한국농림기상학회지, 제19권 제4호(2017) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 19, No. 4, (2017), pp. 252~269
DOI: 10.5532/KJAFM.2017.19.4.252
ⓒ Author(s) 2017. CC Attribution 3.0 License.

휴면기 저온 누적 시간 및 발아 후 변온이 국내 주요 사과품종의 개화에 미치는 영향

권헌중[1] · 박무용[1] · 송양익[2] · 사공동훈[3*]
[1]농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소, [2]국립종자원 품종보호과, [3]대구대학교 원예학과
(2017년 8월 4일 접수; 2017년 11월 11일 수정; 2017년 11월 11일 수락)

Influence of Accumulated Hours of Low Temperature in Dormant and Changing Temperature after Bud Breaking on Flowering of Main Apple Cultivars in Korea

Hun-Joong Kweon[1], Moo-Yong Park[1], Yang-Yik Song[2] and Dong-Hoon Sagong[3*]
[1]Apple Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Gunwi 39000, Korea
[2]Plant Variety Protection Division, Korea Seed and Variety Service, Gimcheon 39660, Korea
[3]Department of Horticulture, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea
(Received August 4, 2017; Revised November 11, 2017; Accepted November 11, 2017)

ABSTRACT

This study was carried out to examine the base temperature to flowering and the average days to flowering by accumulated hours of low temperature (5.0°C) or changing temperature after bud breaking. Over-all, the prediction of flowering time in the commercial apple cultivars ('Fuji' and 'Tsugaru') and apple cultivars ('Chukwang', 'Gamhong', 'Hongan', 'Honggeum', 'Hongro', 'Hongso', 'Hwahong', 'Summer dream', 'Sunhong') bred in Korea at the Gunwi region for 4 years (from 2009 to 2012) was investigated. Also, this study estimated the flowering time when the air temperature of Gunwi region rises at 5.0°C was investigated using the same data. The range of accumulated hours of low temperature (chilling requirement) was from 0 hour to 1,671 hours, and the range of high temperature (heat requirements) to flowering after low temperature treatment was from 5.0°C to 29.0°C. The treatments of changing temperature after bud breaking were classified as constant temperature treatment (control) and 5.0～10.0°C elevation or descent treatments. The results show that the average days to flowering was longer with shorter accumulated hours of low temperature, and the average days from bud breaking to flowering of 0 hour treatment was longer about 2～4 weeks than that of 1,335～1,503 hours treatments. In comparing to apple cultivars, the all cultivars were not flowered under 10.0°C after bud breaking, and the cultivars with low chilling requirements needed low heat requirements for flowering. The average days to flowering of treatments that the air temperature after bud breaking was controlled about 15.0°C was shorter about 1～3 weeks than that of treatments was controlled about 10.0°C. In the treatment of changing temperature after bud breaking, the average days from bud breaking to flowering of temperature elevation treatment was shorter than that of constant temperature treatment. By use of these results, the base temperature to flowering of main apple cultivars in Korea was seemed to 10.0°C, and if the air temperature of Gunwi region rises about 5.0°C than that of current, the flowering time was

* Corresponding Author : Dong-Hoon Sagong
(sa0316@daegu.ac.kr)

estimated to be delayed by 1 week.

***Key words*: Base temperature to flowering, Chilling requirement, Days to flowering, Heat requirements, *Malus domestica* Borkh**

I. 서 론

사과 꽃눈의 외형적 발달단계는 연구자에 따라 다소 다르지만 일반적으로 휴면기(dormant), 은색 선단기(silver tip), 녹색 선단기(green tip, bud breaking or tip separation; 전엽기 혹은 발아기), 단단한 화총기(tight cluster; 녹뢰기), 완전 분홍기(pink or first color; 홍뢰기), 풍선기(full pink or full color), 개화기(first bloom or flowering), 만개기(full bloom) 및 낙화기(petal fall) 등으로 나누어지고 있으며(Kim *et al*., 2006; Shin and Kim, 2004; Wertheim and Schmidt, 2005; Yim, 2015), 이 중 사과 꽃눈의 발아기 혹은 개화기를 매년 예측할 수 있다면 인공수분, 개화기 늦서리 사전대책, 적과, 병해충 방제 및 수확 등과 같은 사과원의 작업시기를 결정하는데 큰 도움이 될 것이다.

과수의 개화기는 과종, 품종, 전년도 여름부터 가을까지의 기상조건, 나무의 저장양분, 토양의 양수분, 근권 온도, 전년도 결실량, 신초의 발육 정도 및 개화 전 기상조건 등의 여러 요인과 관련되어 있다(Greer *et al*., 2005; Shin and Kim, 2004; Wertheim and Schmidt, 2005). 그 중에서도 가장 큰 영향을 미치는 것은 개화 전 1～2개월 동안의 봄철 기온으로(Jeon *et al*., 2010; Lee *et al*., 2008), 어떤 과종은 평균 8.0ºC에서 개화하는 품종이 있는가 하면 최소 15.0ºC가 될 때까지 개화를 못하는 품종도 있다(Yim, 2015). 사과의 경우, 국내 주 품종인 '후지'의 개화시기는 3월 상순 10.0ºC 이상의 적산온도와 상관계수가 가장 높았다는 보고(Shim and Kim, 2004)가 있으나, 최근 국내에서 육성된 사과 품종들의 개화와 기온의 상관관계 혹은 이들 품종들이 개화하려면 기온이 최소 몇 ºC 이상 유지되어야 하는 지에 대하여 연구한 보고는 없다.

낙엽과수의 대다수 개화기 예측 모델들은 자발휴면 타파 후 개화기까지의 기온 혹은 휴면타파 후 개화기까지의 적산온도를 근거로 하고 있는데(Yun *et al*., 2012), Cesaraccio *et al*.(2004)은 여러 종류의 낙엽수목에서 저온요구도(cool requirement or chilling requirement)와 고온요구도(heat requirement)를 토대로 낙엽과수의 개화기 추정 모델(휴면시계모형)을 제시하였다. 이 모델에서 적산온도는 chill day의 적산과 anti-chill day의 적산으로 구분되는데, 이 적산과정은 매일의 온도에 따른 가중치를 달리하여 적산되는 온도시간으로 표현되며, 작물 별로 생장 및 발육이 시작되는 고유한 기준온도(base temperature)가 필요하다(Kim *et al*., 2009; 2016a; 2016b). 또 다른 개화기 예측 모델로는 생육기간 내에 생육단계별 발육속도를 기온의 함수로 개화일을 예측하는 발육속도 모델이 있는데(Sugiura and Honjo, 1997), 이 모델 역시 작물의 생장 및 발육이 멈추거나 시작되는 기준온도가 필요하다(Han *et al*., 2010; Shin and Kim, 2004; Yun *et al*., 2012)고 한다. 즉, 앞서 언급한 바와 같이 국내에서 육성된 사과 품종들의 개화기를 정확하게 추정하기 위해서는 품종별 꽃눈의 외형적 단계별 기준온도가 필요한데, 국내에는 '후지' 사과 품종의 발아 기준온도(6.1ºC)만 제시되었을 뿐(Kim *et al*., 2009; 2016a), 국내에서 재배되고 있는 사과 품종들의 개화 기준온도에 대하여 연구한 보고는 없다.

또한, 대부분의 낙엽과수는 활발한 생장과 휴면을 반복하는 연중 생장주기를 가지고 있어, 겨울에 저온요구도가 충족되지 않으면 휴면이 연장되고 개화가 지연되어 화아가 쇠약해지고 개화 및 착과가 불량해진다고 알려져 있다(Shim and Kim, 2004; Kim *et al*., 2006). 그러나 Han *et al*.(2010)은 지구온난화에 의해 겨울철 기온이 상승하면 '신고' 배 품종의 자발휴면 타파시기가 늦어지지만 자발휴면 타파 후인 봄철 기온이 상승되면 눈의 발육이 빨라질 수 있어 만개기는 현재보다 오히려 늦어지거나 혹은 빨라질 수 있다고 하였다. 사과나무의 경우 자발휴면이 타파된 시기(2월초 이후)에 채취한 '후지', '홍로', '쓰가루' 품종의 과대지를 수삽하여 바로 20.0～25.0ºC로 조절된 생장상(growth chamber)에 배치했더니 발아하는데 10～15일 정도 소요되었던 반면에 자발휴면 초기(12월초)에 채취한 동일 품종의 과대지들은 발아하는데 140～160일 정도 소요되었다는 보고(Kweon *et al*., 2013)가 있

는데, 이 보고에서는 개화소요일수가 언급되지 않았다. 즉, 자발휴면이 타파되지 않았던 시기에 채취한 사과 품종들의 과대지 개화소요일수 혹은 발아부터 개화까지의 소요일수가 자발휴면 타파 이후에 채취한 과대지보다 길었는지 혹은 짧았는지에 대해서는 알 수가 없었다.

한편, Jeon *et al*.(2010)은 단감 '부유' 품종의 생육단계의 연차 변이에 대한 주요 요인을 구명하고자, 전라남도 광주지역의 기상조건을 1980년부터 1995년까지 조사해 본 결과, 월별 평균기온 및 적산온도의 연차변이는 3월과 4월에 가장 컸으며, 발아기 및 개화기는 3월과 4월의 평균기온에 가장 큰 영향을 받았다고 하였다. 사과나무의 경우 발아기는 약 개화 18일 전, 홍뢰기는 약 개화 7일 전, 풍선기는 약 개화 1～2일 전(Kim *et al*., 2006; Yim, 2015)으로 알려져 있는데, 경상북도 군위지역에 위치한 국립원예특작과학원 사과연구소에서 조사한 국내 사과 9품종들의 최근(2009～2012년)의 개화기는 4월 중순부터 5월 초순 사이였고(Kweon *et al*., 2013), 같은 기간 기상청에서 조사한 사과연구소의 3～4월 일별 평균기온의 편차는 4.4°C 정도, 평균 일교차는 14.7°C 정도였다. 즉, 3～4월에 발아된 사과 꽃눈들이 3～4월의 급격한 기온변화에 의해 발육이 멈추거나 급격하게 진전되어 개화기가 심하게 변동될 수 있는데, 국내에는 이러한 발아 후 변온에 따른 사과 품종별 개화소요일수를 연구한 보고가 없다.

