

과제구분	지역특화	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
경기 접목선인장 수출경쟁력 강화를 위한 무병종묘 생산 및 활용 확대 연구		화훼	'24~'25	선인장다육식물연구소	이재홍
접목선인장 바이러스 피해경감 기술개발		화훼	'24~'25	선인장다육식물연구소	이지혜
색인용어	접목선인장, 바이러스, 피해경감, 진단키트, 소독방법				

## ABSTRACT

Grafted cactus is a representative export floricultural crop produced using Korean cultivars and cultivation technologies, and Gyeonggi province is the primary producing area in Korea. However, viral diseases transmitted through infected plant materials or contaminated grafting tools reduce the graft success rate, plant growth, and quality, causing significant economic losses in fields. This study was conducted from 2024 to 2025 to develop technologies for mitigating virus damage in grafted cactus production systems. Virus-infected insects and weeds were investigated in cultivation sites, and six major cactus viruses including Cactus virus X (CVX) and Pitaya virus X (PiVX) were analyzed using real-time PCR. In addition, rapid field diagnostic kits based on Lateral Flow Assay (LFA) were developed, and disinfection methods for grafting tools were evaluated to prevent virus transmission during propagation. Viruses were detected in four species of insects, including thrips and whiteflies, and in 11 plant species. The developed diagnostic kits demonstrated high sensitivity and specificity, allowing for the detection of CVX and PiVX within 15 minutes. Moreover, disinfection using 0.5% sodium hypochlorite effectively prevented virus transmission through grafting tools and improved operational efficiency compared with conventional flame sterilization. These results provide practical technologies for early diagnosis, prevention of virus diseases in grafted cactus production systems, contributing to stable production and improved export competitiveness.

**Key words:** Grafted cactus, Cactus Viruses, Disease Management, Rapid Detection Kit, Tool Disinfection



## 1. 연구목표

접목선인장은 경기도 특화작목이자 우리나라 대표적인 화훼 수출작목으로 국내 생산의 대부분이 경기도에서 이루어지고 있으며, 미국과 일본 등 주요 국가로 수출되어 화훼 수출 산업에서 중요한 비중을 차지하고 있다.

접목선인장은 자구를 이용하여 영양번식 하므로 바이러스에 감염된 접수나 대목을 사용할 경우 바이러스가 지속적으로 축적될 가능성이 높으며, 접목 작업 과정에서 오염된 도구를 통해서도 바이러스가 쉽게 전염될 수 있다. 바이러스에 감염될 경우 모자이크, 황화, 조직 변형 등의 병징이 나타나며 생육 위축, 구직경 감소, 자구 생산량 감소 및 접목활착률 저하 등의 피해가 발생하여 생산성과 상품성이 저하된다(정 등, 2003). 특히 2종 이상의 바이러스가 복합 감염될 경우 피해가 더욱 심각하게 나타난다(곽 등, 2020).

그러나 식물 바이러스는 감염 이후 치료가 어렵고 화학적으로 방제할 수 있는 방법이 거의 없기 때문에 감염 예방과 확산 차단이 가장 중요한 관리 방법이다. 따라서 바이러스 발생 원인을 규명하고 생산현장에서 신속하게 진단할 수 있는 기술을 개발하며, 접목 작업 과정에서 바이러스 전염을 차단할 수 있는 관리기술을 확립하는 것이 필요하다(이 등, 2023).

이에 본 연구에서는 접목선인장 생산현장에서 발생하는 바이러스 피해를 경감하기 위하여 전염원이 될 수 있는 바이러스 보독 해충 및 감염 잡초를 조사하고, 주요 바이러스에 대한 신속 진단기술을 개발하며, 접목도구 소독방법을 확립하여 바이러스 전염을 예방할 수 있는 생산현장 관리기술을 개발하고자 하였다. 또한 이러한 기술개발을 통해 접목선인장 생산현장의 바이러스 감염을 최소화하고 안정적인 생산 기반을 구축하는 것을 목표로 2024년부터 2025년까지 2년간 연구를 추진한 결과는 다음과 같다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 접목선인장 바이러스 보독충 및 감염식물 조사(2024~2025)

접목선인장 재배지에서 바이러스 전염원으로 작용할 가능성이 있는 해충과 잡초를 조사하기 위하여 경기도 내 접목선인장 재배시설에서 흡즙성 해충과 주변 식물을 수집하였다. 수집된 해충은 총채벌레류, 가루이류, 진딧물, 깍지벌레류 등으로 분류하였으며, 잡초 또한 종류별로 채집하여 바이러스 감염 여부를 조사하였다.

