

발간등록번호

11-1543000-000365-01

농업 이상기후지수 개발

부경대학교

농림축산식품부

농업 이상기후지수 개발

부 경 대 학 교

농 립 축 산 식 품 부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업 이상기후지수 개발” 용역의 최종보고서로 제출 합니다.

2014. 01. 28.

주관연구기관명: 부 경 대 학 교

주관연구책임자: 오 재 호

연 구 원 : 이병열, 김미아

요 약 문

I. 제목

농업 이상기후지수 개발

II. 연구 개발의 목적 및 필요성

이상기후보고서에 따르면 한반도에서도 온난화 현상과 이상기후의 발생이 증가하는 추세이며, 향후 10년간 우리나라 기후는 봄철 및 가을철 강수량이 감소하고 여름철 강수량이 증가할 것으로 전망했다. 또한 연간 기온의 경우 최근 10년간의 평균보다 많게는 1℃까지 상승 추세를 보일 것으로 전망하였다.

이와 더불어 최근 매스컴과 보도에 따르면 이상 기온 및 강수로 인한 농작물의 피해 문제가 대두되고 있다. 농작물의 피해 중 농작물 생산 차질로 인한 손실이 가장 크게 나타났으며, 소규모 범위 내에서는 농업인의 농산물 가격 급등락에 의한 재산 피해, 전 세계적으로는 국제 곡물가격의 상승과 함께 세계 식량수급 문제에도 영향을 미치고 있다. 미국 환경청의 자료에 의하면 캘리포니아 지역의 경우 대기 중 이산화탄소의 농도가 2배로 증가할 경우 강수량이 감소하고 이에 따른 토양수분 감소로 쌀 생산량이 최고 34% 줄어들 것이라고 하였다. 일본의 연구결과(Environment Agency, 1995; Quality of the Environment in Japan, 1995)에 의하면 동북아의 기후변화로 인해 우리나라의 2100년 쌀 생산량은 1995년 대비 3%, 밀은 13% 감소할 것으로 전망한 바 있다.

과거 1972-1973년의 세계 식량위기는 기상 이변으로 인해 발생한 사건이며, 기상 이변으로 인해 곡물 감소가 나타났다. 이에 따라 국제곡물 가격이 상승하였다. 1988년의 경우 미국의 가뭄으로 밀 29%, 옥수수 47%, 콩 42%, 쌀 33% 등 국제곡물 가격이 급등하였다. 이와 같은 현상은 식량 생산량이 국제교역 역량에 차지하는 비중이 크기 때문이다. 특히 우리나라는 주요곡물자급률(2011년 22.6%, 농림수산식품 주요 통계)이 낮기 때문에 국내와 해외에서 기상 이변으로 인한 곡물 생산에 차질 발생 시 언제든지 식량 위기와 직결될 수 있다.

이러한 문제를 철저히 대비하기 위해서는 식량안보 전략을 좀 더 장기적 관점에서 체계적인 정책이 마련되어야 한다. 그러나 농업분야의 기상재해 관리, 농산물 수급안정화 정책 등을 추진 할 시 참고할 수 있는 맞춤형 농업 이상기후 자료가 매우 부족한 실정이다. 뿐만 아니라 농업분야에서 이상기후에 대비

하기 위해서 고려해야 할 요소의 경우 다양한 이상기후의 형태와 지역적 발생 차이 그리고 재배 작목별로 미치는 영향의 차별성 등 매우 복잡하다.

따라서 본 연구를 통하여 농업인들이 기후요소(기온, 강수량, 풍속, 일조시간 등)에 의해 어느 정도 피해를 입는지 파악할 수 있는 판단을 위한 참고 자료인 농업 이상기후지수를 개발하고자 하였다. 그러나 작물의 생리적 특성을 고려했을 시 지수 하나로 모든 작물을 어우를 수 없는 한계점이 있기 때문에 작물 종류와 작물이 크게 영향을 받는 기후 요소에 따라 본 연구를 수행하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서는 농업부문 기후 요소 및 재해 기준을 사용하여 농업이상기후 지수를 제작하였다. 분석기간은 과거 40년의 기후 자료를 사용하였다. 그에 앞서 과거 우리나라에 어떤 기상 및 기후가 발생하였는지 조사하고 현재 우리나라 농업 분야의 이상기후 관련 정책에 대한 현황과 그 문제점을 파악하였다. 그리고 국내외 농업 이상기후 지수 개발 사례에 대해 조사하여 농업분야 취약성과 관련된 이상기후 지수를 개발하였다.

1. 농업 분야 이상기후 관련 현황
 - 우리나라 이상기후 발생 현황
 - 농업 분야 이상기후 관련 정책적 현황 및 문제점
2. 농업 이상기후지수의 개발 및 활용방안 마련
 - 이상기후지수와 관련된 국내·외 사례 조사
 - 농업 이상기후 지수의 개념 정의
 - 시기별·지역별 농업 이상기후지수 분석 수행

Ⅳ. 연구개발 결과

1. 농업 이상기후에 관한 기반 조사

본 연구에서는 농업 이상기후지수 제작을 위하여 국내·외 농업 이상기후와 그에 관한 지수 개발 사례를 조사하였다. 국내·외에서 이상기후에 대한 연구는 활발히 진행 중이며, 이상기후가 농업분야에 미치는 영향에 관한 연구도 진행중이다. 그러나 이를 지수화 하는 연구는 아직 활발히 이루어지지 않은

것으로 조사되었다.

2. 농업 이상기후 지수 정의 및 제작

농업 이상기후에 대한 정의는 확실하게 정해진 바 없으므로 본 연구에서는 농업 이상기후지수를 제작하기 위해 농업 이상기후에 대한 정의를 세웠다. 그 정의는 작물의 생리적 특성을 고려하여 각 작물별 이상기후로 인해 피해를 받는 조건에서 그 범위를 벗어날 경우 이상기후가 발생했다고 한다. 그리고 기상 관측 자료를 이용하여 이를 표준화 한 후 σ 구간에 점수를 매겨 그 점수를 지수로 정하였다. 본 연구에서는 벼와 사과를 중심으로 분석을 수행하였으며, 각 작물이 받는 재해 중 피해 조건을 넘어서면 해당 기간 및 지역에서 발생한 대표 재해이며, 그 지수 값이 재해의 크기를 나타낸다.

3. 농업 이상기후지수 분석

본 연구에서 제작한 농업 이상기후지수를 이용하여 시기별·지역별 농업 이상기후지수를 분석하였다. 우선 표준화한 자료의 분포를 분석하고 한계값을 설정한 뒤 각 σ 값을 구간으로 설정하여 점수를 매겨 지수화 하였다. 그리고 지역별 분석을 실시하기 위해 각 작물에 대한 대리변수의 한계값을 방사형 그래프로 표출한 뒤 각 지역에 대하여 분석하였다. 그리고 각 지역에 대하여 시기별 분석을 실시하기 위해 1970년대, 1980년대, 1990년대, 2000년대에 대하여 방사형 그래프를 그린 후 분석을 수행하였다. 마지막으로 수정된 ACI를 이용하여 지수값이 100이 넘는 구간에 대하여 시기 변화에 대한 재해의 발생빈도 분석을 실시하였다.

V. 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서 제작된 지수는 벼와 사과를 중심으로 분석이 수행되었다. 그러나 이 지수는 절대적인 정의를 가지고 있지 않아 필요에 따라 변형 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그렇기 때문에 다른 작물을 분석할시 그 작물이 피해를 받을 수 있는 재해와 그 기준을 제시한다면 얼마든지 응용이 가능하다. 개발된 지수는 농업에 직접적으로 응용하거나 정책에 실질적으로 반영하기에는 어느 정도 한계가 있지만 본 연구를 바탕으로 개발된 이 지수는 추후 이상기후지수 수정 및 개발에 초석이 될 것이다. 향후 지속적인 연구를 통해 각 대리변수별 중요도를 파악하여 가중치를 고려한 표준화 작업을 통하여 더 상세히 재해를 나타낼 수 있는 지수를 최종 정립하고, 우리나라 시·군을 대상으로 한 상세한 지수를 표출하여 이상기후로 인한 농가의 피해를 사전적으로 예방하는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

<목 차>

| | |
|--|-----|
| 제 1 장 연구개발과제의 개요..... | 1 |
| 제 1 절 연구개발의 필요성..... | 1 |
| 제 2 절 연구개발의 목표 및 내용..... | 3 |
| 제 2 장 국내외 기술개발 현황..... | 5 |
| 제 1 절 우리나라의 기술개발 현황..... | 5 |
| 제 2 절 외국의 기술개발 현황 및 개발수준..... | 8 |
| 제 3 장 연구수행 내용 및 결과..... | 13 |
| 제 1 절 농업 분야 이상기후 관련 현황 조사..... | 13 |
| 1. 우리나라 이상기후 발생 현황과 농업 분야에서의 시사점 분석..... | 13 |
| 2. 농업 분야 이상기후 관련 정책적 현황 및 문제점..... | 18 |
| 제 2 절 농업 이상기후 지수의 개발..... | 19 |
| 1. 농업이상기후의 개념 정의..... | 21 |
| 2. 농업 이상기후지수의 개발 및 구조화..... | 21 |
| 제 3 절 농업 이상기후 지수의 분석 및 활용방안 마련..... | 32 |
| 1. 농업 이상기후 지수의 시간적·공간적 분석..... | 52 |
| 제 4 장 연구개발결과의 활용계획..... | 85 |
| [부 록]..... | 86 |
| [부록 1] ACI 시기별·지역별 표준화 값 분포 및 표준화..... | 87 |
| [부록 2] 기타 작물에 대한 기상·기후 피해기준 및 피해 양상..... | 137 |
| [부록 3] 참고문헌..... | 141 |

<그 립 목 차>

| | |
|---|----|
| 그림 1 매 5년 단위 우리나라 기온(좌) 및 강수량(우) 변화 | 2 |
| 그림 2 OECD 주요국 식량자급률 | 3 |
| 그림 3 기상청에서 제공하는 순별 농업기상정보(일부) | 7 |
| 그림 4 농촌진흥청에서 제공하는 농업기상정보(일부) | 8 |
| 그림 5 미국 와이오밍대에 설치된 FACE 정비 | 9 |
| 그림 6 난후기(5월-10월) 평균기온 상승(1981-2000년 평균)에 따른 일본 지역별 쌀 수량 및 수량 변동성 변화..... | 12 |
| 그림 7 서울 지역의 월별 평균기온, 최고기온, 최저기온 변화 | 13 |
| 그림 8 과거 30년(1931-1960년)과 최근 30년(1971-2000년)의 월평균 강수량 변화 ... | 14 |
| 그림 9 서울지역의 월별 일조시간 변화 | 15 |
| 그림 10 기상재해 발생빈도 그래프 | 16 |
| 그림 11 지수의 개발 과정 | 20 |
| 그림 12 공간 분석을 위한 한반도 내 분석 구역 선정 | 25 |
| 그림 13 Z-Score 방법을 사용했을 때 자료의 분포 형태 (예시) | 28 |
| 그림 14 일최고기온을 사용하여 표준화 한 벼의 고온 결과 값 (예시) | 29 |
| 그림 15 방사형 그래프로 나타낸 ACI (예시) | 30 |
| 그림 16 방사형 그래프로 나타낸 수정된 ACI 그래프 (예시) | 31 |
| 그림 17 중·북부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값..... | 32 |
| 그림 18 중부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값..... | 33 |
| 그림 19 남부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값..... | 33 |
| 그림 20 제주도 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값..... | 33 |
| 그림 21 중북부 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값..... | 34 |
| 그림 22 중부 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값..... | 35 |
| 그림 21 남부 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값..... | 35 |

| | | |
|-------|---------------------------|----|
| 그림 22 | 제주도 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값 | 36 |
| 그림 23 | 중북부 일조시간 표준화 값 분포와 한계값 | 37 |
| 그림 24 | 중부 일조시간 표준화 값 분포와 한계값 | 37 |
| 그림 25 | 남부 일조시간 표준화 값 분포와 한계값 | 37 |
| 그림 26 | 제주도 일조시간 표준화 값 분포와 한계값 | 38 |
| 그림 27 | 중북부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값 | 39 |
| 그림 28 | 중부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값 | 39 |
| 그림 29 | 남부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값 | 39 |
| 그림 30 | 제주도 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값 | 40 |
| 그림 31 | 중북부 가뭄 표준화 값 분포와 한계값 | 41 |
| 그림 32 | 중부 가뭄 표준화 값 분포와 한계값 | 41 |
| 그림 33 | 남부 가뭄 표준화 값 분포와 한계값 | 41 |
| 그림 34 | 제주도 가뭄 표준화 값 분포와 한계값 | 42 |
| 그림 35 | 중북부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값 | 43 |
| 그림 36 | 중부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값 | 43 |
| 그림 37 | 남부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값 | 43 |
| 그림 38 | 중북부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값 | 44 |
| 그림 39 | 중부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값 | 45 |
| 그림 40 | 남부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값 | 45 |
| 그림 41 | 중북부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값 | 46 |
| 그림 42 | 중부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값 | 47 |
| 그림 43 | 남부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값 | 47 |
| 그림 44 | 중북부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값 | 48 |
| 그림 45 | 중부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값 | 49 |
| 그림 46 | 남부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값 | 49 |
| 그림 47 | 중북부 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값 | 50 |
| 그림 48 | 중부 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값 | 51 |

| | |
|---|----|
| 그림 49 남부 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값 | 51 |
| 그림 50 1970~2009년 기간 동안 벼의 공간적 분석..... | 53 |
| 그림 51 중북부 지방에 대한 벼의 시기별 분석..... | 54 |
| 그림 52 중부지방에 대한 벼의 시기별 분석..... | 55 |
| 그림 53 남부지방에 대한 벼의 시기별 분석..... | 56 |
| 그림 54 제주도에 대한 벼의 시기별 분석..... | 57 |
| 그림 55 1970~2009년 기간 동안 사과외의 공간적 분석..... | 58 |
| 그림 56 중북부지방에 대한 사과외의 시기별 분석..... | 59 |
| 그림 57 중부지방에 대한 사과외의 시기별 분석..... | 60 |
| 그림 58 남부지방에 대한 사과외의 시기별 분석..... | 61 |
| 그림 59 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 고온 발생 빈도 | 63 |
| 그림 60 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 냉해 발생 빈도 | 63 |
| 그림 61 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 가뭄 발생 빈도 | 64 |
| 그림 62 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 일조부족 발생 빈도 | 65 |
| 그림 63 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 강풍 발생 빈도 | 65 |
| 그림 64 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 고온 발생 빈도 | 66 |
| 그림 65 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 냉해 발생 빈도 | 67 |
| 그림 66 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 가뭄 발생 빈도 | 67 |
| 그림 67 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 일조부족 발생 빈도 | 68 |
| 그림 68 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 강풍 발생 빈도 | 69 |
| 그림 69 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 고온 발생 빈도 | 70 |
| 그림 70 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 냉해 발생 빈도 | 70 |
| 그림 71 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 가뭄 발생 빈도 | 71 |
| 그림 72 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 일조부족 발생 빈도 | 72 |
| 그림 73 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 강풍 발생 빈도 | 72 |
| 그림 74 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 발생 빈도 | 73 |
| 그림 75 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 냉해 발생 빈도 | 74 |

| | |
|---|----|
| 그림 76 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 가뭄 발생 빈도 | 74 |
| 그림 77 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 일조부족 발생 빈도 | 75 |
| 그림 78 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 강풍 발생 빈도 | 75 |
| 그림 79 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 고온 발생 빈도 | 76 |
| 그림 80 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 동해 발생 빈도 | 77 |
| 그림 81 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 상해 발생 빈도 | 77 |
| 그림 82 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 우박 발생 빈도 | 78 |
| 그림 83 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 강풍 발생 빈도 | 78 |
| 그림 84 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 고온 발생 빈도 | 79 |
| 그림 85 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 동해 발생 빈도 | 80 |
| 그림 86 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 상해 발생 빈도 | 80 |
| 그림 88 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 강풍 발생 빈도 | 81 |
| 그림 89 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 고온 발생 빈도 | 82 |
| 그림 90 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 동해 발생 빈도 | 82 |
| 그림 91 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 상해 발생 빈도 | 83 |
| 그림 92 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 우박 발생 빈도 | 83 |
| 그림 93 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 강풍 발생 빈도 | 84 |

<표 목 차>

| | | |
|------|--|----|
| 표 1 | 과거30년(1931-1960년)과 최근 30년(1971-2000년)의 일조시간 비교 | 15 |
| 표 2 | 연대별 기상재해 발생 횟수 (1904-2000년) | 17 |
| 표 3 | 식량 작물에 대한 기상 및 기후 피해 기준 및 피해 양상 | 22 |
| 표 4 | 식량 작물에 대한 기상 및 기후 피해 기준 및 피해 양상 | 23 |
| 표 5 | 표준강수지수에 의한 가뭄 분류 | 24 |
| 표 6 | 여러 가지 표준화 방법 | 27 |
| 표 7 | σ 구간 당 점수 부여 (예시) | 28 |
| 표 8 | 벼의 고온 σ 구간 당 점수 부여 | 34 |
| 표 9 | 벼의 냉해 σ 구간 당 점수 부여 | 36 |
| 표 10 | 벼의 일조부족 σ 구간 당 점수 부여 | 38 |
| 표 11 | 벼의 강풍 σ 구간 당 점수 부여 | 40 |
| 표 12 | 벼의 가뭄 σ 구간 당 점수 부여 | 42 |
| 표 13 | 사과의 고온 σ 구간 당 점수 부여 | 44 |
| 표 14 | 사과의 동해 σ 구간 당 점수 부여 | 46 |
| 표 15 | 사과의 상해 σ 구간 당 점수 부여 | 48 |
| 표 16 | 사과의 강풍 σ 구간 당 점수 부여 | 50 |
| 표 17 | 사과의 우박 σ 구간 당 점수 부여 | 52 |

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

유엔 산하 정부간기후변화협약체(IPCC)는 5차 평가보고서에서 지구의 평균기온은 1850년 이래 지난 30년(1983-2012년) 동안이 가장 더웠고, 21세기의 첫 10년은 더 더웠던 것으로 나타나 지구 온난화가 지속되고 있음을 확인했다. 또한 지구온난화로 인한 지구 평균기온은 지난 133년간(1880-2012년) 0.85℃(0.65~1.06℃) 상승했다. 평균강수량의 변화는 뚜렷하지는 않으나, 1901년 이후 북반구 중위도 육지에서 강수량이 증가했다(IPCC 5차 평가보고서, 2013). 이렇게 전 지구적으로 기온과 강수량 패턴이 변화하여 이상 기상현상이 빈번해졌으며, 특히 20세기 후반의 폭염, 집중호우 등 극한현상이 증가하였고 추위와 관련된 현상은 감소하고 더위와 관련된 현상은 증가하며, 겨울이 짧아지는 한편 식물 성장기간은 길어지는 추세이다(권원태, 2012).

한국 기후변화 평가 보고서(2010)에 나타난 한반도의 기후변화 현황을 살펴보면, 기후변화가 우리나라에 미치는 영향은 세계의 다른 나라보다 빠르게 진행되고 있으며 기후변화에 의한 피해 역시 점차 증가한다고 전망하였다. 기상청(2008)은 1900년 이후, 우리나라 6개 도시의 평균 기온은 1.5℃ 상승으로 지구 평균기온상승(전 지구 평균기온:0.74℃)보다 훨씬 높음을 분석하였으며(그림 1, 좌), 최근 10년(1996-2005년) 6개 도시를 포함한 15개 지점(강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포, 울릉, 추풍령, 포항, 전주, 울산, 광주, 여수, 제주, 서귀포)의 평균기온은 14.1℃로 평년(1971-2000년)보다 0.6℃ 상승했다고 보도하였다. 또한 우리나라 평균 연강수량은 큰 변동폭을 보이거나 장기적으로 증가 추세를 보였다. 기상청은 최근 10년(1996-2005년) 평균 연강수량은 1,485.7mm로 평년에 비해 약 10% 증가하였으며(그림 1, 우), 호우일수(일강수량 80mm이상)는 최근 10년간 28일로 종전 20일보다 증가한 것으로 분석하였다.

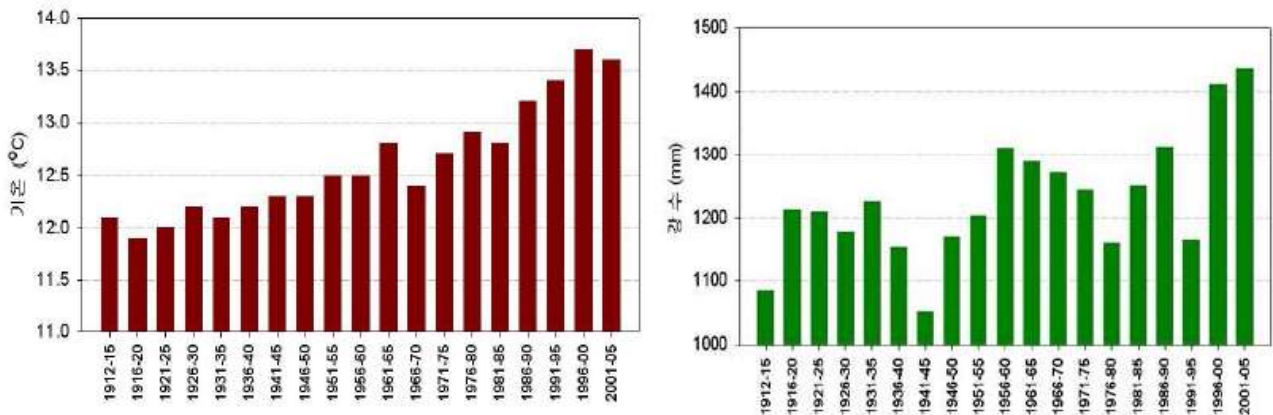


그림 1 매 5년 단위 우리나라 기온(좌) 및 강수량(우) 변화 (기상청,2008).