따라서, 본 시험은 국내에서 육성되거나 재배되고 있는 주요 사과품종들의 개화기를 예측하는데 필요한 기초자료를 제공하고자, 저온요구도 충족 여부에 따른 개화지연 정도, 온도별 개화 소요일수 및 발아 후 변온에 따른 개화소요일수를 조사하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 국내 주요 사과 품종들의 휴면기 저온 경과 정도에 따른 개화 소요일수

본 조사는 경북 군위군 소보면 소재 국립원예특작과학원 사과연구소에서 M.26에 접목한 '쓰가루와 '후지' 및 국내에서 육성된 7품종('홍로', '선홍', '홍금', '홍안', '홍소', '감홍', '섬머드림')을 대상으로 하여 4년(2009～2012년)동안 실시하였다.

2009～2010년 조사는 3품종('후지', '홍로', '쓰가루')을 대상으로 하여 낙엽기인 2009년 12월 2일 17시경에 품종 별로 90개씩 정아 직경이 3mm 이상이면서 길이가 15～20cm 정도인 과대지들을 채취하였다. 과대지들은 채취 당일 18시에 5.0°C로 조절된 저온저장고에 보관하여 1주일 간격으로 9시기[출고날짜(5.0°C 저장고에서의 경과시간): 12월 2일(0hr), 12월 9일(159hr), 12월 16일(327hr), 12월 23일(495hr), 12월 30일(663hr), 1월 6일(831hr), 1월 13일(999hr), 1월 20일(1,167hr), 1월 27일(1,335hr)]에 품종 별로 10개씩 9시에 출고하였다. 출고할 때마다 품종별 10개의 과대지들은 각각 1개의 수조에 수삽한 뒤, 기온이 20.0°C로 조절된 생장상(VS-3DM, Vision, Korea)에 1개씩의 수조를 당일 18시에 배치하고 2～3일 간격으로 9시에 개화 여부를 2010년 7월 30일까지 조사하였다. 개화 여부는 정아 및 액아에 상관없이 중심화가 개화(first bloom or flowering)했을 때 개화한 것으로 판정하였으며, 품종별 평균 개화 소요일수는 10개의 과대지들 중 6개가 개화할 때까지 소요된 과대지별 개화 소요일수를 평균하여 나타내었는데, 조사시기 동안 몇몇 품종은 2010년 7월 30일까지 개화를 전혀 하지 않거나 혹은 3～5개의 과대지만 개화하였다. 따라서 통계를 위한 반복은 품종별 1개의 과대지를 1반복으로 한 3～6반복으로 하였다. 생장상의 상대습도 및 일조시간은 각각 60%, 16hr이었으며, 수조의 물은 수돗물로 1주일 간격으로 교체하였고, 과대지 도관의 부패를 방지하기 위해 약 2～3주 간격으로 물 속에서 과대지의 밑 부분을 1cm 미만으로 조금씩 절단해주었다.

2010～2011년 조사는 7품종('후지', '홍로', '쓰가루', '홍금', '홍안', '홍소', '선홍')을 대상으로 2010년 12월 13일 17시경에 품종 별로 110개의 과대지를 채취하여 당일 18시에 5.0°C로 조절된 저온저장고에 보관하였다. 보관된 과대지들은 1주일 간격으로 11시기[12월 13일(0hr), 12월 20일(159hr), 12월 27일(327hr), 1월 3일(495hr), 1월 10일(663hr), 1월 17일(831hr), 1월 24일(999hr), 1월 31일(1,167hr), 2월 7일(1,335hr), 2월 14일(1,503hr), 2월 21일(1,671hr)]에 품종 별로 10개씩 9시에 출고하였다. 출고된 품종별 10개의 과대지들은 1개의 수조에 3～4개씩 구분하여 수삽한 뒤 2011년 4월 30일까지 22.0°C로 조절된 생장상에 배치하였다. 과대지의 조건, 개화 여부, 생장상의 환경조건, 관리방법 및 조사간격은 2009～2010년 조사와 동일하였고, 2010～2011년 조사의 반복은 품종별 과대지 1～3개의 평균 개화소요일수를 1반복으

로 한 3반복이었다.

2011～2012년 조사는 9품종(‘후지’, ‘홍로’, ‘쓰가루’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘선홍’, ‘감홍’, ‘섬머드림’)을 대상으로 2011년 12월 13일 17시경에 품종별로 100개의 과대지를 채취하여 당일 18시에 5.0ºC로 조절된 저온저장고에 보관하였다. 보관된 과대지들은 2010～2011년 조사와 동일한 시기에 품종별로 10개씩 9시에 출고하였다. 출고된 품종별 10개의 과대지들은 1개의 오아시스에 3～4개씩 구분하여 꽂아 2012년 5월 20일까지 24.0ºC로 조절된 생장상에 배치하였다. 오아시스의 관수는 1주일 간격으로 하였으며, 과대지의 조건, 개화 여부, 생장상의 환경조건, 관리방법 및 조사간격은 2009～2010년 조사와 동일하였다. 2011～2012년 조사의 반복은 품종별 과대지 1～3개의 평균 개화소요일수를 1반복으로 한 3반복이었다.

조사연도별 발아 후 개화까지의 소요일수는 본 시험품종들의 개화소요일수에서 발아소요일수를 뺀 값으로 나타내었다. 계산에 이용된 품종별 발아소요일수는 Kweon *et al.*(2013)의 자료로, 본 조사의 과대지는 Kweon *et al.*(2013)의 재료와 동일한 과대지였다.

이상의 연도별로 사용된 재료 및 방법을 간단하게 정리하면 Table 1과 같다.

2.2. 국내 주요 사과 품종들의 개화에 필요한 기준온도

본 조사는 국내 주요 사과품종들의 발아 및 개화에 필요한 기준온도를 구명하고자, 3개년(2009년, 2010년, 2012년) 동안 국립원예특작과학원 사과연구소에서 M.26에 접목한 ‘쓰가루’와 ‘후지’ 및 국내에서 육성된 9품종(‘홍로’, ‘선홍’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘감홍’, ‘섬머드림’, ‘추광’, ‘화홍’)의 과대지를 대상으로 하였다. 채취된 과대지의 조건은 2009～2010년 저온 경과정도에 따른 개화소요일수 조사와 동일하였다.

각 연도별 처리 및 조사방법을 살펴보면, 2009년 조사는 3월 13일에 발아하지 않은 6품종(‘후지’, ‘쓰가루’, ‘홍금’, ‘선홍’, ‘추광’, ‘화홍’)의 과대지를 품종별로 40개씩 채취하였다. 채취한 과대지는 채취 당일 바로 품종 별로 10개씩 묶어 1개의 수조에 수삽한 뒤 4개의 기온조건(5.0ºC, 10.0ºC, 15.0ºC, 20.0ºC)으로 조절된 각각의 생장상에 수조를 1개씩 배치하였다. 생장상 온도처리는 7월 13일까지 하였다.

2010년 조사는 2월 4일과 4월 28일에 과대지를 채취하였는데, 2월 4일의 경우 발아하지 않은 9품종(‘후지’, ‘홍로’, ‘쓰가루’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘선홍’, ‘감홍’, ‘추광’, ‘화홍’)의 과대지를 품종 별로 50개씩 채취하였고, 4월 28일에는 홍뢰기 상태의 3품종(‘후지’, ‘홍로’, ‘쓰가루’)의 과대지를 품종 별로 50개씩 채취하였다. 채취한 과대지는 채취 당일 바로 품종 별로 10개씩

Table 1. Material and method list of treatments about average days to flowering at 20.0～25.0ºC growth chamber by the different accumulated hour at 5.0ºC in apple cultivars

Periods	Cultivars	Sampling date of bourse shoot	Accumulated hours at 5.0ºC of bourse shoot	Temperature to flowering after 5.0ºC storage
2009～2010	Fuji, Hongro, Tsugaru	2 December in 2009 (Dormant stage)	0 hr, 159hr, 327 hr, 495 hr, 663 hr, 831 hr, 999 hr, 1,167 hr, 1,335 hr	20.0ºC
2010～2011	Fuji, Hongan, Honggeum, Hongro, Hongso, Sunhong, Tsugaru	13 December in 2010 (Dormant stage)	0 hr, 159 hr, 327 hr, 495 hr, 663 hr, 831 hr, 999 hr, 1,167 hr, 1,335 hr, 1,503 hr, 1,671 hr	22.0ºC
2011～2012	Fuji, Gamhong, Hongan, Honggeum, Hongro, Hongso Summer dream, Sunhong, Tsugaru	13 December in 2011 (Dormant stage)	0 hr, 159 hr, 327 hr, 495 hr, 663 hr, 831 hr, 999 hr, 1,167 hr, 1,335 hr, 1,503 hr	24.0ºC

묶어 1개의 수조에 수삽한 뒤 5개의 기온조건(5.0°C, 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C, 25.0°C)으로 조절된 각각의 생장상에 수조를 1개씩 배치하였다. 생장상 온도처리는 7월 30일까지 하였다.

2012년 조사는 3월 13일에 발아하지 않은 9품종(‘후지’, ‘홍로’, ‘쓰가루’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘선홍’, ‘감홍’, ‘섬머드림’)의 과대지를 품종 별로 50개씩 채취하였다. 채취한 과대지는 채취 당일 바로 품종 별로 10개의 과대지를 3～4개씩 묶어 구분한 뒤 1개의 오아시스에 꽂아, 5개의 기온조건(9.0°C, 14.0°C, 19.0°C, 24.0°C, 29.0°C)으로 조절된 각각의 생장상에 오아시스를 1개씩 배치하였다. 생장상 온도처리는 6월 30일까지 하였다.

각 조사연도별 조사항목은 평균 개화소요일수로, 2009년과 2010년의 반복은 2009～2010년 저온 경과 정도에 따른 개화소요일수 조사와 동일하였고, 2012년의 반복은 2011～2012년 저온 경과 정도에 따른 개화소요일수 조사와 동일하였다. 이외 개화 여부, 생장상의 환경조건, 관리방법 및 조사간격은 2009～2010년 저온 경과 정도에 따른 개화소요일수 조사와 동일하였다.

이상의 연도별로 사용된 재료 및 방법을 간단하게 정리하면 Table 2와 같다.