채집된 시료의 바이러스 감염여부는 multiplex Real-time PCR Kit(코젠바이오텍社)를 활용하여 실시간 핵산증폭기술(Real-time PCR, qPCR)로 분석하였다. 검정 대상 바이러스는 Cactus virus X (CVX), Zygocactus virus X (ZVX), Cactus mild mottle virus (CMMoV), Opuntia virus X (OVX), Saguaro cactus virus (SCV) 및 Pitaya virus X (PiVX)로 바이러스의 감염 여부와 검출 바이러스 종류를 조사하였으며 실험에 사용된 바이러스 검정키트의 정보 및 분석조건은 표 1, 표 2 및 표 3과 같다.



표 1. 바이러스 검정키트 구성과 명칭

바이러스 검정키트 구성	명칭
Primer / Probe Mix 1 (CVX, ZVX, PiVX)	P <sub>1</sub>
Primer / Probe Mix 2 (CMMoV, OVX, SCV)	P <sub>2</sub>
2X RT-PCR Master Mix	2XM
Control 1 (CVX, ZVX, PiVX)	C <sub>1</sub>
Control 2 (CMMoV, OVX, SCV)	C <sub>2</sub>

표 2. 바이러스 검정을 위한 PCR 키트 반응액 조성 (단위 : µl)

검정키트 구성	시료	Positive Control <sup>1</sup>	Negative Control
2XM	10	10	10
P <sub>1</sub> 또는 P <sub>2</sub>	5	5	5
추출 RNA(C <sub>1</sub> 또는 C <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	5	(5)	-
합 계	20	20	15

1 Positive Control : 추출 RNA 대신 제품에 포함된 Control 1 또는 2를 첨가

2 C<sub>1</sub> : CVX, ZVX, PiVX 혼합, C<sub>2</sub> : CMMoV, OVX, SCV 혼합

표 3. PCR 키트 반응조건

온도(°C)	시간	Cycle(회)
50	30 min	1
95	10 min	1
95	15 sec	40
60	1 min	40

### 나. 접목선인장 바이러스 현장진단키트 개발(2025)

접목선인장에서 발생하는 주요 바이러스인 CVX와 PiVX를 대상으로 현장에서 신속하게 진단할 수 있는 간이진단키트를 개발하였다. 이를 위해 각 바이러스의 항원을 확보하여 마우스 면역화를 수행하고 항체 역가를 확인한 후 하이브리도마를 생성하여 단일클론 항체를 선별하였다. 이후 생산된 항체를 정제하여 항체의 특이성과 순도를 검증하였으며, LFA(Lateral Flow Assay) 기반의 진단키트 시제품을 제작하였다. 또한 고정항체와 검출항체를 선정하고 시료 추출 버퍼 조성 등 검출 조건을 최적화하여 바이러스 검출 민감도와 특이도를 평가하였다.



다. 접목선인장 접목도구 소독방법 개발(2025)

접목선인장 생산 과정에서 작업도구를 통한 바이러스 전염을 효과적으로 방지하기 위하여 접목도구 소독방법을 비교하였다. 화염소독, 70% 에탄올, 0.5% 차아염소산나트륨 및 시판 바이러스 방제제를 처리하여 시험하였으며 무처리를 대조구로 하였다.

바이러스에 감염된 식물체 즙액을 칼날에 도포한 접목도구를 시험처리에 사용하였다. 무처리는 자연 건조하였고, 화염소독은 알코올램프를 이용하여 칼날을 약 20초간 가열 소독하였다. 70% 에탄올, 0.5% 차아염소산나트륨 및 바이러스 방제제는 각각의 소독액에 칼날을 60초 및 300초 동안 침지 처리하였다. 이후 각 처리구별로 소독 후 칼날과 침지액을 대상으로 바이러스 검정 분석하여 바이러스 제거 효과를 비교하였다. 또한 소독 후 건조시간 등 작업시간을 측정하여 작업 효율성을 평가하였으며, 소독액 침지시간에 따른 접목도구의 부식 발생 여부를 조사하여 실용적인 접목도구 소독 조건을 검토하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 접목선인장 바이러스 감염 해충 및 잡초 조사

도내 접목선인장 재배농가와 연구소에서 수집한 해충의 바이러스 분석 결과는 표 4와 같다. 바이러스 보독층은 총채벌레류, 가루이류, 진딧물, 깍지벌레류 4종으로 확인되었으며 미동정된 기타 혼합 시료에서도 바이러스가 검출되었다. 추가적으로 해충이 기주하고 있거나 해충 피해가 의심되는 잡초를 수집하여 바이러스를 검정한 결과 바이러스에 감염된 잡초는 쾅이밥, 까마중 등 11종이었다. 해충과 식물에서 검출된 바이러스는 CVX와 PiVX 였다(표 5~7 및 그림 1).