한반도의 기후변화 경향은 이미 기상-생태-환경-수자원 등 광범위한 부문에서 감지되고 있으며(기상청,2011a,2011b), 아울러 지역적으로 다양하게 전개되고 있다. 여러 분야 중에서도 가장 기후변화에 민감한 부문은 농업으로, 농산물 생산은 기상 및 기후에 큰 영향을 받고 있다. 지구온난화로 인해 농업 분야에서 가장 우려되는 것은 농업기후자원의 지리적 분포가 변동됨에 따라 농업기후학적 작물 재배 지역이 대부분의 경우 북상 혹은 확대 될 것으로 추정되어, 기존의 작물별 재배적지에서 작물의 생산성과 안정성이 커다란 위협을 받을 것으로 보인다. 물론 지구 온난화로 인한 기온 상승이 작물의 긍정적인 영향을 미칠 수도 있을 것으로 보이지만, 이러한 효과는 지구온난화에 수반될 기상변동에 우리가 효율적으로 대처할 수 있을 경우에만 실현가능한 것으로 보는 것이 타당하다(심교문,2011). 작물의 생산성과 안정성이 위협을 받을 경우 에그플레이션과 같은 다양한 사회, 경제적 문제를 발생시키는데, 특히 우리나라는 OECD 주요 국가 중 식량자급률이 최하위 순위를 차지한다(그림 2). 대부분의 곡물을 수입에 의존하다보니 우리나라는 세계 식량가격 변동에 민감할 수밖에 없다.

OECD 주요국 식량자급률

(단위: %, 2010년 기준, 네모 안은 순위)



그림 2 OECD 주요국 식량자급률
(농림축산식품부).

이러한 문제에 철저히 대비하기 위해서는 식량안보 전략을 좀 더 장기적 관점에서 체계적인 정책이 마련되어야 한다. 그러나 농업분야의 기상재해 관리, 농산물 수급 안정화 정책 등을 추진 할 시 참고할 수 있는 맞춤형 농업 이상기후 자료가 매우 부족한 실정이다. 뿐만 아니라 농업분야에서 이상기후에 대비하기 위해서 고려해야 할 요소의 경우 다양한 이상기후의 형태와 지역적 발생 차이 그리고 재배 작목별로 미치는 영향의 차별성 등 매우 복잡하다. 따라서 다수의 기후요소와 작물의 생리적 요인을 바탕으로 이를 지수화하여 시기별·지역별 농업 이상기후지수의 변동성을 한 눈에 알 수 있게 할 필요가 있다.

제 2 절 연구개발의 목표 및 내용

본 연구는 기상 및 기후 변화로 인하여 농업에 영향을 미치는 기후 요소를 중심으로, 과거부터 현재까지 지역별로 얼마나 기후 요소의 강도가 변해오는지 분석하는 지수 개발을 목표로 하고 있다. 우리나라 시기별·지역별 기후변화에 대한 지수 개발 및 적용에 관한 연구는 미흡한 실정이며 특히 농업분야에 대한 지수 개발은 시급

히 요구되고 있다. 본 연구는 이러한 부분에 있어 농업인들이 기후요소(기온, 강수량, 풍속, 일조시간 등)에 의해 어느 정도 피해를 입는지 파악하는 판단 참고 자료인 농업 이상기후지수를 개발하고자 한다. 그러나 작물의 생리적 특성을 고려했을 시 지수 하나로 모든 작물을 아우를 수 없는 한계가 있기 때문에 각각의 작물 종류와 이 작물이 크게 영향을 받는 기후 요소를 선정하여 본 연구를 수행하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 우리나라의 기술개발 현황

이상기후에 관한 연구는 국내에서 다양하게 이루어지고 있다. 임상준 등(1997)은 이상기후에 따른 농작물의 재해발생확률을 계량화하기 위하여, 기상발생모형을 구성하였다. 이 기상발생모형으로 최고 및 최저기온, 태양복사량 및 상대습도 등의 기상 자료를 출력하고, 이 출력된 자료를 수정된 EPIC(Erosion/Productivity Impact Calculator)의 작물 성장 및 수확량 부모형(Sharpley와 Williams,1989)의 입력값으로 사용하여 논벼와 콩 수확량을 추정하였다. 이 실험에서 이상기상 재현은 기상발생모형을 사용하였다. 분석 시 수확량 자료의 재해확률함수를 결정하고 이로부터 기상재해에 따른 작목별 수확량을 추정하였다. 서울대학교에서는 농촌진흥청과 기후변화에 따른 농업의 사회·경제적 영향 평가에 관한 공동 연구(2011)를 수행하였다. 그 결과 기후변화와 농업 생산량 단수 변동의 가변성이 최근 연도에 있어 증가하는 현상이 뚜렷해짐을 나타내었으며, 이상기후와 쌀 단수와의 관계를 분석하였다. 쌀 생산량과 밀접한 관련이 있을 것으로 추정되는 강수량, 강수일수, 일조시간, 기온 변수를 고려하여 이상기후의 존재 유무를 판정하고, 쌀 생산단수에 이상기후 더미를 적용한 결과 이상기후와 쌀 생산단수의 감소에 대해 통계적으로 유의한 결과가 나타남을 보였다. 뿐만 아니라 기상이변으로 인한 농업의 경제적 효과와 글로벌 CGE(Computable General Equilibrium)모형을 이용한 기후변화로 인한 농업의 경제적 효과 분석도 실시하였다. 권의석 등(2012)는 이상기상에 대응한 복숭아 수분수 선발에 관한 연구를 수행하였다. 최근 복숭아 개화기에 이상저온, 이상고온, 건조 등 불량한 환경조건이 발생하면서 방화곤충의 활동을 위축시키고, 화분의 발아율에도 악영향을 주어 안정된 결실을 맺을 수 없게 되었다. 이를 보완하기 위해 인공수정이 실행되고 있으나, 농업인이 고령화가 되어가고 있어 농촌에서 지속적으로 수행하기 어려울 것으로 예상된다. 이를 개선하기 위해서 화분이 많은 품종인 ‘천홍’, ‘이즈미백도’, ‘유명’, ‘진미’, ‘수미’, ‘장택백봉’, ‘장호원황도’ 등 7품종의 개화특성, 화분발아율 및 결과지 전분함량 등을 조사하여 수분수 적합도를 측정하였다. 그 결과 화분발아율이 좋고 내동성이 강한 품종은 ‘진미’와 ‘천홍’이었으며, ‘천홍’은 개화 시기가 빠르고, ‘진미’는 만개기가 늦어 두 품종을 혼합하여

수분수로 활용하는 것이 좋을 것으로 분석되었다. 이상규 등(2013)에서는 이상기상 조건이 배추의 생육 및 세포조직에 미치는 영향을 분석하였다. 지구온난화로 우리나라에서는 이상기상 현상이 자주 발생하여 채소작물에 피해가 발생한다. 특히 노지에서 많이 재배되고 있는 고추, 배추 및 무는 온난화로 인하여 정식시기를 점점 앞당기고 있는 추세이나, 정식 후 갑작스런 저온이 오면 이들 작물의 피해가 크게 나타난다. 따라서 이 연구는 저온에 따른 배추의 생육특성과 엽 세포조직에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다. 실험 설계로는 각 기온 조건마다 배추 잎의 엽육 세포의 형태가 어떻게 변하는지 나타내었다. 따라서 배추 정식 후 초기 생육 단계에서 영하 3℃까지는 비닐이나 부직포로 보온, 토양수분 조절, ABA 처리를 하여 동해를 예방할 수 있으나 영하 7℃의 저온이 발생하면 세포가 파괴되어 회복하기 어렵기 때문에 다시 심거나 또는 다른 작물로 대체하는 것이 좋을 것으로 분석하였다.

이상기후를 지수로 제작하여 농업에 응용하는 연구는 부족한 실정이다. 수행된 연구로는 수치예보모형을 이용한 역학적 규모축소 기법을 통한 농업기후지수 모사(안중배, 2010)가 있다. 이 연구에서는 지역모델 WRF를 이용하여 NCEP/NCAR 재분석 자료를 초기자료로 2002년부터 2008년까지 상세한 기후자료(식물온도 출현초일, 작물온도 출현초일, 벼 이앙기의 저온 출현율 등)에 대한 상세한 분포를 생산하였다. 생산된 자료는 통계적 보정을 거쳐 계통적 오차를 제거함으로써 그 기간의 기후를 재현하였으며 이를 이용하여 상세한 농업기후지수로 생산하였다. 가뭄에 대한 지수 연구로는 양정석 등(2012)의 가뭄 취약 지수가 있다. 이 연구에서는 가뭄 취약성 지수를 산정하고, 경향성 검정에 따른 지수 산정을 실시하였다. 지표는 수자원, 강우, 인문 분야 등 3개 분야 10개 지표를 선정하였다. 10개 지표는 연최저 및 평균 하천수위와 지하수위, 무강수일수, 강우집중률, 1인당 가용수자원량, 물재정 건전성, 물이용 공평성으로 이루어졌다. 연구 결과 구미보, 상주보, 합천보 등 낙동강 유역에 위치한 연구 지점들이 대체적으로 취약한 것을 알 수 있었고, 금강유역은 낙동강에 비해 비교적 취약성이 낮은 것으로 나타났다. 이처럼 가뭄에 대한 한 대리 변수로 기후 지수를 개발하여 이를 분석할 수도 있지만, 식물은 강수 뿐 만 아니라 기온, 풍속, 일조시간 등의 영향을 받기 때문에 지수의 개발을 위해서 적절한 대리 변수의 선정 또한 중요하다. 이에 대한 연구는 김성재(2012)에서 이루어졌다.

농업 부문에 도움을 주기 위하여 위의 연구 뿐 아니라 기상청에서 농업 기상 변수를 제공하고 있으며 제공되는 변수로는 각 일별·지역별 기온(평균, 최저, 최고) 및

강수, 일교차, 운량, 일조, 풍향 및 풍속 등이 있다(그림 3). 농촌진흥청에서도 농업기상정보 시스템을 농업인들에게 제공하고 있다(그림 4). 기상청은 관측 지점에 대하여 순 별로 기상 변수를 제공하는 반면 농촌진흥청에서는 관측지점별로 한 시간 마다 제공 중이다.

농업·산업기상정보 | 순농업기상정보

+ 사용자태그추가 | 스크랩 | 인쇄

지점 수원(기) | 선택 연도 2013 | 월 12 | 선택 시기 상순 | 선택

[순별기상정보] 119 수원 / 2013년 12월 상순

| 요소 | | 12월 01일 | 12월 02일 | 12월 03일 | 12월 04일 | 12월 05일 | 12월 06일 | 12월 07일 | 12월 08일 | 12월 09일 | 12월 10일 | 순계 | 순평균 |
|------------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|------|
| 평균기온 (°C) | 관측 | 3.1 | 3.8 | 5.8 | 3.3 | -5.5 | 3.0 | 4.8 | -5.3 | | | 34.6 | 4.3 |
| | 평년 | 2.5 | 2.2 | 1.8 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.6 | 1.3 | 17.1 | 1.7 |
| 최고기온 (°C) | 관측 | 9.2 | 7.4 | 11.0 | 9.1 | 9.8 | 7.9 | 11.5 | 10.5 | 6.1 | | 82.5 | 9.2 |
| | 평년 | 7.6 | 7.4 | 7.0 | 6.6 | 6.4 | 6.5 | 6.4 | 6.5 | 6.4 | 6.1 | 66.9 | 6.7 |
| 최저기온 (°C) | 관측 | -1.6 | -2.1 | 1.8 | -0.4 | 1.6 | -1.8 | 1.8 | 0.3 | 4.1 | | 3.7 | 0.4 |
| | 평년 | -2.0 | -2.5 | -2.8 | -3.2 | -3.1 | -2.9 | -3.0 | -2.9 | -2.8 | -3.1 | -28.3 | -2.8 |
| 일교차(°C) | | 10.8 | 9.5 | 9.2 | 9.5 | 8.2 | 9.7 | 9.7 | 10.2 | 2.0 | | 78.8 | 8.8 |
| 최저초상온도(°C) | | -5.2 | -5.8 | -2.5 | -4.3 | -1.9 | -5.3 | -2.4 | -3.6 | 2.1 | | -28.9 | -3.2 |
| 상대습도 (%) | 관측 | 79.8 | 79.3 | 76.0 | 93.5 | 86.5 | 53.4 | 75.5 | 80.1 | | | 624.1 | 78.0 |
| | 평년 | 68.5 | 67.7 | 66.1 | 65.4 | 65.8 | 67.5 | 67.6 | 69.1 | 68.7 | 67.9 | 674.3 | 67.4 |
| | 최소 | 42 | 64 | 41 | 61 | 74 | 21 | 44 | 59 | 76 | | 482 | 54 |
| 운량(㎖) | | 1.5 | 8.1 | 3.8 | 3.8 | 6.9 | 2.1 | 4.6 | 5.4 | | | 36.2 | 4.5 |
| 일사(MJ/m²) | | 9.16 | 3.56 | 7.76 | 4.71 | 3.66 | 10.85 | 8.92 | 5.77 | | | 54.39 | 5.80 |

그림 3 기상청에서 제공하는 순별 농업기상정보(일부).

경기도 > 가평군 > 가평 > 조회 | 관심지점등록 | 전체보기

가평군 가평읍 기상정보

가평군 가평읍

연천군 연천읍

가평군 농업기술센터

기후지대: 중북부내륙

설치년도: 2011-05-22

현재 기상 (02월 07일 13시 40분)

기온: 6.5°C

일최고기온: 6.9°C | 일최저기온: -5.8°C

습도: 49.5% | 풍향/풍속: 북동풍 2.1 m/s | 강수량: 0.0 mm | 일조시간: 0:00

| | 10시 | 11시 | 12시 |
|------|-------|-------|-------|
| 기온 | 3.7°C | 4.6°C | 5.5°C |
| 습도 | 58.5% | 54.1% | 51.1% |
| 강수량 | 0mm | 0mm | 0mm |
| 일조시간 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |

지난 기상정보

| | 02월 02일 | 02월 03일 | 02월 04일 | 02월 05일 | 02월 06일 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 평균기온 | 3°C | -1°C | -7°C | -6°C | -3°C |
| 최고기온 | 5.9°C | 1.2°C | -3.2°C | 0.6°C | 4.3°C |
| 최저기온 | 1.2°C | -6.8°C | -10.9°C | -11.4°C | -7.3°C |
| 일조시간 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |
| 일강수량 | 1mm | 0mm | 0mm | 0mm | 0mm |

바로 가기

기간별 조회 | 지대별 분석 | 농업기상 응용 | 평년대비 분석

공지사항 | 최근 농업기상현황 및 전망 | 더보기

- 전산실 전환공사에 따른 농업기상서비스 일시 중지 알림 | 2012.11.30
- 2012년도 농업기상관측시스템 표준설치 규격 | 2012.02.06
- 농업기상정보서비스 개선 안내 | 2011.12.23

01
기상 특보

02
병해충 관리시스템

03
주간농사 정보

04
기상청 동네예보

05
농작물재해예방정보

그림 4 농촌진흥청에서 제공하는 농업기상정보(일부).

제 2 절 외국의 기술개발 현황 및 개발수준

농작물 생산성과 생산량을 변화시키는 기후변화 주 요인은 생물리학적 영향과 사회경제적 요인이다. 작물 생산은 온도 상승, 강수 변화, CO₂ 농도 증가 등 기상 변수들의 생물리학적 영향을 받는다. 작물 생산에 미치는 기후변화의 생물리학적 영향은 지역에 따라 그 특징이 상이하다. 예를 들어, 일부 지역에서는 정의 방향으로 영향을 하나 다른 지역에서는 부의 방향으로 영향을 할 것이며 또한 이와 같은 영향은 시간의 흐름에 따라서 변화한다. 그렇기 때문에 해외 여러 나라에서도 농업 부분의 연구를 통하여 기후 변화 및 기후 변화로 인한 이상기상·이상기후현상 발생에 대한

연구 및 대응책을 마련하고 있다.

미국

미국 농무부 농업연구청(USDA Agricultural Research, USDA ARS) 농업시스템연구부(Agri System Unit)에서는 주로 농업부문 영향평가와 CO₂ 고정을 포함한 기후변화 완화를 주로 연구하고 있다. 연구의 목표는 ①농업 부문의 제한된 수자원에 대한 모형 개발, ②기후변화 측면에서의 수자원 관리, ③수질 관련 정책결정 지원 이며, 최근(2012년도 기준) 개방계 대기 이산화탄소 증가(Free Air CO₂ Enrichment,FACE) 실험시설을 설치하고(그림 5) 이산화탄소 농도 증가 시 옥수수과 소맥 생산에 미치는 영향에 대한 실증시험을 추진하고 있다(한국농촌경제원,2012).



그림 5 미국 와이오밍대에 설치된 FACE 정비
(한국농촌경제원 해외출장보고서,2012).

미국 국립대기과학연구소(National Center for Atmospheric Research,NCAR) 응용기상연구부는 미국 대기과학의 국가 종합연구소로 대기과학 기초부터 기후변화에 이르기까지 전분야에 대한 연구를 추진하는 기관이다. 응용기상연구부에서 농업 분야에 관련된 연구로는 세계기후변화 대응 관련 IPET과의 R&D전략으로 농업생태계의 감시시스템 구축, 기후변화 취약성 시스템 개발, 기후변화 적응과 관련된 농업관리메뉴얼 개발, 기후재해조기경보시스템 구축, 바이오에너지·신재생에너지의 생력화, 농

업과관련된 맞춤형기상예보시스템 개발 등을 제시하는 것 등이 있다. 또한 농식품과 관련하여 지역단위의 기후예측 평가 및 적응 그리고 완화 기술을 강화하고 있다(한국 농촌경제원,2012).

미국 농무부 경제연구소(US Department of Agriculture, Economic Research Service, USDA ERS) 자원환경연구부는 USDA 산하의 연구기관으로 경제정도 및 연구의 가장 핵심적인 기관이다. 이 기관에서는 농업부문의 기후변화와 관련하여 토지 이용과 관리, 기술수용, 환경프로그램 분야의 경제학적 분석에 전문성을 가지고 영향분석, 완화, 적응분야의 연구를 수행중이다. 농업 분야는 온실 가스 배출원이기도 하면서 또한 그로 인해 발생하는 온난화로 인해 직접적인 영향을 받는 부분임을 언급하며 탄소 상쇄와 관련하여 협회가 해당 작목 재배농민을 통제하고 모니터링을 한다. 이를 통해 상쇄가 이루어진 것을 측정하며, 보고 및 검증을 한다.

Dr.Psdaltopoulos(FAO-OECD 기후변화 적응 워크숍,2012)은 기후 변화로 지중해지역에 발생하는 문제점을 제시하며 이에 대한 복원에 대하여 언급하였다. 발생하는 문제점은 낮아지는 토양 비옥도, 농업 병해충, 농업 및 농촌 경제의 영향을 들 수 있으며 기술적으로는 농장에서 물을 보존하는 것을 하나의 방안으로 들었으나 이 효과는 제한적이며 보다 체계적인 자원 분배를 요구하였다. 제안점으로는 농업용수 이용의 효율성 향상, 농식품부문 에너지 이용의 효율성 향상, 농업 부문의 온실가스인 NO_2 , CH_2 감축, 농림업부문의 산림탄소고정 촉진 등이 있다(한국농촌경제연구원,2012).

호주

호주는 국가차원의 기후변화 적응체계를 위한 수자원, 생물다양성, 농업·수산업·임업, 자연재해관리 등으로 나누어 취약한 부분에 대한 행정적 결정 및 기후변화를 반영한 정책수립을 목표로 하고 있다. 또한 정부 정책과 과학적 연구는 기후변화에 대한 장기적이고 전략적인 적응계획을 중요하게 다루고 있으며 적응정책과 지역발전 프로그램 연계를 통한 병해충 유입에 대한 악영향의 최소화, 농업시스템 복원력 배양 등 다양한 적응전략을 제시하고 있다. 호주의 미래농업은 기후변화 연구 프로그램(Climate Change Research Program), 기후변화 조정프로그램(Climate Change Adjustment)으로 구성되어 있으며 농업분야 Climate Change Reserach Program Round 1에서는 메탄, 아산화질소, 이산화탄소 등 온실가스 감축, 농업토양관리체계 강화,

적응체계 및 기술강화에 중점을 두었고 MAADI(Mitigation and Adaptation in the Australian Dairy Industry)에서는 농식품관련 다양한 기후변화에 대한 연구를 진행하고 있다(Dept. Agriculture, Fisheries & Forestry of AU). 세부적으로는 기후변화 관련성을 위한 병해충, 식물평가, 온실가스 배출 등 환경 악영향 완화를 위한 농업시스템 개발 및 적응 촉진, 산업구조 조정을 통한 다각화 촉진, 기후변동성 관리 도구 개발, 관리시스템에 기후변화 위험을 통합시키는 농업관리기술 개발 등이 있다(Dept. Agriculture, Fisheries & Forestry of AU).

일본

일본은 쌀 수량성에 관한 연구가 수행중이며, 한 연구에 따르면 전국의 쌀 수량성은 2050년대까지는 증가하다가 그 이후는 CO₂ 시비효과가 온도 상승에 따른 생육기간 단축 효과를 상회하여 수량이 감소할 것으로 분석되었다(Ministry of the Environment, Japan 2000). 기후변화에 따른 쌀 수량성의 변화는 어느 지역이나 초기에는 증가하여 일정 시기가 되면 최대에 이르렀다가 그 이후 감소하기 시작하지만 최대에 이르는 시기가 지역에 따라 달라서 저온 지대인 홋카이도와 도호쿠 지방은 그 외의 지역에서 보다 빠를 것으로 예측되었다. 지역별 난후기(5월~10월)의 기온 대비 온도 상승에 따른 수량 변화를 나타낸 것으로 홋카이도와 도호쿠 지방은 현재보다 3~5℃ 상승할 때까지도 쌀 수량성이 증가하지만 그 외의 지역에서는 현재보다 2℃ 이상 상승하면 수량이 감소할 것으로 예상된다. 한편 어느 지역에서나 3℃ 이상으로 상승하면 고온에 의한 불임이 증가하여 쌀 수량의 변동성이 증대할 것으로 예측하였다(그림 6).