2.3. 발아 후 변온에 따른 국내 주요 사과 품종들의 개화소요일수

본 조사는 발아 후 기온 변화가 국내에서 재배되고 있는 사과품종들의 개화에 미치는 영향을 구명하고자, 3개년(2009년, 2010년, 2012년) 동안 국립원예특작과학원 사과연구소에서 M.26에 접목한 ‘쓰가루’와 ‘후지’ 및 국내에서 육성된 5품종(‘홍로’, ‘선홍’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘추광’)의 과대지를 대상으로 조사하였다. 채취된 과대지의 조건은 2009～2010년 저온 경과 정도에 따른 개화소요일수 조사와 동일하였고, 변온 조건은 발아기를 기준으로 하여 발아 전과 발아 후 기온을 5.0～10.0°C 정도 차이가 나게 하였다.

각 연도별 처리 및 조사방법을 살펴보면, 2009년에는 앞선 2009년 개화에 필요한 기준온도 조사에서 품종 별로 과대지를 40개씩 채취할 때(2009년 3월 13일), 변온 4처리(5.0°C → 15.0°C, 10.0°C → 20.0°C, 15.0°C → 5.0°C, 20.0°C → 10.0°C)에 따른 발아 후 개화소요일수를 조사하고자 ‘추광’과 ‘쓰가루’ 품종의 과대지를 40개씩 추가로 채취하였다. 처리 방법은 앞선 2009년 개화에 필요한 기준온도 조사에서 각 기온별 생장상(5.0°C, 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C)에 품종 별로 과대지가 10개씩 수삽된 수조를 1개씩 배치할 때, 변온 조건을 대비하여 동일하게 수삽한 수조를 조사대상 품종 별로 1개씩 각 기온별 생장상에 추가로 배치하였다. 대조구는 앞선 2009년 개화에 필요한 기준온도 조사에 이용된 ‘추광’ ‘쓰가루’ 품종들의 처리구로, 이들 처리구는 개화할 때까지 처음 배치하였던 생장상에 있

Table 2. Material and method list of treatments about average days to flowering by the different constant temperature in apple cultivars

Periods	Cultivars	Sampling date of bourse shoot	Temperature to flowering in growth chamber
2009	Chukwang, Fuji, Honggeum, Hwahong, Sunhong, Tsugaru	13 March in 2009 (Dormant stage)	5.0°C, 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C
2010 (1)	Chukwang, Fuji, Gamhong, Hongan, Honggeum, Hongro, Summer dream, Sunhong, Tsugaru	4 February in 2010 (Dormant stage)	5.0°C, 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C 25.0°C
2010 (2)	Fuji, Hongro, Tsgaru	28 April in 2010 (Pink stage)	5.0°C, 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C 25.0°C
2012	Fuji, Gamhong, Hongan, Honggeum, Hongro, Hongso Summer dream, Sunhong, Tsugaru	13 March in 2012 (Dormant stage)	9.0°C, 14.0°C, 19.0°C, 24.0°C 29.0°C

었으며(항온 조건), 변온 조건의 처리구들은 수조 내 과대지 중 절반 이상이 발아했을 때 다른 기온조건의 생장상으로 이동시켰다. 생장상의 온도처리는 7월 13일까지 하였다.

2010년에는 앞선 2009～2010년 저온 경과 정도에 따른 개화소요일수 조사에서 품종(‘후지’, ‘홍로’, 쓰가루’) 별로 과대지를 90개씩 채취할 때(2009년 12월 2일), 이들 과대지들의 항온 5처리(5.0°C, 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C, 25.0°C) 및 변온 14처리(발아 후 각 항온 대비 5.0～10.0°C 상승 및 하강 처리로, 발아 후 −5.0°C, 0.0°C, 30.0°C 및 35.0°C로의 변온 처리는 없음)에 따른 발아 후 개화소요일수를 조사하고자 3품종(‘후지’, ‘홍로’, 쓰가루’)의 과대지를 품종 별로 190개씩 추가로 채취하였다. 추가로 채취된 과대지는 5.0°C로 조절된 저온저장고에 보관해두다가 2010년 2월 1일에 출고하여 항온 및 변온 처리를 하였다. 처리방법은 항온 처리의 경우 5처리(5.0°C, 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C, 25.0°C)마다 조사대상 품종 별로 과대지가 10개씩 수삽된 수조를 1개씩 배치하였고, 변온 처리는 항온처리와 동일하게 과대지를 수삽한 수조를 5.0°C 조건에 품종 별로 2개씩(발아 후 5.0°C와 10.0°C 상승구), 10.0°C 조건에 3개씩(발아 후 5.0°C와 10.0°C 상승구, 5.0°C 하강구), 15.0°C 조건에 4개씩(발아 후 5.0°C와 10.0°C 상승구 및 하강구), 20.0°C 조건에 3개씩(발아 후 5.0°C 상승구, 5.0°C와 10.0°C 하강구), 25.0°C 조건에 2개씩(발아 후 5.0°C와 10.0°C 하강구) 추가 배치하였다. 변온 처리구들은 수조 내 과대지 중 절반 이상이 발아했을 때 다른 기온조건의 생장상으로 이동시켰다. 생장상의 온도처리는 7월 30일까지 하였다.

2012년에는 앞선 2012년 개화에 필요한 기준온도 조사에서 품종 별로 과대지를 50개씩 채취할 때(2012년 3월 13일), 변온 8처리(발아 후 각 항온 대비 5.0°C 상승 및 하강 처리로, 발아 후 4.0°C와 34.0°C로의 변온 처리는 없음)에 따른 발아 후 개화소요일수를 조사하고자 6품종(‘후지’, ‘홍로’, 쓰가루’, ‘홍금’, ‘선홍’, ‘홍안’)의 과대지를 품종 별로 80개씩 추가로 채취하였다. 처리 방법은 앞선 2012년 개화에 필요한 기준온도 조사에서 각 기온별 생장상(9.0°C, 14.0°C, 19.0°C, 24.0°C, 29.0°C)에 품종 별로 10개의 과대지가 3～4개씩 구분되어 수삽된 오아시스를 1개씩 배치할 때, 변온 조건을 대비하여 채취한 과대지가 수삽된 오아시스를 품종 별로 9.0°C 조건에 1개씩(발아 후 5.0°C 상승구), 14.0°C, 19.0°C, 24.0°C 조건에 각각 2개씩(발아 후 5.0°C 상승구와 하강구), 29.0°C 조건에 1개씩(발아 후 5.0°C 하강구) 추가로 배치하였다. 대조구는 앞선 2012년 개화에 필요한 기준온도 조사에 이용된 6품종들의 처리구로, 이들 처리구는 개화할 때까지 처음 배치하였던 생장상에 그대로 배치하였고, 변온 조건의

Table 3. Material and method list of treatments about average days to flowering by changing temperature after bud breaking in apple cultivars

Periods	Cultivars	Sampling date of bourse shoot	Temperature before bud breaking was over 50%	Changing temperature after bud breaking was over 50%
2009	Chukwang, Tsugaru	13 March in 2009 (Dormant stage)	5.0°C, 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C	−10.0°C compare to temperature before bud breaking in 15.0°C and 20.0°C treatments Maintain to temperature before bud breaking in 5.0°C, 10.0°C, 15.0°C and 20.0°C treatments +10.0°C compare to temperature before bud breaking in 5.0°C and 10.0°C treatments
2010	Fuji, Hongro, Tsugaru	2 December in 2009 (Dormant stage)	5.0°C, 10.0°C, 15.0°C, 20.0°C, 25.0°C	−10.0°C, −5.0°C, Maintain +5.0°C and +10.0°C compare to temperature before bud breaking
2012	Fuji, Hongan, Honggeum, Hongro, Sunhong, Tsugaru	13 March in 2012 (Dormant stage)	9.0°C, 14.0°C, 19.0°C, 24.0°C, 29.0°C	−5.0°C, Maintain and +5.0°C compare to temperature before bud breaking

처리구들은 오아시스 내 반복당 3～4개의 과대지 중 발아가 된 과대지가 2개 이상 발생되었을 때 다른 기온조건의 생장상으로 이동시켰다. 생장상의 온도처리는 7월 30일까지 하였다.

각 조사연도별 조사항목은 수조 및 오아시스를 다른 기온 조건의 생장상으로 이동시켰을 때(50% 이상 발아했을 때)부터 개화까지 소요된 일수로, 대조구인 항온조건 역시 과대지가 50% 이상 발아했던 날부터 개화까지 소요된 일수를 조사하였다. 발아 판정은 과대지의 정아가 발아하여 녹색의 잎 끝이 보였을 때로 하였으며, 이외 개화 판정 여부, 생장상의 환경조건, 관리방법, 조사간격 및 반복수는 앞선 각 연도별 개화에 필요한 기준온도 조사와 동일하였다.

이상의 연도별로 사용된 재료 및 방법을 간단하게 정리하면 Table 3과 같다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 국내 주요 사과 품종들의 휴면기 저온 경과 정도에 따른 개화 소요일수

낙엽과수 겨울눈의 자발휴면을 타파하는데 필요한 저온은 과수의 종류 및 품종에 따라 다르지만 대체로 0.0～5.0°C의 기온이 가장 효과적이며(Byun *et al*., 2014; Kim *et al*., 2006), 국내에 재배되는 9개 사과품종(‘쓰가루’, ‘홍로’, ‘후지’, ‘홍금’, ‘홍안’, ‘홍소’, ‘선홍’, ‘감홍’, ‘섬머드림’)중 저온요구도가 높은 품종은 ‘후지’, ‘홍소’, ‘쓰가루’ 및 ‘감홍’이었고, 낮은 품종은 ‘홍금’과 ‘선홍’이었다는 보고(Kweon *et al*., 2013)가 있다.

본 조사 중에서 2009년 12월 2일에 3개 품종을 채취하여 5.0°C 저온저장고에서 저장시간을 달리한 후, 20.0～25.0°C의 생장상에서 개화소요일수를 조사한 결과를 살펴보면(Fig. 1A), 0hr 저장구는 164～181일, 999hr 저장구(5.0°C 저장고에서 출고한 날짜: 1월 13일)는 41～46일, 1,335hr 저장구(1월 27일)는 28～32일 정도였다. 품종 별로는 0hr 저장구에서 ‘후지’와 ‘쓰가루’는 180～181일, ‘홍로’는 164일 정도였고, 999hr 저장구에서 ‘후지’는 46일, ‘홍로’와 ‘쓰가루’는 41～42일 정도였으며, 1,335hr 저장구에서 ‘후지’는 32일, ‘홍로’와 ‘쓰가루’는 28～29일 정도였다.

