

배 화상병 종합적 방제를 위한 *Maryblyt* 활용 방안 연구

남궁경봉, 윤성철*

선문대학교 제약생명공학과

(2022년 8월 26일 접수; 2022년 11월 16일 수정; 2022년 11월 21일 수락)

A *Maryblyt* Study to Apply Integrated Control of Fire Blight of Pears in Korea

Kyung-Bong Namkung and Sung-Chul Yun*

Department of Pharmaceutical Engineering and Biotechnology, Sunmoon University, Asan 31460, Korea

(Received August 26, 2022; Revised November 16, 2022; Accepted November 21, 2022)

ABSTRACT

To investigate the blossom infection risk of fire blight on pears, the program *Maryblyt* has been executed from 2018 to 2022 based on meteorological data from central-Korean cities where fire blight has occurred as well as from southern Korean cities where the disease has not yet occurred. In the past five years, years with the highest risk of pear blossom blight were 2022 and 2019. To identify the optimal time for spraying, we studied the spray mode according to the *Maryblyt* model and recommend spraying streptomycin on the day after a “High” warning and then one day before forecasted precipitation during the blossom period. *Maryblyt* also recommends to initiate surgical controls from mid-May for canker blight symptoms on pear trees owing to over-wintering canker in Korea. Web-cam pictures from pear orchards at Cheonan, Icheon, Sangju, and Naju during the flowering period of pear trees were used for comparing real data and constructing a phenological model. The actual starting dates of flowering at southern cities such as Sangju and Naju were consistently earlier than those calculated by the model. It is thus necessary to improve the forecasting model to include field risks by recording the actual flowering period and the first day of the fire blight symptoms, according to the farmers, as well as mist or dew-fall, which are not easily identifiable from meteorological records.

Key words: Field risks, Blossom blight, *Maryblyt*, Phenology, Canker blight



* Corresponding Author : Sung-Chul Yun
(scyun@sunmoon.ac.kr)

I. 서 론

배 화상병은 2015년 안성, 천안에서 시작되어(Park *et al.*, 2016) 2019년에 용인, 이천, 충주로 확산되었고(Kim *et al.*, 2019), 2020년에는 아산, 평택, 음성으로 2021년에는 남양주, 여주, 2022년에는 경기 광주와 진천, 원주까지 확산하였으나(Ahn and Yun, 2021), 2020년 이후 신규 확산 시도의 발병 과수 농가는 1~5 농가로서 확산 면적은 넓지 않았다. 배 화상병 조기박멸을 위해 실시한 공적 방제 면적은 2015년부터 2019년까지 안성과 천안을 합쳐 42.1, 15.1, 22.7, 13.7, 17.2 ha 수준에 머물다가 20년에 91.2 ha로 급증 후(Ham *et al.*, 2020a) 21년 78.1 ha, 22년에는 32.6 ha로 안정되고 있다. 한편, 국가통계포털(<https://kosis.kr>)에 따르면, 2020년 기준 우리나라 배 재배 면적이 200ha 이상인 7개 시군 중 안성과 천안 그리고 이들과 인접한 평택, 아산까지는 화상병이 발생했으나(Ham *et al.*, 2020a) 전남 나주, 경남 진주, 경북 상주, 울산 등 남부 지방은 다행히도 아직 발생 보고가 없다.

화상병원균은 궤양에서 월동 후, 이듬 해 봄 나무가 생장을 시작하면서 궤양으로부터 세균 점액을 생성하고 이를 곤충, 바람, 비를 통해 개화한 꽃으로 빠르게 1차 전염원을 운반한다(Kharadi *et al.*, 2021; Thomson, 2000). 꽃을 감염한 *Erwinia amylovora* 병원균은 곤충에 의해 다른 꽃으로 전파되어 2차 꽃감염을 일으키는데, 1~2개의 궤양만으로도 한 과원 전체를 감염할 수 있을 정도로 확산은 빠르고 광범위하여 방제가 어렵다(Thomson, 1992). 꽃과 신초에서 나타나는 병징과 세균 점액은 여름까지 발병 확산을 이끄는데, 강한 비바람이 세균 점액으로부터 병원균을 확산시키고 감염 통로가 되는 상처를 유발하여 심각한 대발병을 일으킬 수 있다(Slack and Sundin, 2017; Wallis *et al.*, 2020).

성공적인 화상병 방제는 꽃감염 차단뿐만 아니라 봄철 활성화된 월동궤양 제거, 개화기 이후 신초 감염을 매개하는 곤충 벡터 방제, 신초가 단단해진 후 폭풍이나 비바람에 의해 생기는 상처를 통한 감염 차단 등 배나무 생육 전반에 걸쳐 다양한 경로로 침입하는 감염을 철저히 차단해야만 달성 가능하다(Decker, 1996; Gent *et al.*, 2013; Steiner, 2000). 화상병 발병 예측프로그램인 *Maryblyt*는 개화기간 중 꽃감염(blossom infection) 위험도를 표시할 뿐만 아니라 감염 이후 꽃감염 증상(blossom blight symptom, BBS) 월동 궤양의 활성화(canker marginal symptom, CMS) 개시일과 궤

양 증상(canker blight symptom, CBS) 출현일, 신초 증상(shoot blight symptom, SBS) 출현일, 폭풍이나 비바람과 같은 외상에 의한 증상(trauma blight symptom, TBS) 출현일 등을 예측하는 프로그램이다(Turechek and Biggs, 2015). *Maryblyt*가 경고하는 꽃감염 위험은 암술머리에 정착한 화상병원균의 밀도(epiphytic infection potential) 변동을 개화기간 중 온도와 습도에 따라 매일 계산하여 강우가 발생할 때까지 누적시켜 4단계의 위험 정도로 출력하는데, 이를 통해 병원균이 화밀공 내부로 침입에 성공한 꽃감염 발생 시점을 예측한다(Lightner and Steiner, 1993; Ahn and Yun, 2021). 꽃이 감염됐다고 판단되면 최소 감염 24시간 이내에 스트렙토마이신을 살포하여 병원균 초기 정착을 차단해야한다(Thomson, 1986; Steiner, 1990). 한편, 2021년까지 우리나라 과수 화상병 방제지침은 개화기간 중 만개 후 5일과 15일에 2차례에 걸친 약제 살포를 권장하였다(Ahn and Yun, 2021; Ham *et al.*, 2020b). 이는 중심화의 열매를 남기고 나머지를 숨어 내어 큰 과일을 생산하기 위한 전통적인 재배 방식이며, 이로 인해 개화기간 중 약제 살포를 하지 않는 관행때문이었다. 따라서 진흥청의 개화 기간 중 정기 방제 권고는 화상병을 극복하려는 현실적인 대응 방안이었다(Ahn and Yun, 2021; Ham *et al.*, 2020b).

화상병 기주의 정확한 개화기간을 파악하는 것이 중요한 이유는 *Maryblyt*와 같은 프로그램 구동에 필요할 뿐만 아니라, 화상병이 발생하기 전에 월동 후 동계 살포, 개화 직후 화상병 1차 살포 등 기주의 생물계절에 기반한 선제적 방제에도 필요하기 때문이다. 휴면해제, 발아, 개화 등 배의 생물계절은 꽃눈이 휴면을 시작하는 늦가을부터 봄까지 경과기온에 따라 반응이 달라지는데(Guo *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2020), 가을, 겨울 동안 휴면돌입 과정에서 따뜻한 온도는 꽃눈의 발아와 개화를 지연시키는 반면, 1~4월 휴면타파 과정 중 온난한 기온은 꽃눈 발아와 개화를 앞당긴다(Kim *et al.*, 2020). 최근 개화기간 중 늦서리가 발생하여 꽃에 동상해가 발생한 것도 상승한 기온이 개화를 앞당긴 후 개화기간 중 돌변한 기상에 따라 동해를 받았기 때문이다(Kim and Kim, 2018; Kim *et al.*, 2019).