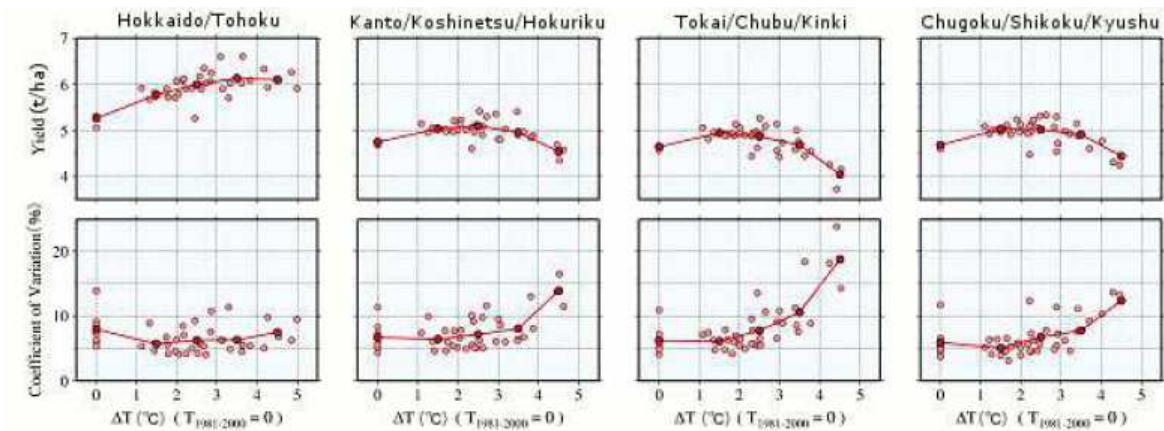


그림 6 난후기(5월-10월) 평균기온 상승(1981-2000년 평균)에 따른 일본 지역별 쌀 수량 및 수량 변동성 변화 (Ministry of the Environment, Japan 2009).

중국

중국은 기후변화 및 이상기후가 미치는 농작물에 관하여 여러 연구를 진행 중이다. 그 중 하나는 농작물 생에 대한 기후변화 및 이상기후가 사용하는 작물모델, CO₂ 상승의 영향 고려 여부, GCM 시나리오 등에 따른 실험이며 이 실험들의 결과로는 각 실험 디자인에 따라 상이한 결과를 보여주고 있다고 나타났다. Tao 등(2008)은 20가지의 기후변화 시나리오를 이용하여 CO₂ 시비효과를 고려하지 않은 경우 벼 수량변화 모의 실험을 하여 90%의 확률로 벼 수량성이 감소할 것이라고 하였으며, 다른 연구들도(Jin 등 1995; Yao 등 2007; Xiong 등 2008) 유사한 결과를 보고하였다. 한편 Lin 등(2005)은 온난화에 동반된 CO₂ 시비효과를 고려하면 고온에 의한 수량 감소는 상당부분 상쇄되어 있으며 평균적으로는 벼는 13%, 옥수수 18%, 밀은 28% 증가할 것이라고 하였으며 Xiong 등(2008)도 유사한 결과를 보고하였다. 한편 Xiong 등(2009)는 기후변화가 벼, 옥수수, 밀 등 작물 생산성에 미치는 직접적인 영향뿐만 아니라 인구 증가와 경제발전에 따른 물수요와 가경지 면적 변화에 따른 수자원 가용성의 변화 등 간접적인 영향을 고려하여 중국의 작물 생산량 변화를 예측하였다.

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 농업 분야 이상기후 관련 현황 조사

1. 우리나라 이상기후 발생 현황과 농업 분야에서의 시사점 분석

농업은 기상·기후에 따라 크게 영향을 받는 산업이다. 농업은 기온, 강수량, 일조 시간 등에 따라 재배 가능한 작물이 결정될 뿐만 아니라, 과중, 병해충, 물 관리, 농약 살포, 추수, 건조, 보관 등 농작물의 과중 전부터 수확 후까지 일련의 모든 영농작업이 기상 및 기후변화에 의해 크게 좌우된다. 따라서 본 절에서는 장기간의 기상자료를 분석하여 농업이상요소의 변화폭을 기술하고자 한다.

기온

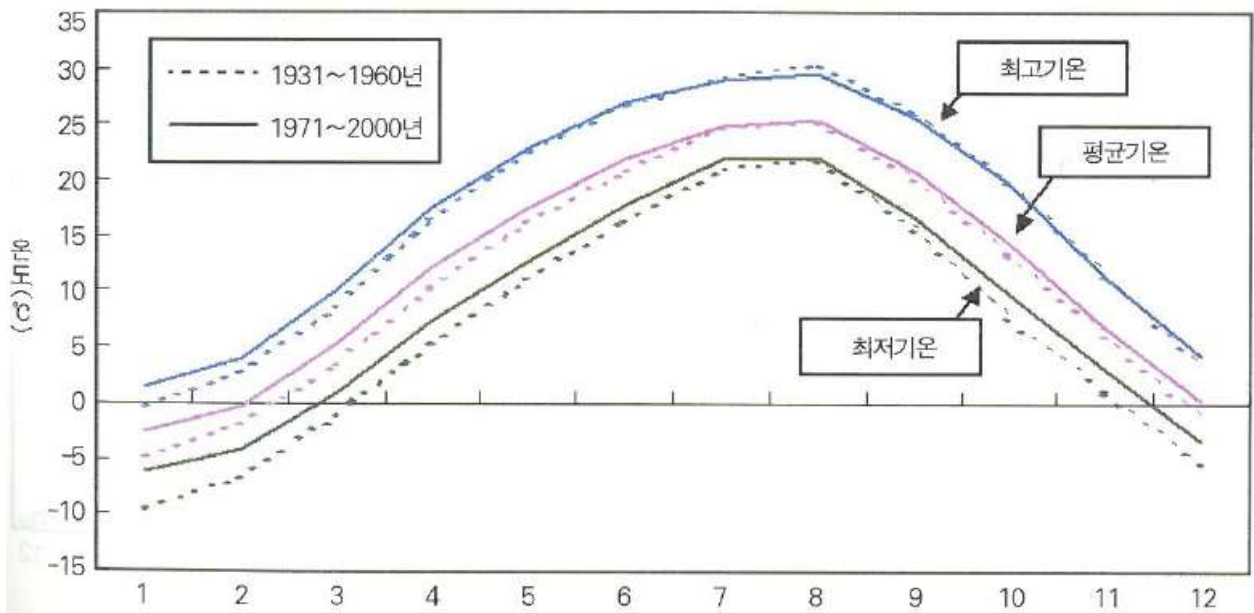


그림 7 서울 지역의 월별 평균기온, 최고기온, 최저기온 변화 (이정택, 2011).

기상청에서 발생된 기후표의 일별평균기온, 최저기온은 1960년대 평년값(1931-1960년), 2000년대 평년값(1971-2000년)을 보면 최근 30년이 과거 30년에 비해 온도가 높아진 것을 알 수 있다(그림 8). 월평균기온 4~8월 사이에는 13~25℃ 정도로 분포

하고 있어 벼농사에 적합한 기후 조건을 보이고 있다. 최근 30년의 최고기온은 과거에 비해 여름과 가을에는 비슷하거나 높지 않았으나, 겨울과 봄에는 온도가 상승했다. 최저기온은 과거에 비해 최근 온도가 높았으며, 특히 겨울철이 높은 것을 볼 수 있다. 따라서 평균기온은 과거와 비교해보면 겨울, 봄, 가을, 여름 순으로 온도 상승이 높은 것으로 나타났다(그림 8). 이러한 기후변화는 작물 재배기간의 연장과 작물의 재배한계지의 북상 가능성을 시사해준다. 겨울철에 기온이 높아지면 온실 내에서 작물을 재배할 때 난방비가 줄어들고 겨울 작물의 월동이 용이해진다(이정택, 2011).

강수량

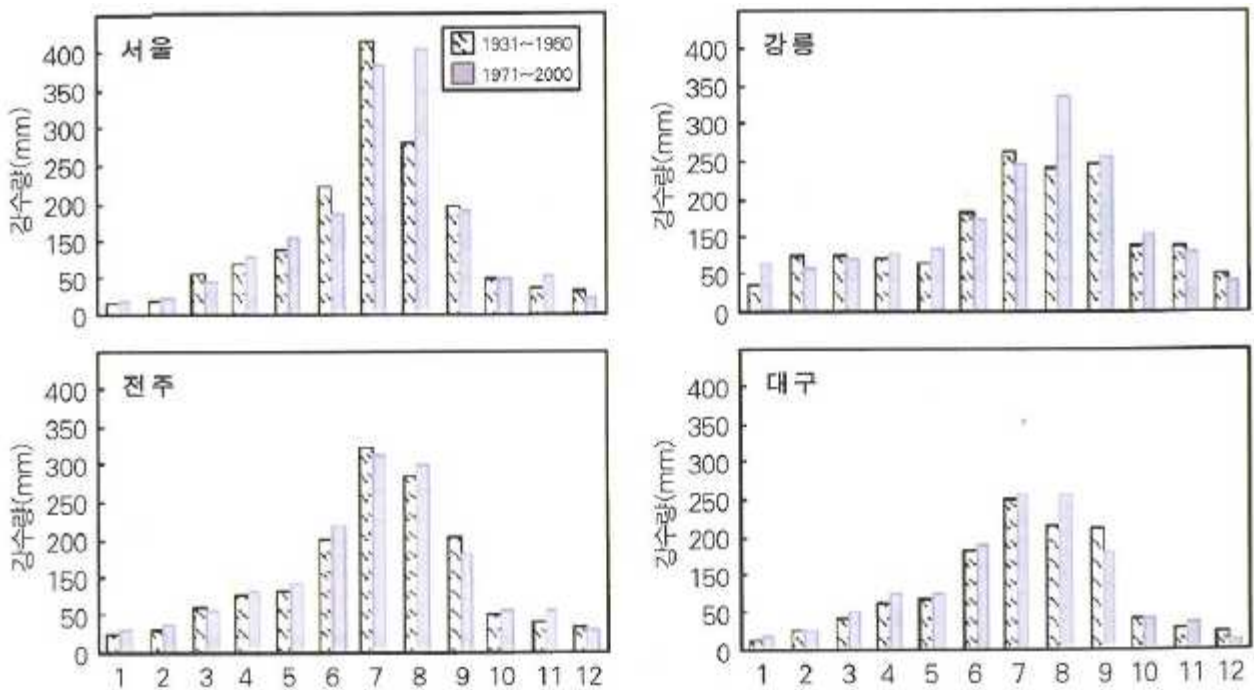


그림 8 과거 30년(1931-1960년)과 최근 30년(1971-2000년)의 월평균 강수량 변화 (이정택, 2011).

1931-1960년과 1971-2000년 각 30년간의 월평균 강수량 변화를 살펴보면, 월별 강수량은 지역 간에 많은 차이를 보이고 있으며, 최근 30년은 과거 30년에 비해 전반적으로 강수량이 많아지는 경향이며, 특히 8월 강수량이 두드러지게 많았다(그림

9). 과거에는 7월의 강수량이 8월에 비해 많았으나, 최근 7월보다 8월에 강수량이 많은 것은 장마기간 중에는 비가 상대적으로 적게 내리고 오히려 장마가 끝난 후에 비가 많이 오는 현상을 볼 수 있다(그림 9). 이러한 기후변화는 7,8월에 비가 집중적으로 와서 농경지의 침수 피해나 토양 유실이 쉽게 일어날 수 있으며, 여름 작물의 개화기나 수확기에 피해를 줄 가능성이 더욱 커진 것을 의미한다(이정택,2011).

일조시간

표 2 과거30년(1931-1960년)과 최근 30년(1971-2000년)의 일조시간 비교

| 지역 | 일조시간(hrs) | | | | | |
|----|-----------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | 연간 | | | 벼 재배시간(5~10월) | | |
| | 과거 | 최근 | 편차 | 과거 | 최근 | 편차 |
| 서울 | 2425.4 | 2114.2 | -311.2 | 1288.3 | 1083.1 | -205.2 |
| 강릉 | 2394.7 | 2136.2 | -258.6 | 1184.9 | 1035.9 | -149.0 |
| 대구 | 2541.7 | 2289.8 | -251.9 | 1309.4 | 1127.7 | -181.7 |
| 전주 | 2341.9 | 2213.9 | -128.0 | 1278.8 | 1148.5 | -130.3 |

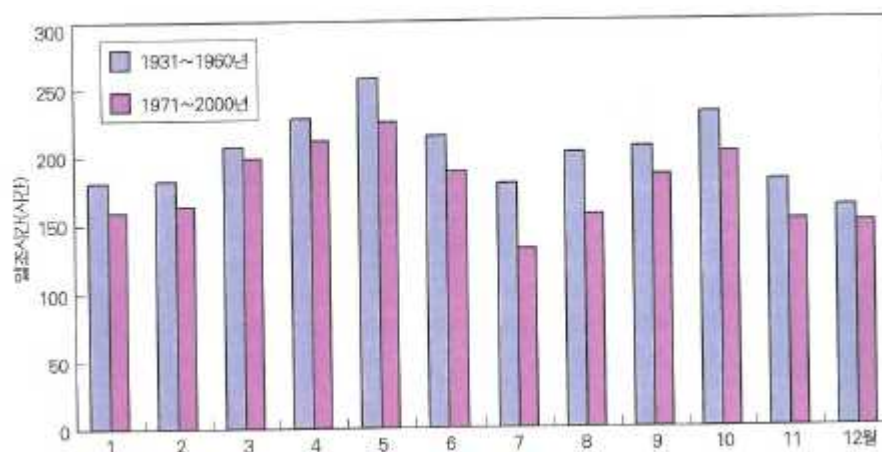


그림 9 서울지역의 월별 일조시간 변화 (이정택,2011).

기후변화가 농업생산성에 미치는 영향으로 가장 대두되는 것은 병해충에 의한 피해이다(이정택,2011). 최근 벼에서 발생이 증가하는 병해충으로는 벼멸구, 흑명나방, 이삭도열병, 벼줄무늬잎마름병, 흰잎마름병, 고엽병 등이 있다. 이러한 병해충의 급

증 원인은 겨울철 고온과 잦은 강우에 의한 일조시간 부족 때문이다. 일조시간은 작물이 광합성을 하여 농산물 생산량을 많게 하거나, 생물의 활동에 크게 영향을 미친다. 또한 일조량 부족은 등숙정지미, 유백미, 사미 등을 많이 발생시킴으로써 미질을 크게 떨어뜨린다. 사과는 일조시간 부족 시 과실 품질이 낮아지며, 착색에 영향을 미친다. 과거 30년(1931-1960년)과 최근 30년(1971-2000년)의 일조량을 비교해보면, 최근 연간 128시간에서 311.2시간까지 감소했으며, 벼 재배시기(5~10월)동안은 130.3시간에서 205.2시간이 감소함을 나타냈다(표 1).

월별 일조시간은 과거에 비해 최근에는 전반적으로 줄어들었으며, 특히 일조가 많이 필요한 7,8월 여름에 크게 줄었다(그림 9)(이정택,2011).

1904년부터 2000년까지 97년간 우리나라에서 발생한 기상재해 현황을 살펴보면, 폭풍우의 발생 횟수는 총 377회로 기상재해 중에서 가장 많았고, 다음으로는 강풍이 246회로 많았으며, 황사는 26회로 가장 적게 발생한 것으로 조사되었다(그림 10). 1940년대 이전에는 기상재해 발생 횟수가 극히 적게 조사되었으며, 1940년대 이후에는 상대적으로 많이 조사되었다. 이와 같은 현상은 기상재해의 급격한 증가보다는 기상재해에 대한 시대적 관심도와 기록의 유무에 따른 차이도 있을 것이다(이정택,2011).



그림 10 기상재해 발생빈도 그래프 (이정택,2011).

표 2 연대별 기상재해 발생 횟수 (1904-2000년)

| 연대 | 가뭄 | 폭설 | 강풍 | 우박 | 이상 고온 | 이상 저온 | 폭풍우 | 태풍 | 황사 | 합계 |
|-----------|-----|-----|-----|----|----------|----------|-----|----|----|-----|
| 1904-1910 | - | 1 | 2 | - | - | 2 | 7 | 3 | - | 15 |
| 1911-1920 | 1 | 6 | 7 | 4 | - | 2 | 23 | 5 | - | 48 |
| 1921-1930 | 1 | 2 | 5 | 4 | 1 | 2 | 6 | 7 | - | 28 |
| 1931-1940 | 1 | 7 | 6 | 4 | - | 4 | 7 | 10 | - | 39 |
| 1941-1950 | 30 | 23 | 46 | - | - | 3 | 54 | 5 | - | 161 |
| 1951-1960 | 29 | 37 | 75 | 0 | 4 | 5 | 53 | 10 | 3 | 216 |
| 1961-1970 | 14 | 27 | 19 | 7 | 4 | 10 | 56 | 9 | 3 | 149 |
| 1971-1980 | 14 | 32 | 31 | 6 | 3 | 13 | 65 | 8 | 1 | 173 |
| 1981-1990 | 13 | 33 | 52 | 9 | 20 | 39 | 56 | 18 | 4 | 244 |
| 1991-2000 | 10 | 29 | 3 | 5 | 29 | 30 | 50 | 19 | 15 | 190 |
| 합계 | 113 | 197 | 246 | 39 | 61 | 110 | 377 | 94 | 26 | |

전체적 연대별 기상재해 발생 변화추이를 살펴보면, 폭설과 폭풍우는 1940년대 이후로 비슷했고, 태풍, 황사, 이상고온, 이상저온은 꾸준한 증가추세를 보였다. 강풍은 1950년대와 1980년대에 가장 뚜렷한 증가를 보인 후, 1990년대에 급격히 감소하는 경향을 보인 반면, 황사는 1990년대에 급격히 증가했다(표 2). 자료의 경향을 살펴보면 폭풍우는 1940년 이후 비슷한 횟수로 발생하였다. 가뭄은 시간이 갈수록 감소하는데 이는 댐을 건설하여 물관리가 가능하게 된 것과 연관이 있는 것으로 보인다. 황사는 현재로 올수록 그 발생빈도가 눈에 띄게 증가하는데 이는 각각 지구온난화의 영향과 중국의 사막화가 확대 된 것으로 보인다.

위와 같은 기상재해 중 지난 40년간 농작물에 큰 피해를 준 기상재해로는 풍수해와 가뭄해(고온해 포함) 및 냉해가 있다. 집중호우와 태풍에 의한 풍수해는 최근에 많이 나타나는 특징을 보이는 반면, 여름철 저온에 의한 극심한 냉해는 과거에 주로 나타났다. 특히 1980년의 냉해는 전체 논 면적의 50% 정도에서 발생하여 벼 작물에 엄청난 피해를 주었다. 가뭄해는 약 7년 마다 한차례씩 나타나서 다른 기상재해에 비하여 발생 빈도가 높으며, 주로 고온해와 함께 나타나는 특징을 보인다. 1994년은

가뭄과 고온으로 특히 콩, 고추 등 밭작물을 큰 피해를 입혔으며 그 면적은 전국적으로 144천여ha에 달했다.

농산물 생산량은 품종별 고유의 생산능력과 재해환경 간 상호작용의 산물이다. 즉 생육기간동안 자연환경조건에 따라 생산능력의 발현정도가 달라지는데 표 2와 같이 최근 세계적인 현상인 온난화, 가뭄, 폭우 등과 같은 이상기상 및 기후 현상에 따른 재해발생빈도 증가는 농업 생태계를 변화시켜 곡물생산의 불안정성을 증폭시키고 있다.