2009～2010년 조사와 동일방법으로, 2010년 12월 13일에 7개 품종을 채취하여 개화소요일수를 조사한 2010～2011년에는 0hr 저장구가 70～75일, 999hr 저장구(1월 24일)는 30～46일, 1,503hr 저장구(2월 14일)는 22～32일 정도였다. 품종 별로는 ‘후지’의 경우 0～495hr 저장구, ‘홍소’는 0～327hr 저장구, ‘쓰가루’는 0～159hr 저장구, ‘홍로’는 0hr 저장구에서 개화가 되지 않았고, 1,503～1,671hr 저장구들(2월 14일～2월 21일)에서는 저온요구도가 낮은 것으로 알려진 ‘홍금’과 ‘선홍’의 개화소요일수가 22～28일 정도였고, 저온요구도가 높다고 알려진 ‘후지’, ‘홍소’, ‘쓰가루’ 및 ‘감홍’은 27～32일 정도였다(Fig. 1B).

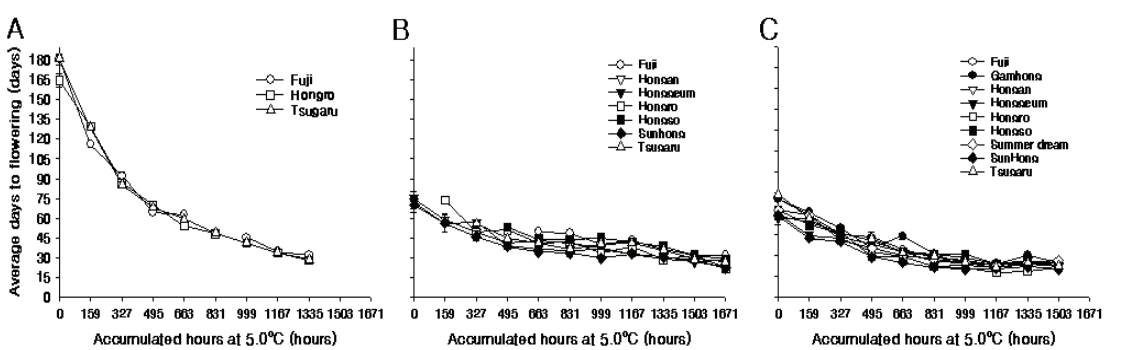

Fig. 1. Influence of the different accumulated hour at 5.0°C storage room on average days to flowering at 20.0～25.0°C growth chamber in apple cultivars at 2009～2010 season (A), 2010～2011 season (B), and 2011～2012 season (C). The sampling time of bourse shoot in 2009～2010 season (A), 2010～2011 season (B), and 2011～2012 season (C) were 2 December in 2009, 13 December in 2010, and 13 December in 2011, respectively. The vertical bars in 2009～2010 season (A) indicate standard errors of 3～6 bourse shoot replications. The vertical bars in 2010～2011 season (B) and 2011～2012 season (C) indicate standard errors of three replications (one replication was 1～3 bourse shoot).

2011년 12월 13일에 9개 품종을 채취한 2011～2012년 조사에서는 0hr 저장구가 57～74일, 999hr 저장구(1월 24일)는 21～31일, 1.503hr 저장구(2월 14일)는 21～27일 정도이었다. 품종 별로는 1,503hr 저장구에서 '홍금'과 '선홍'이 20～22일 정도였고, '후지', '홍소', '쓰가루' 및 '감홍'은 23～25일 정도였다(Fig. 1C).

이상 4년 동안의 저온경과시간에 따른 사과 품종별 과대지 개화소요일수 결과를 종합해보면(Fig. 1), 5.0°C에서의 경과시간이 짧을수록 개화가 되지 않거나 혹은 개화소요일수가 길어지는 경향이 있었는데, 이는 낙엽과수가 휴면기(겨울) 동안 저온요구도가 충족되지 못하면 발아, 개화, 전엽 등의 모든 현상이 순조롭게 이루어지지 못하고, 꽃봉오리 상태로 말라 죽어 떨어지거나 개화 및 결실이 되더라도 잘 전엽되지 않아 어린 과실이 떨어진다는 보고(Kim *et al*., 2006)와 동일하였다. 그러나 Kweon *et al*.(2013)은 5.0°C에서의 경과시간이 짧을수록 발아소요일수가 길어졌다고 하였다. 즉, 본 시험에서 저온경과시간이 짧을수록 개화소요일수가 길어졌던 것(Fig. 1)은 단순히 발아소요일수가 길어졌기 때문일 수도 있어 본 조사에서는 Kweon *et al*.(2013)의 자료와 본 조사의 결과(Fig. 1)를 이용하여 각 사과품종들의 발아부터 개화까지 소요된 일수를 조사해보았다.

5.0°C 경과시간에 따른 발아부터 개화까지 소요된 일수에 있어, 2009～2010년 조사에서는 0hr(12월 2일) 저장구의 경우 '후지'는 37일 정도, '홍로'와 '쓰가루'는 23～24일 정도였고, 999～1,335hr 저장구(1월 13일～1월 27일)에서는 '후지'는 20～26일, '홍로'는 15～22일, '쓰가루'는 18～22일 정도였다(Fig. 2A).

2010～2011년 발아부터 개화까지 소요된 일수 조사에서는 '홍안', '홍금', '선홍' 품종만 모든 저온 저장구(0～1,671hr)에서 개화하였다. 0hr(12월 2일) 저장구에서 이들 3품종의 발아부터 개화까지 소요된 일수는 28～37일 정도였고, 999hr 저장구(1월 24일)는 16～22일, 1,503hr 저장구(2월 14일)는 15～17일 정도였다(Fig. 2B).

2011～2012년 발아부터 개화까지 소요된 일수에서는 저온요구도가 높은 '후지', '홍소', '쓰가루' 및 '감홍' 품종의 경우 0hr 저장구에서 18～24일, 1,503hr 저장구(2월 14일)는 9～12일 정도였고, 저온요구도가 낮은 것으로 알려진 '홍금'과 '선홍'은 0hr 저장구에서 22～25일, 1,503hr 저장구(2월 14일)는 5～14일 정도였다(Fig. 2A).

일반적으로 사과나무 꽃눈의 발아기부터 개화기까지 소요되는 일수는 약 18일 정도이며(Kim *et al*., 2006; Yim, 2015), 개화기가 느린 사과 품종의 저온요구도는 개화가 빠른 품종보다 높다(Gianfagna and Mehlenbacher, 1985; Kweon *et al*., 2013; Mehlenbacher and Voordeckers, 1991; Swartz and Powell, 1981)고 알려져 있다. 본 조사에서는 조사연도 별로 차이가 다소 있었지만 전반적으로 조사대상 품종 모두가 5.0°C

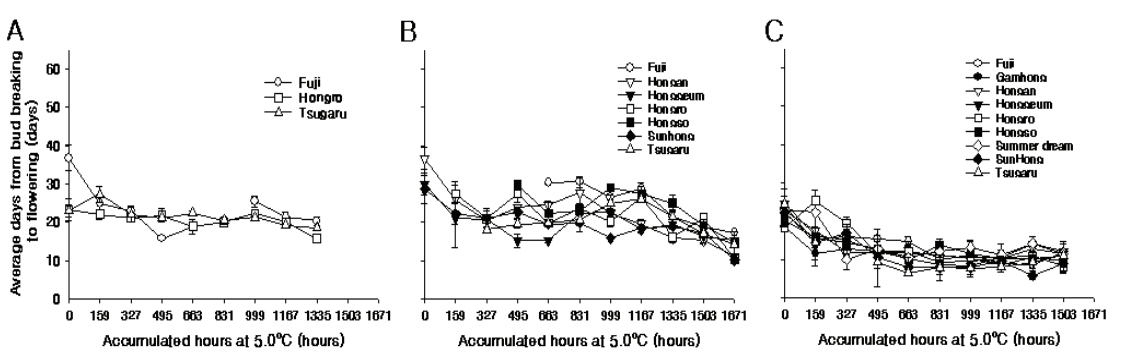

Fig. 2. Influence of the different accumulated hour at 5.0°C storage room on average days from bud breaking to flowering at 20.0～25.0°C growth chamber in apple cultivars at 2009～2010 season (A), 2010～2011 season (B), and 2011～2012 season (C). The sampling time of bourse shoot in 2009～2010 season (A), 2010～2011 season (B), and 2011～2012 season (C) were 2 December in 2009, 13 December in 2010, and 13 December in 2011, respectively. The vertical bars in 2009～2010 season (A) indicate standard errors of 3～6 bourse shoot replications. The vertical bars in 2010～2011 season (B) and 2011～2012 season (C) indicate standard errors of three replications (one replication was 1～3 bourse shoot).

에서의 경과시간이 짧을수록 발아부터 개화까지의 소요일수가 길어지는 경향이 있었는데, '후지' 0hr 처리구(12월초~12월중)의 경우 4년 동안 개화를 하지 못하거나 혹은 37일 정도 소요되었던 반면에 1,335~1,503hr(1월말~2월중) 처리구들은 12~21일 정도 소요되었다(Fig. 2).

한편, 앞서 언급된 그래프(Figs. 1 and 2)로는 품종별 저온요구도 충족 정도에 따른 개화소요일수 및 발아부터 개화까지 소요된 일수의 차이를 쉽게 구별할 수 없었다. 따라서 시험 연도별 1,335hr 저온 처리구들의 개화소요일수 및 발아부터 개화까지의 소요일수를 정리해 본 결과(Table 4), 저온요구도가 낮은 '선홍' 품종의 개화소요일수 및 발아부터 개화까지의 소요일수가 저온요구도가 높은 '후지', '홍소', '쓰가루' 품종보다 짧은 경향이 있었다. 즉, 국내에서 재배되는 사과품종들은 겨울철에 저온요구도가 완벽하게 충족되지 못하면 발아 후 기온이 25.0°C가 되더라도 개화가 지연된다고 할 수 있었고(Figs. 1 and 2), 저온요구도가 짧은 품종일수록 개화소요일수가 짧아진다고 할 수 있었다(Table 4).