화상병 발병의 현장 위험(field risk) 정보가 꾸준히 축적된다면 현장에서의 모델 활용성이 증대될 수 있다(Billing, 2000). 벨기에 모델(Timmermans, 1990)은 과수원의 생물계절, 현재 및 과거 발병 이력, 곤충과 비 등에 의한 전염원 확산 위험, 꽃과 신초 등 쉽게 감염

통로가 될 수 있는 기주 상태, 폭풍우와 곤충에 의한 과수의 손실 등을 모두 반영하는 모델이다. 독일 모델 (Berger *et al.*, 1996)은 과수원을 대상으로 하는 모델로서 기주 감수성뿐만 아니라 과수의 생물계절과 각 단계별 화상병 민감도까지 포함하였다. 우리나라에서 처음 *Maryblyt* 모델을 구동했던 배 논문(Kim and Yun, 2018)에서는 배 과수원의 개화기간이 전혀 감안되지 않았던 반면, 사과 연구(Ahn and Yun, 2021)에서는 충주와 제천 등 사과 화상병 주요 발병지에서 관측한 개화기간을 기초로 개선된 개화기간을 적용해 구동했고, 후지뿐만 아니라 홍로를 포함 다른 품종의 개화기간까지 감안해 모델이 구동되어야 함을 주장하였다.

이전 신고배 *Maryblyt* 연구(Kim and Yun, 2018)의 목적은 화상병이 발생하지 2~3년이 경과한 안성, 천안에서 인근 및 주요 배 주산지인 병원균 확산 가능성을 알아보기 위한 발병환경 연구였다. 이를 통해 화상병이 발병했던 중부지방뿐만 아니라 미발병 남부지방도 꽃감염에 적합한 환경임을 보임으로써 발병 확산이 가능한 환경임에도 실제 발병은 없었음을 보여주었다면, 본 연구의 목적은 배 화상병이 지속되는 현장에 성공적인 화상병 방제 방안을 제시하고자 *Maryblyt*를 활용하여 이 프로그램의 다양한 감염 경로(BBS, CBS, SBS, TBS)를 예측함으로써 이들의 차단 방안을 찾고자 한다. 이를 위해 2018년 이후 배 발병지와 주산지에서 꽃감염 위험도를 모니터링한 자료와 지역별 화상병 발병 이력을 고찰하여 *Maryblyt*에서 제공하는 꽃감염 정보에 따른 적기 꽃감염 방제의 효율적 방안을 첫 High 경보 이후 2차 방제시 Infection 경보를 따를지, 강우 예보를 따를지 등의 다양한 처리별로 제시하고자 한다. 또한, 월동 궤양 제거를 위한 현장 모니터링의

적절한 시기를 궤양 병징 예측일을 이용해 제시하고자 한다. *Maryblyt*를 구동하는데 기상 자료뿐만 아니라 웹캠 영상자료와 같은 과수원 현장 관측자료를 활용하여 보다 정확한 개화기간을 바탕으로 감염 정보를 신속히 전달해 현장 활용도를 높이고 현장 정보의 중요성을 보여주고자 한다.

II. 재료 및 방법

2.1. 2015~2022년 기상자료 수집

기상청 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmnm/main.do>)에서 종관기상관측장비(ASOS; Automated Synoptic Observing System)와 방재기상관측장비(AWS; Automatic Weather System)로부터 관측된 시간별 기상자료와 일별 기상자료를 다운받아 모델을 구동하였다. 시간별 자료는 배 생물계절 예측을 위한 모델 구동에 활용하였고, 일별 자료는 *Maryblyt*를 구동하기 위해 일별 최고 및 최저 기온, 일강수량 자료를 활용하였다. 또한 일부 지역은 농촌진흥청에서 운영하는 농업날씨365 (<https://weather.rda.go.kr>)로부터 관측된 시간별 기상자료와 일별 기상자료를 다운받아 모델을 구동하였다.

2.2. 배 생물계절 추정

Maryblyt 구동을 위해서는 새싹 50% 출현일(gt), 과수원에서 첫 꽃이 개화한 날(b1), 과수원 꽃들 중 약 80%가 개화한 만개일(bb), 그리고 과수원에서 마지막 꽃이 낙화한 날(pf)을 입력해야 한다. 신고배 개화기간은 전년 10월 1일부터 당해연도 6월 1일까지 시간별 자료를 활용하여, 10월 1일부터 적산한 발육지수(Σ

Table 1. Dates of green tip sprouting (gt), the first day of bloom (b1), and full bloom (bb) determined by visually analyzing video images taken in apple orchards in Ijang-myeon, Cheonan city, from 2019 to 2021, and the calculation standard for a pear modified development rate (DVR) model with high-temperature demand

Pear growth stage	Dates at images taken			DVR ₂ (DD)			Calculation standard (DVR ₂)
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	
Green tip 50%	3/28	3/26	3/25	0.4078	0.5101	0.4451	0.4078
First day of bloom	4/12	4/4	4/2	0.6721	0.7102	0.6796	0.6721
Full bloom	4/19	4/12	4/7	0.8970	0.8444	0.8503	0.8639

Thermal times of pear were estimated from the calculation of Development rate (DVR₂) to predict the next developmental stage. Calculation standards for green tip 50% (gt) and first day of bloom (b1) were decided based on the minimum DVR in the 2019 and 2021 data, and those for the full bloom (bb) were decided based on the average of DVR for the three years.

Table 2. Summary of the estimated ate of phenology (GT, B1 and PF) of pears and the *Maryblyt* results (BIR-I and CBS) at mid-Korea cities where fire blight has been occurred during 2017~2022