표 4. 해충별 바이러스 분석결과

해충종류	검정시료수(점)	검출시료수(점)	검출률(%)	보독률(%) <sup>↓</sup>
총채벌레류	25	19	76.0	12.6
가루이류	22	7	31.8	6.1
진딧물(유시충)	1	1	100	100.0
깍지벌레류	7	4	57.1	40.0
기타(혼합) <sup>♯</sup>	6	4	66.7	-
계(평균)	61	35	(57.3)	-

※ 시료수집 및 검정시기: 2024년 5월~2025년 7월

↓ 보독률(추정):  $\rho = 1 - (1 - P)^{1/\bar{N}}$  (P= 검출률,  $\bar{N}$  = 평균개체수)

♯ 기타(혼합): 접목선인장 재배온실 내 포충기에서 채집한 혼합시료, 보독률 추정 불가

표 5. 해충별 바이러스 검출형태

해충종류	바이러스별 검출결과(건)			계
	PiVX	CVX	PiVX+CVX	
총채벌레류	-	4	15	19
가루이류	-	6	1	7
진딧물(유시충)	-	1	-	1
각지벌레류	1	2	1	4
기타(혼합)	1	3	-	4
합계	2	16	17	35
(검출률%)	(5.7)	(45.7)	(48.6)	(100.0)

표 6. 잡초 바이러스 분석결과

검정시료수(점)	검출시료수(점)	검출률(%)
36	15	41.6

※ 시료수집 및 검정시기: 2024년 5월~2025년 8월

표 7. 잡초 바이러스 검출형태

검출 바이러스(건)			계
PiVX	CVX	PiVX+CVX	
3	11	1	15

※ 시료수집 및 검정시기: 2024년 5월~7월



그림 1. 선인장 바이러스 검출 해충 및 잡초



### 나. 접목선인장 바이러스 현장진단키트 개발

접목선인장에서 검출되는 주요 바이러스인 CVX와 PiVX의 진단키트 개발을 위해 각각의 바이러스 항원을 확보하고 마우스 면역화를 추진하였다. 이후 항체 역가를 확인하고 최적의 하이브리도마를 생성 및 선별하였다. 하이브리도마를 활용해 항체를 대량생산하고 정제 후 순도와 특이성을 확인하였다(그림 2~5).

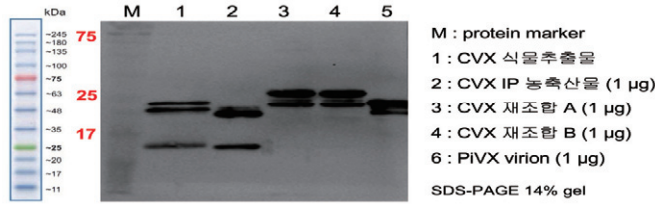


그림 2. PiVX, CVX 항원 확보

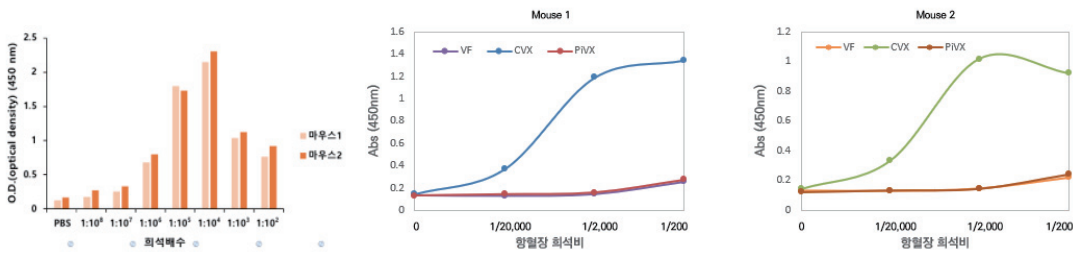


그림 3. 항원활용 마우스 면역화 및 항체 역가확인 (좌 PiVX, 우 CVX)

