비자용 적숙기 지시계

앞서 선행된 연구를 통해 키위 포장 외측에 부착하여 소비자가 사용할 수 있는 적숙기 지시계를 개발하였다. 지시계 형태로는 효소형 TTI로 제작되었다. 효소형은 현재 상용화가 되어 있는 TTI 중 하나이다 (Agerhem and Nilson, 1981; Blixt et al., 1977). 적숙기 지시계는 선행 연구를 통하여 도출한 키위의 온도의존성과 유사한 온도의존성을 갖는 lipase와 laccase 효소를 이용하여 TTI를 제작하였다. Lipase TTI는 lipase가 기질을 가수분해하여 발생하는 pH 저하에 의존적인 색 변화를 나타내어 시간-온도 이력에 따

라 초록색에서 노란색을 거쳐 빨간색을 나타낸다 (Agerhem and Nilsson, 1981; Blixt et al., 1977; Bobelyn et al., 2006).

• Lipase 기반 TTI

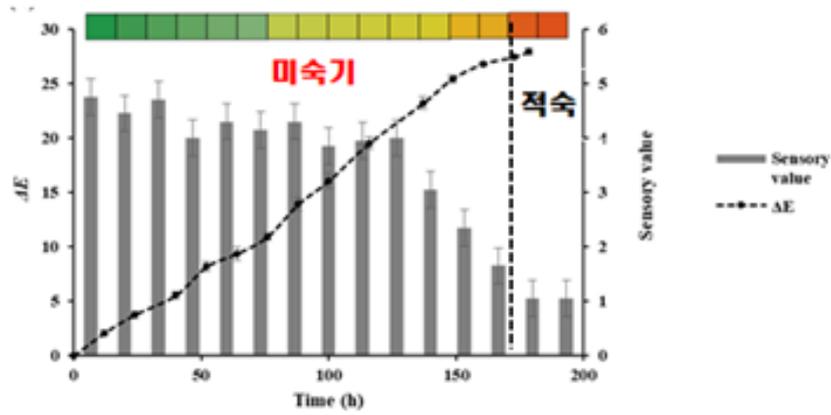


그림 24. Lipase TTI end point graph at 25°C

Laccase TTI는 전자들과는 다른 산화-환원 반응을 기반으로 하여 다양한 페놀류 및 향기 물질들을 산화시키는 성질을 갖고 있는 cuproenzyme으로, acid blue 25, methyl orange, methyl green 등의 기질을 탈색시켜 색 변화를 나타내거나 syringaldazine, hydroquinone, vanillinic acid, ABTS 등과 반응하여 색을 형성하여 시간-온도 이력에 따라 무색과 같은 연두색에서 진한 초록색으로의 색 변화를 나타낸다 (Kim et al., 2012).

• Laccase 기반 TTI

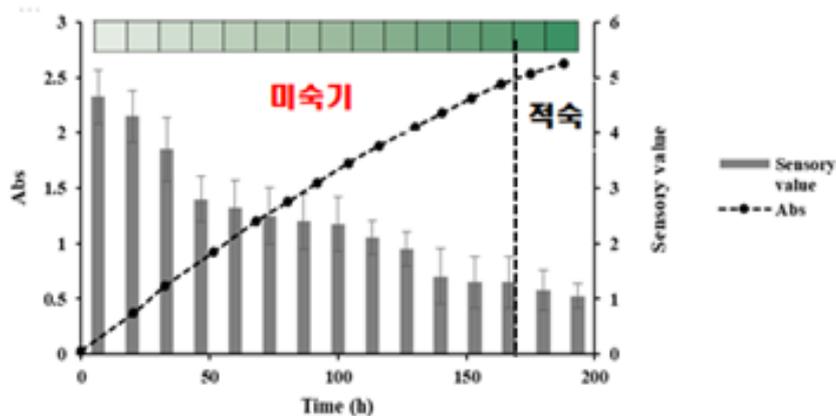


그림 25. Laccase TTI end point graph at 25°C



그림 26. 소비자용 적식기 지시계

소비자용 적식기 지시계의 형태는 가운데 격막을 기준으로 왼쪽 면에는 효소부가 주입되어 있고, 오른쪽 면에는 기질부가 주입되어 있다. 이러한 지시계를 키위 포장 외층에 부착한다. 소비자가 키위를 구매하였을 때부터 손으로 압력을 가해 격막을 터뜨리면 효소부와 기질부가 혼합하여 TII의 활성이 일어난다. 소비자는 활성화된 TII의 색 변화를 통해서 키위의 후숙 정도를 알 수 있으므로 적식기의 키위를 섭취할 수 있다.

1. Agerhem, H., Nilsson, H.J. 1981. Substrate composition and use thereof. United States Patent US 4,284,719.
2. Asiche, W. O., Mitalo, O. W., Kasahara, Y., Tosa, Y., Mworio, E. G., Ushijima, K., Nakano, R. and Kubo, Y. 2017. Effect of storage temperature on fruit ripening in three kiwifruit cultivars. *The Horticulture Journal*. 3, 403-410.
3. Atkinson, R.G., Gunaseelan, K., Wang, M.Y., Luo, L., Wang, T., Norling, C.L. 2011. Dissecting the role of climacteric ethylene in kiwifruit (*Actinidia chinensis*) ripening using a 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase knockdown line. *Journal of Experimental Botany*. 62, 3821-3835.
4. Barska, A., Wyrwa, J. 2017. Innovations in the food packaging market - Intelligent packaging - a Review. *Czech Journal of Food Science*. 35, 1-6.
5. Beever, D.J., Hopkirk, G. 1990. Fruit development and fruit physiology. In: Warrington, I.J., Weston, G.C. (Eds.), *Kiwifruit: Science and Management*. Ray Richards, New Zealand, 97-126.
6. Bhande, S.D., Ravindra, M.R., Goswami, T.K. 2008. Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. *Journal of food engineering*. 87, 116-123.
7. Blixt, K., Tiru, M. 1976. An enzymatic time/temperature device for monitoring the handling of perishable commodities. *Development in Biological standardization*. 36, 237-241.
8. Blixt, K., Tornmarck, S.I.A., Juhlin, R., Salenstedt, K.R., Tiru, M. 1977. Enzymatic substrate composition adsorbed on a carrier. United States Patent US 4,043,871.
9. Bobelyn, E., Hertog, M.L.A.T.M., Nicolai, B.M. 2006. Applicability of an enzymatic time temperature integrator as a quality indicator for mushrooms in the distribution chain. *Postharvest Biology and Technology*. 42, 104-114.
10. Brown, B.I., Wills, R.B.H. 1983. Postharvest changes in guava fruits of different maturity. *Scientia Horticulturae*. 19, 237-243.
11. Byeon, J.S., Eom, T.J. 2012. A packaging supplement for fruits. Korean patent. KR101136060B1.
12. Cheng, H., Zhu, G.M., Song, R. 2013. Progress of time-temperature indicators. *Chemical Industry and Engineering Progress*. 32, 885-889.
13. Choi, I.L., Baek, J.P., Kang, H.M. 2013. Identification of suitable film type and temperature

for green and gold kiwifruit MA condition using non-perforated film. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences*. 25, 202-204.