2. 농업 분야 이상기후 관련 정책적 현황 및 문제점

여러 기관에서는 이상기상 및 이상기후로 인해 농작물 및 농업기반시설이 받는 피해를 예방할 수 있는 재해 예방 관리기술정보를 제공하고 있으며, 재해 발생 후 입은 피해를 보상받을 수 있는 재해 보험 등과 같은 정책이 있다. 농촌진흥청에서는 농작물 재해예방 관리기술 정보를 발간하는데, 이는 최근 이상 기상 및 기후변화로 인한 농작물 및 시설물 피해가 증가하고 있어 재해유형별 피해요인을 분석하고 위기 단계별 예보, 주의보, 경보로 분류하여 제공 중이다. 관리기술예방 내용으로는 기상 전망과 최근 5년간 발생 재난을 분석하고, 예상되는 재해 예방 기술 대책이 서술되어 있다. 따라서 농촌진흥청에서 제공하는 정보는 농업인들의 경각심을 고취시키고 신속한 사전대응으로 피해를 최소화하는 효과가 있다. 기상청에서도 농업 분야를 포함한 국토해양, 산업·에너지, 방재, 산림, 수산, 환경, 건강 등 총 8개 분야에 대하여 이상기후에 대한 영향과 대응, 그리고 향후 계획 등을 내용으로 하는 「2012년 이상기후 보고서」를 발간하였다. 이 보고서에서는 이상 기후에 대한 주요 원인과 이상 기후에 대한 분야별 주요 영향, 그리고 분야별 향후 대응 계획이 수록되어 있다. 농작물이 이상기상 및 기후로 인하여 피해를 받았을 경우에는 ‘농작물 재해보험’으로 피해를 보상 받을 수 있다. 이 보험은 농가의 경영불안요소를 해소하고 소득안정을 기하기 위한 제도로, 2001년에 도입된 제도이다. 초반에 정부는 자연재해 예방과 그 사후 대책을 강구하여 농업 및 어업의 생산력을 증진시키고 경영 안정을 도모하기 위하여 ‘농어업재해대책법’을 제정하고 다양한 대책을 실시하였으나, 피해 발생 시 최소한의 시설복구와 생계비 위주로 지원되고 있어 규모화·전업화 된

농업경영체가 피해를 극복하고 다음해 농업재생산 능력을 확보하기에는 미흡한 실정이었다. 그리하여 농림수산식품부(2000년 당시 부서)는 ‘농작물 재해보험’을 실시하였다. 현재 이 보험은 2014년에 들어서면서 늘어난 예산으로 재해 대상 품목을 도입하고 가까운 미래에 보험대상품목을 확장시켜 재해대응을 강화하겠다고 발표하였다(2013, 농림축산식품부 보도자료). 그러나 보험 특성상 사후 보상제도이며, 따라서 자연재해로 인한 단기적인 보상은 가능하나 장기적으로 봤을 때엔 효율적인 보상방법이라 단정 지을 수는 없다. 나날이 기상 이변의 빈도와 강도가 더욱 강해져 재해 관리 중요성이 커지고 있는데 근본적인 해결책이 마련되지 않는다면 재해로 인한 피해액이 천문학적으로 늘어날 것이다. 기후 변화는 선제적으로 대응하는 것이 필요하므로 정부와 농업계는 국내외 환경 변화에 맞추어 체계적이고 종합적인 대응체계를 마련할 필요가 있다.

제 2 절 농업 이상기후 지수의 개발

지수의 본래 뜻은 ‘방향이나 목적, 기준 따위를 나타내는 표지’이며, 최근 지표를 이용한 연구에서의 지표의 개념은 ‘어떤 주제의 다양한 측면을 단적으로 나타내는 방식’으로 해석된다(Aall, 2005). 일반적으로 지표와 지수를 엄밀하게 구분하기 보다는 혼용하여 사용하는 경우가 많다. 특별히 구분한다면, 지표는 단순자료나 기본 자료의 성격이 강한 반면, 지수는 객관적으로 합리적으로 상호비교를 위한 수치이다. 그러므로 지표와 지수는 서로 분리된 개념이라기보다는 다양한 자료와 지표들을 먼저 구상한 후, 구성된 각 지표를 근거로 합리적인 방법을 통하여 지수를 산출한다(김해동, 2001). 따라서 지수는 많은 양의 정보를 하나의 수치로 나타내야 한다는 한계점을 갖고 있으나 주요 장점은 지수라는 도구 하나로 여러 지역의 어떠한 정도를 비교할 수 있다는 것이다. 지수는 자료의 처리 및 활용방식에 따라 특정지표, 핵심지표, 복합지표 세 가지로 나누어진다. 특정지표는 분석하고자 하는 자료를 그대로 지표로 정의된다. 핵심지표는 많은 자료 중 일부 자료만을 선택하여 지표로 정의된다. 마지막으로 복합지표는 둘 이상의 자료를 이용하여 지표로 정의, 둘 이상의

지표를 수학적으로 결합한 지표이다 (Nardo et al.,2005, Saisana and Tarantola,2002).

본 연구에서는 대표 작물로 선정된 벼와 사과에 기상 및 기후 재해 유형을 선정하고, 그 유형에 대한 기준을 근거로 하여 자료를 표준화하였다. 그리고 표준화 한 값 구간에 점수를 매겨 지수화하고, 각 재해 유형 중 가장 큰 값을 대표 지수로 선정하는 핵심지표의 방식을 따른다.

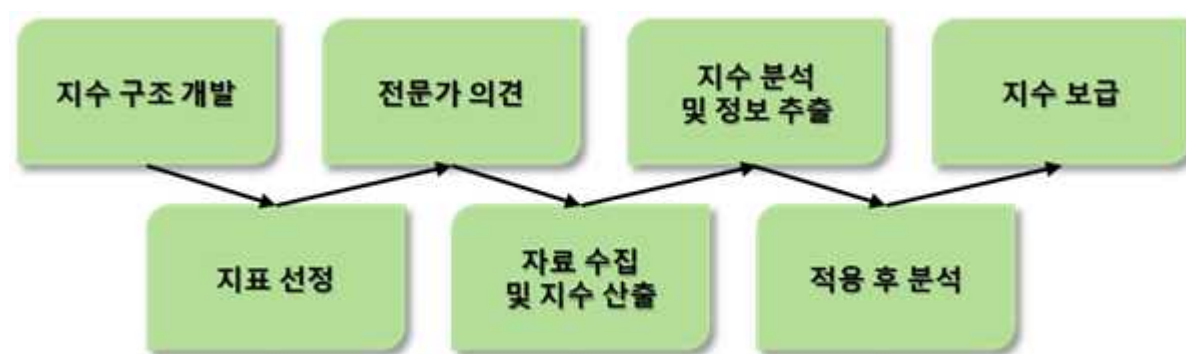


그림 11 지수의 개발 과정 (Segnestam,2000).

일반적으로 지수의 개발 과정은 다음과 같다. 우선 지수의 구조를 개발 한 후 지표를 선정하여 전문가들의 의견에 따라 지표 범위를 조율한다. 그 이후 지표를 나타내기 위한 자료를 수집하고 수집한 자료를 가공하여 지수를 산출한다. 각 지수에 따라 산출된 정보를 추출하고 이를 합쳐서 하나의 지수를 제작한다. 만들어진 지표를 실제 현상에 적용을 한 후 분석하고 보완하여 지수 제작이 완성되면 이를 지수를 필요로 하는 사람들에게 보급하는 순서로 이루어진다(그림 12). 본 연구에서도 위와 같이 처음에 지수의 구조를 고안한 후, 재해 및 그에 대한 기준을 선정하는 과정인 지표 선정 과정을 거쳤다. 그리고 자문회의를 거쳐 농업 기상 전문가의 의견을 수렴하여 벼와 사과의 생리 현상을 고려한 지수 개발 틀을 확정하였다. 그 후 기상청에서 자료를 수집하고 지수 제작 과정을 거쳐 지수를 산출하였다. 그리고 산출된 지수를 효율적으로 나타내기 위해 여러 분석 과정을 거쳤다. 그러나 본 연구에서는 지수 보급 단계까지는 수행하지 않았다.

1. 농업이상기후의 개념 정의

기상 및 기후 변화 재해는 시기별·지역별로 다양하게 나타날 뿐만 아니라 각 작물들이 가지고 있는 생리적 특징도 다르므로 이를 고려해야 한다. 이때까지 알려진 기상과 작물의 영향 관계로 보면 기상재해 피해 발생은 작물의 종류 및 기상재해 유형에 따라 달라지는데, 본 연구에서는 연구 기간을 고려하여 대표적으로 벼와 사과에 대하여 분석을 실시하였다. 따라서 이 두 작물은 우리나라에서 재배 면적이 가장 넓고 여름작물로서 대표적이므로, 생리 현상과 기상변화 관계를 잘 나타낼 수 있을 것으로 판단된다. 벼와 사과의 생육에 영향을 미치는 기상재해 유형과 그에 따른 기준을 바탕으로(표 3) 기상 및 기후의 영향이 재해의 기준치를 넘어설 경우 각 작물에 대하여 이상기후가 발생했다고 정의하였다. 추후 연구에서는 다른 작물도 적용할 수 있도록 부록2에 벼와 사과 이외의 작물에 대한 기상재해 유형, 기준 및 작물 피해양상을 수록하였다.

2. 농업 이상기후지수의 개발 및 구조화

가. 지표 구조 및 지표 선정

농업 이상기후지수는 기후요소를 바탕으로 제작되었는데, 기후 자체의 개념이 복잡적이고 직접적인 관측이나 측정에 어려움이 있기 때문에 농업생산량 및 농업 기상·기후 재해 영향을 잘 반영할 수 있는 대리변수(proxy variable)를 설정하였다. 이상적인 대리변수는 필요한 정보를 나타낼 수 있어야 하며, 단순하고 관심 대상을 가시화하거나 인지할 수 있도록 만들어야 하고 쉽게 자료를 얻을 수 있도록 측정 및 관측 가능한 정보로 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 각 작물별로 가장 영향을 많이 받는 기상재해 유형을 대리변수로 설정한 후 각 대리변수를 나타내는데 사용되는 각 변수들을 설정하였다(표 4).

표 3 식량 작물에 대한 기상 및 기후 피해 기준 및 피해 양상

(농촌진흥청 벼:국립식량과학원, 사과:국립원예특작과학원)

| | 기상재해 유형 | 기준 | 작물 영향 | 작물 피해양상 |
|----|---------|--|---------------------------------------|--|
| 벼 | 고온 | 개화시간(오전 10시~12시) 중 35℃ 이상 | 꽃가루 수정능력 상실 | 불임유발 |
| | 냉해 | 7-8월 일평균기온 17℃ 이하 | 출수기 지연, 꽃가루 퇴화 | 출수기 지연, 불임유발 |
| | 가뭄 | 이앙기 용수 부족 | 이앙불가 | 이앙기 지연 |
| | 일조부족 | 등숙기 일평균일조 4.6시간 이하 | 광합성 저하, 등숙립 발아 | 등숙 불량, 수발아 |
| | 강풍 | 출수전3일 ~ 출수후 10일 일최대풍속이 17m/s 이상 | 탈수에 의한 백수발생, 도복, 마찰에 의한 변색립 발생 | 불임유발, 쌀 품질저하 |
| 사과 | 고온 | 32℃ 이상일 때 많이 발생 | 고온에 의한 조직 변성 광합성 저해 호흡증가 | 과피·엽의 일부분이 흰색 또는 옅은 노란색으로 변함 → 진전되면 갈색, 흑변 탄저병 등 2차피해 발생 |
| | 동해 | -30~-35℃ 이하 | 조직 동결, 조직 파괴 삼투조절기능상실 세포내 대사 불량 | 눈·가지 갈변, 수피(樹皮)가 갈라짐, 나무 고사 부란병·동고병·나무좀벌 등 2차피해 발생 |
| | 상해 | -1.7℃ 이하(만개기기준) *꽃눈의 생육정도에 따라 많은 차이가 있음 | 동해와 동일 | 눈(꽃)의 갈변 : 특히 암술의 방부위 갈변(결실이 안됨) 종자형성 불량, 기형과 발생 |
| | 우박 | - | 엽, 가지, 과실의 기계적 손상 광합성 저해 | 엽·가지 찢어짐, 기형과 발생 낙엽·낙과 → 심한 경우 다음해 생육 불량 초래 |
| | 강풍 | 일최대풍속 14m/s 이상 | 엽, 가지, 과실의 기계적 손상 광합성 저해 | 엽·가지 찢어짐, 엽 갈변 나무 도복(쓰러짐), 낙엽·낙과 → 심한 경우 가을 개화로 다음해 생육 불량 초래 바다와 가까운 과수원 염분 피해 발생 |

표 4 식량 작물에 대한 기상 및 기후 피해 기준 및 피해 양상

| | 대리변수 | 기준 | 기간 | 사용변수 |
|----|------|----------------------|---------------|-------------|
| 벼 | 고온 | 기온 35℃ 이상인 날의 수 | 7월21일 ~ 8월20일 | 일최고기온 |
| | 냉해 | 기온 17℃ 이하인 날의 수 | 7월 ~ 8월 | 일평균기온 |
| | 가뭄 | SPI값 -1 이하인 날의 수 | 5월21일 ~ 6월20일 | 일강수량(SPI계산) |
| | 일조부족 | 일평균일조 4.6시간 이하인 날의 수 | 8월21일 ~ 9월31일 | 일조시간 |
| | 강풍 | 풍속 17m/s 이상인 날의 수 | 7월21일 ~ 8월20일 | 일최대풍속 |
| 사과 | 고온 | 기온 32℃ 이상인 날의 수 | 6월 ~ 8월 | 일최고기온 |
| | 동해 | 기온 -30℃ 이하인 날의 수 | 12월 ~ 2월 | 일최저기온 |
| | 상해 | 기온 -1.7℃ 이하인 날의 수 | 4월15일 ~ 5월5일 | 일최저기온 |
| | 우박 | 우박 1회 이상 발생한 날의 수 | 연간 | 월 우박발생 횟수 |
| | 강풍 | 풍속 14m/s 이상인 날의 수 | 연간 | 일최대풍속 |

벼의 대리변수 중에서 가뭄의 분석 지수로 사용되는 표준강수지수(SPI)는 Mckee et al.(1993)에 의해 개발된 것으로 기상학적 가뭄지수에 범주를 두고 있는 지수이다. SPI는 강수 외에는 다른 인자는 들어가지 않으므로 지하수와의 관계는 정확히 묘사할 수 없으나(Szinell et al,1998;Szalai et al.2000) 많은 인자를 사용하지 않고도 효율적으로 계산을 할 수 있으며 다양한 시간 간격(1개월,3개월,9개월,12개월 등) 가뭄에 대한 적용이 가능하며 표준화를 거친다는 장점이 있다(Hayes,1999). 여기서 짧은 기간은 농업적 용도로 사용할 수 있으므로 1개월에 대하여 계산한 SPI값을 사용하였고, 표준강수지수에 의한 가뭄 분류 기준인 -1을 가뭄위험 값으로 선정하였다(표 5).

표 5 표준강수지수에 의한 가뭄 분류 (McKee et al., 1993)

| 표준강수지수 값 | 가뭄 판정 |
|---------------|------------------------|
| 2.0 이상 | 극한 습윤 (Extremely wet) |
| 1.50 ~ 1.99 | 심한 습윤 (Very wet) |
| 1.00 ~ 1.49 | 보통 습윤 (Moderately wet) |
| -0.99 ~ 0.99 | 정상 (Near Normal) |
| -1.00 ~ -1.49 | 보통 가뭄 (Moderately dry) |
| -1.50 ~ -1.99 | 심한 가뭄 (Severe dry) |
| -2.00 이하 | 극한 가뭄 (Extremely dry) |

나. 자료 수집 및 지수 산출

본 연구에서 지수를 제작하기 위하여 사용한 자료는 기상청에서 1970~2009년 동안 유인관측소(ASOS)에서 관측된 자료이며, 제공받은 변수는 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온, 일강수량, 일최대풍속, 일조시간, 월우박발생횟수로 총 일곱 개 이다. 1970년대는 1970년부터 1979년, 1980년대는 1980년부터 1989년, 1990년대는 1990년부터 1999년, 2000년대는 2000년부터 2009년까지로 정의하였다. 공간적 분석을 위하여 중·북부지방, 중부지방, 남부지방, 제주도로 구분하고 각 지방을 대표하는 지역을 선정하였다. 중·북부지방 대표 도시로는 수원, 강릉, 중부지방은 대전, 청주, 남부지방은 전주, 대구, 제주도는 제주 지점을 포함한다(그림 12).

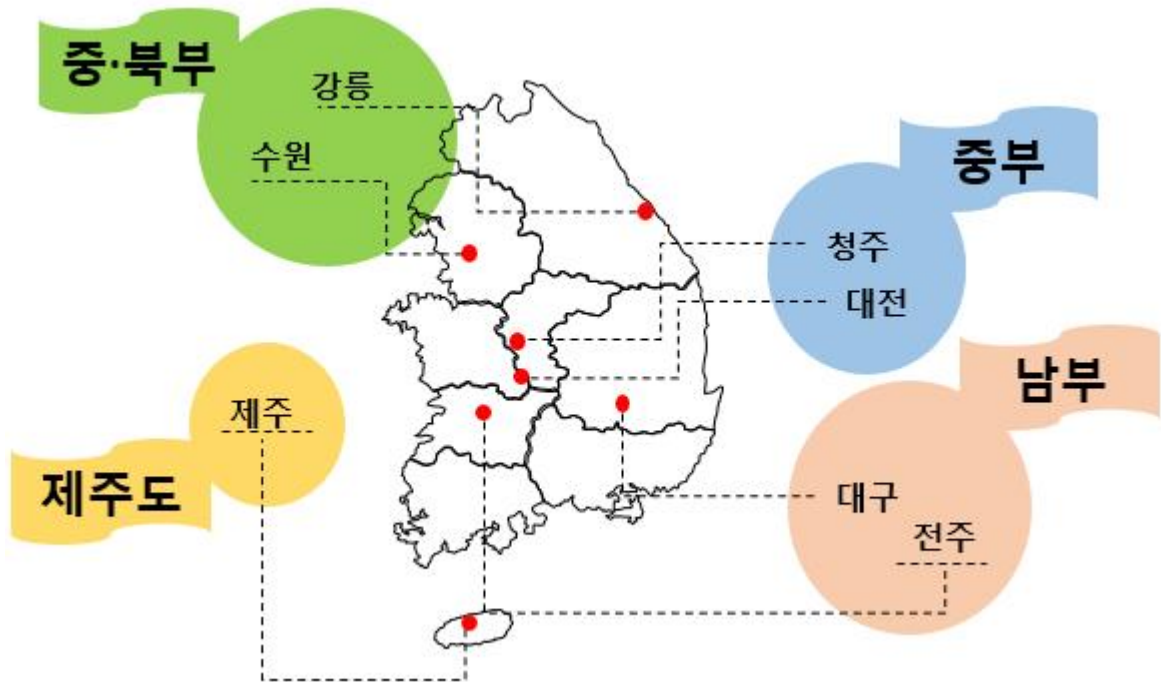


그림 12 공간 분석을 위한 한반도 내 분석 구역 선정

지수(Index)는 서로 다른 측정단위를 사용하거나 과학적인 연관성이 없는 둘 이상의 지표를 집계하여 하나의 지수로 정의하는 방법인데(김호석 등, 2007) 이처럼 서로 다른 측정단위를 가진 자료들을 한데 모아 지수를 제작하기 위해서는 표준화(Normalization)과정을 거쳐야 한다. 자료의 표준화는 선정된 대리변수의 크기와 단위에 따른 편차문제를 해소할 수 있으며, 경제, 환경 및 의료분야 지표 등 거의 모든 영역에서 이용되고 있다. Nardo 등의 OECD 보고서(2005)에서는 이러한 표준화 방법을 9가지로 정리하여 소개하고 있으며 그 방법은 표 6에 정리하였다.

우선 순위산정(Ranking)은 표준화 방법들 중 가장 단순하고 간단한 방법이라 할 수 있다. 처리 방법이 단순한 장점을 가지고 있으나, 단순한 만큼 많은 정보를 파악하기에는 어렵다(Nardo et al., 2005).

Z-스코어(z-score)방법이라고도 불리는 표준화 방법은 가장 보편적으로 사용되고 있는 방법이다. 이는 모든 자료를 평균을 0, 표준편차는 1이 되도록 만드는 방법으로써, 자료의 수치가 분포의 평균으로부터 표준편차의 몇 배나 떨어져 있는지를 표준화된 확률변수인 Z 값으로 나타낸다. 따라서 원점수의 상대적 위치를 파악할 수 있으나 자료가 정규분포가 아닌 경우 왜곡된 결과를 가져올 수 있기 때문에 주의가

필요하다(Nardo et al., 2005).

스케일 재조정(Re-scaling)은 Z-Score방법과는 다르게 지표의 범위에 기반을 둔 변환 방법이다. 이 과정들은 지표들을 표준화하여 이것들이 모두 0에서 1 사이의 동일한 범위를 갖도록 만든다. 하지만 자료의 극값(최고값, 최저값)이 이상치로 간주 될 수 있어서 이러한 요인들이 변환된 지표들에게 왜곡된 효과를 줄 수도 있다(Nardo et al., 2005).

기준선과의 차이(distance to reference country)방법은 기준으로 하는 대리지표에 대한 측정지표의 비율을 이용한다(Nardo et al., 2005).

범주 스케일(Categorical scales) 방법은 각 자료를 범주 값(categorical score)으로 대입하는데, 우선 범주를 선택하고, 각 범주를 점수화하여 모든 자료들이 범주에 해당되는 지정 점수를 할당받게 된다. 종종 이러한 점수들은 각 범주에 포함된 자료들 사이의 비율에 기반을 두기도 한다. 이러한 변환 방법의 장점은 계산된 지표가 시간에 따라 어떤 작은 변화를 한다 하더라도 이러한 변화과정이 결과에 큰 영향을 미치지 않는다는 장점이 있으나 범주를 정한 사이의 값들은 동일한 점수를 받게 되어 자료의 특성을 반영하기가 어렵다(Nardo et al., 2005).

평균 상위 및 하위 지표(indicators above or between the mean) 방법은 평균값 부근에 위치하는 경계 값 p 를 임의로 정하여 이 p 값의 상위와 하위 지표들을 고려하는 방법이다. 이 방법은 범주 스케일과 비슷하며, 매우 간편하고, 이상치에 의한 영향을 받지 않는다는 장점이 있지만, 경계 값 수준의 임의성과 절대적 수준의 정보가 누락될 수 있다(Nardo et al., 2005).

순환지표(cyclical indicators)는 대부분의 비즈니스 경향 조사를 수행하는 연구기관에서 사용되는 지표로서, 시계열 자료를 이용하여 순환지표로 계산한다. 순환지표는 자료들이 시계열 분포를 이룰 때 시간의 평균값인 $E^t(x_{qc}^t)$ 을 뺀 뒤, 평균과의 차이에 대한 절대 값의 시간평균으로 나눔으로써 변환이 이루어지는 방법이다(Nilsson, 2000). 이는 잘못된 신호의 결과물에 대한 위험요인을 줄여 경제활동에서 보다 나은 순환예측을 얻기 위해 행해지는 방법이다(Nardo et al., 2005).