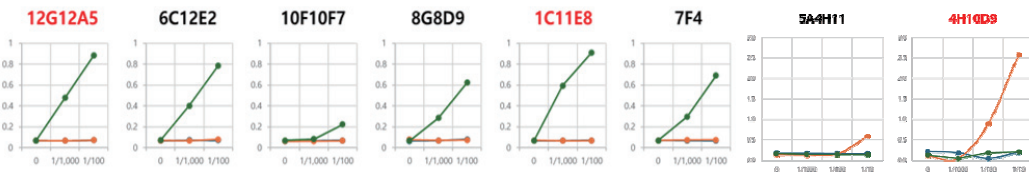


그림 4. 단일클론 항체 생산 하이브리도마 선별

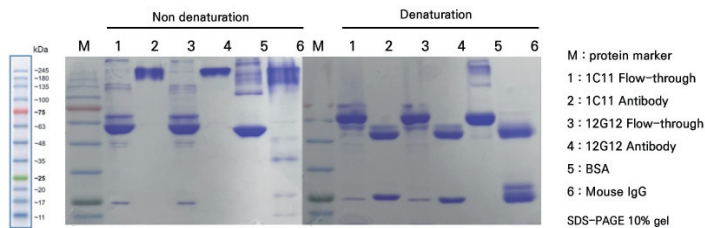
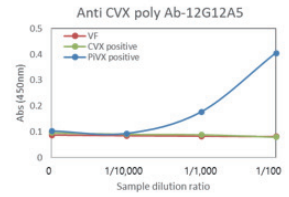
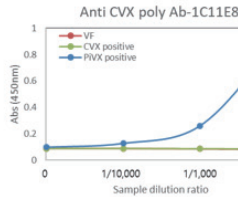
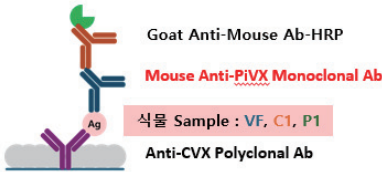


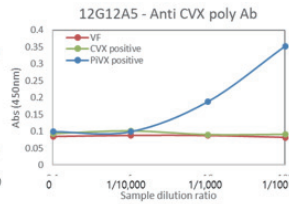
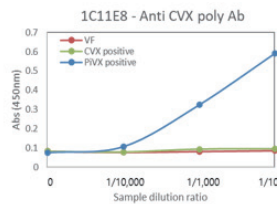
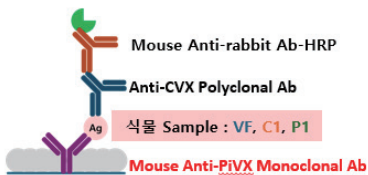
그림 5. 항체 정제 및 순도 검증

Lateral Flow Assay(LFA) 기반의 진단키트 제작을 위해 고정항체와 검출항체를 선정하고 바이러스를 최적으로 검출 할 수 있는 시료 추출 버퍼 조성 등 검출조건을 최적화하였다 (그림 6 및 7).