14. Ellouze, M., Pichaud, M., Bonaiti, C., Coroller, L., Couvert, O., Thuault, D., Vaillant, R. 2008. Modelling pH evolution and lactic acid production in the growth medium of a lactic acid bacterium: Application to set a biological TTI. *International Journal of Food Microbiology*. 128, 101-107.
15. Ellouze, M., Augustin, J.C. 2010. Applicability of biological time temperature integrators as quality and safety indicators for meat products. *International Journal of Food Microbiology*. 138, 119-129.
16. Farquhar, J.W. 1977. Time-temperature indicators in monitoring the distribution of frozen foods. *Journal of Food Quality*. 1, 119-123.
17. Fields, S.C., Prusik, T. 1983. Time-temperature monitoring using solid-state chemical indicators. In: 16th International Congress of Refrigeration, Paris, France, 839-846.
18. Fu, B., Taoukis, P.S., Labuza, T.P. 1991. Predictive microbiology for monitoring spoilage of dairy products with time-temperature integrators. *Journal of Food Science*. 56, 1209-1215.
19. Galagan, Y., Su, W.F. 2008. Fodable ink for time-temperature control of food freshness: Novel new time-temperature indicator. *Food Research International*. 41, 653-657.
20. Gou, M.L., Guo, G., Zhang, J. 2010. Time-temperature chromatic sensor based on polydiacetylene (PDA) vesicle and amphiphilic copolymer. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 150, 406-411.
21. Giannakourou, M.C., Koutsoumanis, K., Nychasc, G.J.E., Taoukis, P.S. 2005. Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain. *International Journal of Food Microbiology*, 102, 323-336.
22. Giannakourou, M.C., Taoukis, P.S. 2003. Kinetic modeling of vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions. *Food Chemistry*. 83, 33-41.
23. Grisius, R., Wells, J.H., Barrett, E.L. 1987. Correlation of time-temperature indicators response with microbial growth in pasteurized milk. *Journal of Food Processing and Preservation*. 11, 309-324.
24. Han, E.S. 1993. Fruit storage and processing technology in Korea. Agri Cooperative Development Institute. 143.
25. Hertog, M.L.A.T.M., Nicholson, S.E., Jeffery, P.B. 2004. The effect of modified atmospheres on the rate of firmness change of 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*. 31, 251-261.
26. Hong, J., Youn, K., Choi, Y.H. 1998. Optimization for the process of osmotic dehydration for the manufacturing of dried kiwifruit. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 30, 348-355.

27. Hu, X.G., Li, X.L., Park, S.H., Kim, Y.H., Yang, S.I. 2016. Nondestructive monitoring of kiwi ripening process using colorimetric ethylene sensor. *Bulletin of the Korean Chemical Society*. 37, 756-762.
28. Jensen, T., Debord, W.K., Hatchett, J. 2013. Perishable product electronic label. Chinese Patent 1759303B.
29. Kuswandi, B., Maryska, C., Jayus, Abdullah, A., Heng, L.Y. 2013. Real time on-package freshness indicator for guavas packaging. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 7, 29-39.
30. Kuswandi, B., Murdyaningsih, E.A. 2017. Simple on package indicator label for monitoring of grape ripening process using colorimetric pH sensor. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 11, 2180-2194.
31. Kim, E.J., Kim, K.H., Kim, Y.A., Lee, S.J. 2012. Potential use of natural pigments on laccase-based TTI prototype: Substrate specificities and variations in Arrhenius activation energy. *Food Science and Biotechnology*. 21, 1451-1456.
32. Kim, K.H., Kim, E.J., Lee, S.J. 2012. New enzymatic time-temperature integrator (TTI) that uses laccase. *Journal of Food Engineering*. 113, 118-123.
33. Lang, C., Hübert, T. 2012. A colour ripeness indicator for apples. *Food Bioprocess Technology*. 5, 3244-3249.
34. Lee, S.J., Jung, S.W. 2013. Time-temperature indicator, method for manufacturing the time-temperature indicator, quality guarantee system using the time-temperature indicator, and quality guarantee method using the quality guarantee system. *International Patent Application WO 002552 A3*.
35. MacRae, E.A., Lallu, N., Searle, A.N., Bowen, J. 1989. Changes in the softening and composition of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) affected by maturity at harvest and postharvest treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 49, 413-430.
36. MacRae, E.A., Paul Quick, W., Christina, B., Mark, S. 1992. Carbohydrate metabolism during postharvest ripening in kiwifruit. *Planta*. 188, 314-323.
37. Manske, W.J. 1976. Selected time interval indicating device. *United States Patent US 3,954,011*.
38. McGlone, V.A., Kawano, S. 1998. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR-spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 13, 131-141.
39. Mendoza, T.F., Welt, B.A., Otwell, S., Teixeira, A.A. 2004. Kinetic parameter estimation of time-temperature integrators intended for use with packaged fresh seafood. *Journal of Food Science*. 69, 90-96.
40. Müller, P., Schmid, M. 2019. Intelligent packaging in the food sector: A brief overview.

Foods. 8, 16.

41. Norrby, H., Nygårdh, M. 2011. Label having a temperature-monitoring function, a package for goods provided with a label, as well as a method and equipment for the application of labels to packages for goods. United States Patent 7,878,410 B2.
42. Oh, H.J., Jeon, S.B., Kang, Y.H., Yang, Y.J., Kim, S.C., Lim, S.B. 2011. Chemical composition and antioxidative activity of kiwifruit in different cultivars and maturity. *Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition*. 40, 343-349.
43. Patel, G.N., Preziosi, A.F., Baughman, R. H. 1976. Conjugated acetylene group containing compound for use on perishable foods. United States Patent US 3, 999, 946.
44. Patel, G.N., Yee, K.C. 1980. Diacetylene time-temperature indicators. United States Patent US 4,228,126.
45. Pérez-Luna V.H., Betala P.A. 2011. Nanoparticle based thermal history indicators. United States. Patent 8,033,715 B2.
46. Pratt, H. K., Reid, M. S. 1974. Chinese gooseberry: Seasonal patterns in fruit growth and maturation, ripening, respiration, and the role of ethylene. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 25, 747-757.
47. Qiao, L., Lu, L.X., Tang, Y.L. 2013. Monitoring storage shelf life for chilled fresh pork using enzymatic time-temperature indicator. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 29, 263-269.
48. Qian, J., Wu, J., Zheng, G.L. 2012. Saccharifying enzyme type time-temperature indicator. Chinese Patent Application 102495052A.
49. Ritenour, M.A., Crisosto, C.H., Garner, D.T., Cheng, G.W., Zoffoli, J.P. 1999. Temperature, length of cold storage and maturity influence the ripening rate of ethylene-preconditioned kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*. 15, 107-115.
50. Rodriguez, N., Zaritzky, N.E. 1983. Development of a time-temperature integrator indicator for frozen beef. *Journal of Food Science*. 48, 1526-1531.
51. Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., Tang, R. 2015. Review of time temperature indicators as quality monitors in food packaging. *Packaging Technology and Science*. 28, 839-867.
52. Shellhammer, T.H., Singh, R.P. 1991. Monitoring chemical and microbial changes of cottage cheese using a full-history time-temperature indicator. *Journal of Food Science*. 56, 402-405.
53. Singh, R.P., Wells, J.H. 1987. Monitoring quality changes in stored frozen strawberries with time-temperature indicators. *International Journal of Refrigeration*. 10, 296-300.
54. Simpson, R., Almonacid, S., Nuñez, H., Pinto, M., Abakarov, A., Teixeira, A. 2012. Time