Diseased Site	2022				2021				2020				2019				2018				2017											
	GT	B1	PF	BIR-I	CBS	GT	B1	PF	BIR-I	CBS	GT	B1	PF	BIR-I	CBS	GT	B1	PF	BIR-I	CBS	GT	B1	PF	BIR-I	CBS							
Namyangju	Guri	3/26	4/7	4/26	4/25	5/12	3/25	4/1	4/21	-	5/15	3/20	3/29	4/22	-	5/17	3/25	4/8	5/1	4/24	5/16	3/27	4/2	4/24	4/22	5/15	3/31	4/9	4/29	4/17	5/14	
	Jingoon	3/28	4/9	4/27	4/12,26	5/18	3/19	3/31	4/20	-	5/19	3/22	3/31	4/25	-	5/18	3/26	4/9	5/2	4/24	5/17	3/29	4/3	4/26	4/22	5/16	4/2	4/10	4/30	4/15	5/14	
	Gongdo	3/27	4/9	4/27	4/25,26	5/17	3/20	3/31	4/20	-	5/16	3/21	3/31	4/27	-	5/3	3/28	4/12	5/3	4/23,24	5/18	3/26	4/2	4/24	-	5/15	4/1	4/10	4/30	-	5/15	
Anseong	Anteong	3/29	4/10	4/28	4/25,26	5/18	3/21	4/1	4/21	-	5/18	3/21	3/31	4/26	-	5/18	3/28	4/12	5/3	4/23,24	5/18	3/26	4/2	4/23	-	5/16	3/31	4/9	4/30	-	5/14	
	Bogae	3/28	4/9	4/27	4/25,26	5/19	3/20	4/1	4/21	-	5/19	3/22	4/4	4/29	-	5/24	3/29	4/13	5/4	4/23,24	5/21	3/27	4/2	4/25	-	5/17	3/31	4/10	4/30	-	5/18	
Gyeonggi	Icheon	3/28	4/9	4/27	4/12,25,26	5/19	3/20	4/1	4/21	-	5/19	3/24	4/4	4/29	-	5/23	3/31	4/15	5/5	4/24	5/19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hwaseong	3/30	4/10	4/29	4/24,25,26	5/19	3/27	4/3	4/24	-	5/19	3/22	4/3	4/29	-	5/26	3/30	4/14	5/5	4/23,24	5/22	3/29	4/4	4/27	-	5/21	4/4	4/13	5/2	-	5/20	
Occurred	Pyeongtaek	3/27	4/9	4/27	4/25,26	5/16	3/19	3/31	4/19	-	5/15	3/21	3/31	4/26	-	5/21	3/28	4/12	5/3	4/23,24	5/18	3/26	4/2	4/24	-	5/17	4/1	4/10	4/30	-	5/16	
	Cheonan	3/26	4/8	4/27	4/25,26	5/18	3/19	3/31	4/20	-	5/19	3/21	4/1	4/28	-	5/23	3/28	4/12	5/4	4/23,24	5/24	3/26	4/2	4/24	-	5/17	3/31	4/9	4/29	-	5/19	
	Seongjeo	3/26	4/8	4/26	4/25	5/13	3/20	4/1	4/21	-	5/17	3/22	4/2	4/28	-	5/22	3/29	4/13	5/4	4/23,24	5/19	3/27	4/2	4/25	-	5/16	4/2	4/10	4/30	-	5/15	
Chungnam	Mokcheon	3/29	4/9	4/27	4/25,26	5/19	3/22	4/1	4/22	-	5/20	3/23	4/4	4/29	-	5/24	3/29	4/13	5/4	4/23,24	5/21	3/27	4/2	4/25	-	5/17	4/2	4/10	4/30	-	5/18	
	Seongshwan	3/30	4/10	4/29	-	5/20	3/23	4/1	4/22	-	5/19	3/24	4/7	5/1	-	5/24	4/4	4/16	5/6	4/23,24	5/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aean	Ipyang	3/26	4/8	4/27	4/25,26	5/18	3/19	3/31	4/19	-	5/14	3/21	4/1	4/28	-	5/17	3/28	4/12	5/3	4/23,24	5/18	3/28	4/3	4/27	-	5/19	-	-	-	-	-	-
	Yeonchi	3/27	4/9	4/27	4/25,26	5/16	3/20	3/31	4/20	-	5/16	3/21	4/2	4/28	-	5/21	3/29	4/13	5/4	4/23,24	5/19	3/27	4/2	4/25	-	5/16	4/1	4/10	4/30	-	5/13	
Sejong	Jeonui	3/28	4/9	4/27	4/25,26	5/18	3/27	4/4	4/26	-	5/19	3/22	4/4	4/29	-	5/22	3/29	4/13	5/4	4/23,24	5/21	3/28	4/3	4/26	-	5/17	4/3	4/10	4/30	-	5/17	
	Eonjeong	3/30	4/10	4/28	4/25,26	5/19	3/22	4/1	4/22	-	5/20	3/22	4/2	4/27	-	5/22	3/29	4/13	5/4	4/23,24	5/19	3/27	4/2	4/25	-	5/17	4/2	4/10	4/30	-	5/19	
Chungbuk	Jincheon	3/30	4/10	4/28	4/25,26,27	5/19	3/27	4/4	4/26	-	5/24	3/24	4/6	4/30	-	5/24	3/29	4/14	5/5	4/23,24	5/22	3/29	4/3	4/27	-	5/19	4/4	4/11	5/1	-	5/19	
	Gyeongbuk	3/25	4/6	4/25	-	5/17	3/16	3/27	4/17	-	5/16	3/21	4/1	4/25	-	5/22	3/27	4/7	5/1	4/23,24	5/21	3/26	4/2	4/24	-	5/17	3/30	4/8	4/29	-	5/19	
Not occurred	Hwaso	3/29	4/9	4/27	4/25,26	5/22	3/23	4/2	4/24	-	5/30	3/23	4/4	4/30	-	5/30	3/28	4/12	5/3	4/23	5/24	3/28	4/3	4/26	-	5/20	4/4	4/12	5/1	-	5/19	
	Ulsan	3/16	3/28	4/20	-	5/12	4/3	4/13	5/3	-	5/21	3/22	3/31	4/22	-	5/17	3/16	3/27	4/19	-	5/16	3/17	3/28	4/16	-	5/13	3/25	4/5	4/25	4/18	5/12	
	Ulsan	3/26	4/5	4/25	-	5/21	4/5	4/13	5/4	-	5/22	3/31	4/9	5/2	-	5/26	3/22	4/3	4/24	-	5/23	3/26	4/1	4/21	-	5/17	-	-	-	-	-	
Gyeongnam	Saigok	3/19	3/31	4/22	-	5/12	3/13	3/25	4/15	-	5/13	3/19	3/29	4/20	-	5/17	3/19	3/30	4/23	-	5/14	3/20	3/30	4/19	-	5/15	3/23	4/6	4/25	-	5/14	
	Daegok	3/17	3/30	4/22	-	5/13	3/21	3/31	4/20	-	5/16	3/20	3/30	4/21	-	5/18	3/18	3/29	4/23	-	5/12	3/19	3/30	4/18	-	5/14	3/28	4/7	4/28	4/15	5/15	
Jeollanam	Naju	3/16	3/30	4/23	-	5/12	3/16	3/27	4/16	-	5/14	3/19	3/29	4/23	-	5/12	3/21	4/5	4/28	4/23,24	5/17	3/19	3/30	4/18	-	5/14	3/28	4/7	4/28	4/15	5/15	
	Yeongnam	3/17	3/31	4/24	4/13,14	5/13	3/14	3/26	4/16	-	5/14	3/18	3/29	4/23	-	5/23	3/22	4/6	4/30	4/23	5/19	3/18	3/30	4/18	-	5/15	3/28	4/7	4/28	4/15	5/16	

Green tips were sprouted 50% (GT) s the estimated date. The first blossom (B1) and the final petal fall (PF) were the first date of flower opening and the last date of petal fall, respectively.

Blossom nfection risk at Infection levels (BIR-I) were the estimated dates of flower infections occur, and Canker blight symptom (CBS) was the estimated date of canker blight symptom occur by *Maryblyt*.

- means *Maryblyt* do not predicted any date of blossom infection

DVR₁)가 1이 되었을 때를 자발휴면 타파로 정하고 자발휴면과 타발휴면이 겹치는 시기인 이행기는 발육 지수($\sum DVR_1$)가 2.2일 때 종료하는 방식은 이전 논문 (Kim *et al.*, 2013; Kim and Yun, 2018)과 같았다. 원예 특작과학원(<https://fruit.nihhs.go.kr>)에서 제공하는 2019년부터 2021년까지 3년간 충남 천안시 서북구 직산읍 배 과수원 현장 웹캠 영상자료를 관측하여 얻은 새싹 발아가 50%인 날(gt), 개화개시일(b1), 만개일(bb)에 해당하는 날을 기록하여 얻은 결과(Table 1)로부터 두 번째 발육지수($\sum DVR_2$)를 각각 0.4078, 0.6721, 0.8639로 재설정하였다. 또한 만개기로부터 낙화기는 *Maryblyt* 모델이 꽃감염 위험을 충분히 알릴 수 있도록 만개기간을 15일로 정하였다.

2.3. *Maryblyt*를 구동한 지역

모델 구동 지역은 2015년 이후 2022년 6월 현재까지 화상병이 지속적으로 발병했던 안성, 천안을 포함하여 19년 이후 발병이 신고된 평택, 아산, 이천, 남양주, 세종, 충주 그리고 비교적 최근에 신규 발병한 경기 화성과 충북 진천을 포함하였다(Table 2). 2020년 기준 150 ha 이상 배가 재배되는 시군 중 22년 현재까지 발병 신고가 없는 (미발병지) 나주, 상주, 울산, 진주도 *MARYBLYT*TM7.1을 구동하여 남부의 배 주산지에서 개화기간 중 꽃감염 위험을 모니터링하였다(Table 2).

2.4. 배 과수원 웹캠 영상자료 관측

2019년부터 2022년까지 천안시, 이천시 장호원읍, 상주시 외서면, 그리고 나주시 금천면 등 네 과수원에 원예특작과학원에서 제공하는 배 과수원에 설치한 영상(<https://fruit.nihhs.go.kr>) 자료로부터 개화기간의 생육 단계를 관측, 기록하였다. 천안시의 경우 2019~2020년에는 입장면, 2021~2022년은 천안시 성환읍의 배 과수원에서 영상자료가 제공되었다. 과원 영상은 매일 오전 10시와 오후 4시에 촬영한 것이었다. 영상자료를 확보한 네 지점들의 기상자료는 동일 과수원 내에 설치한 자동기상관측기로부터 얻었다. 얻어진 기상자료를 활용하여 배 생육계절 모델을 구동하여 추정된 개화기간과 영상자료로부터 관찰한 생육계절을 비교하였다. 또한 4년간 위의 4개 과수원에서 개화기간 중 꽃이 강우에 의해 충분히 젖은 때의 사진을 빠짐없이 기록하여, 자동기상 관측기는 강우 기록이 없는데, 웹캠에서 꽃이 젖은 것으로 촬영된 때를 기록하였다.