3.2. 국내 주요 사과 품종들의 개화에 필요한 기준온도

Kweon *et al.*(2013)은 국내 사과품종들은 1월말부터 2월초 사이에 자발휴면이 타파되는데, 저온요구도가 낮은 '홍금'과 '선홍'의 자발휴면 타파시기는 1월중에서 1월말 사이였고, 저온요구도가 높은 '후지', '홍소', '쓰가루'는 1월말에서 2월초 사이였다고 하였다.

본 조사에서 자발휴면이 완벽하게 타파되었을 것으

Table 4. Average days to flowering and average days from bud breaking to flowering at 20.0~25.0°C growth chamber in apple cultivars that the accumulated hour at 5.0°C storage was 1,335 hours in three seasons

Cultivars	2009~2010 season[z]	2010~2011 season[z]	2011~2012 season[z]	Mean ± SE
	Average days to flowering (days)[y]			
Fuji	32.3	36.3	24.6	31.1 ± 5.95
Gamhong	–	–	30.3	–
Hongan	–	30.7	26.3	28.5 ± 2.20
Honggeum	–	29.3	23.7	26.5 ± 2.80
Hongro	28.0	28.7	19.1	25.3 ± 3.09
Hongso	–	38.7	25.3	32.0 ± 6.70
Summer dream	–	–	25.2	–
Sunhong	–	30.7	21.9	26.3 ± 4.40
Tsugaru	28.8	36.0	24.8	29.9 ± 3.28
	Average days from bud breaking to flowering (days)[x]			
Fuji	20.3	21.3	8.6	16.7 ± 4.08
Gamhong	–	–	10.7	–
Hongan	–	16.0	12.9	14.5 ± 1.55
Honggeum	–	19.4	14.2	16.8 ± 2.60
Hongro	15.8	16.2	11.0	14.3 ± 1.67
Hongso	–	25.0	10.3	17.7 ± 7.35
Summer dream	–	–	14.2	–
Sunhong	–	19.0	6.0	12.5 ± 6.50
Tsugaru	18.6	21.6	9.4	16.5 ± 3.67

[z] Air temperature to flowering of grow chamber in 2009~2010 season, 2010~2011 season, and 2011~2012 season were 20.0°C, 22.0°C, and 24.0°C, respectively.

[y] Value of 3 seasons was from 1,335 accumulated chilling hours treatment of Fig. 1.

[x] Value of 3 seasons was from 1,335 accumulated chilling hours treatment of Fig. 2.

Table 5. Influence of different constant temperature on average days to first bloom in six apple cultivars at 2009

Cultivars[z]	Average days to flowering by air temperature			
	5.0°C	10.0°C	15.0°C	20.0°C
Chukwang	–	75	40	22
Fuji	–	73	55	24
Honggeum	–	71	38	20
Hwahong	–	69	49	24
Sunhong	–	73	36	21
Tsugaru	–	74	36	23
ANOVA[y]				
Cultivars (A)			**	
Temperature (B)			***	
A × B			***	

[z] The sampling time and arrange time in growth chamber of bourse shoot was 13 March in 2009, and that was dormant stage.
[y] NS, **, *** Non significant or significant at P = 0.01, 0.001, respectively.

로 추정되는 2009년 3월 13일에 채취한 과대지들의 기온별 평균 개화소요일수는 5.0°C 처리의 경우 모든 시험품종들이 개화하지 못하였고, 10.0°C 처리에서는 69~75일, 15.0°C 처리에서는 36~55일, 20.0°C 처리에서는 20~24일 정도로 기온이 올라갈수록 과대지들의 평균 개화소요일수가 감소하였다. 품종 별로는 저온요구도가 낮은 '홍금'과 '선홍'의 평균 개화소요일수가 다른 품종들에 비해 짧은 편이었다(Table 5).

자발휴면 타파 개시점으로 추정되는 2010년 2월 4일에 채취한 과대지들의 기온별 평균 개화소요일수는 '홍금'과 '선홍'을 제외한 모든 품종들이 5.0°C와 10.0°C 처리에서 개화하지 못하였고, 15.0°C 처리에서 41~52일, 20.0°C 처리에서는 39~41일, 25.0°C 처리에서 19~28일 정도로 온도가 올라갈수록 과대지들의 평균 개화소요일수가 감소하였다. 품종 별로는 저온요구도가 낮은 '홍금'과 '선홍' 품종만 10.0°C 처리에서 76~78일만에 개화하여 품종별 유의차가 없는 것으로 나타났지만, '추광', '홍금', '홍로', '선홍' 품종들의 평균 개화소요일수가 다른 품종들에 비해 짧은 편이었다(Table 6).

Table 6. Influence of different constant temperature on average days to first bloom in nine apple cultivars at 2010

Cultivars[z]	Average days to flowering by air temperature				
	5.0°C	10.0°C	15.0°C	20.0°C	25.0°C
Chukwang	–	–	41	39	23
Fuji	–	–	48	40	28
Gamhong	–	–	49	41	22
Hongan	–	–	47	47	28
Honggeum	–	78	41	39	19
Hongro	–	–	46	39	19
Summer dream	–	–	52	40	26
Sunhong	–	76	42	39	21
Tsugaru	–	–	52	41	28
ANOVA[y]					
Cultivars (A)			NS		
Temperature (B)			***		
A × B			*		

[z] The sampling time and arrange time in growth chamber of bourse shoot was 4 February in 2010, and that was dormant stage.
[y] NS, *, *** Non significant or significant at P = 0.05, 0.001, respectively.

Table 7. Influence of different constant temperature on average days from pink stage to first bloom in three apple cultivars at 2010

Cultivars[z]	Average days from pink to flowering by air temperature				
	5.0°C	10.0°C	15.0°C	20.0°C	25.0°C
Fuji	22	11	6	5	2
Hongro	11	7	3	2	1
Tsugaru	17	12	5	5	1
ANOVA[y]					
Cultivars (A)			***		
Temperature (B)			***		
A × B			***		

[z] The sampling time and arrange time in growth chamber of bourse shoot was 28 April in 2010, and that was pink stage.
[y] NS, *** Non significant or significant at P = 0.001, respectively.

정아의 발달단계가 홍뢰기였던 2010년 4월 28일에 채취한 과대지들의 기온별 평균 개화소요일수는 5.0°C 처리의 경우 11～22일, 10.0°C 처리에서는 7～12일, 15.0°C 처리에서는 3～6일, 20.0°C 처리에서는 2～5일, 25.0°C 처리에서는 1～2일 정도로 기온이 올라갈수록 과대지들의 평균 개화소요일수가 감소하였다. 품종 별로는 '홍로', '쓰가루', '후지' 순으로 평균 개화소요일수가 짧았다(Table 7).

자발휴면이 완벽하게 타파되었을 것으로 추정되는 2012년 3월 13일에 채취한 과대지들의 기온별 평균 개화소요일수는 9.0°C 처리의 경우 모든 시험품종들이 개화하지 못하였고, 14.0°C 처리에서는 43～51일, 19.0°C 처리에서는 27～41일, 24.0°C 처리에서는 21～38일, 29.0°C 처리에서는 20～25일 정도로 기온이 올라갈수록 과대지들의 평균 개화소요일수가 감소하였다. 품종 별로는 '홍금', '홍로', '선홍' 품종들의 평균 개화소요일수가 다른 품종들에 비해 짧은 편이었다(Table 8).

Table 8. Influence of different constant temperature on average days to first bloom in nine apple cultivars at 2012

Cultivars[z]	Average days to flowering by air temperature				
	9.0°C	14.0°C	19.0°C	24.0°C	29.0°C
Fuji	–	48	39	25	22
Gamhong	–	51	29	33	25
Hongan	–	46	41	21	22
Honggeum	–	43	27	25	20
Hongro	–	43	31	21	21
Hongso	–	47	36	38	24
Summer dream	–	49	37	25	21
Sunhong	–	48	27	27	20
Tsugaru	–	47	30	23	20
ANOVA[x]					
Cultivars (A)			***		
Temperature (B)			***		
A × B			***		

[z] The sampling time and arrange time in growth chamber of bourse shoot was 13 March in 2012, and that was dormant stage.

[y] NS, *** Non significant or significant at $P = 0.001$, respectively.

이상의 3개년 동안 휴면기 상태인 과대지들을 대상으로 조사한 결과를 종합해보면(Tables 5, 6 and 8), 저온요구도가 낮은 품종('홍금', '선홍')들은 10.0°C부터 개화가 가능했던 반면에 저온요구도가 높은 품종('후지', '감홍', '홍소', '쓰가루')들은 10.0～15.0°C부터 개화가 가능했으며, 동일한 기온 조건에서 저온요구도가 낮은 품종들의 개화소요일수는 저온요구도가 높은 품종들보다 짧았다. 이는 자발휴면 타파를 위한 저온요구도가 높을수록 발아 및 개화를 위한 고온요구도 역시 높았다는 보고(Cesaraccio *et al*., 2004; Gianfagna and Mehlenbacher, 1985; Kweon *et al*., 2013)와 동일하였다. 그러나 과대지 정아의 꽃눈 발달단계가 휴면기일 때 채취한 조사에서는 10.0°C 미만의 조건에서 모든 품종이 개화를 못했던 반면에 정아의 꽃눈 발달단계가 홍뢰기일 때 채취한 조사에서는 5.0°C 조건에서 모든 품종이 개화를 하였다(Table 5, 6, 7 and 8). 이는 휴면기일 때 채취한 10.0°C 미만 처리구들의 화총(flower cluster)들이 녹뢰기부터 홍뢰기 사이에 모두 탈리되었기 때문이었다(자료 미제시).

Kim *et al*.(2006)은 낙엽과수의 꽃눈들의 초기생장은 주로 전년도에 저장된 양분을 이용하지만, 발아(전엽) 이후에는 화총 주위의 잎(화총엽 혹은 과대엽)에서 생성된 동화산물을 이용하여 발육하는데, 개화 후 1개월 정도 지나 수정이 완전히 이루어져 결실이 확정된 후에 나무 전체를 차광하면 낙과가 된다고 하였고, Yim(2015)은 낙엽과수 하나의 잎이 최종 크기의 30～50%에 달해야만 동화산물 공급원으로서의 역할을 할 수 있다고 하였다. 즉, 본 조사에서 홍뢰기에 채취한 과대지들이 5.0°C 조건에서 개화할 수 있었던 것(Table 7)은 홍뢰기에 채취한 과대지들은 5.0°C 처리 이전에 화총 주변 잎들이 어느 정도 커져 홍뢰기 상태의 꽃들이 다음 단계인 개화기로 진행될 수 있을 정도로 동화산물을 공급할 수 있었기 때문이었고, 발아 이전에 채취한 과대지들의 화총이 5.0°C 조건에서 탈리된 것(Tables 5 and 6)은 5.0°C의 낮은 기온에 의해 화총 주위 잎들의 발육이 지연되면서 꽃으로 전류 되는 동화산물이 부족해져 화총이 탈리되었기 때문으로 추정되었다.