- temperature indicator to monitor cold chain distribution of fresh salmon (*salmo salar*). *Journal of Food Process Engineering*. 35, 742-750.
55. Skjervold, P.O., Salbu, B., Heyerdahl, P.H., Lien, H. 2007. Full history time-temperature indicator system. United States Patent US 7,290,925 B1.
 56. Smolander, M. 2003. The use of freshness indicators in packaging. In: R. Ahvenainen (Ed.), *Novel Food Packaging Techniques*. Woodhead, Auckland, 128-143.
 57. Taoukis, P.S., Fu, B., Labuza, T.P. 1991. Time-temperature indicators. *Food Technology*. 45, 70-82.
 58. Taoukis, P.S., Labuza, T.P. 1989. Reliability of time temperature indicators as shelf life monitors of food products. *Journal of Food Science*. 54, 783-788.
 59. Tsironi, T., Gogou, E., Velliou, E. Taoukis, P.S. 2008. Application and validation of the TTI based chill chain management system SMAS (Safety Monitoring and Assurance System) on shelf life optimization of vacuum packed chilled tuna. *International Journal of Food Microbiology*. 128, 108-115.
 60. Tsironi, T., Salapa, I., Taoukis, P.S. 2009. Shelf life modelling of osmotically treated chilled gilthead seabream fillets. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 10, 23-31.
 61. Verghese, K., Lewis, H., Lockrey, S., Williams, H. 2015. Packaging's role in minimizing food loss and waste across the supply chain. *Packaging Technology and Science*. 28, 603-620.
 62. Wells, J.H., Singh, R.P. 1985. Performance evaluation of time-temperature indicators for frozen food transport. *Journal of Food Science*. 50, 369-371.
 63. Wells, J.H., Singh, R.P. 1988. Response characteristics of full-history time-temperature indicators suitable for perishable food handling. *Journal of Food Processing and Preservation*. 12, 207-218.
 64. Wells, J.H., Singh, R.P. 1988. Application of time-temperature indicators in monitoring changes in quality attributes of perishable and semiperishable foods. *Journal of Food Science*. 53, 148-152.
 65. Welt, B.A., Sage, D.S., Berger, K.L. 2003. Performance specification of time-temperature integrators designed to protect against botulism in refrigerated fresh foods. *Journal of Food Science*. 68, 2-9.
 66. Wu, D., Hou, S., Chen, J., Sun, Y., Ye, X., Liu, D., Meng, R., Wang, Y. 2015. Development and characterization of an enzymatic time-temperature indicator (TTI) based on *Aspergillusniger* lipase. *LWT-FoodScienceandTechnology*. 60, 1100-1104.
 67. Xavier, V.G. 2006. Time temperature indicator (TTI) system. European Patent 1725846.
 68. Zweig, S.E. 2005. Electronic time-temperature indicator. United States Patent 6950028 B2.

국제 무역자유화와 농산물 시장 개방 확대에 따라 우리나라 키위 재배농가에서도 소득 증대를 위해 키위 수출을 활발하게 추진되고 있으나 수출현장에서 발생하는 여러 장애요인은 안정적인 수출시장 확보의 걸림돌로 작용하고 있는 실정이다. 일본을 비롯한 주요 키위 수출대상국 별로 자국의 농업을 보호하고 농식품의 안전성을 확보하기 위해 수입 농산물에 대한 규제를 강화하여 무역장벽으로 활용하고 있어 이를 해결하는 방법을 찾는 것이 키위 수출 확대에 기여할 수 있는 중요한 시작점이 될 수 있으리라 생각한다. 따라서 키위 수출현장에서 빈번하게 발생하고 있는 잔류농약 문제의 원인 및 해결책을 살펴보고, 또한 최근 수출과정에서 과실 일부가 오목한 상태로 함몰되고 부패되는 증상을 보이기 때문에 클레임의 주요한 원인이 되고 있는 과실무름병에 대한 국내외 연구 동향을 살펴봄으로써 이를 해결할 수 있는 개선책을 제시하여 고품질의 키위를 수출하는데 도움이 되고자 한다.

우리나라 키위의 대표적인 수출대상국인 일본의 경우는 이미 2006년 5월에 농약 허용물질목록 관리제도(PLS, Positive List System)를 도입하여 지금은 정착단계에 있으며, 홍콩의 경우는 2014년 8월부터 식품중 잔류농약규제법을 시행하면서 수입농산물에 대한 검역을 강화하고 있고 미국은 농약잔류허용기준(MRL, Maximum Residue Limits) 미설정 항목은 불검출을 적용하는 zero tolerance 제도를 운영하고 있는 실정이다. 이렇듯 일본, 홍콩, 미국 등 주요 키위 수출대상국 별로 잔류농약 규제가 엄격하게 지켜지고 있지만 키위 수출농가에서는 이에 대한 인식이 미흡하여 키위가 수출되는 과정에서 불합격 요인으로 잔류농약 초과검출에 의한 문제점이 지속적으로 나타나고 있는 실정이다. 2017년 2월에 보고된 국립농산물품질관리원의 내수 및 수출 농산물에 대한 안전성 분석 결과를 살펴보면 2016년에 재배된 키위에 대한 안전성 조사 결과, 53종의 농약이 총 598회 검출되었는데 그중에 79회 검출된 28종의 농약은 키위에 미설정된 성분으로 나타나 잔류농약 초과검출에 의한 내수 및 수출 부적합 비율이 심각한 수준임을 확인할 수 있었다. 현재 내수 및 수출 키위를 재배하는 농가에서 잔류농약 초과검출로 문제가 되고 있음에도 불구하고 많이 사용 중인 대표적인 농약에 대해 알아보면 다음과 같다. 살균제에는 Tebuconazole(트리아졸계로 키위 과실연부병 방제, 국내 키위 농가에서는 사용 가능하나 일본, 미국 수출농가에서는 사용 불가능), Tricyclazole(트리아졸계로 도열병 방제, 키위 미등록), Iprobenfos(유기인계로 도열병 방제, 키위 미등록), Pyraclostrobin(스트로빌루린계로 탄저병, 잿빛곰팡이병 방제, 키위 미등록) 등이 있으며 살충제에는 Chlorpyrifos(유기인계로 깍지벌레, 나방류 방제, 키위 미등록)와 Fenitrothion: MEP(유기인계로 깍지벌레, 노린재류 방제, 키위 미등록) 등이 있다. 그리고 대표적인 수출대상국인 일본 수출과정에서 문제되는 농약의 종류는 일