2.5. *Maryblyt* 출력물 설명

화상병 예측 프로그램인 *Maryblyt*는 개화기간 중 꽃 개화(Blossom, B), 암술머리의 병원균 밀도(epiphytic inoculum potential, EIP, H), 습도(Wetness, W), 일평균기온(Temperature, T) 네 조건이 임계값을 충족하느냐에 따라 꽃감염 위험도(Blossom infection risk, BIR)를 한 개만 충족(Low, BIR-L), 두 개 충족(Moderate, BIR-M), 세 개 충족(High, BIR-H), 네 개 모두 충족(Infection, BIR-I) 네 단계로 매일 출력한다. *Maryblyt*를 구동해서 얻은 결과를 설명하기 위해 예시로 2022년 경기 안성의 출력물을 그래프로 나타냈다(Fig. 1). 4월 10일부터 27일까지 개화기간 중 꽃감염 위험이 가장 높은 BIR-I(붉은색)는 4월 25일과 26일이다. 이 날로부터 BBS가 예측되는 날은 각각 5월 10일과 12일(초록선)이다. 또한 꽃눈이 싹튼 3월 29일부터 누적 계산되는 CMS 예상일은 5월 6일이었으며, 이 날로부터 계산되는 CBS 증상 발생 예상일은 5월 18일이었는데, 이 날이 과수원에서 모니터링을 실시하여 병징을 찾아 꺾양을 제거하는 적기이다. 개화기간 중 꽃감염 위험도를 한 줄 엑셀로 표현하여 매년 구동했던 지역들의 꽃감염 결과를 모아 특정 연도의 모델 구동 결과를 한 눈에 나타낼 수 있었다(Fig. 2). 모델의 결과가 BIR-H인 날은 오렌지색으로 표현하였고, BIR-M과 BIR-L 날은 모두 초록색으로 표현하였다.

2.6. *Maryblyt*를 이용한 꽃감염 방제 평가

Maryblyt 프로그램은 개화기간 중 방제를 실시할 경우, 해당일 Spray 칸에 Yes를 입력하면 전날까지 누적 계산된 EIP를 0으로 리셋하는 기능이 있다. 이 기능을 활용하여 언제 꽃감염 방제를 실시하였느냐에 따라 개화기간 중 꽃감염 위험도 중 EIP에 해당하는 H가 +에서 -로 변하면서 꽃감염 위험도가 달라진다. 이를 활용하여 BIR-I 빈도를 최대한으로 줄이는 적절한 방제 시기를 찾고자 하였다. 본 연구에서 시도한 처리는 첫째, 아무런 방제가 없는 무처리(No control); 둘째, 시즌 첫 High 경보를 발령한 당일에 방제하고, 그 후 약효지속 기간인 5일이 지난 후 발생한 BIR-I 경보일에 방제하는 처리(First H, First I); 셋째, 첫 High 경보에 방제하고, 그 후 약효지속 기간인 5일이 지난 다음 강우 예보 전날 방제, 넷째(First H, Before Wet), 첫 High 경보가 발령한 다음날에 방제하고, 그 후 약효지속 기간인 5일이 지난 후 강우 예보 전날 방제(Next H, Before Wet)

III. 결 과

3.1. 2022년 *Maryblyt* 구동 결과

2022년 경기, 충남, 충북 등 중부지방 배 주요 발병지에서 *Maryblyt* 구동 결과(Fig. 2; Table 2), 대부분의 지역에서 4월 25일과 26일에 BIR-I 경보가 발령되었다. 이 날은 화기감염 억제를 위한 꽃감염 방제 적기인데, 이 때는 중부지방 배가 거의 낙화기에 가깝기 때문에 BIR-I 경보 전에 낙화제를 처리한 과원에서는 방제는 필요없다. Fig. 2의 bb는 각 지역들에서 과수원 꽃의 80% 이상이 개화한 만개기이다. 중부지방의 만개기는 대략 4월 11~13일 경인데 이 즈음에 BIR-H 경보가 났고 대부분의 지역에서는 이 때 첫 꽃감염 방제 권고 메시지를 발령하였다. 2022년의 중부지방의 개화(b1)는 4월 7~10일로 최근 5~6년 사이의 4월 초와 비교하면 일주일 이상 늦었다(Table 2). 최근까지 배의 개화가 꾸준히 앞당겨져 4월 초가 일반적이던데 2022년은 개화가 상대적으로 늦어 동상해 피해는 적었을 것이다. *Maryblyt* 모델이 월동 궤양이 활성화되어 궤양병징이 발생할 것으로 예측한 날은 5월 12~20일이었다. 한편, 미발병 주산지인 남부지방에서 2022년 꽃감염 예측은 상주 화서만 BIR-I이 4월 25~26일로 예측하였던 반면, 울산과 진주, 나주는 이 때 이미 낙화가 완료되어(Fig. 2; Table 2) 병회피가 되었다. 남부 배 주산지들의 개화는 상주를 제외하고는 대략 3월 말이었었는데, 중부보다 7~10일 빠르며, 대부분 4월 22~24일에 낙화하였다. 이들 지역에서 월동 궤양이 활성화되어 궤양병징 발생 예측일은 5월 12~17일이 대부분이었다(Table 2).

3.2. 2021년 *Maryblyt* 구동 결과

2021년 중부지방 배 주요 발병지에서 *Maryblyt*를 구동한 결과(Table 2), 조사한 22개 전 지역에서 BIR-I 경보는 하나도 발령되지 않았다. 2021년에 4월 21일 이후까지도 과수원에서 꽃이 낙화하지 않고 남아있으리라 추정되는 화성, 세종 그리고 충북 일부지역은 4월 21~16일에 BIR-H가 발령되었고 이 시기에 꽃감염 방제를 권장한다. 21년 배 꽃 만개기는 4월 5~6일이 대부분이었다(Supplementary data 1). 2021년 중부지방의 개화(b1)는 3월 31일~4월 4일이었고, 개화가 3월 말까지 꾸준히 앞당겨지고 있어서 꽃에서의 동상해 피해도 고려해야 한다. 월동 궤양이 활성화되어 궤

양병징 발생 예측일은 5월 14~20일이었다. 한편, 미발병 배 주산지인 남부지방에서도 2021년에 BIR-I는 없었다(Table 2 and Supplementary data 1). 남부 배 주산지들의 개화기간은 울산이 4월 중순~5월 초까지 늦어진 것을 제외하고는 나주, 진주는 중부보다 4~5일 앞당겨져 개화하고 낙화하였다. 월동 궤양병징 예측일은 5월 13~20일이 대부분이었다.

3.3. 2020년 *Maryblyt* 구동 결과

2020년에도 중부지방 배 주요 발병지에서는 21년과 마찬가지로 BIR-I 경보는 조사한 전 지역에서 전혀 발령이 없었다(Table 2). 특히 20년에는 BIR-H 경보도 일절 없었다(Supplementary data 2). 2020년에는 개화일(b1)부터 만개일(bb)까지 소요되는 기간이 대부분의 지역에서 10일 이상으로 평년보다 4~5일 길어짐으로써 개화기간이 25일 이상이었다(Supplementary data 2). 월동 궤양이 활성화되어 궤양병징이 나타날 것으로 예측되는 날은 5월 17~26일이었다. 한편, 미발병 배 주산지인 남부지방에서도 20년에 BIR-I는 없었다(Table 2 and Supplementary data 2). 남부 배 주산지들의 개화기간은 울주를 제외하고는 3월 말~4월 말까지가 개화기간이었다(Table 2). 월동 궤양병징 예측일은 5월 17~30일이었다.

3.4. 2019년 *Maryblyt* 구동 결과

2019년 중부지방 배 주요 발병지에서 BIR-I 경보는 4월 23일과 24일에 집중되었다(Table 2). 이 시기는 지역에 따라 만개후 3~10일이므로 꽃감염이 발생할 가능성이 매우 높아 반드시 이때 방제해야 한다(Supplementary data 3). 또한 만개일인 4월 11~13일을 전후로 BIR-H 경보가 대부분의 지역에서 발생되었으므로(Supplementary data 3), 이즈음에 1차 화기감염 방제를 하는 것을 권장한다. 2019년 중부지방 궤양병징 발생 예측일은 5월 16~22일이었다. 한편, 미발병 배 주산지인 남부지방들 중에서 중부와 마찬가지로 2019년 4월 23일, 24일에 BIR-I 경보가 있었던 지역은 상주와 나주였으며(Table 2 and Supplementary data 3), 나머지 울산과 진주는 이미 낙화되어 병회피하였다(Table 2). 월동 궤양병징 예측일은 5월 14~24일이었다.