일반적으로 사과나무 꽃눈의 홍뢰기부터 개화기까지 소요되는 일수는 약 7일 정도(Kim *et al*., 2006; Yim, 2015)로 알려져 있으며, Anderson and Seeley (1992)은 25.0°C에서 1시간 경과했을 때 생장온도시수인 1 GDH(growth degree hour)를 충족한다고 가정

하면, '딜리셔스' 사과품종은 발아기까지 75 GDH, 홍뢰기까지 201 GDH, 개화기까지 267 GDH가 필요하다고 하였다. 즉, '딜리셔스' 품종의 홍뢰기부터 개화까지 필요한 GDH는 66 GDH로 일수로 계산하면 2.8일 정도 되었는데, 본 조사 역시 3품종 모두 25.0℃ 조건에서 홍뢰기부터 개화까지 소요된 일수가 1～2일 정도였고, 홍뢰기부터 개화까지 소요된 일수가 7일 정도 되었던 처리구는 '홍로'의 경우 10.0℃, '후지'와 '쓰가루'는 15.0℃였다(Table 7). 이는 저온요구도가 높은 품종일수록 고온요구도가 높았다는 보고(Cesaraccio *et al*., 2004; Gianfagna and Mehlenbacher, 1985) 및 '홍로'의 저온요구도는 '후지'와 '쓰가루'보다 상대적으로 낮았고, 군위지역 '홍로'의 실험포장 만개기는 '후지'와 '쓰가루'보다 1～7일 정도 빨랐다는 보고(Kweon *et al*., 2013)와 동일하였다.

3.3. 발아 후 변온에 따른 국내 주요 사과 품종들의 개화소요일수

앞서 언급한 바와 같이 사과나무 꽃눈의 발아부터 개화까지 소요되는 일수는 약 18일 정도이며(Kim *et al*., 2006; Yim, 2015), 25.0℃에서 1시간 경과했을 때 1 GDH를 충족한다고 가정을 하면 '딜리셔스' 사과품종의 발아부터 개화까지 192 GDH가 필요한데, 이를 일수로 계산하면 8일 정도이다(Anderson and Seeley, 1992).

본 시험에서 3개년(2009년, 2010년, 2012년) 동안 실시한 발아 후 변온에 따른 개화소요일수 조사 중에서 자발휴면이 완벽하게 타파되었을 것으로 추정되는 2009년 3월 13일에 채취한 '추광'과 '쓰가루'의 경우에는 발아 후 기온을 5.0℃로 처리한 5.0℃ 항온 처리구와 15.0℃ → 5.0℃ 변온 처리구는 개화를 하지 못하였고, 발아 후 기온을 10.0℃로 처리한 10.0℃ 항온 처리구의 발아부터 개화까지 소요된 일수는 64일, 20.0℃ → 10.0℃ 변온 처리구는 50～52일 정도였다. 발아 후 기온을 15.0℃로 처리한 15.0℃ 항온 처리구와 5.0℃ → 15.0℃ 변온 처리구의 발아부터 개화까지 소요된 일수는 각각 30～34일, 31～36일 정도였으며, 발아 후 기온을 20.0℃로 처리한 20.0℃ 항온 처리구와 10.0℃ → 20.0℃ 변온 처리구의 발아부터 개화까지 소요된 일수는 각각 17～19일, 21일 정도였다(Fig. 3).

2009년 12월 2일에 3품종('후지', '홍로', '쓰가루')의 과대지를 채취하자마자 5,0℃ 조건에서 2달 정도 저장시킨 뒤(2010년 2월 1일)에 항온 및 변온 처리를 한 2010년 조사의 경우(Table 9), '홍로'와 '후지'의 발아부터 개화까지 소요된 일수는 '쓰가루'보다 유의하게 짧았으며, 발아 전 기온이 높을수록 발아부터 개화까지 소요된 일수가 짧았다. 발아 후 기온 별로는 발아 후 기온 상승구, 항온구, 발아 후 기온 하강구

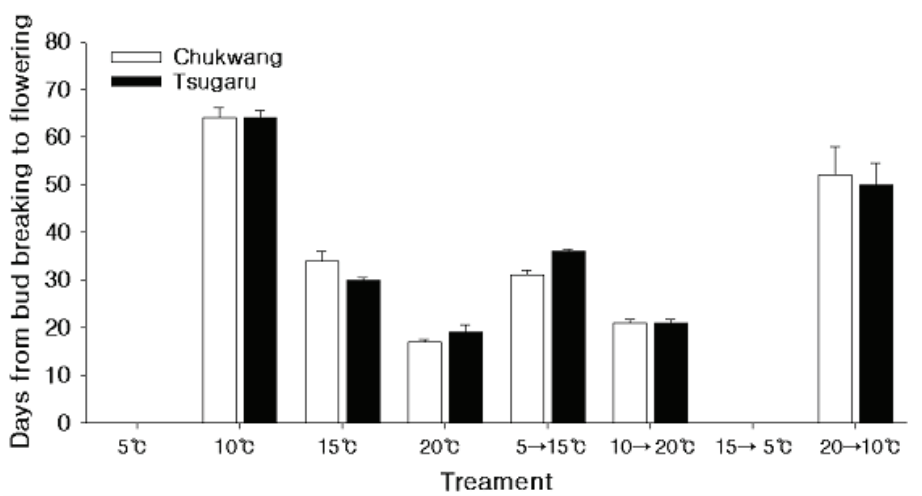

Fig. 3. Influence of changing temperature after bud breaking on average days from bud breaking to flowering in 'Chukwang' and 'Tsugaru' apple cultivars at 2009. The sampling time and arrange time in growth chamber of bourse shoot was 13 March in 2009, and that was dormant stage. When the percentage of bourse shoot that terminal bud was sprouted was over 50%, the bourse shoots was moved other growth chamber adjusted to different air temperature. The vertical bars indicate standard errors of 3～6 bourse shoot replications.

순으로 발아부터 개화까지 소요된 일수가 짧았다. 또한, 본 조사에서 발아부터 개화까지 소요된 일수가 가장 짧았던 처리구는 발아 후 기온을 25.0°C로 처리했던 처리구들(25.0°C 항온구, 15.0°C → 25.0°C의 변온구, 20.0°C → 25.0°C의 변온구)로, 발아부터 개화까지 소요된 일수가 9~14일 정도였으며, 개화를 하지 못했던 처리구는 발아 후 기온을 5.0°C로 조절했던 처리구들(5.0°C 항온구, 15.0°C → 5.0°C의 변온구, 10.0°C → 5.0°C의 변온구)과 5.0°C → 10.0°C의 변온구이었다(Table 9).

자발휴면이 완벽하게 타파되었을 것으로 추정되는 2012년 3월 13일에 채취한 6품종('후지', '홍로', 쓰가루', '홍금', '선홍', '홍안')의 경우에는 품종 별로 발아부터 개화까지 소요된 일수의 차이가 없었으며, 발아

Table 9. Influence of changing temperature after bud breaking on average days from bud breaking to first bloom in three apple cultivars at 2010

Cultivars[z]	Air temperature before bud breaking	Average days from bud breaking to flowering by changing temperature after bud breaking				
		−10.0°C[x]	−5.0°C	0.0°C	+5.0°C	+10.0°C
Fuji	5.0°C	NT[w]	NT	−	−	31
	10.0°C	NT	−	56	36	20
	15.0°C	−	44	25	31	12
	20.0°C	52	25	20	12	NT
	25.0°C	26	25	12	NT	NT
Hongro	5.0°C	NT	NT	−	−	27
	10.0°C	NT	−	49	30	19
	15.0°C	−	48	22	24	10
	20.0°C	40	26	19	9	NT
	25.0°C	25	24	9	NT	NT
Tsugaru	5.0°C	NT	NT	−	−	27
	10.0°C	NT	−	37	31	16
	15.0°C	−	53	24	22	14
	20.0°C	52	28	22	12	NT
	25.0°C	27	16	14	NT	NT
ANOVA[y]						
Cultivars (A)				***		
Temperature before bud breaking (B)				***		
Changing temperature after bud breaking (C)				***		
A × B				***		
B × C				***		
A × C				**		
A × B × C				***		

[z] The sampling time of bourse shoot was 2 December in 2009, and that was stored at 5.0°C until 1 February in 2010. Arranging time of bourse shoot in growth chamber was 1 February in 2010, and that was dormant stage.

[y] NS, **, *** Non significant or significant at P = 0.01, 0.001, respectively.

[x] When the percentage of bourse shoot that terminal bud was sprouted was over 50%, the bourse shoots was moved other growth chamber adjusted to different air temperature.

[w] Means no treatment.

Table 10. Influence of changing temperature after bud breaking on average days from bud breaking to first bloom in six apple cultivars at 2012

Cultivars[z]	Temperature before bud breaking	Days from bud breaking to flowering by changing temperature after bud breaking			Cultivars[z]	Temperature before bud breaking	Days from bud breaking to flowering by changing temperature after bud breaking		
		−5.0°C[x]	0.0°C	+5.0°C			−5.0°C[x]	0.0°C	+5.0°C
Fuji	9.0°C	NT[w]	−	40	Hongro	9.0°C	NT	−	41
	14.0°C	−	34	18		14.0°C	−	34	15
	19.0°C	36	30	22		19.0°C	29	24	13
	24.0°C	13	16	8		24.0°C	15	15	13
	29.0°C	9	13	NT		29.0°C	15	15	NT
Hongan	9.0°C	NT	−	30	Sunhong	9.0°C	NT	−	30
	14.0°C	−	28	16		14.0°C	−	39	15
	19.0°C	31	32	15		19.0°C	29	20	16
	24.0°C	13	14	12		24.0°C	15	22	12
	29.0°C	14	16	NT		29.0°C	15	14	NT
Honggeum	9.0°C	NT	−	39	Tsugaru	9.0°C	NT	−	38
	14.0°C	−	33	14		14.0°C	−	35	20
	19.0°C	34	18	10		19.0°C	22	20	19
	24.0°C	15	19	11		24.0°C	13	15	10
	29.0°C	13	14	NT		29.0°C	13	12	NT

ANOVA[y]	
Cultivars (A)	NS
Before bud breaking (B)	***
After bud breaking (C)	***
A × B	***
B × C	***
A × C	NS
A × B × C	**

[z] The sampling time and arrange time in growth chamber of bourse shoot was 13 March in 2012, and that was dormant stage.