본 수출농가에서 사용 불가능함에도 불구하고 사용되고 있는 농약과 일본 수출농가 사용은 가능하나 허용기준이 초과되어 문제가 되는 농약으로 크게 나눌 수 있다. 먼저 일본 수출농가에서 사용 불가능 농약의 종류는 Carbendazim(잿빛곰팡이병 방제), Iprobenfos(도열병 방제), Pyraclostrobin(잿빛곰팡이병 방제), Tebuc-onazole(과실연부병 방제), Bifenthrin(노린재류 방제), Chlorantraniliprole(나방류 방제), Etofenprox(매미충 방제), Fenitrothion: MEP(노린재류 방제), Lambda-cyhal-othrin(나방류 방제), Lufenuron(나방류 방제) 등이 있으며 일본 수출농가에서 사용은 가능하나 많은 수출농가에서 허용기준 초과하여 수출과정에서 문제가 되는 농약은 Buprofezin(깍지벌레 방제), Deltamethrin(나방류 방제), Dinofenfuram(매미충, 깍지벌레 방제), Imidacloprid(매미충 방제) 등이 있다.

키위를 재배하는 농가에서 잔류농약 초과검출로 부적합 판정을 받는 결과가 빈번하게 발생하고 있는 또 다른 이유는 내수 및 수출 키위를 재배하는 과정에서 사용 가능한 농약의 수가 한정되어 있기 때문이다. 특히 수출농가의 경우는 수출대상국 별로 농약잔류허용기준이 서로 달라 수출농가의 농약선택 및 사용이 매우 제한적인 관계로 내수 출하용 농가에 비해 사용 가능한 허용 농약의 수가 더욱더 적어 현실적으로 효율적인 병해충 방제가 어려운 실정이다. 예를 들면 일본 수출농가의 경우는 키위에 발생하는 과실무름병 등 주요 7개 병해 방제를 위해 13종류의 농약만 사용이 가능하며 깍지벌레 등 주요 6개 충해 방제를 위해서는 9종류 농약만 사용이 가능하다(일본 수출용 키위 농약안전사용지침, 2018년 농진청). 특히 키위를 수확한 다음 저온저장한 후 후숙 과정에서 발생하기 때문에 수출 클레임에 매우 중요한 요인이 되는 과실무름병을 방제하기 위해 사용되는 살균제의 경우 내수 출하용은 베노밀 등을 포함해서 6종의 농약을 사용할 수 있으나 일본 수출농가에서는 4종의 농약만을 사용할 수 있을 뿐만 아니라 피리벤카브와 같은 농약은 농약잔류허용기준이 우리나라 2ppm에 비해 0.2ppm으로 현저하게 낮아 사용시 매우 조심해야 한다(그림 1).



그림 1. 국내 출하 농가와 일본 수출농가에서 과실무름병을 방제하기 위해 사용 가능한 농약들의 잔류허용기준을 비교한 결과

따라서 결과적으로 일본 등 주요 수출대상국에서 키위를 재배하는 과정에서 사용 가능한 농약들을 수출대상국 별로 파악하고 현재 우리나라에 등록되어 있는 농약 또는 사용 가능한 농약들 위주로 선별한 다음 키위 수출농가에 현장적용을 통해 주요 병해충 방제 효과를 검증한 후 해당 농약이 등록될 수 있도록 추진함으로써 수출농가의 현장어로 사항 중 대표적인 잔류 농약 초과검출 과 병해충 방제를 해결하는 노력이 필요할 것으로 생각된다(그림 2).