3.5. 2017년과 2018년 *Maryblyt* 구동 결과

2017~2018년 두 해 모두 중부지방 중 BIR-I 경보

는 남양주에서만 발병되었는데 2018년에는 4월 22일, 2017년에는 15일과 17일이었고 나머지 지역에서는 경보가 없었다(Table 2). 배꽃 개화는 2018년에는 4월 초순~27일까지였던 반면, 2017년 개화기간은 4월 10일 전후에 개화하고 4월말~5월 초까지 과수원에 꽃이 있었다. 궤양병징(CBS)이 예측일은 18년에는 5월 15~21일, 17년에는 5월 13~20일이었다.

한편, 미발병 배 주산지인 남부지방 중 2018년에는 BIR-I 경보가 없었으나, 2017년에는 울산과 나주에서 4월 18일과 4월 15일에 BIR-I 경보가 발령되었다(Table 2). 월동 궤양병징 예측일은 두 해 모두 5월 중순~20일 전후였다.

3.6. 주요 발병지역의 꽃감염 경보(BIR-I)와 현장 발병 결과

Fig. 3은 2018년부터 22년까지 중부지방 주요 발병지에서 *Maryblt*의 BIR-I 경보일과 해당 년도의 배 화상병 발병 신고 결과를 나란히 정렬한 후 2022년까지 누적하여 나타냈다. 안성과 천안은 지난 5년간 꾸준히 발병하였으나 2020년과 2021년에는 BIR-I 경보가 없었고 특히 안성은 2018년에도 경보가 없었다. 그런데 안성과 천안을 포함한 공적방제 면적은 2020년과 2021년에 각각 90ha와 78ha로 전혀 줄지 않았다. 안성과 천안 인근지역인 아산과 평택은 2020년에 처음 발병이 보고되었으나 2020년에 모델은 BIR-I 경보가 없었던 반면 발병이 보고되지 않았던 2019년에는 BIR-I 경보가 있었다. 한편 용인과 충주는 꽃감염 발생 경보가 올린 19년에는 발병했으나 20년에는 경보도 발병도 없었으며 특히 충주는 정확히 모델 발병 경보가 발령된 연도와 실제 발병을 보고한 연도가 일치했다. 반면 2020년과 2022년 발병한 음성은 2019년에는 경보가 발령

되었으나 발병 신고는 없었고, 2020년에는 경보는 없었으나 발병이 신고되는 등 당해연도 높은 꽃감염 위험도(BIR-I)가 발병까지 이어지지 않았다. 아마도 과수 특성상 당해연도 감염이 바로 발병으로 이어질 수도 있으나 대다수 지역에서는 1~2년 전에 감염된 과수가 나중에 발병할 것으로 추측된다. 2021년까지 이들 지역에서 꽃감염을 억제하기 위해 모델의 경보에 따라 꽃감염 시기에 방제하지는 않았다.

3.7. *Maryblt*의 spray mode를 활용한 방제에 따른 꽃감염 위험 감소 평가

Fig. 4는 2022년 경기 안성에서 개화기간인 4월 10일부터 29일까지 일별 최고, 최저, 강우량을 입력하고 *Maryblt*를 구동하면, 모델은 매일 EIP를 계산하여 누적하고 개화기간 중 매일 BHWT 조건에 따라 꽃감염 위험도(BIR)를 Low, Moderate, High, Infection 수준 별로 결과를 보여준다(Fig. 4). 처음 BIR-H 경보를 발령했던 4월 11일에 방제를 하면(spray: yes) 두 번째, 세 번째의 처리 그림처럼 109였던 EIP가 0로 reset되어 다음 날부터 다시 누적을 시작한다(Fig. 4, 두 번째, 세 번째 그림). 첫 H, 첫 I 처리는 4월 25일에 2차 방제를 실시하여 꽃감염 위험 결과를 새롭게 얻었고, 첫 H, 강우전날 처리는 4월 24일 1.5 mm 강우 예보를 알 수 있는 23일에 2차 방제한 결과를 얻을 수 있었다(Fig. 4). 마지막으로 BIR-H 경보 다음 날인 4월 12일에 첫 방제를 한 처리이다.

Fig. 5는 2022년에 Fig. 4의 안성을 비롯 24개 지역에서 세 처리에 따른 BIR-I 경보 횟수와 각 처리에 따른 방제 횟수를 나타낸 것이다. 2022에는 발병지 및 미발병 주산지 24곳에서 BIR-I가 4월 25일 혹은 26일에 평균 1.46회 발령되었는데(무처리), 첫 BIR-H 경보 당

Year	2022		2021		2020		2019		2018	
	Fireblight Disease	<i>Maryblt</i> Warning	Fireblight Disease	<i>Maryblt</i> Warning	Fireblight Disease	<i>Maryblt</i> Warning	Fireblight Disease	<i>Maryblt</i> Warning	Fireblight Disease	<i>Maryblt</i> Warning
Ansung	Yes	o(4/25,26)	Yes	x	Yes	x	Yes	o(4/23,24)	Yes	x
Cheonan	Yes	o(4/25,26)	Yes	x	Yes	x	Yes	o(4/23,24)	Yes	o(4/22)
Asan	Yes	o(4/25,26)	Yes	x	Yes	x	No	o(4/23,24)	No	x
Pyungtaek	Yes	o(4/25,26)	Yes	x	Yes	x	No	o(4/23,24)	No	x
Icheon	Yes	o(4/12,25,26)	Yes	x	Yes	x	Yes	o(4/24)	No	o(4/22)
Namyangju	No	o(4/12,25,27)	Yes	x	No	x	No	o(4/24)	No	o(4/22)
Yongin	Yes	o(4/25,26)	Yes	x	No	x	Yes	o(4/24)	No	o(4/22)
Chungju	Yes	o(4/25,26)	No	x	No	x	Yes	o(4/23,24)	No	x
Eumsung	Yes	o(4/25,26)	No	x	Yes	x	No	o(4/23,24)	No	x
Hwasung	Yes	o(4/24,25,26)	No	x	No	x	No	o(4/23,24)	No	x

Fig. 3. Accumulation of the occurrence of fire blight on pears grown cities in mid-Korea and their's blossom blight infection (BIR-I) warned by *Maryblt*.

No Spray										First H, First I				First H, Before Wet				Next H, Before Wet			
Date	Phenology	Max Temp (C)	Min Temp (C)	Wetness (mm)	Trauma	Spray	Notes	Avg Temp (C)	ESP	BHWTR	Spray	Notes	Avg Temp (C)	ESP	BHWTR	Spray	Notes	Avg Temp (C)	ESP	BHWTR	
09/04/22	B1	25.8	8.1	0.00				16.9	48	+++M			16.9	48	+++M			16.9	48	+++M	
10/04/22	B	25.8	7.8	0.00				16.8	97	+++M			16.8	97	+++M			16.8	97	+++M	
11/04/22	B	27.2	10.3	0.00				18.8	158	+++M	Yes		18.8	-	+++M	Yes		18.8	-	+++M	
12/04/22	BB	27.2	12.2	0.00				19.7	230	+++M			19.7	73	+++M			19.7	73	+++M	
13/04/22	BB	15.5	8.4	22.00				11.9	230	+++M			11.9	49	+++M			11.9	49	+++M	
14/04/22	BB	13.4	8.1	8.50				10.8	230	+++M			10.8	24	+++M			10.8	24	+++M	
15/04/22	BB	17.9	4.6	0.00				11.2	-	+++M			11.2	-	+++M			11.2	-	+++M	
16/04/22	BB	20.1	3.5	0.00				10.8	-	+++M			10.8	-	+++M			10.8	-	+++M	
17/04/22	BB	20.6	2.4	0.00				11.5	12	+++M			11.5	12	+++M			11.5	12	+++M	
18/04/22	BB	21.4	8.2	0.00				14.8	24	+++M			14.8	24	+++M			14.8	24	+++M	
19/04/22	BB	22.2	4.1	0.00				13.2	36	+++M			13.2	36	+++M			13.2	36	+++M	
20/04/22	BB	22.6	4.2	0.00				13.4	61	+++M			13.4	61	+++M			13.4	61	+++M	
21/04/22	BB	23.3	6.0	0.00				14.7	85	+++M			14.7	85	+++M			14.7	85	+++M	
22/04/22	BB	21.8	7.8	0.00				14.8	97	+++M			14.8	97	+++M			14.8	97	+++M	
23/04/22	BB	25.3	9.1	0.00				17.2	145	+++M			17.2	145	+++M			17.2	145	+++M	
24/04/22	BB	25.8	11.6	0.00				18.7	182	+++M			18.7	182	+++M			18.7	182	+++M	
25/04/22	BB	25.2	16.8	1.00				21.0	230	+++M	Yes		21.0	61	+++M	Yes		21.0	61	+++M	
26/04/22	BB	24.3	13.7	5.50				19.0	242	+++M			19.0	48	+++M			19.0	48	+++M	
27/04/22	PF	22.3	10.2	0.00				16.2	-	-			16.2	-	-			16.2	-	-	
28/04/22	PF	25.0	8.3	0.00				16.7	-	-			16.7	-	-			16.7	-	-	
29/04/22	PF	16.5	9.7	16.00				13.1	-	-			13.1	-	-			13.1	-	-	
30/04/22	PF	18.2	10.4	0.00				14.3	-	-			14.3	-	-			14.3	-	-	
01/05/22	PF	18.0	7.0	0.00				12.5	-	-			12.5	-	-			12.5	-	-	