연간차이 백분율(percentage of annual difference over consecutive years)은 절대적 수준 대신 지난해에 비해 얼마나 성장했는가를 나타내는 방법이다. 따라서 이 방법은 연도별 시계열 경향성을 보기 위한 것으로는 좋은 방법이겠지만 매년 발생하지 않는 현상 또는 경년 변화가 거의 없는 대리변수에 적용하기에는 무리가 있다(Nardo et al., 2005).

표 7 여러 가지 표준화 방법

(Nardo, 2005)

| Method | Equation |
|--|--|
| 1. 순위산정 (Ranking) | $I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$ |
| 2. Z-스코어 (Z-score) | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^t}{\sigma_{qc=\bar{c}}^t}$ |
| 3. 스케일 재조정 (Re-scaling) | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^{t_0})}{\max_c(x_q^{t_0}) - \min_c(x_q^{t_0})}$ |
| 4. 기준선과의 차이 (Distance to reference country) | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc=\bar{c}}^{t_0}}$ or $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^{t_0}}{x_{qc=\bar{c}}^{t_0}}$ |
| 5. 범주 스케일 (Categorical scales) | $I_{qc}^t = \left\{ \begin{array}{l} 25 \text{ if } x_{qc}^t \in \{p^{25th}\} \text{percentile} \\ 50 \text{ if } x_{qc}^t \in \{p^{50th} - p^{25th}\} \text{percentile} \\ 75 \text{ if } x_{qc}^t \in \{p^{75th} - p^{50th}\} \text{percentile} \\ 100 \text{ if } x_{qc}^t \in \{p^{100th} - p^{75th}\} \text{percentile} \end{array} \right\}$ |
| 6. 평균 상/하위 지표 (Indicators above or below the mean) | $I_{qc}^t = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ if } w > (1+p) \\ 0 \text{ if } (1-p) \leq w \leq (1+p) \\ -1 \text{ if } w < (1-p) \end{array} \right\}$ where $w = x_{qc}^t / x_{qc=\bar{c}}^{t_0}$ |
| 7. 순환지표 (Cyclical indicators(OECD)) | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t))}$ |
| 8. 의견 균형 (Balance of opinions(EC)) | $I_{qc}^t = \frac{100}{N_e} \sum_e^{N_e} sgn_e(x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1})$ |
| 9. 연간차이 백분율 (Percentage of annual differences over consecutive years) | $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t}$ |

제시된 여러 표준화 방법 중 본 연구에서는 Z-Score 방법을 사용했다(그림 13). Z-Score 방법은 가장 많이 사용되고 있는 방법 중 하나이다.

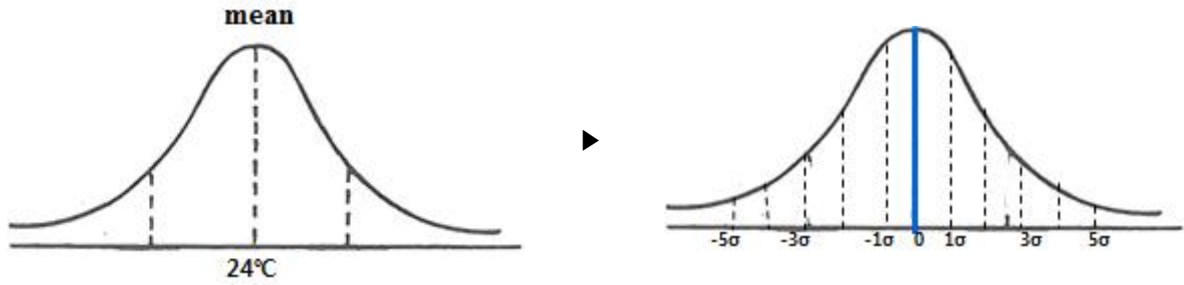


그림 13 Z-Score 방법을 사용했을 때 자료의 분포 형태 (예시)

표준화 작업을 마친 후에 각 σ 구간마다 점수를 부여한다(표 10). 아래 표는 임의로 부여된 σ 구간 당 점수이며, 이 구간과 점수는 각 자료의 분포에 맞게 조정된다.

표 7 σ 구간 당 점수 부여 (예시)

| σ 구간 | | | |
|------------------------|-----|--------------------------|----|
| over 5σ | 100 | $1\sigma \sim -1\sigma$ | 50 |
| $5\sigma \sim 4\sigma$ | 90 | $-1\sigma \sim -2\sigma$ | 40 |
| $4\sigma \sim 3\sigma$ | 80 | $-2\sigma \sim -3\sigma$ | 30 |
| $3\sigma \sim 2\sigma$ | 70 | $-3\sigma \sim -4\sigma$ | 20 |
| $2\sigma \sim 1\sigma$ | 60 | $-4\sigma \sim -5\sigma$ | 10 |

예를 들어 관측 값을 표준화 했을 때 5σ 가 넘어가는 경우 점수는 100점을 부여 받고 5σ 와 4σ 사이에 속하는 경우엔 90점을 부여받게 되며, 이는 곧 지수가 된다.

각 구간마다 점수가 적용되면 한계값(critical value)을 설정한다. 이 한계값은 표 4 에서 결정한 대리변수 기준 값이다. 예를 들어 벼의 고온의 경우 35°C 이상일 때를 의미하는데 표준화된 그래프에 표준화 된 한계값의 위치를 적용한다. 그렇게 되면 이 한계값을 넘는 값이 관측되는 경우 해당 대리변수에서의 위험도가 감지된다. 위의 그림에서 한계값인 35°C 를 넘는 경우 위험도가 감지되며(그림 14), 벼의 태풍 부분의 경우 17ms^{-1} 가 넘는 경우 감지된다.

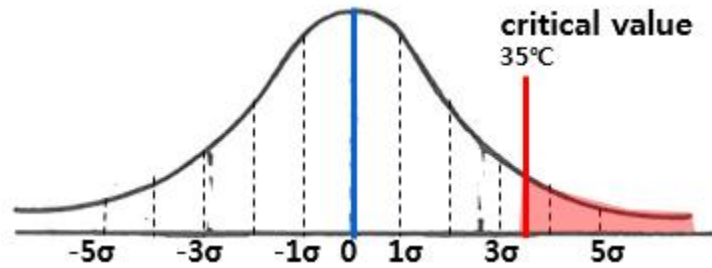


그림 14 일최고기온을 사용하여 표준화 한 벼의 고온 결과 값 (예시)

초기에 설정한 모든 대리변수에 대하여 위의 과정을 거친 후, 이 재해 요소를 방사형 그래프로 나타내면 지수 그래프가 완성된다(그림 15). 농업 이상기후지수 (Abnormal Agricultural Climate Index)는 선정된 재해 대리변수 중 한계값을 넘으면서 최대값을 갖는 재해를 해당 사건의 발생 재해, 그리고 그 값을 지수로 정의한다.

$$\begin{aligned}
 & \text{ACI}(\text{Abnormal Agricultural Climate Index}) \\
 & = \text{Max}(\text{Proxy Variables' Indexes})
 \end{aligned}$$

그림 15에서 노란 실선은 표 4에서 대리변수 기준으로 설정된 기준을 지수화 하여 나타낸 선이다. 한계값 선이라고도 하며, 방사형 그래프를 각 지역별로 나타냈을 때, 각 지역이 어떠한 한계값 선을 갖는가에 따라 지역별로 어떤 재해에 취약한지 분석이 가능하기 때문에 이 한계값 선은 그 자체로도 의미가 있다. 그리고 시기별 분석 시 1970년대의 한계값 선과 2000년대의 한계값 선을 비교하여 어떤 재해가 피해를 발생시키는 가능성이 높아지는지 낮아지는지도 분석 할 수 있다. 이 분석은 제 3절에서 수행되었다. 그리고 붉은색 실선은 각 변수별 입력값 연결선을 나타낸 것으로, 본 그래프에 어떠한 기상·기후값을 넣었을 때 이 값이 한계값 선을 넘는지를 판단하여 해당 재해의 위험도를 분석 할 수 있다. 만약 가뭄에서 한계값 선을 넘어서면서 가장 큰 값을 갖는 경우, 입력한 자료의 날짜 혹은 기간 동안의 발생 재해는 가뭄이다.

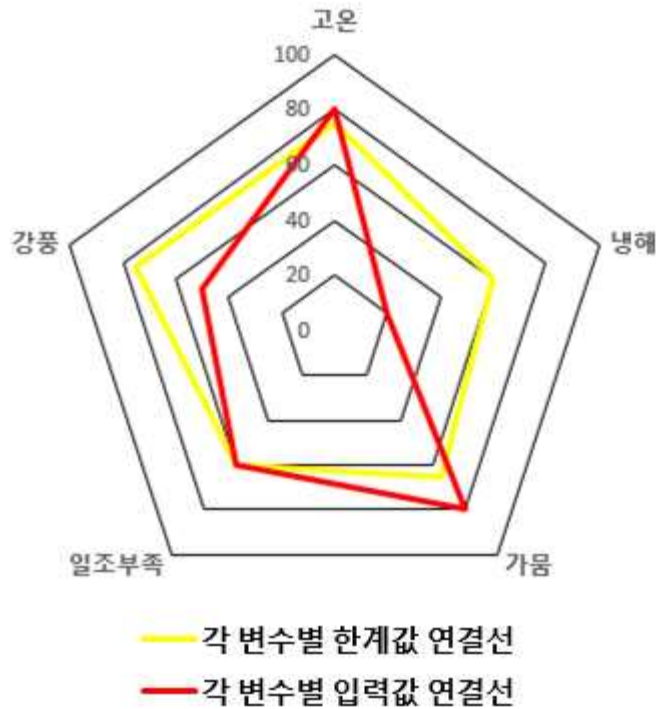


그림 15 방사형 그래프로 나타낸 ACI (예시)

하지만 두 가지 재해가 한계값 선을 넘어서는 경우 한계값의 기준이 재해마다 다르기 때문에 같은 80점을 갖더라도 그 강도는 다를 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 수정된 ACI를 제작하였다. 수정된 ACI는 각 재해가 가지고 있는 한계값들을 100으로 통일한 지수이다. ACI와 같이 각 기간별 값들이 한계값인 100을 넘을 경우 해당 재해가 발생했다고 정의한다. 수정된 ACI는 모든 한계값을 100으로 수정했기 때문에(그림 16) ACI에 비해 한 눈에 파악하기 쉽다.

Modified ACI(*Abnormal Agricultural Climate Index*)
 = *Max(% value of ACI)*

$$\text{Modified ACI} = \frac{Z}{Z_{crit.}} \times 100$$

Z : 관측값에 대한 ACI 점수

$Z_{crit.}$: 기준값에 대한 ACI 점수

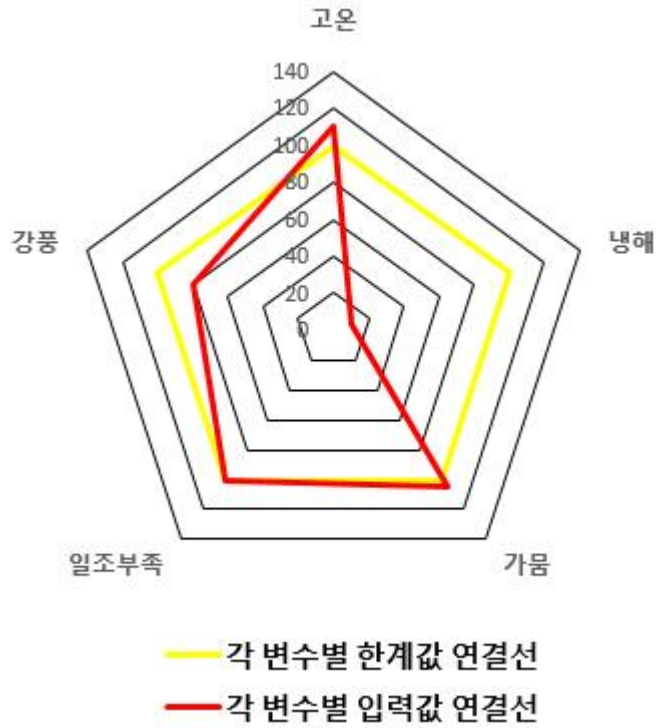


그림 16 방사형 그래프로 나타낸 수정된 ACI 그래프 (예시)

제 3 절 농업 이상기후 지수의 분석 및 활용방안 마련

각 작물의 시간 및 공간적 분석을 수행하기 위하여, 각 자료들의 표준화를 수행하였다.

먼저 벼의 중북부 고온 표준화 값의 분포는 그림 17과 같다.



그림 17 중·북부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.

1.67 값은 벼의 고온 기준인 35℃를 표준화 한 것이며, 붉은색 음영은 고온 기준으로부터 높은 값들의 분포이다. 이 붉은색 음영의 기온은 벼에 피해를 주며 주로 불임과 같은 피해 양상을 보인다. 나머지 그림 18, 19, 20도 마찬가지로 각각 중부, 남부, 제주도 지역의 고온 표준화 값 분포 그래프이다. 각 지역마다 기온의 평균과 표준편차가 다르기 때문에 같은 피해 기준인 35℃라도 표준화 한 값이 다르게 되며 그에 따른 피해 범위도 각 지역마다 다양하게 나타난다.

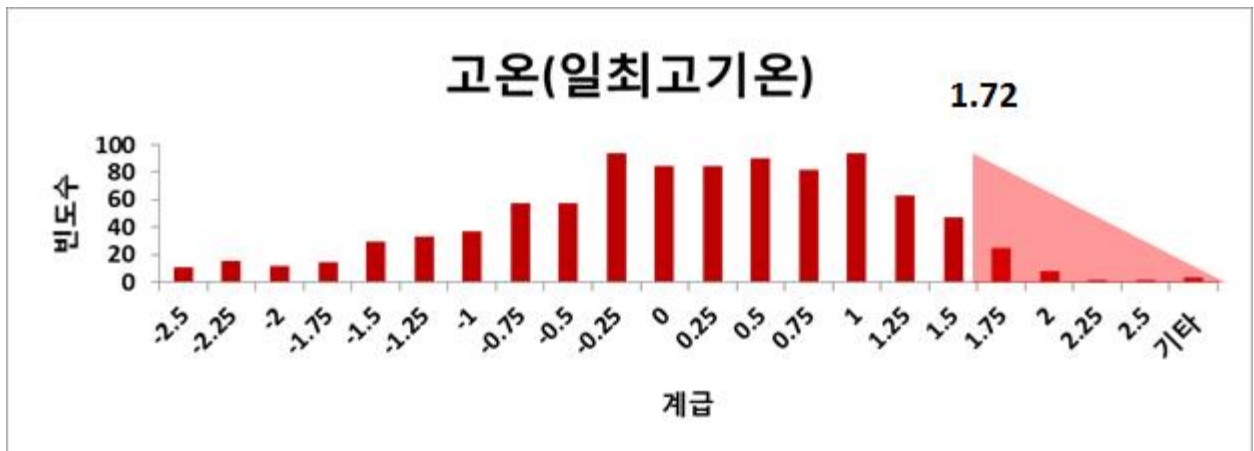


그림 18 중부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 19 남부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.

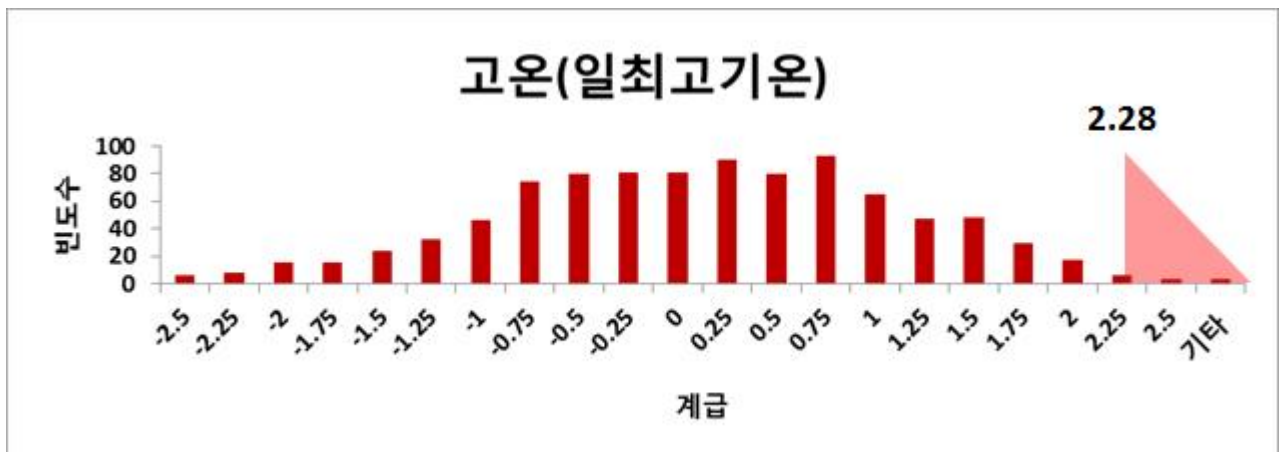


그림 20 제주도 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.

표 8 벼의 고온 σ 구간 당 점수 부여

| σ 구간 | | | |
|------------------------------|-----|--------------------------------|----|
| 2.5 σ 이상 | 100 | 0.25 σ ~ 0 σ | 50 |
| 2.25 σ ~ 2.5 σ | 95 | 0 σ ~ -0.25 σ | 45 |
| 2 σ ~ 2.25 σ | 90 | -0.5 ~ -0.25 σ | 40 |
| 1.75 σ ~ 2 σ | 85 | -0.75 σ ~ -0.5 σ | 35 |
| 1.5 σ ~ 1.75 σ | 80 | -1 σ ~ -0.75 σ | 30 |
| 1.25 σ ~ 1.5 σ | 75 | -1.25 σ ~ -1 σ | 25 |
| 1 σ ~ 1.25 σ | 70 | -1.5 σ ~ -1.25 σ | 20 |
| 0.75 σ ~ 1 σ | 65 | -1.75 σ ~ -1.5 σ | 15 |
| 0.5 σ ~ 0.75 σ | 60 | -2 σ ~ -1.75 σ | 10 |
| 0.25 σ ~ 0.5 σ | 55 | -2 σ 이하 | 0 |

각 지역의 고온 피해기준 값은 σ 구간에 따라 점수화되며 이 값이 곧 지수값이 된다. 따라서 충북부, 중부, 남부, 제주도 지역의 고온 지수는 각각 80, 80, 75, 95이다.



그림 21 충북부 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

그림 21은 충북부의 냉해 기온 표준화 값의 분포 그래프이다. 고온과 같이 냉해의 기준 표준화 값인 -2.15를 기준으로 붉은색 음영 부분은 벼의 냉해 피해범위이다.

나머지 그림 22, 23, 24는 각각 중부, 남부, 제주도의 냉해 표준화 값 분포이다.

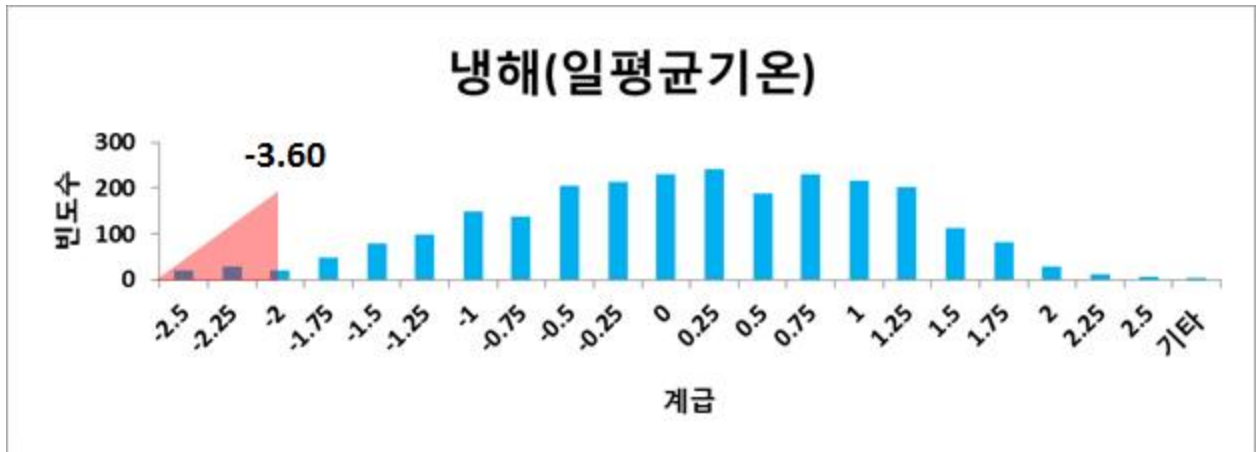


그림 22 중부 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 21 남부 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

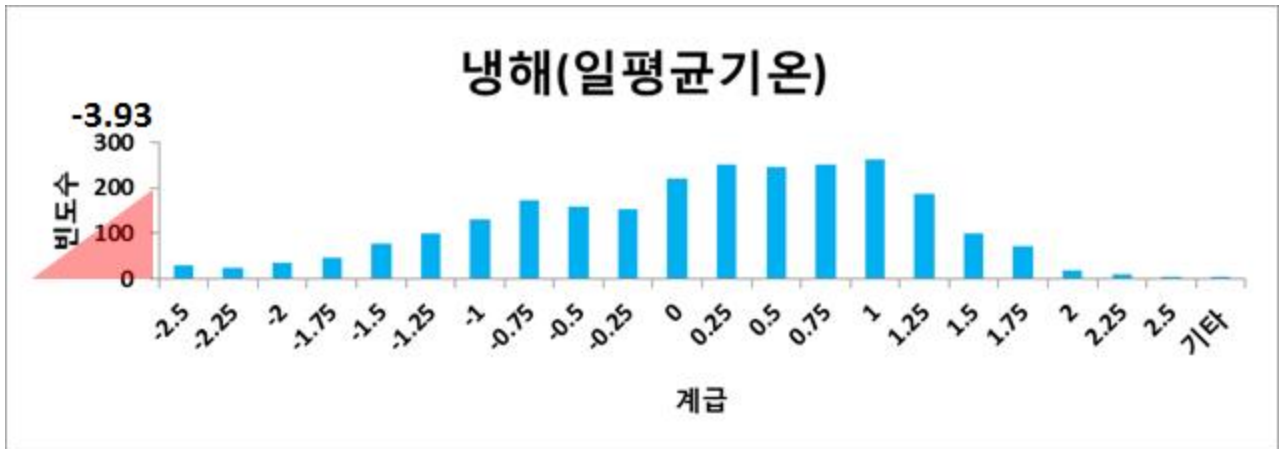


그림 22 제주도 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

표 9 벼의 냉해 σ 구간 당 점수 부여

| σ 구간 | | | |
|--------------------------------|-----|------------------------------|----|
| -2.5 σ 이하 | 100 | -0.25 σ ~ 0 σ | 50 |
| -2.5 σ ~ -2.25 σ | 95 | 0 σ ~ 0.25 σ | 45 |
| -2.25 σ ~ -2 σ | 90 | 0.25 σ ~ 0.5 σ | 40 |
| -2 σ ~ -1.75 σ | 85 | 0.5 σ ~ 0.75 σ | 35 |
| -1.75 σ ~ -1.5 σ | 80 | 0.75 σ ~ 1 σ | 30 |
| -1.5 σ ~ -1.25 σ | 75 | 1 σ ~ 1.25 σ | 25 |
| -1.25 σ ~ -1 σ | 70 | 1.25 σ ~ 1.5 σ | 20 |
| -1 σ ~ -0.75 σ | 65 | 1.5 σ ~ 1.75 σ | 15 |
| -0.75 σ ~ -0.5 σ | 60 | 1.75 σ ~ 2 σ | 10 |
| -0.5 σ ~ -0.25 σ | 55 | 2 σ 이상 | 0 |

고온과 같이 냉해도 각 σ 구간에 따라 지수를 가지며(표 9) 중복부, 중부, 남부, 제주도의 지수는 90, 100, 100, 100 이다. 나머지 대리변수인 가뭄, 일조부족, 강풍도 같은 과정으로 나타낼 수 있다.