| 적용병해충 | 품목명 | 일반명 | 계통명 |
|-------------------------------------|---|---|--|
| 과실곰보병 | 트리플루시스트로빈 입상수화제 | Trifluorostrobin | 에이들 |
| 과실무름병(연부병) | 테부코나졸 입상수화제 / 유제 | Tebuconazole | 살비코클로스(연상수화제) / 로리쿠이(유제) |
| | 이미노다진 트리스알베실레이트 수화제 | Iminoctadine tris(albesilate) | 볼루트 |
| | 피리벤카르비 티오포나테-메틸 액상수화제 | Pyriproxyfen+Thiophanate-methyl | 민수유강 |
| | 아조스트로빈, 니페노나졸 액상수화제 | Azoxystrobin+Difenoconazole | 에이스트림 |
| | 베노밀 수화제 | Benomyl | 시일린트, 케어비케노밀, 우원케노밀, 베노밀, 하이맥스, 알렉트, 삼광베노밀, 베노라이트, 아리베노밀, 변라이트, 풀만베노밀, 디코스 |
| | 티오포나테-메틸 수화제 | Thiophanate-methyl | 하이저요민, 통방지요민, 고해란, 톱신일, 성보지요민, 광원농지요민, 치호물, 아리키요민, 지요민, 삼광지요민, 군지기, 지요민, 삼고지요민, 신고지요민, 신농지요민 |
| 귀양병 | 스트렙토마이신 발리다마이신이 수화제 | Streptomycin-Valdamycin-a | 헛피디 |
| | 옥살린산 스트렙토마이신 수화제 | Oxalic acid+Streptomycin | 스타-다이아신, 아우리 |
| | 구퍼하이드록사이드 입상수화제 | Copper hydroxide | 헌성 |
| | 구퍼설파이드베이스 수화제 | Copper sulfate basic | 뷰보르도 |
| | 구퍼옥시클로라이드 카사우마이신 수화제 | Copper oxychloride+Kasugamycin | 카스올 |
| | 옥시테트라사이클린하이드록라이드 스트렙토마이신황산염 입상수화제 | Oxytetracycline hydrochloride+Streptomycin(sulfate salt) | 옴블리, 쉐트어신 |
| 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄 스트렙토마이신황산염 수화제 | Oxytetracycline calcium alkyltrimethylammonium+Streptomycin(sulfate salt) | 이그리다이신 | |
| 균핵병 | 플루오르피 입상수화제 | Fluopyram | 피리리 |
| | 페리피라진 입상수화제 | Fenpyracamine | 펜피라 |
| | 이프로디온 수화제 | Iprodione | 세노브란, 군사리, 트레오, 인치이오트로, 로브탈, 깃털곰팡이아물록, 군사리, 살곰팡, 세노브란, 로비오, 글로프 |
| | 아조스트로빈 수화제 | Azoxystrobin | 켄세이션, 한적, 역방록, 가린스트, 아이트르, 에디스파, 나비나, 군매기, 두두두두 |
| 꽃해충병 | 구퍼옥시클로라이드 카사우마이신 수화제 | Copper oxychloride+Kasugamycin | 카스올 |
| | 발리다마이신이 입상수화제 | Valdamycin-a | 왕왕스덕트 |
| | 구퍼하이드록사이드 입상수화제 | Copper hydroxide | 헌성 |
| | 구퍼하이드록사이드 스트렙토마이신 수화제 | Copper hydroxide+Streptomycin | 토미나 |
| 깃털곰팡이병 | 옥시테트라사이클린하이드록라이드 스트렙토마이신황산염 입상수화제 | Oxytetracycline hydrochloride+Streptomycin(sulfate salt) | 켄트어신 |
| | 옥시테트라사이클린칼슘알킬트리메틸암모늄 스트렙토마이신황산염 수화제 | Oxytetracycline calcium alkyltrimethylammonium+Streptomycin(sulfate salt) | 이그리다이신 |
| | 이프로디온 수화제 | Iprodione | 인치이오트로, 로브탈, 깃털곰팡이아물록, 군사리, 살곰팡, 세노브란, 로비오, 글로프 |
| | 보스칼리드 입상수화제 | Boscalid | 루강, 키투스 |
| | 보스칼리드, 플루오로피 액상수화제 | Boscalid+Fluopyram | 에스올 |
| | 카벤다짐, 디에톨렌카르브 수화제 | Carbendazim+Dietholencarb | 제고란 |
| 원주노병 | 펜티오피라이드 입상수화제 | Penthiopyrad | 골드라임 |
| | 플루오르피 입상수화제 | Fluopyram | 피리리 |
| | 사이프로디닐 입상수화제 | Cyprodinil | 슈니스 |
| | 클로란티올 입상수화제 | Cloranthol | 클로리 |
| | 스피로테트라메트 입상수화제 | Spirotetramat | 도넬트 |
| | 아세트아미노프라이드 수화제 | Acetaminprid | 도스피랑, 켈트스카, 사르틸, 이학트 |
| 불룩종사병 | 디노테퓨란 입상수화제 | Dinotefuran | 노스 |
| | 부프로페진, 디노테퓨란 수화제 | Buprofezin+Dinotefuran | 강력 |
| | 아세트아미노프라이드, 부프로페진 수화제 | Acetaminprid+Buprofezin | 피지클로드 |
| | 아미트라즈, 부프로페진 유제 | Amitraz+Buprofezin | 어어로, 꼭지힐, 용어상 |
| | 티아메톡삼 입상수화제 | Thiamethoxam | 어어린, 아라지 |
| | 스피노사드 입상수화제 | Spinosad | 슈미탈, 혼상 |
| 뿌리혹진균 | 부프로페진, 디노테퓨란 수화제 | Buprofezin+Dinotefuran | 강력 |
| | 스피로테트라메트 입상수화제 | Spirotetramat | 엘라케이트 |
| | 이미다졸로피리드 스피네토라미 입상수화제 | Imidazo-pyrid+Spinetoram | 힐리란 |
| | 아크리니트린 액상수화제 | Acrinathrin | 올해라 |
| 데미미충 | 포스피라제이트 입제 | Fosphiazate | 로코자이, 선용탄, 선용엔, 자력, 뷰아존 |
| | 카두사포스 입제 | Cadusafos | 이파어 |
| | 비펜트린, 카두사포스 입제 | Bifenthrin+Cadusafos | 슈피칼 |
| 얼마뿌지나방 | 에토펜프로프록 수화제 | Etofenprox | 타카온, 옹스카, 로비오, 코보칼 |
| | 이미다졸로피리드 입상수화제 | Imidazo-pyrid | 피리수르, 커린스, 코니드 |
| | 티아메톡삼 입상수화제 | Thiamethoxam | 어어린, 아라지 |
| | 아세트아미노프라이드, 부프로페진 유제 | Acetaminprid+Buprofezin | 부칼란, 선미트릭 |
| 무화위진딧물 | 디노테퓨란 유제 / 유화제 | Dinotefuran | 핀틸 |
| | 카리프엔티로틀로린이드 수화제 | Caripen hydrochloride | 도제이, 화스클로스, 의스리, 정원, 신포칼라진, 미스(슈유) / (신비르, 옹스카, 핵드라(유제)) |
| | 클로란트릴리프롤 입상수화제 | Chlorantraniliprole | 어어린, 엘다, 신포칼라진, 피칸 |
| | 비스트릭플루트, 불룩종사병, 무화위진딧물, 미디어디드 입상수화제 | Bistrifluron+Flubendiamide | 올라로라 |
| 과실무름병(연부병) | 클로란티올 입상수화제 | Cloranthol | 올해라 |
| | 살비코클로스 입상수화제 | Sulfoboror | 스프라이트 |

그림 2. 주요 수출대상국인 일본으로 수출하는 농가에서 사용 가능 또는 불가능한 농약 목록

수출대상국 별로 농약잔류허용기준이 서로 다르고 수출농가에서 사용 가능한 농약이 제한적이라는 문제점과 더불어 효과적인 병해충 방제 방법을 도출하기 위해서는 현재 키워 수출농가의 주요 병해충에 대한 방제 효율에 대한 검증이 무엇보다 중요하다고 생각한다. 따라서 일본 수출농가에서 소재한 일부 지역에서 사용 중인 병해충 방제력을 수집한 후 농약들의 계통 및 작용기작 중심으로 분석한 결과, 수출농가 별로 서로 다른 자체 방제력을 가지고 키워 병해충 방제를 하고 있었고 많은 수출농가 방제력의 경우 농약 작용기작을 고려하지 않는 채 동일한 작용기작을 가진 농약을 한 작기에 여러 차례 연용해서 사용하고 있었다. 특히 그림 3에서 확인할 수 있듯이 일부 수출농가의 경우는 과실무름병 방제에 사용되는 나1 작용기작을 가진 농약을 무려 8회 연용해서 사용하고 있었다. 또한 일본 수출농가가 있는 다른 지역의 영농조합 법인의 방제력 역시 연용의 횟수는 적었지만 나1 작용기작을 가진 농약을 지속적으로 연용하고 있었다. 소개된 방제력에서 연용하고 있는 나1 작용기작을 가진 농약은 살균제 저항성을 관리하는 국제위원회인 FRAC(Fungicide Resistance Action Committee)에서 저항성 위험이 매우 높게 나타난다고 명시한 농약으로 이미 여러 병원균에서 저항성이 보고되었다. 그리고 방제력에서 깎지벌레와 매미충과 같은 해충 방제에 사용되는 농약 역시 작용 기작이 겹치는 것을 확인할 수 있었다.

| 살포일시 | 농약 품목명 | 작용 기작 번호 |
|--------|-----------------------|------------------|
| 3월 31일 | 옥시테트라사이클린 칼슘 | 라5 |
| | 알킬트리메틸암모늄·스트렙토마이신황산염 | 라4 |
| 4월 8일 | 사이프로디닐 | 라1 |
| 4월 20일 | 베노밀 | 나1 |
| 5월 10일 | 뷰프로페진·디노테푸란 | 16·14a |
| 5월 23일 | 카벤다짐·디에토펜카브 | 나1·나2 |
| 6월 8일 | 베노밀, 이미녹타딘트리스알베실레이트 | 나1, 카 |
| 6월 27일 | 베노밀, 티오파네이트메틸 | 나1, 나1 |
| 6월 28일 | 뷰프로페진·디노테푸란, 티오파네이트메틸 | 16·4a, 나1 |
| 7월 27일 | 티오파네이트메틸 | 나1 |
| 8월 10일 | 아족시스트로빈 | 다3 |
| 8월 11일 | 티오파네이트메틸, 델타메트린 | 나1, 3a |
| 8월 12일 | 티오파네이트메틸, 델타메트린 | 나1, 3a |