# Anti-CVX Polyclonal Ab – Mouse Anti-PiVX Monoclonal Ab

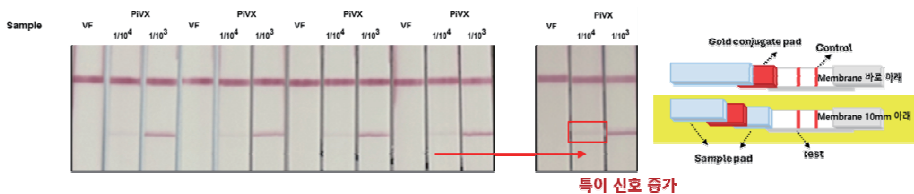


## Mouse Anti-PiVX Monoclonal Ab - Anti-CVX Polyclonal Ab

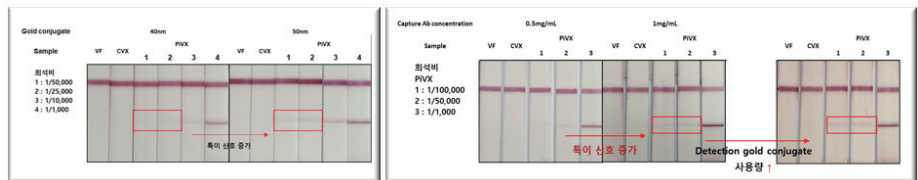


※ VF: Virus Free, C1: CVX감염 식물체, P1: PiVX감염 식물체

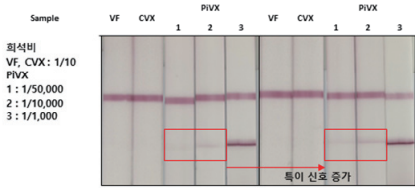
그림 6. 항체 교차반응 시험을 통한 고정 및 탐지항체 선정



<접합패드 조성>



<고정 및 검출조건>



<시료 추출방법>

그림 7. LFA 검출조건 최적화



최적화된 설정 조건을 기반으로 제작된 바이러스 진단키트 시제품의 검출 민감도와 특이도를 평가한 결과는 표 8 및 9와 같다. PiVX는 감염 식물체 1/50,000, CVX는 감염 식물체 추출물 1/10,000 희석비에서 15분 이내 신호가 검출되었으며 위양성과 교차 반응은 관찰되지 않았다(그림 8, 9 및 10). 이는 기존 원예작물용 진단키트들의 일반적인 검출 한계 범위(1/32~1/4,000)와 비교하였을 때(Choi et al., 2017 및 Cho et al., 2012), 미량의 바이러스 감염 식물체에 대해서도 조기 진단이 가능한 수준이었다.