[y] NS, **, *** Non significant or significant at P = 0.01, 0.001, respectively.

[x] When the percentage of bourse shoot that terminal bud was sprouted was over 50%, the bourse shoots was moved other growth chamber adjusted to different air temperature.

[w] Means no treatment.

전 기온에서는 기온이 올라갈수록 발아부터 개화까지 소요된 일수가 짧아졌다. 발아 후 기온에서는 변온 처리구들의 발아부터 개화까지 소요된 일수가 항온구보다 짧았는데, 6품종 모두 발아 후 기온을 19.0ºC로 조절한 변온구들의 발아부터 개화까지 소요된 일수가 19.0ºC 항온구보다 짧았다. 개화를 하지 못하였던 처리구들은 발아 후 기온을 9.0ºC로 조절한 처리구들(9.0ºC 항온구, 14.0ºC → 9.0ºC의 변온구)이었다(Table 10).

일반적으로 과수의 개화기는 개화 전 1~2개월 동안의 기온 및 적산온도와 밀접한 관계가 있는데(Kim *et al*., 2006; Yim, 2015), Hamer(1980)는 사과 꽃눈의 발달은 4.5ºC 이상의 적산온도인 생장온도시수(GDH)와 밀접한 관련이 있다고 하였고, Noro *et al*.(1985)은 발아 다음 날부터 개화일까지의 평균기온이 높을수록 사과 꽃눈의 발육속도가 높아졌다고 하였다. 또한, Nieddu *et al*.(1990)은 휴면이 타파된 아몬드의 신초를 10.0ºC에 배치하였다가 발아가 50% 이상 되었을 때 20.0ºC로 이동시켰더니 개화기가 더 빨라졌으나 이러한 개화기 변동은 연도별 신초 채취시기(1월중, 1월말, 2월초)에 따라 다소 달랐다고 하였으며, Shim and Kim(2004)은 매실나무의 만개기는 만개 전 60일까지보다는 만개 전 70일부터 140일 사이의 적산온도가 더 영향을 미친다고 하였다.

본 조사에서는 발아에 필요한 기준온도 조사(Tables 5, 6 and 8)와 동일하게 3개년 모두 발아 후 기온을 10.0ºC 미만으로 하강시킨 변온구는 개화하지 못하였지만 발아 후 기온을 10.0ºC 이상으로 유지시킨 변온구들은 거의 모두 개화를 하였다(Tables 9 and 10; Fig. 3). 즉, 국내에서 재배되는 품종들은 발아 후 기온이 최소 10.0ºC 이상으로 유지되어야 개화가 된다는 것을 확인할 수 있었다(Tables 5, 6, 8, 9 and 10; Fig. 3).

또한, 변온 처리 전 발아 및 개화를 위한 고온요구도가 전혀 충족되지 않았던 2010년 변온 조사(과대지를 12월초에 채취 후 이듬해 2월 1일까지 5.0ºC에 저장한 조사)의 발아부터 개화까지의 소요된 일수는 발아 후 기온 상승구, 항온구, 기온 하강구 순으로 짧았지만(Table 9), 과대지 채취 전 어느 정도 고온요구도가 충족이 되었던 2012년 변온 조사(과대지 3월중 채취)에서는 변온구들(발아 후 기온 상승구 및 하강구)의 발아부터 개화까지의 소요된 일수가 항온구보다 짧았기 때문(Table 10)에 사과나무의 개화는 발아 전후의 기온에 영향을 받지만, 개화에 대한 발아 전 기온의 영향이 발아 후 기온보다 더 크다(Shim and Kim, 2004)고 할 수는 없었다.

작물에 따라서는 변온이 종자의 발아를 촉진하는 경우가 있다(Byun *et al*., 2014). 보통 종자의 변온은 15.0~30.0ºC, 20.0~30.0ºC, 15~25ºC 정도이며, 저온 처리시간을 고온보다 길게 두는데, 변온을 주었을 때 종자의 발아가 촉진되는 것은 종피가 고온에서 팽창하고, 저온에서 수축하여 흡수와 가스교환이 용이하게 되고, 또 효소의 작용이 활발해져서 물질대사의 기능이 좋아지기 때문이라고 한다(Chae *et al*., 2006). 본 조사에서는 발아 후 기온을 하강시킨 처리구들의 발아 후 개화까지 소요된 일수가 항온구보다 길었던 경우도 있었지만 반대로 짧았던 경우도 있었다(Tables 9 and 10; Fig. 3). 이는 발아 후 기온 하강구의 적산온도가 항온구보다 낮았기 때문이거나 혹은 종자와 마찬가지로 변온이 과대지 꽃눈 내 효소의 작용을 자극시켜 꽃눈 내 물질대사가 활발하게 유도되었기 때문으로 추정되었다. 또한, 본 조사에서 2010년 10.0ºC 항온구 및 2012년 9.0ºC → 14.0ºC의 변온구는 개화를 하였던 반면에 2010년 5.0ºC → 10.0ºC의 변온구가 개화를 못하였던 것(Tables 9 and 10)은 2010년 5.0ºC → 10.0ºC의 변온구의 적산온도가 9.0ºC → 14.0ºC의 변온구보다 적었기 때문으로 추정되었다(Hamer, 1980; Kim *et al*., 2006; Yim, 2015).

한편, 앞선 2010년 2월 4일에 노지에서 과대지를 채취하자마자 바로 고온 처리를 한 2010년 개화에 필요한 기준온도 조사(Table 6)에서는 '후지', '홍로', '쓰가루' 품종들이 10.0ºC 조건에서 개화를 못하였던 반면에 2009년 12월 2일에 과대지 채취 후 2010년 2월 1일까지 5.0℃ 조건에서 저장한 다음 바로 고온 처리를 한 2010년 변온 조사(Table 9)에서는 '후지', '홍로', '쓰가루' 품종들이 10.0ºC 조건에서 개화를 하였다. 이는 변온 처리에 따른 아몬드의 개화기는 신초 채취시기에 따라 다소 달랐다는 보고(Nieddu *et al*., 1990), 12.5ºC 이상과 0.0ºC 이하의 기온은 과수의 자발휴면 타파에 무효한 온도로 이 온도에서는 저온요구도가 충족되지 않는다는 보고(Richardson *et al*., 1974) 및 과수의 순화와 탈순화 과정의 물질대사가 휴면 진입과 타파과정의 물질대사를 대부분 공유하는데, 나무가 재순화될 수 있는 능력은 그 나무의 휴면상태와 밀접하게 관련되어 있다는 보고(Kang and Oh, 2004)를 미루어 보아, 2010년 변온 조사의 과대지는 생장상 고온 처리 전에 자발휴면 타파에 적합한 5.0ºC 조건에

인위적으로 저장되어 저온요구도가 충분히 충족되었던 반면에 2010년 개화에 필요한 기준온도 조사의 과대지들은 노지에서 −20.0℃ 정도의 저온과 10.0℃ 이상의 고온에 의해 순화와 탈순화 과정을 겪으면서 휴면 정도가 변동되었기 때문이거나 혹은 저온요구도가 2010년 변온 조사의 과대지보다 덜 충족되었기 때문으로 추정되었다.

IV. 요약 및 결론

4년(2009～2012년) 동안 본 시험이 수행된 경북 군위군 소보면에 재식된 사과 품종들의 발아기는 3월말～4월초(자료 미제시), 만개기는 4월중～5월초이며(Kweon *et al*., 2013), 기상청에서 조사한 군위 소보면 지역의 2월, 3월 및 4월의 평균 기온은 각각 0.0℃, 4.8℃, 11.1℃ 정도로, Kweon *et al.*(2013)은 지구온난화에 의해 군위지역 기온이 현재보다 4.0℃ 정도 상승하면 경북 군위군 소보면에 재배되고 있는 사과품종들의 자발휴면 타파기는 현재보다 2～4주 정도 지연되지만, 자발휴면 타파 이후의 기온상승에 의해 발아 및 개화에 필요한 고온요구도가 빨리 충족되어 발아 및 개화가 현재와 비교해 어떠한 차이가 발생될 지 모른다고 하였다.

본 시험에서 겨울(12월～2월) 동안 자발휴면 타파에 필요한 5.0℃ 이하의 저온이 전혀 충족되지 않은 '후지' 0hr 처리구의 개화소요일수는 1,335～1,503hr 저온 처리구에 비해 48～148일 정도 더 길었고(Fig. 1), '후지' 0hr 처리구의 발아부터 개화까지 소요된 일수는 1,335～1,503hr 저온 처리구에 비해 2～4주 정도 더 길었다(Fig. 2). 그러나 3월초에 채취한 '후지' 과대지의 15.0℃ 항온조건에서의 개화소요일수는 10.0℃ 항온조건보다 2～3주 정도 짧아졌고(Table 5), 2월초에 채취하여 10.0℃ → 20.0℃로 변온 처리한 '후지'의 발아부터 개화까지 소요된 일수는 5.0℃ → 15.0℃로의 변온 처리구보다 1～2주 정도 짧아졌다(Table 10).

실제 노지의 기온은 매시간 변동되므로, 생장상의 항온처리로 얻은 본 시험의 결과를 이용해 지구온난화에 따른 사과나무의 개화시기를 예측한다는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나 지구온난화에 의해 경북 군위군 소보면의 평균 기온이 현재보다 4.0～5.0℃ 정도 상승된다고 가정한다면, '후지'의 자발휴면 타파기는 2～4주 정도 지연될 것이며(Kweon *et al*., 2013), 이러한 기온 상승에 의해 자발휴면 타파 후인 2월과 발아기인 3월의 평균 기온이 각각 5.0℃, 9.8℃ 정도로 상승하여 발아기가 빨라진다고 하여도 3월 평균 기온이 10.0℃를 넘지 못하여 군위지역에서 국내 사과품종들은 4월 이전에 개화가 힘들 것이라고 생각되었다(Tables 5, 6, 8, 9 and 10; Fig. 3). 또한, 발아 후인 4월 이후 군위지역의 평균기온이 지구온난화에 의해 11.1℃에서 16.1℃ 정도로 상승한다고 하여도 대다수 사과 품종들의 발아부터 개화까지 소요된 일수는 1～3주 정도 밖에 빨라지지 않아(Tables 5, 9 and 10), 지구온난화에 의해 국내 평균 기온이 현재보다 4.0～5.0℃ 정도 상승하더라도 사과나무의 개화기는 현재 보다 최소 1주 정도 늦어진다고 예측되었다.