그림 3. 일본 수출농가가 포함된 일부 지역에서 사용 중인 병해충 방제력을 수집한 후 농약들의 작용기작 중심으로 분석한 결과

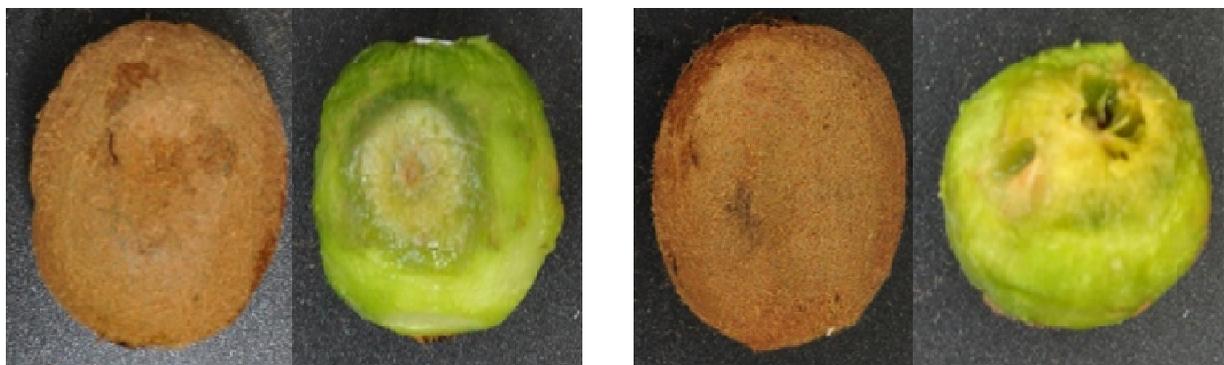
결과적으로 동일한 기작의 농약을 연용 하는 경우 장기적인 측면에서 보면 해당 농약에 대한 저항성 발현 위험성이 커지며 지속될 경우 병해충 방제가 효율적으로 이루어지지 못하기 때문에 과다한 농약 살포로 인한 잔류농약 초과검출을 야기하여 결론적으로 수출 부적합률을 높이는 문제점이 발생할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 수출농가의 경우 수출대상국 별로 병해충 방제 전문가가 참여하여 사용 중인 병해충 방제력을 참고하여 재배하는 과정에서 가장 문제가 되고 있는 병해충을 정확하게 진단한 다음 병해충 방제 수준을 분석함으로써 해당 수출농가의 병해충 방제 문제점을 파악하여 수출농가 별로 맞춤형 병해충 방제력 개발이 시도되어야 할 것으로 생각된다.

우리나라의 키위 재배면적과 재배품종이 다양해짐에 따라 키위를 재배하는 과정과 수확 후 저장이나 후숙 과정에서 약 10여종의 병이 발생하는데 그 중에서 키위나무 줄기, 잎과 꽃에 발생하여 과수원을 폐원시킬 만큼 치명적인 피해를 주는 키위 궤양병이 재배시 가장 문제가 되고 있는 병이다(Kim과 Koh, 2018). 최근에 골드키위 품종에 강한 병원성을 나타내는 병원균이 전국적으로 확산되고 있어 키위 궤양병에 대한 적극적인 방제가 필요한 실정이다. 따라서 키위 궤양병의 발생을 예방하는 모델에 대한 연구도 시도 되었으며 키위 궤양병 방제용 농약을 이용한 화학적 방제 방법을 포함하여 키위 궤양병을 효과적으로 예방하고 방제할 수 있는 맞춤형 종합적 방제 매뉴얼이 작성되어 보급되고 있다. 그러나 과실 일부가 오목한 상태로 함몰되고 물러지면서 부패되는 증상을 보이는 과실무름병은 국내에서 유통되는 과정 뿐만 아니라 특히 수출과정에서 클레임의 주요한 원인이 되고 있어 수출키위를 생산하는 수출농가에서 문제점으로 대두되고 있지만 연구는 미비한 수준이다(그림 4).



그림 4. 다양한 품종에서 수확 후 저장이나 후숙 과정에서 발생하는 키위 과실무름병 증상

우리나라 뿐만 아니라 전세계적으로 키위를 재배하고 있는 나라에서 키위 과실무름병을 일으키는 병원균에는 *Botrytis cinerea*, *Botryosphaeria dothidea*, *Diaporthe actinidae*, *Diaporthe nobilis*, *Diaporthe ceratozamia*, *Diaporthe perseae*, *Diaporthe phaseolorum*, *Diaporthe eres*, *Pestalotiopsis* sp., *Sclerotinia sclerotiorum* 등이 보고되고 있다. 2011년에 제주도에서 수행된 헤이워드와 우리나라에서 육성한 한라골드, 제시골드, 제시스위트 등에서 과실무름병의 발병율을 확인한 결과, 헤이워드는 74.8%, 한라골드는 65.3%, 제시스위트는 57.1%, 그리고 제시골드는 16.2%로 나타나 제시골드가 과실무름병에 대한 저항성이 큰 것으로 확인되었다(Kwon, 2011). 또한 병반 부위에서 218개 균주를 분리하여 동정한 결과, 병원균은 *Botryosphaeria dothidea*, *Diaporthe actinidae*, 그리고 *Botrytis cinerea* 등 3종류로 확인되었는데 각각의 병원균 검출률은 95.4%, 4.6%, 그리고 2.3%로 나타나 *Botryosphaeria dothidea*가 과실무름병의 주요 병원균으로 확인되었다(Kwon, 2011). 그리고 2013년과 2014년 전남 보성지역의 키위농가 4곳에서 수확한 과실에서 과실무름병의 발병과율을 조사한 결과, 2013년의 경우 헤이워드와 해금 품종에서 각각 24.2%와 6.3%로 나타났으며 2014년의 경우는 각각 20.5%와 4.4%로 나타났다(Kim과 Koh, 2018). 2013년에 수확한 헤이워드와 해금 품종에서 과실무름병을 일으키는 병원균을 검출한 결과, *Botryosphaeria dothidea* 검출률이 각각 81.4%와 84.9%로 나타난 반면 *Diaporthe actinidae* 검출률은 각각 14.6%와 9.7%로 나타났고 그 외 *Botrytis cinerea*, *Collectotrichum* sp., *Pestalotiopsis* sp., *Phoma* sp. 등이 각각 4%와 5.4%로 나타나 2011년 제주도의 결과와 같이 *Botryosphaeria dothidea*가 과실무름병의 주요 병원균으로 확인되었다. 이 결과는 2000년 전남지역 키위농가 8곳에서 수확한 헤이워드 품종에서 *Botryosphaeria dothidea*와 *Diaporthe actinidae* 검출률이 각각 79.7%와 14.2%로 나타난 결과와 거의 일치하는 수준이었다(Kim과 Koh, 2018).