표 8. PiVX 감염 식물체 희석비에 따른 현장 진단키트 신호 판독 시간

희석비	1/100	1/1000	1/10,000	1/25,000	1/50,000
신호판독시간(분)	0.5	5	7	10	15

※ PiVX 감염 식물체 바이러스 농도(추정):  $1.07 \times 10^9$  copies/g

표 9. CVX 감염 식물체 희석비에 따른 현장 진단키트 신호 판독 시간

희석비	1/100	1/1000	1/2,500	1/5,000	1/10,000
신호판독시간(분)	1	5	10	13	15

※ CVX 감염 식물체 바이러스 농도(추정):  $1.07 \times 10^9$  copies/g

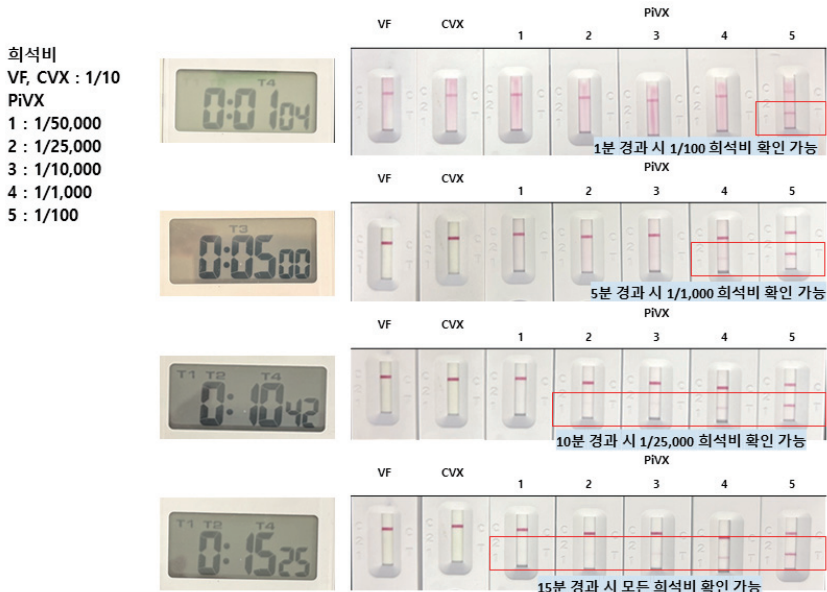


그림 8. PiVX 진단키트 시제품 민감도 및 반응시간

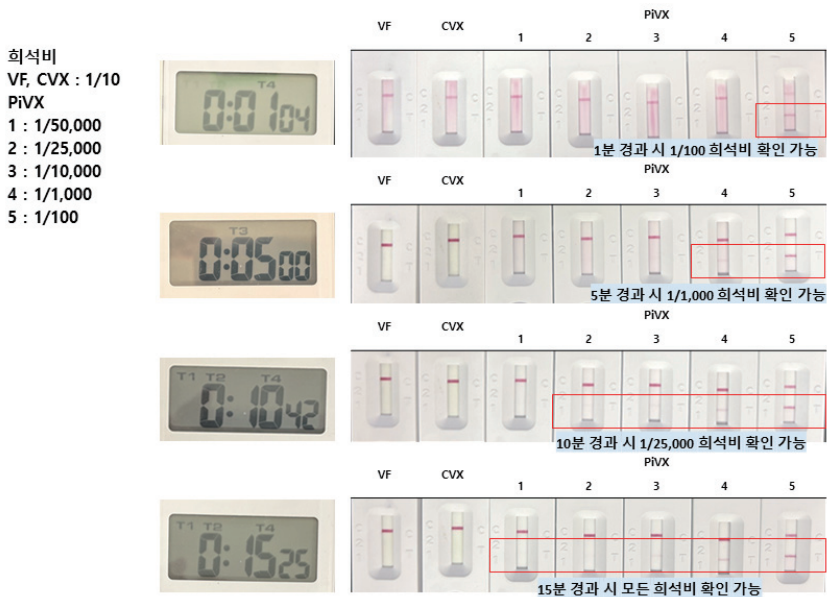


그림 9. CVX 진단키트 시제품 민감도 및 반응시간

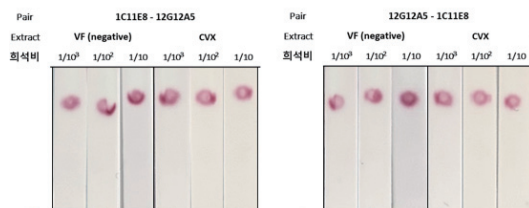


그림 10. PiVX, CVX 진단키트 시제품 특이도 진단

#### 다. 접목선인장 접목도구 소독방법 기술개발

접목선인장 바이러스 감염예방을 위해 작업도구를 소독시험한 결과는 표 10과 같다. 화염소독(관행)과 70% 알코올, 0.5% 차아염소산나트륨 및 바이러스 방제제로 각각 침지 소독한 결과 0.5% 차아염소산나트륨 처리구에서만 바이러스가 검출되지 않았다. 70% 에탄올 침지는 소독효과가 없었는데 지질막이 없는 바이러스는 단백질 껍질(캡시드) 구조를 가지고 있어 에탄올의 소독효과가 떨어질 수 있다는 보고(Ali et al., 2024)와 일치하였다.



표 10. 접목도구 소독방법별 바이러스 검정결과

구분	소독시간(초)	분석대상	바이러스 검출률(%)
무처리	0	칼날	100
		칼날 침지액(버퍼)	100
화염소독(관행)	20	칼날	20
70%알코올	60	칼날	100
		칼날 침지액	100
0.5% 차아염소산나트륨	60	칼날	0
		칼날 침지액	0
	300	칼날	0
		칼날 침지액	0
바이러스 방제제	60	칼날	100
		칼날 침지액	100
	300	칼날	100
		칼날 침지액	100

접목도구 소독방법별 작업시간을 조사한 결과는 표 11과 같다. 바이러스 소독 효과가 확인된 0.5% 차아염소산나트륨 처리시 건조 소요 시간이 화염소독시 식힘 소요시간 대비 86.1~97.3% 단축되어 바이러스 감염 예방 효과와 작업 효율성이 우수하였다.


표 11. 접목도구 소독방법별 작업시간

소독방법	소독 시간(초)	소독 방법	건조방법	건조 소요시간 <sup>↓</sup>	
				평균(초)	지수
70% 에탄올	60	침지	자연건조	57.0±0.3 <sup>d</sup>	7.2
			소독액 제거	16.5±0.1 <sup>f</sup>	2.1
0.5% 차아염소산나트륨	60	침지	수세→자연건조	110.0±0.1 <sup>b</sup>	13.9
			수세→물기제거	21.6±0.5 <sup>e</sup>	2.7
바이러스 방제제	60	침지	자연건조	66.8±0.1 <sup>c</sup>	8.5
			소독액 제거	16.8±0.3 <sup>f</sup>	2.1
화염소독(관행)	20	가열	식힘	790.0±0.5 <sup>a</sup>	100

↓ 건조 소요시간: 접목도구 5개 건조에 소요되는 시간

0.5% 차아염소산나트륨 침지시간별 작업도구 표면의 변화를 관찰한 결과는 표 12와 같다. 접목칼 B를 제외한 모든 도구에서 0.5% 차아염소산나트륨 1분 이상 침지시 도구 표면에 부식 현상이 관찰되어 접목도구 소독을 위한 차아염소산나트륨 침지 시간은 1분 이내였다.