일반적으로 낙엽과수의 꽃눈 발달은 4.5℃ 이상의 적산온도와 밀접한 관련이 있다고 알려져 있는데(Hamer, 1980; Kim *et al*., 2006; Yim, 2015), 본 시험에서는 발아 후 기온이 10.0℃ 미만일 때 개화를 하지 못하였다(Table 5, 6, 8, 9 and 10; Fig. 3). 따라서, 사과 품종별 개화기 예측에 필요한 적산온도 혹은 개화가 가능한 기준온도를 구명할 경우에는 발아 후 기준온도를 10.0℃로 하는 것이 적합하다고 판단되었다. 또한, 사과나무 꽃눈의 발달 단계가 홍뢰기일 때 기온이 25.0℃로 상승되면 다음날 바로 개화를 할 수 있으므로(Table 7), 인공수분을 준비하는 사과 재배농민들은 홍뢰기 이후의 기상예보를 주의 깊게 살펴봐야 한다고 생각되었다.

한편, 국내에서 재배되는 사과 품종들은 겨울철에 저온요구도가 충족되지 못하면 개화가 불량해질 수 있었으므로(Figs. 1 and 2), 향후 겨울철 기온 상승에 따른 국내 사과품종들의 개화불량을 대비하기 위하여 저온요구도가 낮은 품종을 육성할 필요가 있다고 판단되었다. 또한, 본 시험에서 발아 후 변온 처리한 시험구들의 발아부터 개화까지의 소요된 일수가 항온 조건보다 높은 경우가 있었는데(Tables 9 and 10; Fig. 3), 이는 변온에 의한 꽃눈 내 효소 혹은 호르몬의 변화에 의한 것(Byun *et al*., 2014; Chae *et al*., 2006)으로 추정되므로 향후 이에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각되었다.

적 요

본 시험은 품종별 개화가 가능한 기준온도와 저온(5.0℃) 누적시간 및 발아 후 변온에 따른 평균 개화소요일수를 구명하여 국내 주요 사과품종('후지', '쓰가

루')들과 국내에서 육성한 품종('추광', '감홍', '홍안', '홍금', '홍로', '홍소', '화홍', '섬머드림', '선홍')들의 개화기를 예측하고자 군위지역에서 4년(2009-2012년)동안 조사하였다. 또한, 이들 자료를 이용하여 군위지역 기온이 현재보다 5.0°C 상승되었을 때의 개화시기를 추정하였다. 저온(5.0°C) 누적시간(저온요구도)의 처리 범위는 0~1,671hr 정도였고, 저온 처리 후 개화를 위한 고온(고온요구도) 처리 범위는 5.0~29.0°C 정도였다. 발아 후 변온 처리구들은 항온구(대조구), 5.0~10.0°C 상승구 및 하강구로 분류하였다. 결과를 살펴보면, 저온에서의 누적시간이 짧을수록 개화소요일수가 길어지는 경향이 있었으며, 0hr 처리구의 발아 후 개화까지의 소요된 일수는 1,335~1,503hr 처리구보다 2~4주 정도 길었다. 품종 별로는 모든 품종이 발아 후 기온이 10.0°C 미만일 때 개화를 하지 못하였고, 저온요구도가 낮은 품종일수록 개화에 필요한 고온요구도가 낮았다. 발아 후 기온을 15.0°C로 조절된 처리구들의 개화소요일수는 10.0°C 처리구들보다 1~3주 정도 빨랐다. 발아 후 변온 처리에서는 발아 후 기온 상승 처리구들의 발아 후 개화까지 소요된 일수가 항온 처리구보다 짧았다. 이상의 결과를 종합해보면, 국내 주요 사과품종들의 개화 기준온도는 10.0°C로 생각되었으며, 군위지역의 기온이 지금보다 5.0°C 정도 상승된다고 가정하면, 개화기는 1주 정도 지연될 것으로 예측되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 국립원예특작과학원 공동연구개발 사업(과제번호 : PJ0067692012)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

Anderson, J. L., and S. D. Seely, 1992: Modeling strategy in pomology: Development of Utah models. *Acta Horticulturae* **313**, 297-306.

Byun, J. Y., S. J. Yun, I. J. Lee, and D. S. Kim, 2014: *Plant Physiology* (3rd ed.). Byun, J. Y. (Eds.), Hyangmoonsha Press. Seoul, 288-289 and 297. (In Korean)

Cesaraccio, C., D. Spano, R. L. Snyder, and P. Duce, 2004: Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. Agricultural and Forest Meteorology **126**, 1-13.

Chae, J. C., S. J. Park, B. H. Kang, and S. H. Kim, 2006: *Principles of Crop Cultivation* (3rd ed.). Chae, J. C. (Ed.), Hyangmoonsha Press, Seoul, 290-292. (In Korean)

Gianfagna, T. J., and S. A. Mehlenbacher, 1985: Importance of heat requirement for bud break and time of flowering in apple. *HortScience* **20**(5), 909-911.

Greer, D. H., J. N. Wűnsche, C. L. Norling, and H. N. Wiggins, 2005: Root-zone temperatures affect phenology of bud break, flower cluster development, shoot extension growth and gas exchange of 'Braeburn' (*Malus domestica*) apple trees. *Tree Physiology* **26**, 105-111.

Hamer, P. J. C., 1980: A model to evaluate evaporative colling of apple buds as a frost protection technique. *Journal of Horticultural Science* **55**(2), 157-163.

Han, J. H., K. S. Cho, J. J. Choi, H. S. Hwang, C.G. Kim, and T. C. Kim, 2010: Estimation of changes in full bloom date of 'Niitaka' pear tree with global warming. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **28**(6), 937-941. (in Korean with English abstract)

Jeon, K. S., H. C. Kim, J. H. Han, and T. C. Kim, 2011: Selection of main air temperature factors on annual variation of growth and fruit characteristics of persimmon. *Journal of Bio-Environment control* **19**(3), 165-170. (in Korean with English abstract)

Lee, S. H., I. H. Heo, K. M, Lee, S. Y. Kim, Y. S. Lee, and W. T. Kwon, 2008: Impacts of climate change on phenology and growth of crop: in the case of Naju. *Journal of the Korea Geographical Society* **43**(1), 20-35. (in Korean with English abstract)

Kang, S. M., and S. D. Oh, 2004: Freezing injury. *Fruit tree physiology in relation to temperature.* S. D. Oh (Eds.), Gilmogm Press, Seoul, Korea, 42-51. (In Korean)

Kim, J. H., J. C. Kim, K. C. Ko, K. R. Kim, and J. C. Lee, 2006: *General Pomology* (4th ed.). Kim J. H. (Ed.), Hyangmoonsha Press, Seoul, 38-39, 179-180, 188-193 and 202-204. (In Korean)

Kim, S. O., U. Chung, S.H. Kim, I.M. Choi, and J. I. Yun, 2009: The suitable region and site for 'Fuji' apple under the projected climate in South Korea. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(4), 162-173. (in Korean with English abstract)

Kim, D. J., J. H. Kim, and J. I. Yun, 2016a: An agrometeorological reference index for projecting weather-related crop risk under climate change scenario. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(3), 162-169. (in Korean with English

abstract)

Kim, K. H., Y. M. Jeong, Y. S. Cho, and U. Chung, 2016b: Preliminary result of uncertainty on variation of flowering date of kiwifruit: Case study of kiwifruit growing area of Jeonlanam-do. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(1), 42-54. (in Korean with English abstract)

Kweon, H. J., D. H. Sagong, Y. Y. Song, M. Y. Park, S. I. Kwon, and M. J. Kim, 2013: Chilling requirement for breaking of internal dormancy of main apple cultivars in Korea. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **31**(6), 666-676. (in Korean with English abstract)

Mehlenbacher, S. A., and A. M. Voordeckers, 1991: Relationship of flowering time, rate of seed germination, and time of leaf budbreak and usefulness in selecting for late-flowering apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **116**(3), 565-568.

Nieddu, G., F. Giunta, and M. Mulas, 1990: Influence of postdormant temperatures on bloom time of four almond cultivars. *Scientia Horticulturae* **43**, 63-67.

Noro, S., N. Obara, N. Kudo, S. Saito, and H. Ichinohe, 1986: Estimation of apple bloom date by the development zero and total effective temperature after bud break. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **54**(4), 405-415. (in Japanese with English abstract)

Richardson, E. A., S. D. Seeley, and D. R. Walker, 1974: A model estimating the completion of the rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience* **9**(4), 331-332.

Shin, U. K., and T. C. Kim, 2004: Flowering and fruit set. *Fruit tree physiology in relation to temperature.* S. D. Oh (Eds.), Gilmogm Press, Seoul, Korea, 153-161. (In Korean)

Sugiura, T., and H. Honjo, 1997: A dynamic model for predicting the flowering date developed using an endodormancy break model and a flower bud development model in Japanese pear. *Journal of Agricultural Meteorology* **52**, 897-900.

Swartz, H. J., and L. E. Powell, Jr., 1981: The effect of long chilling requirement on time of bud break in apple. *Acta Horticulturae* **120**, 173-178.

Wertheim, S. J., and H. Schmidt, 2005: Floweing, pollination and fruit set. *Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production*. J. Tromp, J. T. Webster and S. J. Wertheim (Eds.). Backhuys Publishers, Leiden, 220-223.

Yim, Y. J., 2015: *Fruit science general* (1st ed.). *Yim, Y. J.* (Ed.), Hyangmoonsha Press, Seoul, 65-66, 159-162, 172-173 and 340-341.

Yun, S. K., K. H. Chung, I. K. Yoon, E. Y. Nam, J. H. Han, D. J. Yu, and H. J. Lee, 2012: Developmental rate equations for predicting blooming date of 'Yumyeong' (*Prunus Persica*) peach trees. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 189-195. (in Korean with English abstract)