그림 23, 24, 25, 26은 일조부족 표준화 값 분포이다.

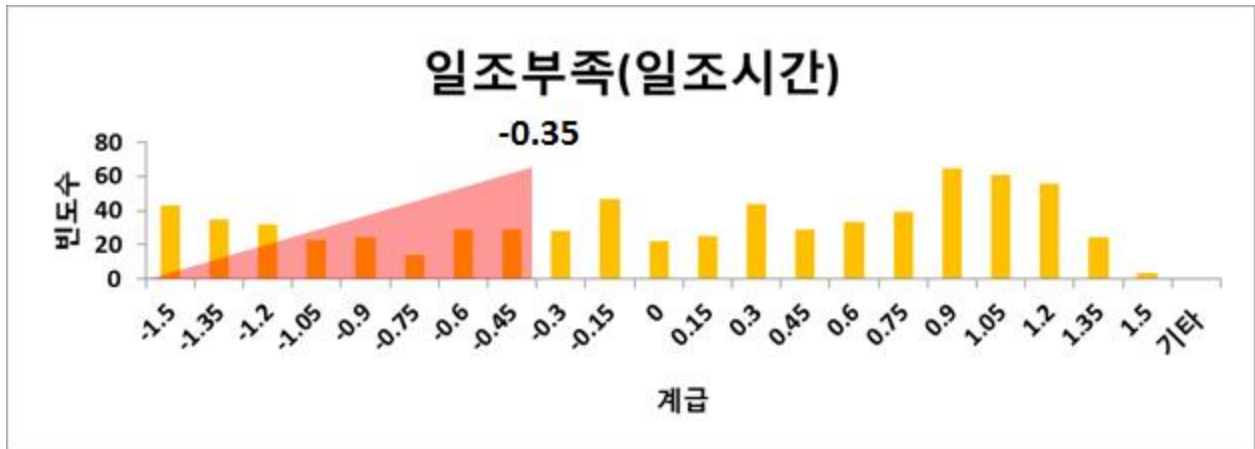


그림 23 중북부 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

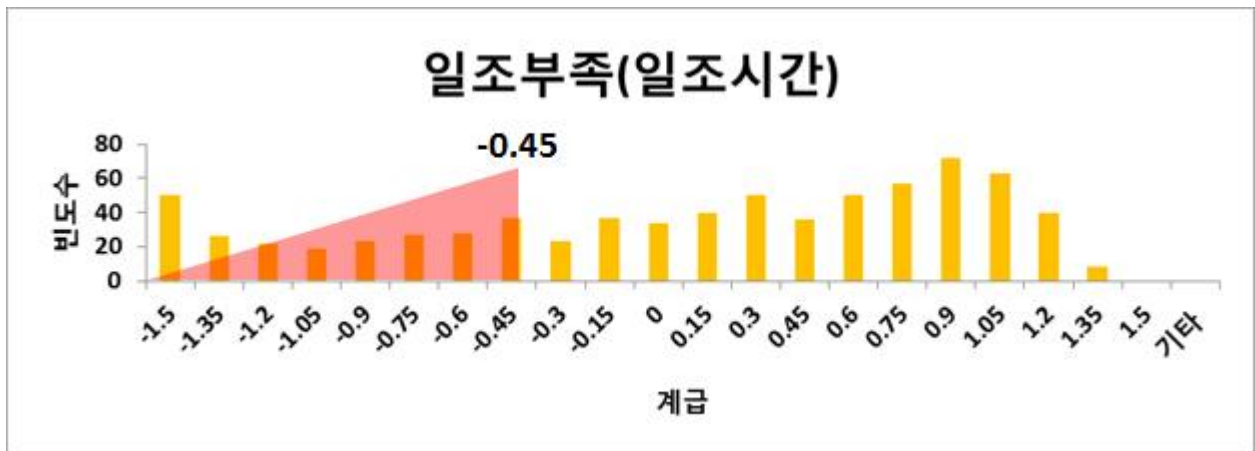


그림 24 중부 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

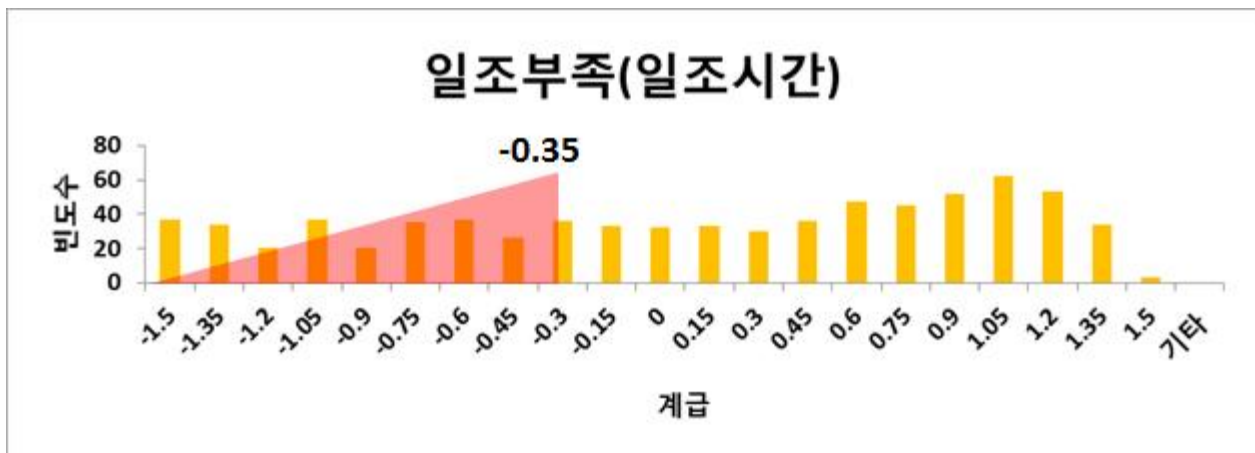


그림 25 남부 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

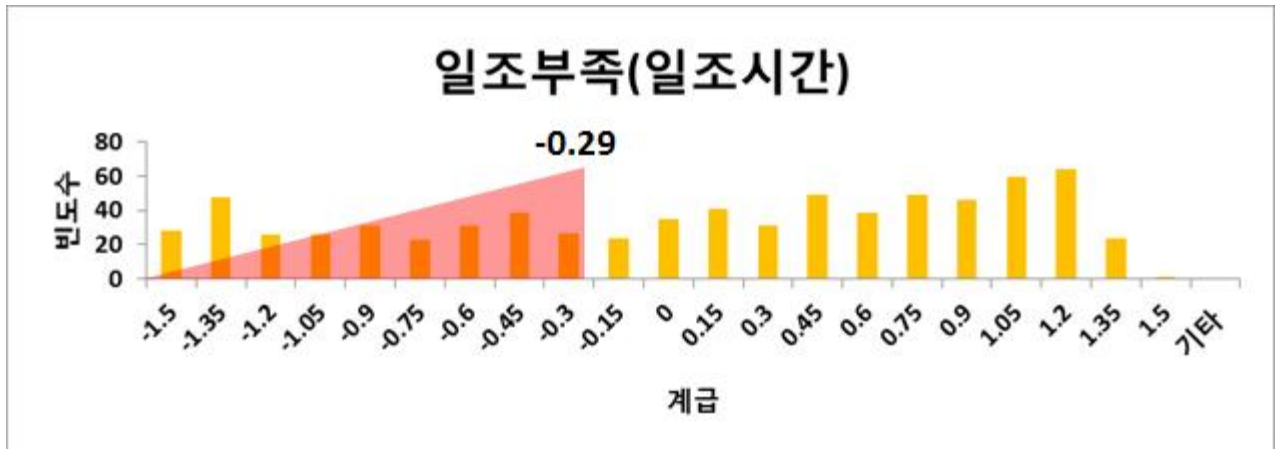


그림 26 제주도 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

표 10은 벼의 일조부족 σ 구간 당 점수를 부여한 표이다.

표 10 벼의 일조부족 σ 구간 당 점수 부여

| σ 구간 | | | |
|--------------------------------|-----|------------------------------|----|
| -1.5 σ 이하 | 100 | 0 σ ~ -0.15 σ | 50 |
| -1.5 σ ~ -1.35 σ | 95 | 0 σ ~ 0.15 σ | 45 |
| -1.35 σ ~ -1.2 σ | 90 | 0.15 σ ~ 0.3 σ | 40 |
| -1.2 σ ~ -1.05 σ | 85 | 0.3 σ ~ 0.45 σ | 35 |
| -1.05 σ ~ -0.9 σ | 80 | 0.45 σ ~ 0.6 σ | 30 |
| -0.9 σ ~ -0.75 σ | 75 | 0.6 σ ~ 0.75 σ | 25 |
| -0.75 σ ~ -0.6 σ | 70 | 0.75 σ ~ 0.9 σ | 20 |
| -0.6 σ ~ -0.45 σ | 65 | 0.9 σ ~ 1.05 σ | 15 |
| -0.45 σ ~ -0.3 σ | 60 | 1.05 σ ~ 1.2 σ | 10 |
| -0.3 σ ~ -0.15 σ | 55 | 1.2 σ 이상 | 0 |

다음 그림 27, 28, 29, 30은 중북부지방, 중부지방, 남부지방, 제주도에 대한 강풍 표준화 값 분포이다.

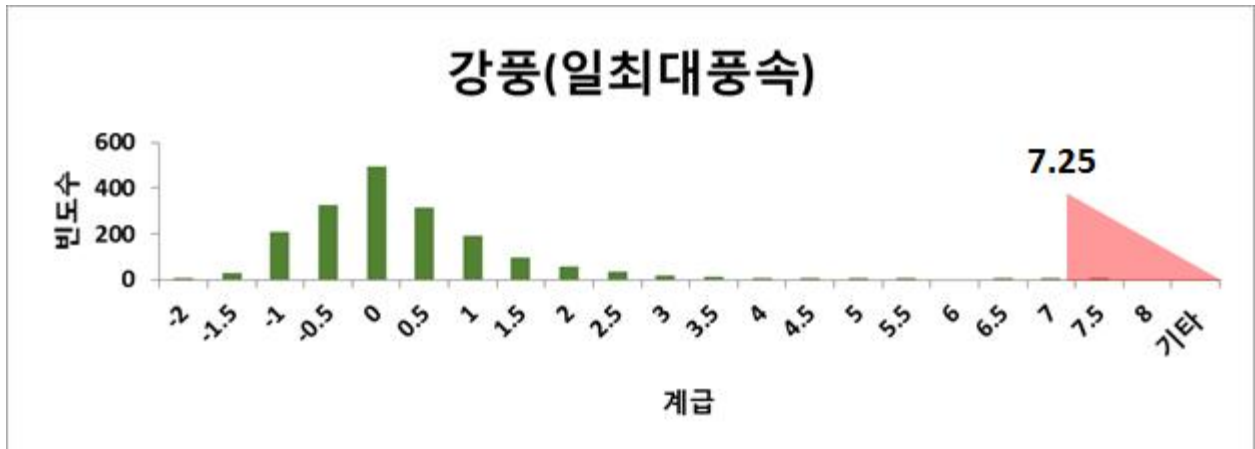


그림 27 중북부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.



그림 28 중부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.



그림 29 남부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

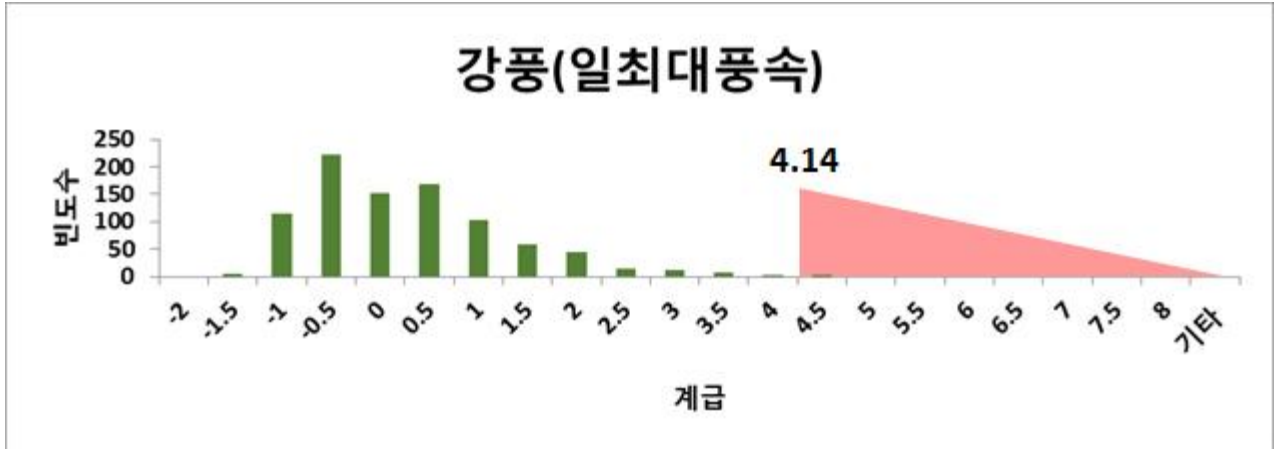


그림 30 제주도 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

표 11은 벼의 강풍 σ 구간 당 점수를 부여한 표이다

표 11 벼의 강풍 σ 구간 당 점수 부여

| σ 구간 | | | |
|---------------------------|-----|-----------------------------|----|
| 8 σ 이상 | 100 | 3 σ ~ 3.5 σ | 50 |
| 7.5 σ ~ 8 σ | 95 | 2.5 σ ~ 3 σ | 45 |
| 7 σ ~ 7.5 σ | 90 | 2 σ ~ 2.5 σ | 40 |
| 6.5 σ ~ 7 σ | 85 | 1.5 σ ~ 2 σ | 35 |
| 6 σ ~ 6.5 σ | 80 | 1 σ ~ 1.5 σ | 30 |
| 5.5 σ ~ 6 σ | 75 | 0.5 σ ~ 1 σ | 25 |
| 5 σ ~ 5.5 σ | 70 | 0 σ ~ 0.5 σ | 20 |
| 4.5 σ ~ 5 σ | 65 | -0.5 σ ~ 0 σ | 15 |
| 4 σ ~ 4.5 σ | 60 | -1 σ ~ -0.5 σ | 10 |
| 3.5 σ ~ 4 σ | 55 | -1 σ 이하 | 0 |

그림 31, 32, 33, 34는 중북부지방, 중부지방, 남부지방, 제주도에 대한 가뭄 표준화 값 분포이다.



그림 31 중북부 가뭄 표준화 값 분포와 한계값.

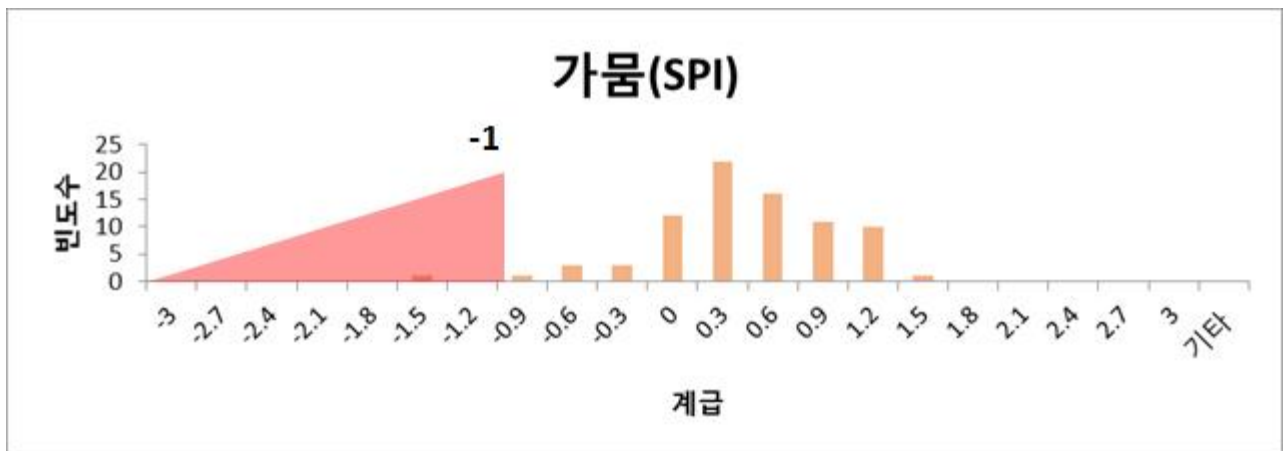


그림 32 중부 가뭄 표준화 값 분포와 한계값.



그림 33 남부 가뭄 표준화 값 분포와 한계값.

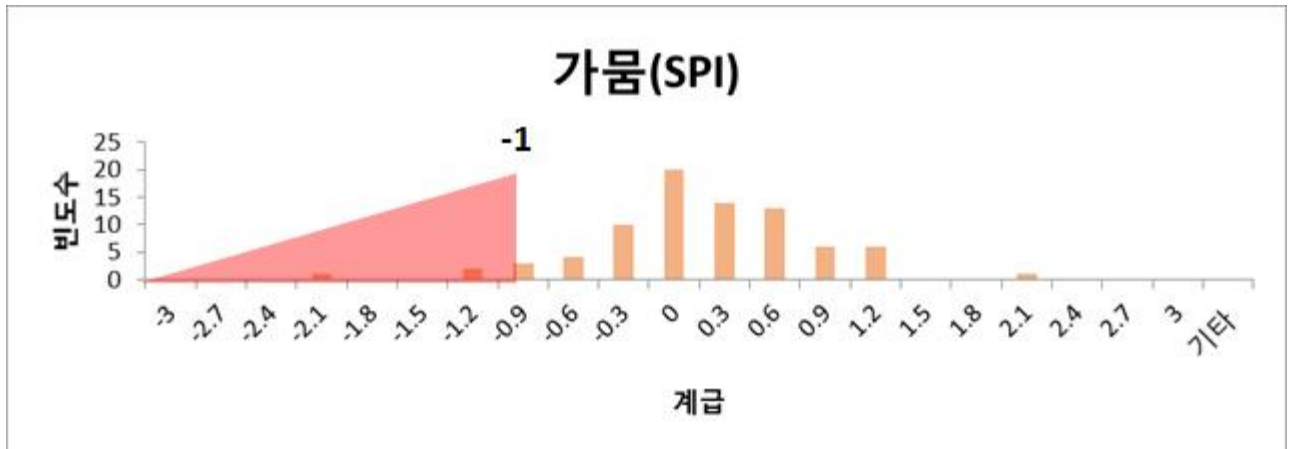


그림 34 제주도 가뭄 표준화 값 분포와 한계값.

표 12는 벼의 가뭄 σ 구간 당 점수를 부여한 표이다.

표 12 벼의 가뭄 σ 구간 당 점수 부여

| σ 구간 | | | |
|------------------------------|-----|----------------------------|----|
| -3σ 이하 | 100 | $-0.3\sigma \sim 0\sigma$ | 50 |
| $-3\sigma \sim -2.7\sigma$ | 95 | $0\sigma \sim 0.3\sigma$ | 45 |
| $-2.7\sigma \sim -2.4\sigma$ | 90 | $0.3\sigma \sim 0.6\sigma$ | 40 |
| $-2.4\sigma \sim -2.1\sigma$ | 85 | $0.6\sigma \sim 0.9\sigma$ | 35 |
| $-2.1\sigma \sim -1.8\sigma$ | 80 | $0.9\sigma \sim 1.2\sigma$ | 30 |
| $-1.8\sigma \sim -1.5\sigma$ | 75 | $1.2\sigma \sim 1.5\sigma$ | 25 |
| $-1.5\sigma \sim -1.2\sigma$ | 70 | $1.5\sigma \sim 1.8\sigma$ | 20 |
| $-1.2\sigma \sim -0.9\sigma$ | 65 | $1.8\sigma \sim 2.1\sigma$ | 15 |
| $-0.9\sigma \sim -0.6\sigma$ | 60 | $2.1\sigma \sim 2.4\sigma$ | 10 |
| $-0.6\sigma \sim -0.3\sigma$ | 55 | 2.4σ 이상 | 0 |

다음은 작물 사과의 표준화 결과이다.