Fig. 4. *Maryblt* output of pear blossom infection according to the treatments at Gongdo, Anseong in 2022. The treatments were 1) No spray, 2) spray at the first warning date of BIR-H, then spray at the first date of BIR-I, 3) spray at the first warning date of BIR-H, then spray at the day before rain forecasted, and 4) spray at the next date of BIR-H, then spray at the day before rain forecasted.

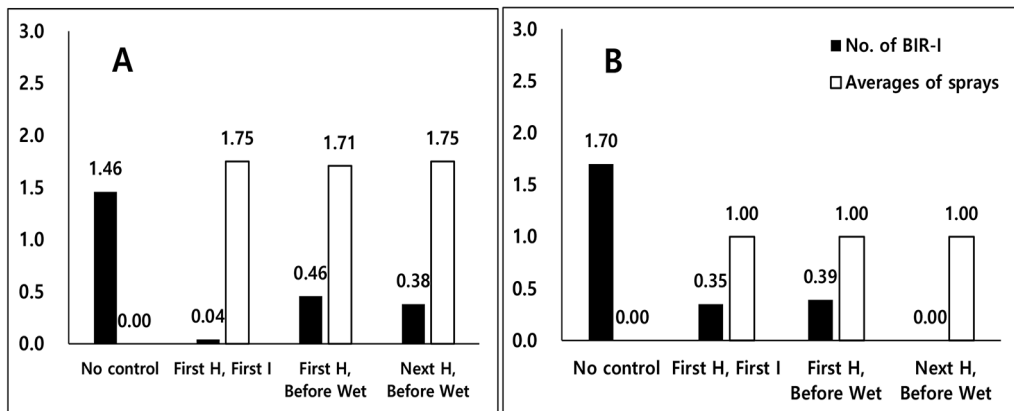


Fig. 5. Comparisons on the treatment for blossom blight control. No. of BIR-I (■) was the number of infection warning days which showed the highest risk of blossom infection. Average of sprays (□) was the number of spray for blossom period. The treatments were 1) No spray, 2) spray at the first warning date of BIR-H, then spray at the first date of BIR-I, 3) spray at the first warning date of BIR-H, then spray at the day before rain forecasted, and 4) spray at the next date of BIR-H, then spray at the day before rain forecasted. A was 2022, and B was 2019.

일에 방제하고 이후 약효가 떨어진 5일 이후 BIR-I가 발령된 날에 방제한 처리(First H, First I)의 평균 꽃감염 횟수는 0.04로서 무처리의 1.46과 비교하여 현저히 줄었다. 또한 BIR-H 정보 당일 방제와 이후 약효가 떨어진 5일 이후 강우예측 전날에 방제하는 처리(First H, Before Wet)에서 평균 꽃감염 횟수는 0.46회였고, BIR-H 정보 다음 날 방제하고 이후 강우예측 전날 방제하는 처리(Next H, Before Wet)에서의 평균 꽃감염 횟수는 0.38회였다. 무처리를 제외한 세 처리의 방제

횟수는 각각 평균 1.75회, 1.71회, 1.75회로 거의 비슷했다. 2021년과 2020년에는 BIR-I 경보가 없으므로 방제 평가는 하지 않았다. 2019년에는 발병지 및 미발병 주산지 24곳 중 23곳에서 BIR-I가 4월 23일 혹은 24일에 평균 1.7회 발령되었는데(무처리), First H, First I 처리의 평균 꽃감염 횟수는 0.35회였고, First H, Before Wet 처리의 평균 꽃감염 횟수는 0.39회, Next H, Before Wet 처리에서의 평균 꽃감염 횟수는 0.0회로 모든 감염위험도를 줄였다. 2019년의 무방제를 제

외한 세 처리에 필요한 방제 횟수는 모든 처리에서 평균 1.0회로 실질적으로 첫 번째 방제만 실시되었다 (Fig. 5B).

3.8. Web-cam을 활용한 관측과 기상자료로 계산한 생물계절 비교 평가

Fig. 6은 웹캠이 설치된 충남 천안 직산과 경기 이천 장호원 등 중부지방의 두 과원과 남부지방 배 주산지인 경북 상주 외서면과 전남 나주 금촌면의 과원에서 영상 자료를 관찰한 개화기간과 인근 자동기상관측망으로부터 얻은 기상자료를 통해 개화기간을 계산한 값들을 비교한 것이다(Fig. 6). 2019~2022년 천안과 이천의 배 개화기간은 웹캠으로부터 관측한 기간과 기상자료로 계산하여 예측한 것과 대체로 일치하여 모델에 개화기간을 입력하여 구동한 결과를 방제 정보로 제공하는 것이 적절하였다. 반면, 상주는 조사한 4년 내내 실제 웹캠 사진에서 관측된 개화 개시일이 계산한 예측 개시일보다 4~7일 늦었고, 웹캠으로 관측한 실제 낙화일도 예측보다 늦었다. 만일 현장 관측없이 기상자료만으로 개화기간을 예측하여 감염 정보를 제공할 경우, 상

주 지역은 개화 후반기에 필요한 감염 예측정보를 제공할 수 없다.

최대 배 주산지인 나주에서는 2019년과 2022년에는 예측한 개화기간이 관측보다 4~8일 빠르게 개화하고 빠르게 낙화하였다. 이는 상주와 같은 상황으로서 후반 기 감염예측 정보 제공이 불가능해진다. 한편, 2020년과 2021년에 나주의 배 개화는 예측한 개화 기간과 관측한 개화 기간이 비슷하여 방제 정보 제공에 문제가 없다. 관측 기준으로 최근 4년간 위 네 지역의 개화일을 비교하면 2019년부터 2021년까지는 개화개시일이 계속 앞당겨지다가 2022년에는 2019년보다 약간 이른 정도로 다시 개화개시일이 늦춰졌다. 해당 과수원에서 80% 꽃이 개화한 만개일을 중심으로 관측과 예측을 비교하면, 천안은 2019~2021년까지는 대체로 비슷하나 2022년에는 예측보다 실제 만개는 늦었고, 이천은 2019~2020년까지는 비슷하나, 2021년과 2022년에 예측보다 실제 만개가 늦었으며, 상주는 관찰했던 2019~2022년 전 기간 동안 예측보다 실제 만개가 늦었고, 나주는 2020년을 제외한 나머지 3년은 예측보다 실제 만개가 늦었다. 관측자료에는 없었는데, 실제 영상자료