표 12. 0.5% 차아염소산나트륨 침지시간별 작업도구 표면 변화

종류	주요성분	작업용도	침지시간(분)		
			1	3	5
커터날	탄소강	대목 측지수확, 바이러스 검정시료 채집			
메스날	스테인리스	대목 측지수확, 바이러스 검정시료 채집			
접목칼A	탄소강	대목 측지수확, 선인장 접목 등			
접목칼B	스테인리스	대목 측지수확, 선인장 접목			

#### 4. 적 요

접목선인장 생산현장에서 바이러스 피해를 경감하기 위한 기술개발 연구를 2024년부터 2025년까지 수행한 결과는 다음과 같다.

##### 가. 접목선인장 바이러스 보독층 조사

- 1) 도내 접목선인장 재배농가와 연구소에서 수집한 해충을 분석한 결과 총채벌레류, 가루이류, 각지벌레류, 진딧물(유사충)에서 바이러스가 검출되었으며 검출 바이러스는 CVX와 PiVX였다.
- 2) 해충의 기주식물을 조사한 결과 팽이밥, 까마중 등 11종의 잡초에서 바이러스가 검출되었으며 검출 바이러스는 CVX와 PiVX였다.

##### 나. 접목선인장 바이러스 현장 진단키트 개발

- 1) PiVX 및 CVX 비리온을 항원으로 마우스 단일클론 항체를 생산하고 이를 이용한 샌드위치 LFA 기반 바이러스 진단키트를 제작하였다.
- 2) 개발한 바이러스 진단키트는 PiVX는 1/50,000, CVX는 1/10,000 희석까지 검출되었으며, 1~15분 이내 진단이 가능하였고 교차반응 및 위양성은 없었다.



### 다. 접목선인장 접목도구 소독방법 개발

- 접목도구 소독방법을 비교한 결과 0.5% 차아염소산나트륨 처리에서는 바이러스가 검출되지 않았으며 60초 침지 처리가 적합하였으며, 화염소독 대비 작업시간이 86.1-97.3% 단축되어 작업 효율이 우수하였다.

## 5. 인용문헌

곽혜련. 2020. 선인장 감염 포텍스 바이러스 속 5종 바이러스 다중 진단용 프라이머 세트 및 이를 이용한 진단 방법. 대한민국 특허 제 10-0074787호

이지혜. 경기도농업기술원. 2023. 삼각주선인장 재배와 바이러스 관리 매뉴얼 p. 18.

조인숙. 2021. 원예 및 약용작물 바이러스병의 현장 진단키트와 예방 매뉴얼 개발. 농촌진흥청 국립원예특작과학원 연구보고서 p. 6-15

Chung BN, Jeong MI, Jeong SK. 2003. Effect of CVX infection on Graft-take and Growth of *Gymnocalycium mihanovichii* in Grafting Cactus. 한국원예과학회지 44(5):748

최승국. 2017. 과채류 바이러스의 현장용 진단키트 개발 보급에 관한 연구. 농촌진흥청 국립원예특작과학원 연구보고서 p. 14-22

Wangyun, A. P., Oishi, W., Sano, D. 2024. Sensitivity Evaluation of Enveloped and Non-enveloped Viruses to Ethanol Using Machine Learning: A Systematic Review. Food and Environmental Virology, 16(1): 1-13.

## 6. 연구결과 활용제목

- 접목선인장 바이러스 보독층 정보제공 및 관리방안 (영농활용, 2024년)
- 접목선인장 바이러스 감염 잡초 정보제공 및 관리방안 (영농활용, 2024년)
- 접목선인장 바이러스 검출 해충 및 식물체 정보제공 (영농활용, 2025년)
- 접목선인장 바이러스 감염예방을 위한 작업도구 소독방법 (영농활용, 2025년)

## 7. 연구원편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
						24	25
접목선인장 바이러스 피해경감 기술개발	책임자	선인장다육식물연구소	농업연구사	이지혜	시험주관	○	○
	공동 연구자	환경농업연구과	농업연구사	서재순	데이터 정리	○	-
		선인장다육식물연구소	농업연구관	김소희	해충 동정 등 분석	-	○
		농업연구관	이재홍	데이터분석	○	○	
농업연구관	정윤경	시험검토	-	○			