그림 35, 36, 37은 중북부지방, 중부지방, 남부지방에 대한 고온 표준화 값 분포이다.



그림 35 중북부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 36 중부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.

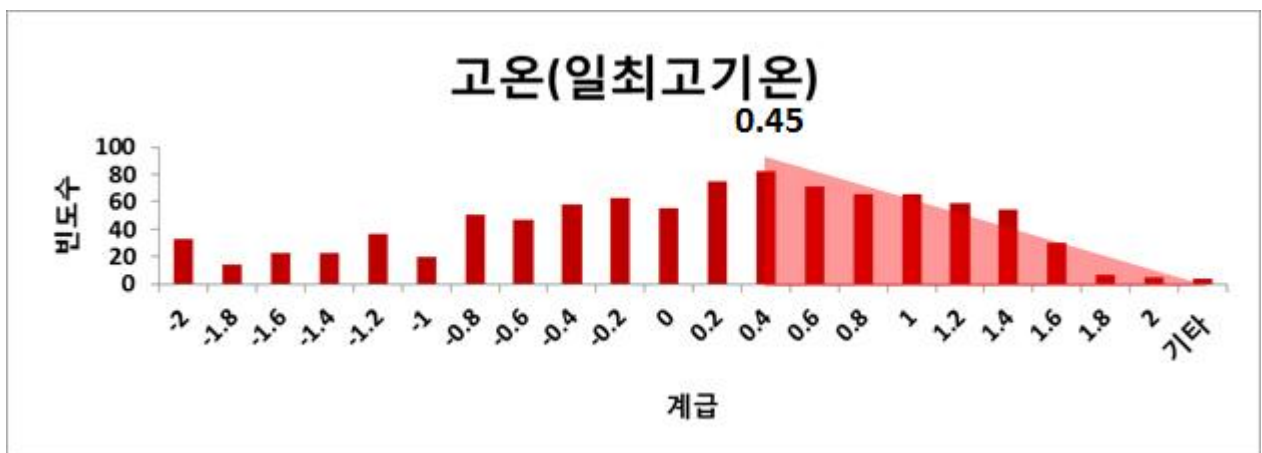


그림 37 남부 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.

표 13은 사과의 고온 σ 구간 당 점수를 부여한 표이다.

표 13 사과의 고온 σ 구간 당 점수 부여

| σ구간 | | | |
|-------------|-----|---------------|----|
| 2σ이상 | 100 | 0σ ~ 0.2σ | 50 |
| 1.8σ ~ 2σ | 95 | -0.2σ ~ 0σ | 45 |
| 1.6σ ~ 1.8σ | 90 | -0.4 ~ -0.2σ | 40 |
| 1.4σ ~ 1.6σ | 85 | -0.6σ ~ -0.4σ | 35 |
| 1.2σ ~ 1.4σ | 80 | -0.8σ ~ -0.6σ | 30 |
| 1σ ~ 1.2σ | 75 | -1σ ~ -0.8σ | 25 |
| 0.8σ ~ 1σ | 70 | -1.2σ ~ -1σ | 20 |
| 0.6σ ~ 0.8σ | 65 | -1.4σ ~ -1.2σ | 15 |
| 0.4σ ~ 0.6σ | 60 | -1.6σ ~ -1.4σ | 10 |
| 0.2σ ~ 0.4σ | 55 | -1.6σ 이하 | 0 |

그림 38, 39, 40은 중북부지방, 중부지방, 남부지방에 대한 동해 표준화 값 분포이다.

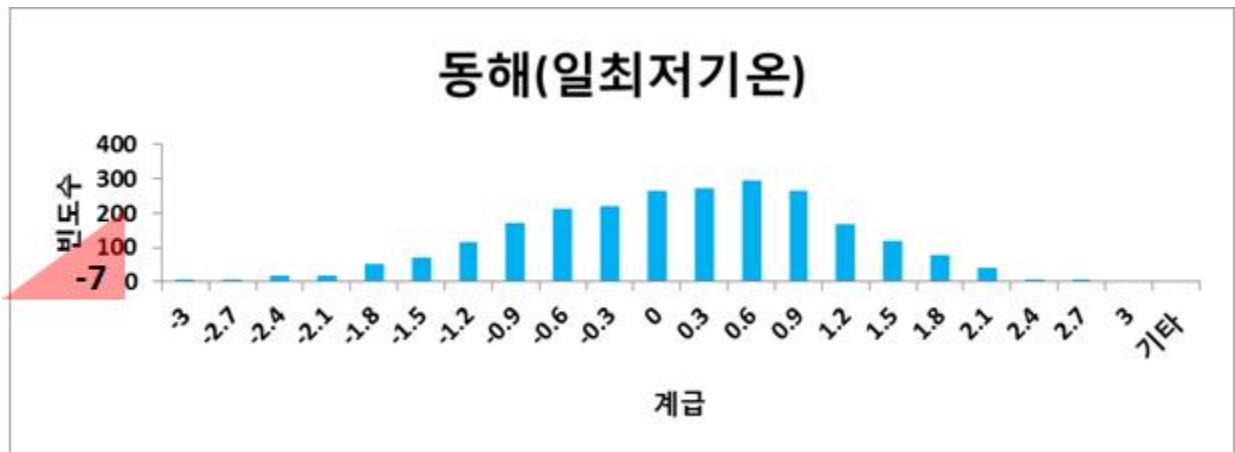


그림 38 중북부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 39 중부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 40 남부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.

표 14는 사과와 동해의 동해 σ 구간 당 점수를 부여한 표이다.

표 14 사과의 동해 σ 구간 당 점수 부여

| σ 구간 | | | |
|------------------------------|-----|----------------------------|----|
| -3σ 이하 | 100 | $-0.3\sigma \sim 0\sigma$ | 50 |
| $-3\sigma \sim -2.7\sigma$ | 95 | $0\sigma \sim 0.3\sigma$ | 45 |
| $-2.7\sigma \sim -2.4\sigma$ | 90 | $0.3\sigma \sim 0.6\sigma$ | 40 |
| $-2.4\sigma \sim -2.1\sigma$ | 85 | $0.6\sigma \sim 0.9\sigma$ | 35 |
| $-2.1\sigma \sim -1.8\sigma$ | 80 | $0.9\sigma \sim 1.2\sigma$ | 30 |
| $-1.8\sigma \sim -1.5\sigma$ | 75 | $1.2\sigma \sim 1.5\sigma$ | 25 |
| $-1.5\sigma \sim -1.2\sigma$ | 70 | $1.5\sigma \sim 1.8\sigma$ | 20 |
| $-1.2\sigma \sim -0.9\sigma$ | 65 | $1.8\sigma \sim 2.1\sigma$ | 15 |
| $-0.9\sigma \sim -0.6\sigma$ | 60 | $2.1\sigma \sim 2.4\sigma$ | 10 |
| $-0.6\sigma \sim -0.3\sigma$ | 55 | 2.4σ 이상 | 0 |

그림 41, 42, 43은 중북부지방, 중부지방, 남부지방에 대한 상해 표준화 값 분포이다.



그림 41 중북부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 42 중부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 43 남부 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.

표 15은 사과의 냉해 σ 구간 당 점수를 부여한 표이다.

표 15 사과의 상해 σ 구간 당 점수 부여

| σ 구간 | | | |
|---------------------------------|-----|-------------------------------|----|
| -3.6 σ 이하 | 100 | -0.36 σ ~ 0 σ | 50 |
| -3.6 σ ~ -3.24 σ | 95 | 0 σ ~ 0.36 σ | 45 |
| -3.24 σ ~ -2.88 σ | 90 | 0.36 σ ~ 0.72 σ | 40 |
| -2.88 σ ~ -2.52 σ | 85 | 0.72 σ ~ 1.08 σ | 35 |
| -2.52 σ ~ -2.16 σ | 80 | 1.08 σ ~ 1.44 σ | 30 |
| -2.16 σ ~ -1.8 σ | 75 | 1.44 σ ~ 1.8 σ | 25 |
| -1.8 σ ~ -1.44 σ | 70 | 1.8 σ ~ 2.16 σ | 20 |
| -1.44 σ ~ -1.08 σ | 65 | 2.16 σ ~ 2.52 σ | 15 |
| -1.08 σ ~ -0.72 σ | 60 | 2.52 σ ~ 2.88 σ | 10 |
| -0.72 σ ~ -0.36 σ | 55 | 2.88 σ 이상 | 0 |

그림 44, 45, 46은 중북부지방, 중부지방, 남부지방에 대한 강풍 표준화 값 분포이다.

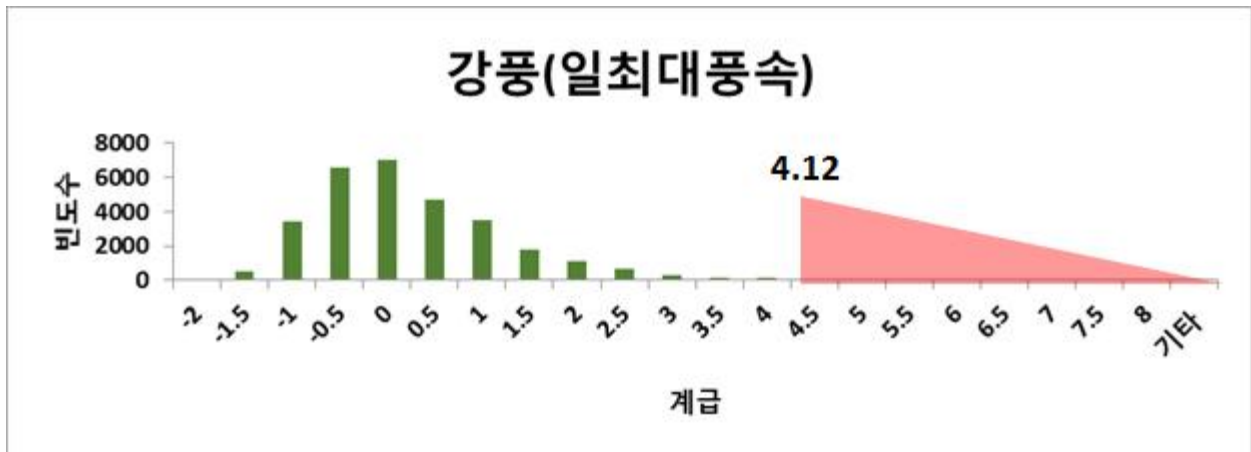


그림 44 중북부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

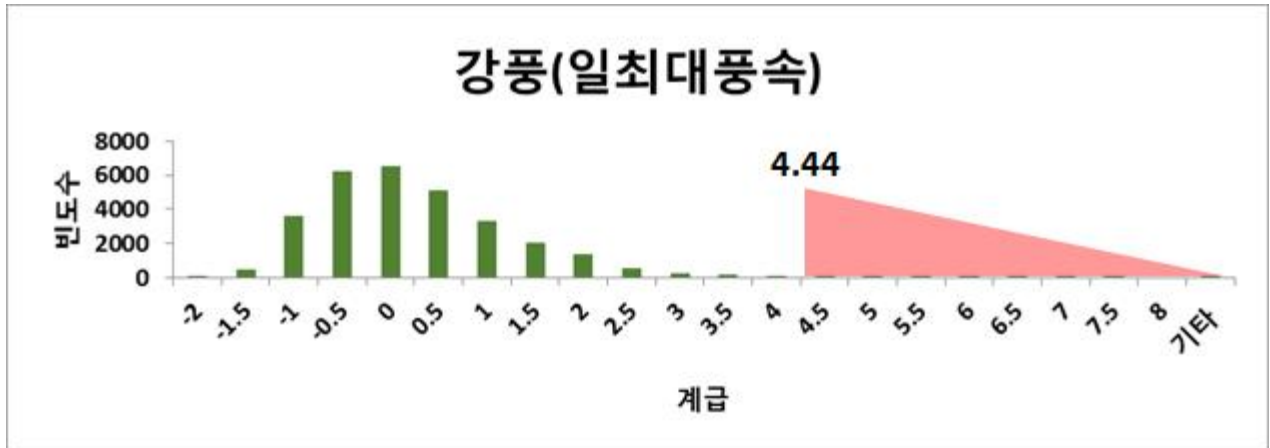


그림 45 중부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

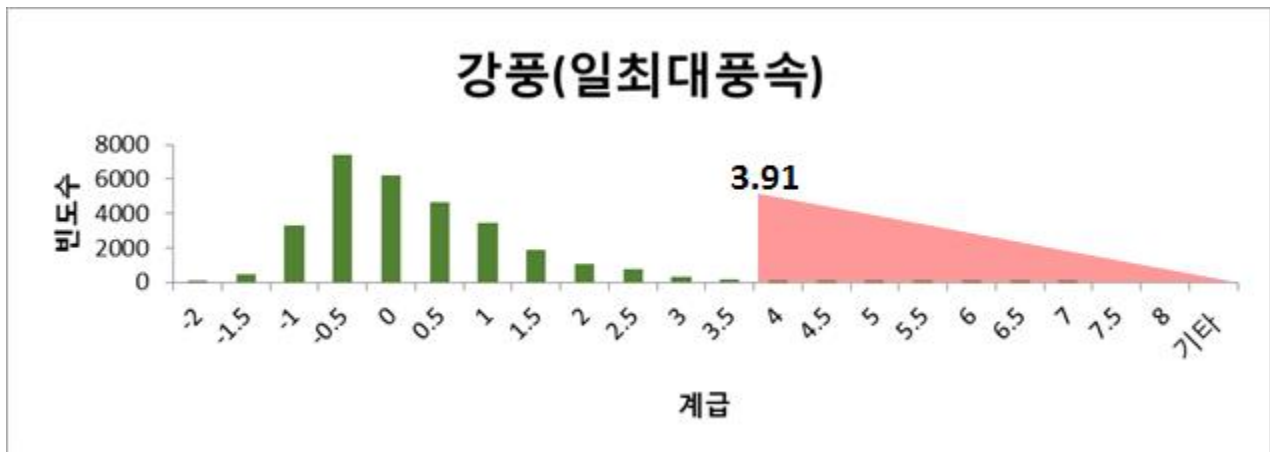


그림 46 남부 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

표 16은 사과와 강풍 σ 구간 당 점수를 부여한 표이다.

표 16 사과의 강풍 σ 구간 당 점수 부여

| σ 구간 | | | |
|---------------------------|-----|-----------------------------|----|
| 8 σ 이상 | 100 | 3 σ ~ 3.5 σ | 50 |
| 7.5 σ ~ 8 σ | 95 | 2.5 σ ~ 3 σ | 45 |
| 7 σ ~ 7.5 σ | 90 | 2 σ ~ 2.5 σ | 40 |
| 6.5 σ ~ 7 σ | 85 | 1.5 σ ~ 2 σ | 35 |
| 6 σ ~ 6.5 σ | 80 | 1 σ ~ 1.5 σ | 30 |
| 5.5 σ ~ 6 σ | 75 | 0.5 σ ~ 1 σ | 25 |
| 5 σ ~ 5.5 σ | 70 | 0 σ ~ 0.5 σ | 20 |
| 4.5 σ ~ 5 σ | 65 | -0.5 σ ~ 0 σ | 15 |
| 4 σ ~ 4.5 σ | 60 | -1 σ ~ -0.5 σ | 10 |
| 3.5 σ ~ 4 σ | 55 | -1 σ 이하 | 0 |

그림 47, 48, 49는 중북부지방, 중부지방, 남부지방에 대한 우박 표준화 값 분포이다.

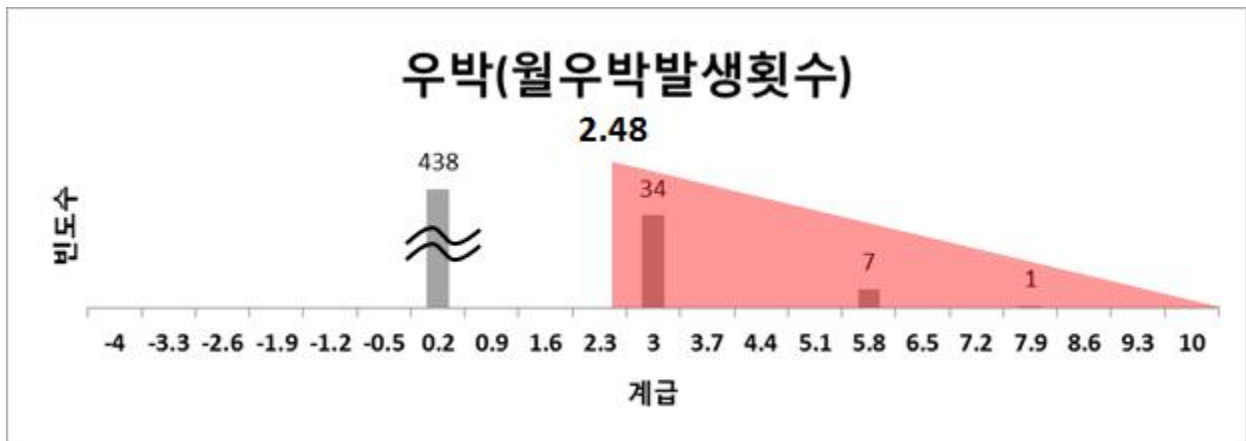


그림 47 중북부 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.

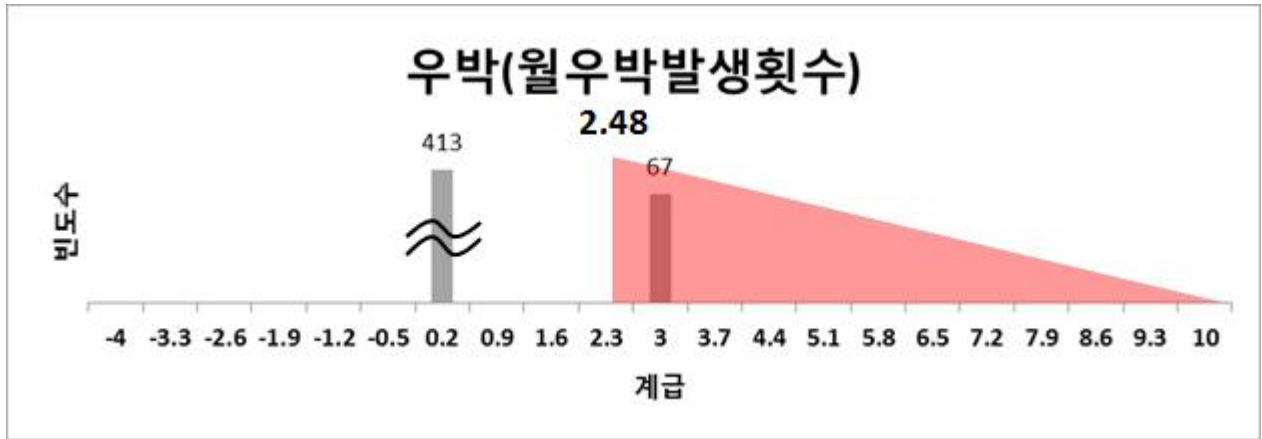


그림 48 중부 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.

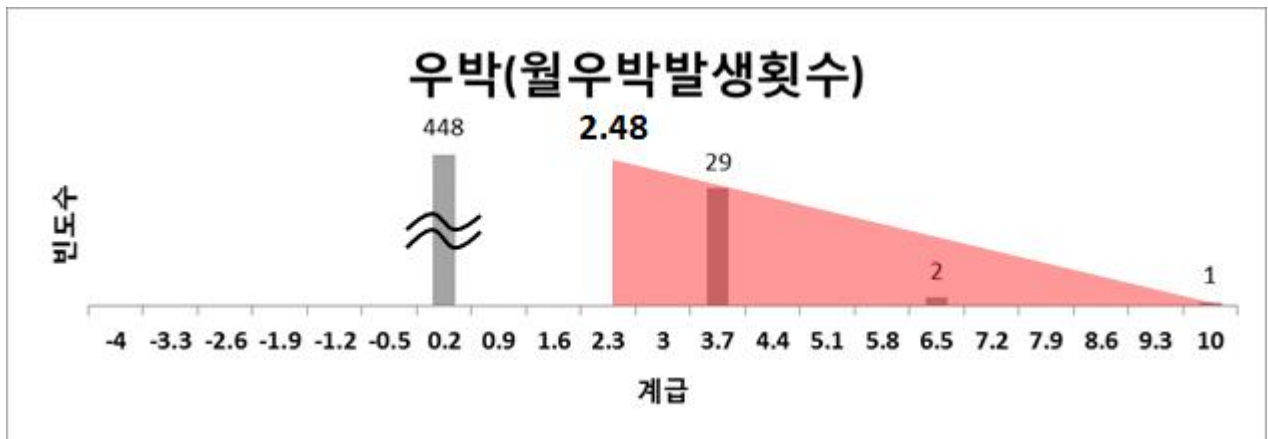


그림 49 남부 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.

표 17은 사과와 우박 σ 구간 당 점수를 부여한 표이다.