Botryosphaeria dothidea
(Ripe rot, 과숙썩음병)

Diaporthe actinidae
(Stem-end rot, 꼭지썩음병)

그림 5. 키위 과실 무름 증상을 나타내는 대표적인 과숙썩음병과 꼭지썩음병의 증상

이러한 결과들을 종합해 보면 우리나라 키위 과실무름병을 일으키는 가장 주요한 병원균은 *Botryosphaeria dothidea*라고 할 수 있으며 그 다음으로 *Diaporthe actinidae*가 중요하다고 생각할 수 있다. 과숙썩음병(Ripe rot)을 일으키는 *Botryosphaeria dothidea*는 과피를 뚫고 침입할 수 있기 때문에 주로 과실 옆면이 엄지모양으로 움푹 누른 듯이 무르며 운문형의 병반이 형성되며, 꼭지썩음병(Stem-end rot)을 일으키는 *Diaporthe actinidae*은 *Botryosphaeria dothidea*와는 다르게 주로 과실의 꼭지 부분으로 침입하므로 과실 꼭지 부분이 무르며 썩어 들어가는 증상을 보여준다(그림 5).

그러나 전남 보성지역에서 2018년 10월 중순경에 헤이워드와 해금 품종을 수확한 후 저온저장고에 보관하다가 2019년 1월과 3월 중순경에 선과하는 과정에서 과실무름 증상이 심하게 보이는 과실들을 수집하여 본 연구실에서 병원균을 동정한 결과, 이전의 결과와 비슷하게 *Botryosphaeria dothidea*와 함께 *Diaporthe* sp. 그리고 *Botrytis cinerea*가 검출되었지만 이전에는 검출되지 않았던 *Alternaria* sp.와 *Nigrospora* sp.가 비록 낮은 비율이지만 함께 검출되었다. 또한 특이하게 그동안의 결과와 다르게 *Botryosphaeria dothidea*의 검출 비율이 상대적으로 낮게 나타난 반면 *Diaporthe* sp.의 비율이 높게 검출되었다. 이 결과는 2015년 경남 사천지역의 키위농가에서 헤이워드 품종을 수확한 후 저온저장고에 보관한 다음 5개월 뒤에 확인한 과실무름병의 발병과율에서 *Diaporthe* sp.의 검출률이 53.3%로 가장 높게 나타난 반면 *Botryosphaeria dothidea*의 검출률이 40%로 나타났으며 *Alternaria alternata*가 6.7%로 나타났고, 다른 감록 품종에서 *Nigrospora* sp.가 동정된 결과와 매우 비슷한 양상을 보였다(Kim 등, 2017). 이러한 결과들을 종합해 보면 키위 과실무름병을 일으키는 병원균의 분포는 지역 뿐만 아니라 재배농가별로 차이가 있을 것으로 생각되지만 최근에 들어 우리나라의 키위 재배지역에서 과실무름병을 일으키는 주요한 병원균의 분포가 변화되고 있을 가능성이 있기 때문에 이와 관련된 심도있는 연구가 지속적으로 추진되어야 한다고 생각한다.

그래서 *Botryosphaeria dothidea*에 의한 과숙썩음병(Ripe rot)과 *Diaporthe actinidae*에 의한 꼭지썩음병(Stem-end rot)으로 대표되는 키위 과실무름병에 대해 세계적인 최근 연구동향을 살펴봄으로써 키위 수출과정에서 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 과실무름병의 효율적인 방제 방법을 수립하는데 도움이 되고자 한다. 먼저 최근에 세계적으로 키위에 대한 연구를 가장 활발하게 진행되고 있는 중국의 경우 과실무름병을 일으키는 주요한 병원균은 *Botryosphaeria dothidea*와 *Diaporthe* 속에 해당하는 다양한 종들과 *Alternaria alternata*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Neofusicoccum parvum*, 그리고 *Pestalotiopsis microspora*등이 관련되어 있다고 보고 하였다. 여러 연구 결과들 중에서 몇 가지의 결과를 소개하고자 한다. 2015년 10월부터 12월까지 중국 9개 주요 재배 지방에서 키위 4품종의 과실을 수확한 다음 보관 기간 동안 부패한 105개의 키위로부터 병원균을 동정한 결과, 기존의 *Botryosphaeria dothidea*, *Diaporthe ambigua*, *Diaporthe lithocarpus*가 95개의 과실에서 분리되었다. 그러나 이전에 확인되지 않은 새로운 병원균을 나머지 10개에서 순수 분리하여 동정해 본 결과 *Alternaria alternata*로 확인되었다. 이

결과는 중국에서 과실무름병을 일으키는 병원균에 *Alternaria alternata*가 포함되는 첫 번째 보고라는 점에서 의미가 있다 하겠다(Li 등, 2017). 또한 최근 몇 년간 키위 과실이 부패되는 현상은 중국의 키위 생산지역 중 하나인 쓰촨성에서 심각한 문제로 대두 되었다. *Botryosphaeria dothidea*는 이미 과실무름병과 연관되어 있음이 알려져 있지만 *Botryosphaeriaceae*과에 속하는 다른 진균들이 키위 과실 부패 증상에 관련된 정보는 거의 알려져 있지 않았다. 따라서 쓰촨성 6개 지역에서 이병된 과실을 수집하여 형태학적 특성, 병원성 시험, ITS(internal transcribed spacer), transcription elongation factor 1- α , 그리고 β -tubulin 유전자의 DNA 염기서열 비교를 통해 *Botryosphaeriaceae*과에 속하는 135개 병원균을 *Botryosphaeria dothidea*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Neofusicoccum parvum* 등으로 확인하였다. 이 결과는 중국에서 키위 부패를 일으키는 병원균에 *Neofusicoccum parvum*과 *Lasiodiplodia theobromae*이 포함되는 첫 번째 보고이며 *Botryosphaeria dothidea*가 키위 과수원에서 분포자기와 위자낭각의 형태로 월동할 수 있고, 키위 과실무름병의 1차 감염원 역할을 할 수 있다는 보고이어서 의미가 크다 하겠다(Zhou 등, 2015). 그리고 중국에서 키위 과실의 수확 후 부패를 일으키는 발병률 확인을 통한 병원균의 분포에 대한 명확한 정보를 얻기 위하여 2014년과 2015년에 11개 키위 주요 재배 지역에서 수집한 138개의 이병과에서 순수한 병원균 76종을 분리한 다음 병원성 검정 및 ITS 염기서열 분석과 함께 형태학적 분석을 통해 병원균 특성을 검사한 결과 4개의 병원균이 관여하고 있음을 확인하였다. 이 4개의 병원균은 *Diaporthe* sp.(*Phomopsis* sp.), *Botryosphaeria dothidea*, *Alternaria alternata*, 그리고 *Pestalotiopsis microspora*로 동정되었으며 그 발병률은 각각 52.6%, 23.7%, 13.2%, 그리고 10.5%로 나타났다. 특히 *Diaporthe* sp.에 포함되는 종에는 *Diaporthe actinidiae*, *Diaporthe nobilis*, *Diaporthe ceratozamia*, *Diaporthe perseae*, *Diaporthe phaseolorum*, 그리고 *Diaporthe eres* 등이 동정되어 *Diaporthe* 속의 다양한 종들이 분포하고 있음을 확인 할 수 있었다. 그리고 특이한 점은 동정된 모든 병원균들을 인위적으로 과피에 상처를 준 다음 접종하면 병원성이 나타나지만 *Botryosphaeria dothidea*를 제외하고 다른 병원균들은 과피가 상처입지 않은 상태에서는 비병원성을 나타내었다. 이러한 결과는 수확 후 관리 과정에서 나타나는 과실무름병을 방제하는데 중요한 의미를 가지고 있다고 하겠다(Li 등, 2017). 그리고 중국이외의 국가인 터키와 칠레에서 최근에 과실무름병에 대해 발표된 연구 결과는 다음과 같다. 터키의 경우는 키위 재배의 역사가 오래되지 않았지만 몇 가지의 주요한 병이 키위 생산량 감소에 크게 영향을 주고 있는데 그 중에 하나인 꼭지썩음병(Stem-end rot)이 키위 과수원에서 점점 증가되고 있는 추세라고 보고하였다. 2014년 가을, 터키의 Eastern Black Sea 지역의 3개 키위 과수원에서 헤이워드에 발생한 꼭지썩음병을 형태학, 분자 및 병리학적 수준에서 분석을 통해 병원균이 *Diaporthe lithocarpus*/*Diaporthe hongkongensis*에 속한다는 것을 확인하였다. 이 결과는 터키나 키위를 재배하고 있는 다른 지역에서 키위 과실무름병 특히 꼭지썩음병에 발생한 병원균이 *Diaporthe hongkongensis*라는 첫 번째 보고라는 점에서 의미가 있다 하겠다(Erper 등, 2017). 그리고 키위 과실의 부패와 관련된 *Diaporthe*