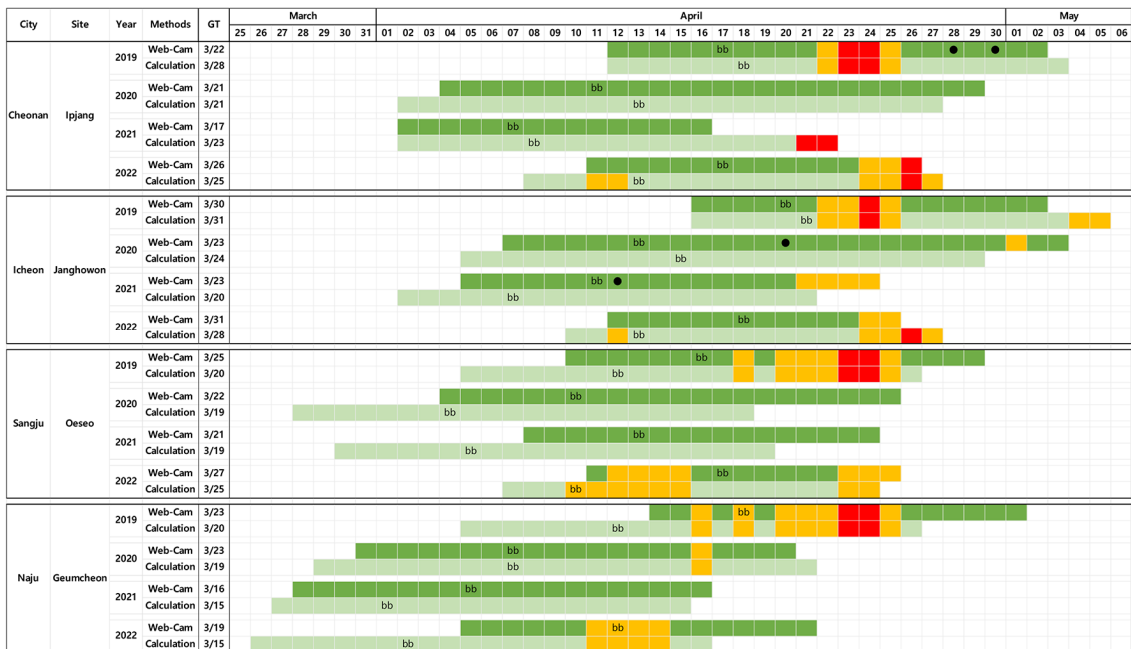


Fig. 6. Comparisons of pear blossom periods between web-cam observation and estimation by a weather-based DVR model. Gt was the day when 50% of green tip sprouts. Bb was the day when 80% of the flowers open. The red date was BIR-I, the orange date was BIR-H, and the green date was BIR-L or BIR-M. ● marked dates were observed rain, but the meteorological data did not show any precipitation.

에서 꽃이 젖은 것을 확인한 날은 2019년 4월 28일과 30일 천안 입장에서 그리고 2020년 4월 20일 이천시 장호원과 2021년 4월 12일 이천시 장호원 등 4일이 관찰되었고 그 외에는 별도로 비나 이슬 등이 관찰되지 않았다(Fig. 6).

IV. 고 찰

2018년부터 2022년까지 배 개화기간 중 *Maryblyt*의 꽃감염 위험 경보를 정리하면, 2022년에는 4월 25일과 26일, 2019년에는 4월 23일과 24일에 우리나라 주요 발병지인 중부지방에 가장 높은 단계인 꽃감염 경보 (BIR-I)가 발생하였다. 경보가 발생한 대부분의 지역에서 BIR-I 경보 발령 직전 1~3일, 발령 직후 1~2일에 BIR-H 경보가 발령되었는데, 이는 병원균 생장에 적당한 온도와 습도에 따라 암술머리에 착생한 병원균 밀도가 서서히 높아져 감염에 위험한 환경이 최소 4~5일 지속되는 상황이 일반적으로 나타났다. 방제를 권장하는 꽃감염 수준은 BIR-I와 BIR-H인데, 이 기간 동안 화기감염 방제를 통해 위험도를 반드시 낮추는 것이 필요하다(Turechek and Biggs, 2015). Spray 모드를 활용하여 세 가지 다른 처리의 화기감염 방제 방법들을 평가한 결과 BIR-I 경보일 당일 방제가 가장 바람직하나 우리나라 배 과수원 현장의 특성상 시즌 첫 BIR-H 경보 당일과 다음 날 방제 두 처리 방식 모두 방제 효과는 비슷하였다. 실제로 현장에서 강우 직후 약제 방제를 고려하여 강우 예보에 따라 비가 내리기 전에 방제하는 것이 적절한 선제적 대안이 될 수 있다.

그동안 우리나라 화상병 방제 정책은 만개 후 5일, 15일이라는 정기 방제였다가 2022년부터는 모델이 권장하는 감염 위험에 따른 방제로 바뀌었다(Ham *et al.*, 2020b). 실제 현장에서 농작업자들이 모델 권고에 따라 실제로 방제하는지는 더 지켜봐야 할 것이다. 하지만, 불과 1~2년 전만 하더라도 꽃방제를 꺼려했던 관행에서 벗어나 모델의 꽃감염 위험을 지켜보다가 모델의 권고에 따라 꽃에 방제를 수행한다는 것이 현장에서는 혼란스러울 수 밖에 없다. 궤양 병징을 찾아 제거하는 1차 전염원 제거도 꽃감염 방제 못지 않게 성공적 방제에 매우 중요하다(Billing, 2000; Thomson, 2000). 따라서 *Maryblyt* 모델이 연도와 지역에 따라 예측했던 5월 중순부터 배나무 궤양병징 발생 예측일을 화상병 월동궤양 제거를 개시하는 월동기에 과수원 화상병 궤양을 찾는 모니터링을 언제 실시할 것인지

판단하는 정책에 활용할 수 있었다. 향후 화상병 대응 정책에 추가되어야 할 *Maryblyt* 활용 방안은 첫째로는 신초 감염(shoot blight symptom)을 억제하기 위한 신초 가해 곤충 벡터의 모니터링과 벡터 제거이며, 둘째로는 여름철 폭풍이나 비바람 이후 상처로부터 병원균 감염(trauma blight symptom)에 대응하는 것이다(Steiner, 2000).

화기감염 모델 결과가 정확하려면 개화기간 입력이 정확해야 하는데, 지속발병지인 천안과 이천의 web-cam 영상 관측 자료와 기상자료를 입력한 생물계절 모델로 예측한 배나무 개화기간과 완벽히 일치하지는 않았지만, 실제 개화기간을 포함한 충분한 기간 동안 모델이 꽃감염 위험도를 제공하므로 모델이 권고하는 방제를 수행하는데는 아무런 어려움이 없었다. 다만, 상주는 개화 개시 예측일이 4년 내내 현장의 개화일보다 4~7일 빠르므로 이는 모수를 조정해서 늦출 필요가 있고, 나주는 2020년과 21년 같이 개화기간이 잘 맞는 해가 있기도 하고 19년이나 22년 같이 9일 이상 앞서는 연도도 있어 남부지방 배나무 개화기간 예측은 추후 남부지방의 주요 산지별로 개화기간 수정이 필요하다. 한편, 안성이나 천안의 일부 과수원에서는 배와 사과를 동시에 재배하는 곳도 있는데, 이럴 경우 화기감염 방제는 배나무 개화부터 사과나무 낙화까지 한 과수원에 있는 모든 과수의 개화기간 동안의 꽃감염 경보에 따라 방제해야한다(Ahn and Yun, 2021; Billing, 2000). 본 연구에서는 80% 꽃이 개화하는 만개부터 낙화까지의 만개기간을 15일로 정했는데 web-cam 관측결과 만개기간도 지역과 연도에 따라 10일 이내부터 20일 이상까지 다양하였다. 또한 기상관측 자료에서는 얻을 수 없는 과수원 현장에서의 강우 혹은 이슬 등도 모델의 예측 결과에 영향을 주는 인자이므로 현장 농민들이 각 과수원의 정확한 개화기간, 혹은 기상자료로 측정하기 힘든 꽃의 젖음 등 다양한 현장 자료를 입력하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

22년부터 농진청에서는 우리나라 전역의 화상병 감염 위험을 예측하는 모델 결과를 자동으로 알려주는 K-Maryblyt 시스템(fireblight.org)을 운영하고 있다(Yang *et al.*, 2022). 이런 방제의사 결정 서비스가 현장에서 쉽게 활용되려면 정확한 예측으로 신뢰를 얻어야 하는데, 현 단계에서는 방제권장 경보가 너무 잦고, 기상정보의 예측값과 관측값의 차이로 인해 전날 방제권장 결과와 당일 방제 권장 결과가 달라져 현장에서 방제 결정에 혼선을 가져오는 등 현재의 모델은 현장

평가가 반영되어 지속적으로 개선, 보완이 필요하다. Fig. 6과 같이 실제 과수원 현장에서는 종종 기상관측 자료로는 찾을 수 없는 경우, 이슬 등이 발병에 영향을 주기도 하며, 실제 재식된 품종 및 과수 종류를 모두 포함한 개별 과수원 개화정보, 초기 화상병 발병 일자 등 현장에서 만들어지는 정밀한 자료(Billing, 2000)가 모델을 향상시키는데 매우 중요하다. 지금부터라도 현장 자료들이 쌓인다면 향후 K-Maryblyt 모델 활용의 폭이 현재보다 훨씬 넓을 것이다.