속에 해당하는 종들을 식별하기 위해 2013년과 2014년 시즌 동안 칠레에서 수행한 연구는 헤이워드 품종 이병과에서 분리된 24개의 *Diaporthe* spp.를 형태학적 및 배양적인 특성과 ITS region, β -tubulin, translation elongation factor 1- α 유전자의 일부 염기서열 분석에 기초해 동정한 결과이다. *Diaporthe* spp.에서 확인된 종은 그동안 여러 연구에서 보고되었던 *Diaporthe actinidiae*은 동정되지 않았지만 *Diaporthe ambigua*, *Diaporthe australafricana*, *Diaporthe novem*, 그리고 *Diaporthe rudis* 등과 같이 중국에서 분리되지 않은 *Diaporthe* 속의 병원균들도 다양하게 확인되었으며 이 병원균들은 benomyl, pyraclostrobin, 그리고 tebuconazole 살균제에 민감한 결과를 보였다(Diaz 등, 2017). 이러한 중국을 포함한 외국의 연구 사례를 참고하여 과실무름병을 일으키는 다양한 병원균들의 특성에 대한 연구를 지속적으로 수행한다면 효과적인 과실무름병 방제 방법이 도출되어 고품질의 키위를 수출하는데 도움이 될 것이다.

결론적으로 키위 수출현장에서 빈번하게 발생하고 있는 잔류농약 문제점을 해결하고 병해충 방제의 효율을 높이기 위해서는 기존의 농약에 의존하기 보다는 수출대상국 별로 허용하는 새로운 농약의 선발과 국내 적용 기준의 설정 및 과학적 전문지식 기반의 종합적인 병해충 방제 전략을 수립하고 현장 적용을 통한 수출대상국별 맞춤형 수출키위 병해충 방제력의 개발이 절실히 필요하다고 생각한다.

1. Díaz, G.A., Latorre, B.A., Lolas, M., Ferrada, E., Naranjo, P. and Zoffoli, J.P. (2017) Identification and Characterization of *Diaporthe ambigua*, *D. australafricana*, *D. novem*, and *D. rudis* Causing a Postharvest Fruit Rot in Kiwifruit. *Plant Dis.* 101: 1402-1410.
2. Erper, I., Turkkan, M., Ozcan, M., Luongo, L. and Belisario, A. (2017) Characterization of *Diaporthe hongkongensis* Species Causing Stem-end rot on Kiwifruit in Turkey. *J. Plant Path.* 99: 779-782.
3. Kim, G.H. and Koh, Y.J. (2018) Diagnosis and Integrated Management of Major Fungal Fruit Rots on Kiwifruit in Korea. *Res. Plant Dis.* 24:113-122.
4. Kim, G.H. and Koh, Y.J. (2018) Incidence Rates of Major Diseases on Green-Fleshed Kiwifruit cv. Hayward and Yellow-Fleshed Kiwifruit cv. Haegeum. *Res. Plant Dis.* 24: 175-181.
5. Kim, M.J., Kwon, Y., Shin, M.H., Kim, J.G., Kwak, Y.S. and Kwack, Y.B. (2017) Fungal Infection Occurrence on New Cultivars of Kiwifruit Correlated with Fruit Soluble Solids Content and Firmness. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50: 215-225.
6. Kwon, S.Y., Kim, G.H., Koh, Y.J., Lee, Y.S., Shon, S.H., Kim, S-C., and Jung, J.S (2011) Incidence rates of postharvest fruit rots and detection rates of their pathogens on new kiwifruit cultivars bred in Korea. *Korean J. Plant Res.* 24: 599-603.
7. Li, L., Pan, H., Chen, M., Zhang, S. and Zhong, C. (2017) Isolation and identification of pathogenic fungi causing postharvest fruit rot of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) in China. *J. Phytopathol.* 165: 782-790.
8. Li, L., Pan, H., Chen, M.Y. and Zhong, C.H. (2016) First Report of *Pestalotiopsis microspora* Causing Postharvest Rot of Kiwifruit in Hubei Province, China. *Plant Dis.* 100: 2161.
9. Li, L., Pan, H., Liu, W., Chen, M.Y. and Zhong, C.H. (2017) First Report of *Alternaria alternata* Causing Postharvest Rot of Kiwifruit in China. *Plant Dis.* 101: 1046.
10. Zhou, Y., Gong, G., Cui, Y., Zhang, D., Chang, X., Hu, R., Liu, N. and Sun, X. (2015) Identification of *Botryosphaeriaceae* Species Causing Kiwifruit Rot in Sichuan Province, China. *Plant Dis.* 99: 699-708.

제2차년도 수출전략기술개발사업

키위 수출연구사업단 (동향보고서)

인 쇄 2019년 12월 26일

발 행 2019년 12월 31일

저 자 키위 수출연구사업단

발행인 정병석

발행처 전남대학교출판문화원

등 록 1981년 5월 21일 제53호

주 소 61186 광주광역시 북구 용봉로 77

전 화 062-530-0571~2

마케팅 062-530-0573

팩 스 062-530-0579

홈페이지 <http://www.cnup.co.kr>

비매품

ISBN 978-89-6849-722-3 (93520)



제2차년도
수출전략기술개발사업

키위 수출연구사업단
(동향보고서)