4차산업 혁명과 인공지능 발달을 화상병 방제에 활용할 수 있는 방안으로는 개선된 K-Maryblyt 프로그램을 인공지능이 직접 구동하여, AI가 방제를 결정하면, 드론이 즉각적으로 필요한 지점에 방제를 하는 것이다. 현재 일부 현장 작업자들은 방제 3~4일 전에 의사 결정을 위한 정보를 제공하라는 의견도 있는데, 현재 기상예보 기술로 정확한 3~4일 후의 기상 예보를 얻을 수 없고, 3~4일 후의 약제 살포 효과가 떨어지는 상황에서 현장 의견이 방제에 효과적이지 않다. 오히려 사람이 방제 의사 결정에 개입하지 않고 사물인터넷으로 연결된 인공지능이 방제를 결정하고 드론이 즉각 필요한 곳에만 방제하는 것이 더 실현 가능성이 높을 것이다.

적 요

배 화상병의 성공적 방제를 위해 2018년부터 2022년까지 우리나라 중부지방의 주요 발병지와 남부지방의 미발병 주산지 주요지점 25곳에 대한 Maryblyt를 구동하여 꽃감염 위험도를 조사하였다. 최근 5년 중 2019년과 2022년 개화기간 중 꽃감염 위험도가 가장 높았다. 한편, 개화기간 중 최적의 꽃감염 방제 처리는 High 경보 다음날에 방제하고, 강우예보를 발령한 전날 방제하는 처리가 배 꽃감염을 낮추는 것으로 평가하였다. 월동 궤양으로부터 활성화된 궤양이 병징을 보일 것으로 Maryblyt가 예측한 날은 대략 중부지방 기준 5월 중순이었는데 이때부터 현장에서 궤양 모니터링을 개시하도록 권장하였다. 천안, 이천, 상주, 나주 등 4곳의 배 과수원에 설치한 영상자료로부터 배 개화기간을 이론적으로 계산한 값과 실제 관측한 값의 차이점을 비교한 결과 남부지방은 이론치나 실측치보다 늘 빠르게 개화를 예측하므로 재조정이 필요하였다. 향후 현장 관리자와 농민들로부터 과원에서 관측한 기상, 기주인 과수, 병징 출현일 등의 정보들이 축

적된다면 발병 예측 모델은 현재보다 더 정확한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구개발사업 (과제번호: PJ015302032021)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Ahn, M. I., and S. C. Yun, 2021: Application of the *Maryblyt* model for the infection of fire blight on apple trees at Chungju, Jecheon, and Eumsung during 2015-2020. *Plant Pathology Journal* **37**, 543-554.
- Berger, F., W. Zeller, V. Gutsche, and D. Rossberg, 1996: A new fire blight forecasting system with first results in southwest Germany. *Acta Horticulturae* **411**, 155-161.
- Billing, E., 2000: Fire blight risk assessment systems and models. In *Fire blight: the disease and its causative agent, Erwinia amylovora*, ed. J. L. Vanneste, pp. 293-318. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Decker, T., 1996: Fire blight control under temperate zone climatology. *Acta Horticulture* **411**, 173-175.
- Gent, D. H., W. F. Mahaffee, N. McRoberts, and W. F. Pfender, 2013: The use and role of predictive systems in disease management. *Annual Review of Phytopathology* **51**, 267-289.
- Guo, L., J. Dai, M. Wang, J. Xu, and E. Luedeling, 2015: Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: a case study apricot flowering in China. *Agriculture and Forest Meteorology* **201**, 1-7.
- Ham, H., Y.-K. Lee, H. G. Kong, S. J. Hong, K. J. Lee, G.-R. Oh, M.-H. Lee, and Y. H. Lee, 2020a: Outbreak of fire blight of apple and asian pear in 2015-2019. *Research in Plant Disease* **26**, 222-228. (in Korean with English abstract)
- Ham, H., K. J. Lee, S. J. Hong, H. G. Kong, M.-H. Lee, H.-R. Kim, and Y. H. Lee, 2020b: Outbreak of fire blight of apple and pear and its characteristics in Korea in 2019. *Research in Plant Disease* **26**, 239-249. (in Korean with English abstract)
- Kharadi, R. R., J. K. Schachterle, X. Yuan, L. F. Castiblanco, J. Peng, S. M. Slack, Q. Zeng, and G. W. Sundin, 2021: Genetic dissection of the *Erwinia amylovora* disease cycle. *Annual Review*

- of *Phytopathology* **59**, 8.1-8.22.
- Kim, D. J., and J. H. Kim, 2018: An outlook of changes in the flowering dates and low temperature after flowering under the RCP8.5 projected climate condition. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**, 313-320. (in Korean with English abstract)
- Kim, J. H., D. J. Kim, S. O. Kim, E. J. Yun, O. Ju, J. S. Park, and Y. S. Shin, 2019: Estimation of freeze damage risk according to developmental stage of fruit flower buds in spring. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**, 55-64. (in Korean with English abstract)
- Kim, J. H., E. J. Lee, and J. I. Yun, 2013: Prediction of blooming dates of spring flowers by using digital temperature forecasts and phenology model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**, 40-49. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.-H., E.-J. Yun, D.-J. Kim, D. G. Kang, B. H. Seo, and K.-M. Shim, 2020: Evaluation of regional flowering phenological models in niitaka pear by temperature patterns. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **22**, 268-278. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.-S., and S.-C. Yun, 2018: *MARYBLYT* study for potential spread and prediction of future infection risk of fire blight on blossom of singo pear in Korea. *Research in Plant Disease* **24**, 182-192. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y. E., J. Y. Kim, H. J. Noh, D. H. Lee, S. S. Kim, and S. H. Kim, 2019: Investigation survival of *Erwinia amylovora* from fire blight-diseased apple and pear trees buried in soil as control measure. *Korean Journal of Environment and Agriculture* **38**, 269-272. (in Korean with English abstract)
- Lightner, G. W., and P. W. Steiner, 1993: An update on version 4.1 of *MARYBLYT* computer program for predicting fire blight. *Acta Horticulturae* **338**, 131-136.
- Park, D. H., J. G. Yu, E. J. Oh, K. S. Han, M. C. Yea, S. J. Lee, I. S. Myung, H. S. Shim, and C. S. Oh, 2016: First report of fire blight disease on Asian pear caused by *Erwinia amylovora* in Korea. *Plant Disease* **100**, 1946.
- Slack, S. M. and G. W. Sundin, 2017: News on ooze, the fire blight spreader. *Fruit Quarterly* **25**, 9-12.
- Steiner, P. W. 1990: Predicting apple blossom infections by *Erwinia amylovora* using the *MARYBLYT* model. *Acta Horticulturae* **273**, 139-148.
- Steiner, P. W. 2000: Integrated orchard and nursery management for the control of fire blight. In *Fire blight: the disease and its causative agent, Erwinia amylovora*, ed. J. L. Vanneste, pp. 339-358. CABI Publishing. Wallingford, UK.
- Thomson, S. V. 1986: The role of the stigma in fire blight infection. *Phytopathology* **76**, 476-482.
- Thomson, S. V. 1992: Dissemination of bacteria antagonistic to *Erwinia amylovora* by honey bees. *Plant Disease* **76**, 1052-1056.
- Thomson, S. V. 2000: Epidemiology of fire blight. In *Fire blight: the disease and its causative agent, Erwinia amylovora*, ed. J. L. Vanneste, pp. 9-36. CABI Publishing. Wallingford, UK.
- Timmermans, Y. 1990: A warning system for fire blight on pears in Belgium: preliminary model and practical prospects. *Acta Horticulturae* **273**, 121-127.
- Turechek, W. W. and A. R. Biggs, 2015: *Maryblyt* v. 7.1 for Windows: an improved fire blight forecasting program for apples and pears. *Plant Health Progress* **16**, 16-22.
- Yang, H. J., M. I. Ahn, S. C. Yun, K. B. NamKung, S. K. Kim, E. W. Park, and Y. K. Han. 2022: Prediction and comparative study on the fire blight infection risk using the K-Maryblyt model for 2020-2022 in Korea. 24th conference on agriculture and forest meteorology.
- Wallis, A., J. Carroll, and K. Cox, 2020: Fire blight. Cornell University and the New York State IPM Program. ecommons.cornell.edu/handle/1813/41246