표 17 사과와 우박 σ 구간 당 점수 부여

| σ 구간 | | | |
|-------------------------------|-----|---------------------------------|----|
| 3.6 σ 이상 | 100 | 0 σ ~ 0.36 σ | 50 |
| 3.24 σ ~ 3.6 σ | 95 | -0.36 σ ~ 0 σ | 45 |
| 2.88 σ ~ 3.24 σ | 90 | -0.72 σ ~ -0.36 σ | 40 |
| 2.52 σ ~ 2.88 σ | 85 | -1.08 σ ~ -0.72 σ | 35 |
| 2.16 σ ~ 2.52 σ | 80 | -1.44 σ ~ -1.08 σ | 30 |
| 1.8 σ ~ 2.16 σ | 75 | -1.8 σ ~ -1.44 σ | 25 |
| 1.44 σ ~ 1.8 σ | 70 | -2.16 σ ~ -1.8 σ | 20 |
| 1.08 σ ~ 1.44 σ | 65 | -2.52 σ ~ -2.16 σ | 15 |
| 0.72 σ ~ 1.08 σ | 60 | -2.88 σ ~ -2.52 σ | 10 |
| 0.36 σ ~ 0.72 σ | 55 | -2.88 σ 이하 | 0 |

각 지역에 대하여 시기별로 표준화 및 한계값을 구한 그래프는 부록1에 수록하였다.

1. 농업 이상기후 지수의 시간적·공간적 분석

이렇게 분석한 결과 중 작물 벼와 사과와 한계값의 변화를 살펴보기 위해 아래 그림과 같이 그래프로 나타내었다(그림 50 ~ 58). 이 한계값은 각 작물이 피해를 받는 범위를 보여주며 그 값이 피해 기준 지수가 된다. 이 피해기준 지수는 다른 비교대상에 비해 높을수록 그 대상이 받을 피해 확률이 적어지는 것을 나타낸다.

벼의 공간적 분포를 살펴보면 남부지방이 고온 지수가 75로 전체 지역 중에서 고온에 가장 취약하며 그 다음으로 중북부, 중부가 80으로 같고 제주도는 95이다. 냉해는 중북부지방에서 90으로 가장 냉해 피해를 받을 가능성이 크며 나머지는 100으로 벼의 냉해 가능성이 현저히 낮게 나타났다. 가뭄은 네 구역 모두 동일하며 일조부족은 제주도 55으로 지수가 낮은 것을 제외하고 나머지 지역에서 60으로 동일하다. 강풍은 제주도에서 가장 피해를 많이 받을 것으로 분석되었으며, 그 다음으로 남부지방이 75, 중부지방, 중북부지방이 각각 80과 95로 나타났다. 이는 제주도에서 생성되는 벼는 바람의 세기가 큰 영향으로 작용하는 것을 보여준다(그림 50).

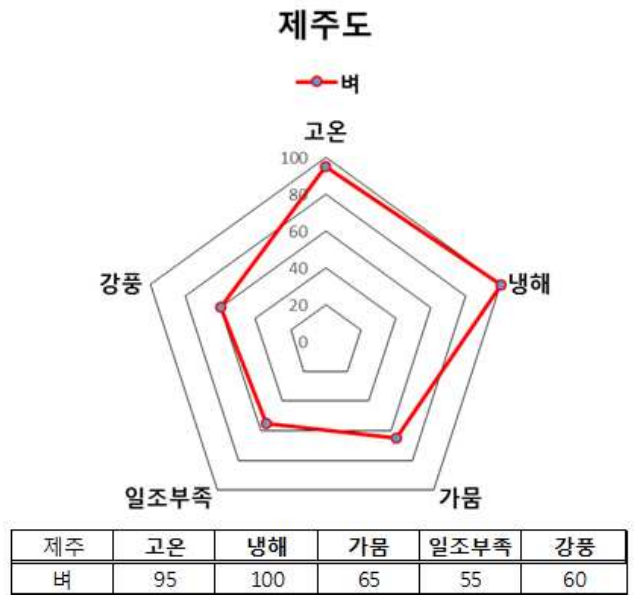
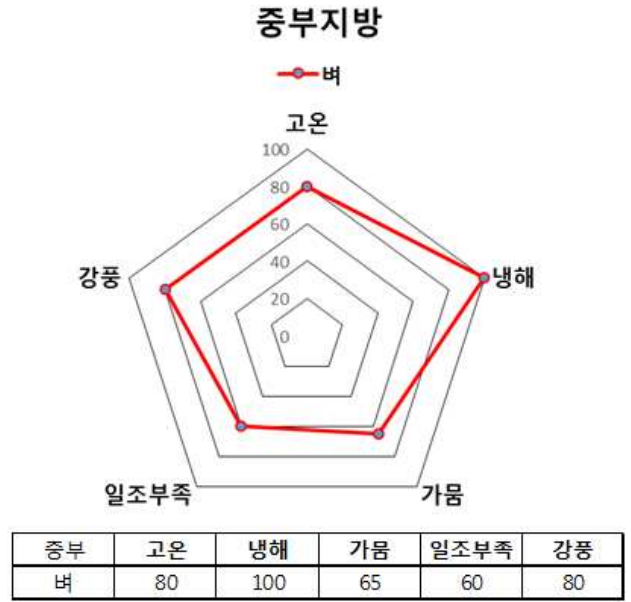
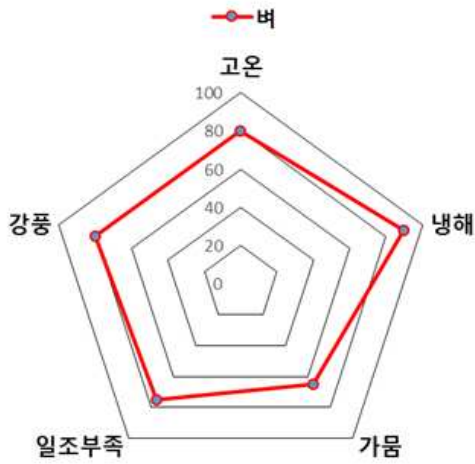


그림 50 1970~2009년 기간 동안 벼의 공간적 분석

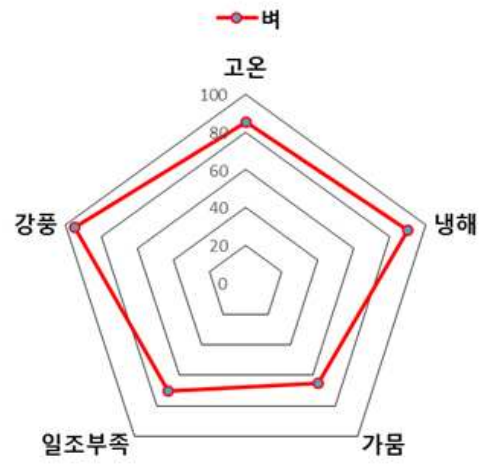
다음은 각 지역에 대하여 연도별로 벼의 피해 양상이 어떻게 변화하는지 분석한 그래프이다(그림 51, 52, 53, 54).

중·북부지방 - 1970년대



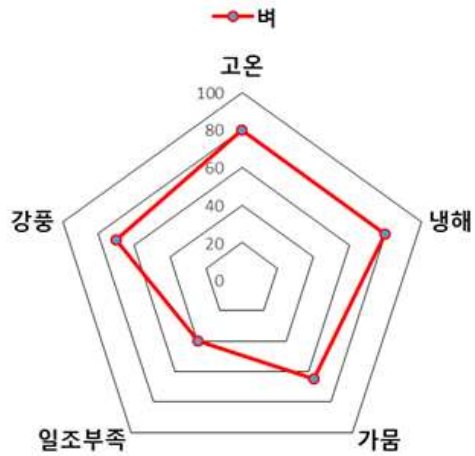
| 1970년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|----|----|------|----|
| 벼 | 80 | 90 | 65 | 75 | 80 |

중·북부지방 - 1980년대



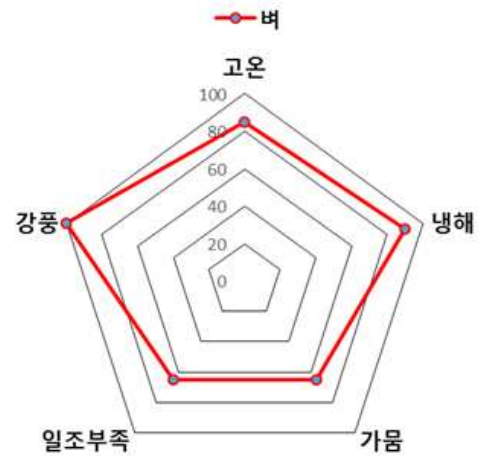
| 1980년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|----|----|------|----|
| 벼 | 85 | 90 | 65 | 70 | 95 |

중·북부지방 - 1990년대



| 1990년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|----|----|------|----|
| 벼 | 80 | 80 | 65 | 40 | 70 |

중·북부지방 - 2000년대

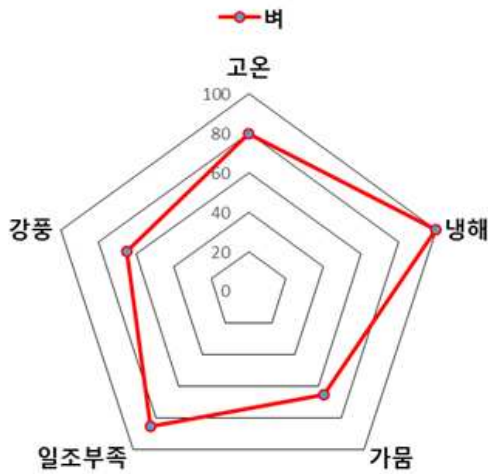


| 2000년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|----|----|------|-----|
| 벼 | 85 | 90 | 65 | 65 | 100 |

그림 51 중북부 지방에 대한 벼의 시기별 분석

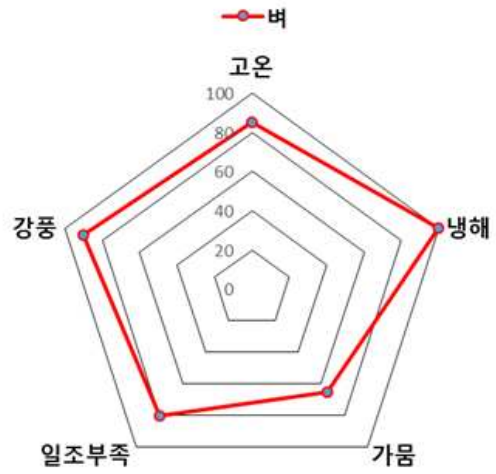
중북부 지방의 고온은 비슷한 패턴을 보이고 냉해는 1990년대를 제외하고 90점이며, 1990년대는 80점으로 냉해의 취약성을 보였다. 가뭄은 네 지역 모두 일정하게 나타났으며 일조부족은 1970년대에서 2000년대로 갈수록 점점 취약해지며 1990년대에 제일 취약했다. 강풍은 1970년대에서 1980년대로 갈수록 피해 가능성이 낮아졌으나 1990년대에 피해 가능성이 다시 높아졌다가 2000 년대에 다시 약해졌다(그림 51).

중부지방 - 1970년대



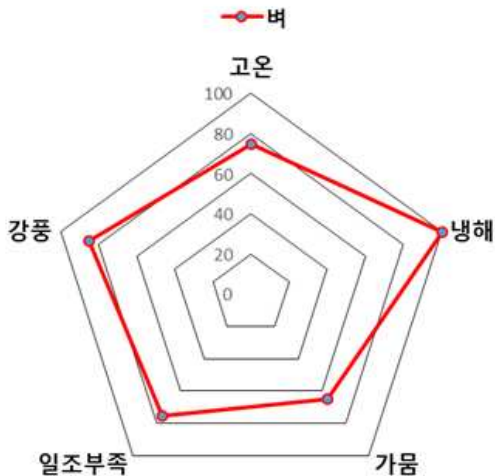
| 1970년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|------|----|
| 벼 | 80 | 100 | 65 | 85 | 65 |

중부지방 - 1980년대



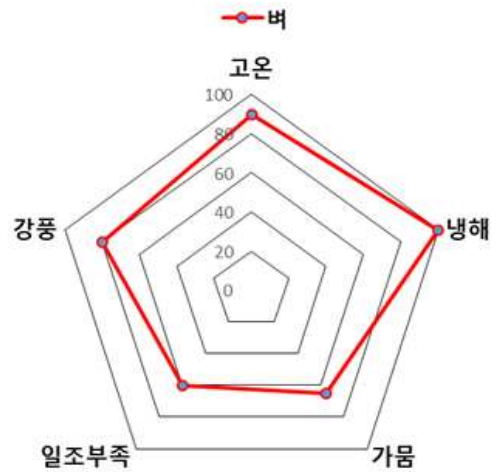
| 1980년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|------|----|
| 벼 | 85 | 100 | 65 | 80 | 90 |

중부지방 - 1990년대



| 1990년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|------|----|
| 벼 | 75 | 100 | 65 | 75 | 85 |

중부지방 - 2000년대



| 2000년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|------|----|
| 벼 | 90 | 100 | 65 | 60 | 80 |

그림 52 중부지방에 대한 벼의 시기별 분석

중부지방의 고온은 피해 가능성은 1970년대에서 1980년대로 갈수록 낮아졌다가 1990년대에 피해 가능성이 다시 높아지고, 2000년대에 다시 낮아짐을 보였다. 냉해의 피해 위험성은 보이지 않았다. 대부분의 기온이 벼의 냉해 피해 기준 기온을 웃돌았다. 가뭄 또한 전부 일정하였다. 일조부족은 1970년대에서 2000년대로 갈수록 지수가 점점 낮아져 2000년대에 최소값을 나타냈다. 강풍은 1970년대에 피해 가능성

이 다른 기간에 비하여 현저히 높았으나 시간이 지날수록 그 가능성이 낮아졌다(그림 52).

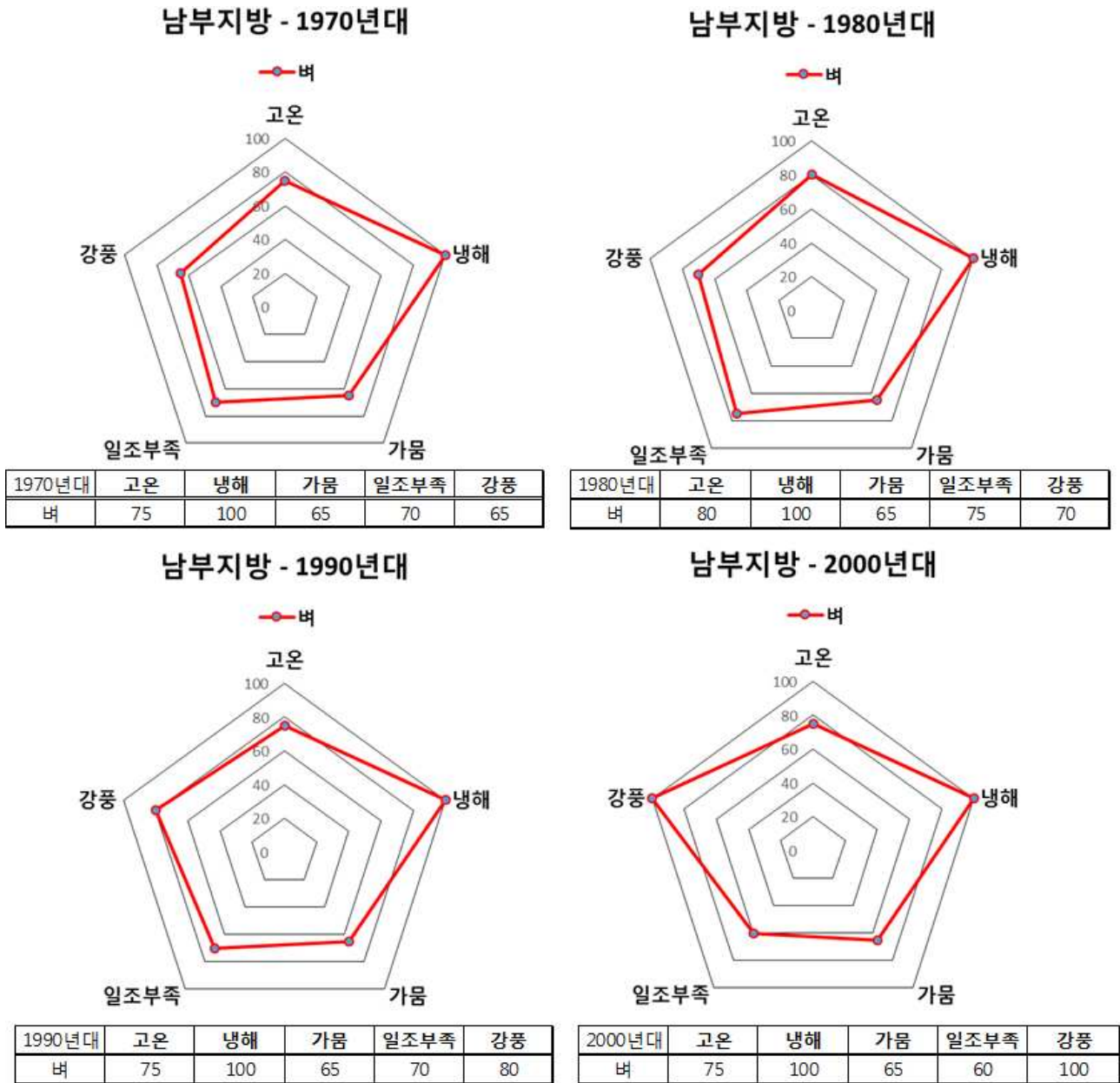
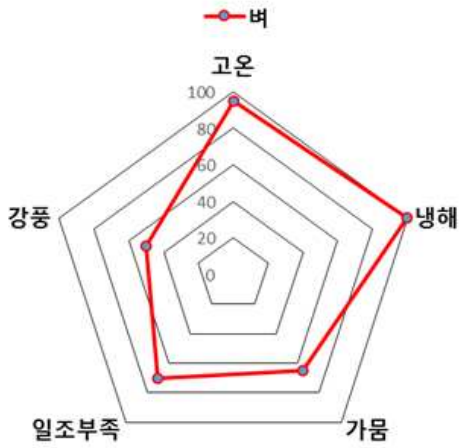


그림 53 남부지방에 대한 벼의 시기별 분석

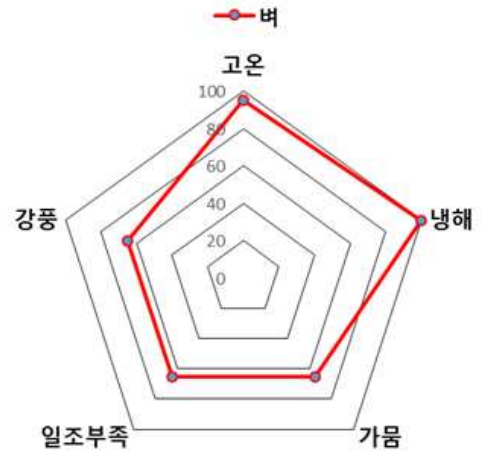
남부지방의 고온 지수는 거의 일정하게 나타났으며 냉해와 가뭄은 중부지방처럼 전 기간 동안 각각 100, 65로 나타났다. 일조부족은 시간이 갈수록 피해 가능성이 증가하였으며 강풍은 그와 반대로 피해 가능성이 감소하였다(그림 53).

제주도 - 1970년대



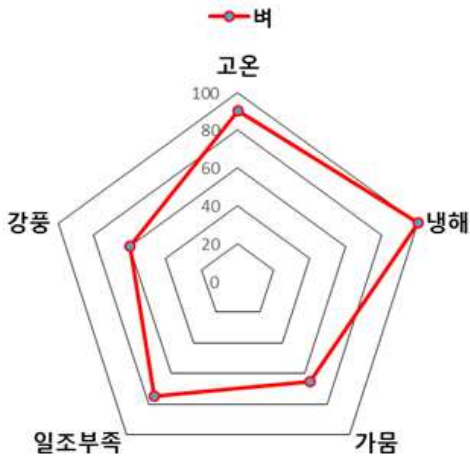
| 1970년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|------|----|
| 벼 | 95 | 100 | 65 | 70 | 50 |

제주도 - 1980년대



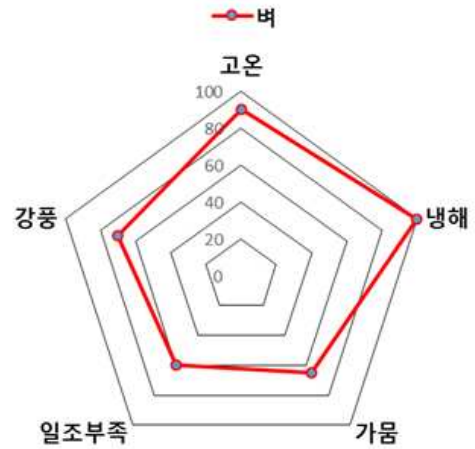
| 1980년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|------|----|
| 벼 | 95 | 100 | 65 | 65 | 65 |

제주도 - 1990년대



| 1990년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|------|----|
| 벼 | 90 | 100 | 65 | 75 | 60 |

제주도 - 2000년대



| 2000년대 | 고온 | 냉해 | 가뭄 | 일조부족 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|------|----|
| 벼 | 90 | 100 | 65 | 60 | 70 |

그림 54 제주도에 대한 벼의 시기별 분석

제주도의 고온은 1970년대와 1980년대에 일정하다가 1990년대와 2000년대에 들어서면서 그 피해 가능성이 낮아졌으며 냉해와 가뭄 또한 각각 100, 65로 일정하였다. 일조부족은 시간이 갈수록 그 피해 가능성이 증가하였으며 강풍은 반대로 피해 가능성이 감소하였다(그림 54).

사과의 공간적 분포를 살펴보면 고온은 중북부지방이 다른 지방보다 피해 가능성이 약간 낮으며 동해와 상해는 비슷한 양상을 보이고 있다. 우박은 중북부지방과 중부지방에서 피해 가능성이 남부지방에 비해 높다. 강풍은 중북부지방에서 피해 가능성이 높게 나타났다. (그림 55).

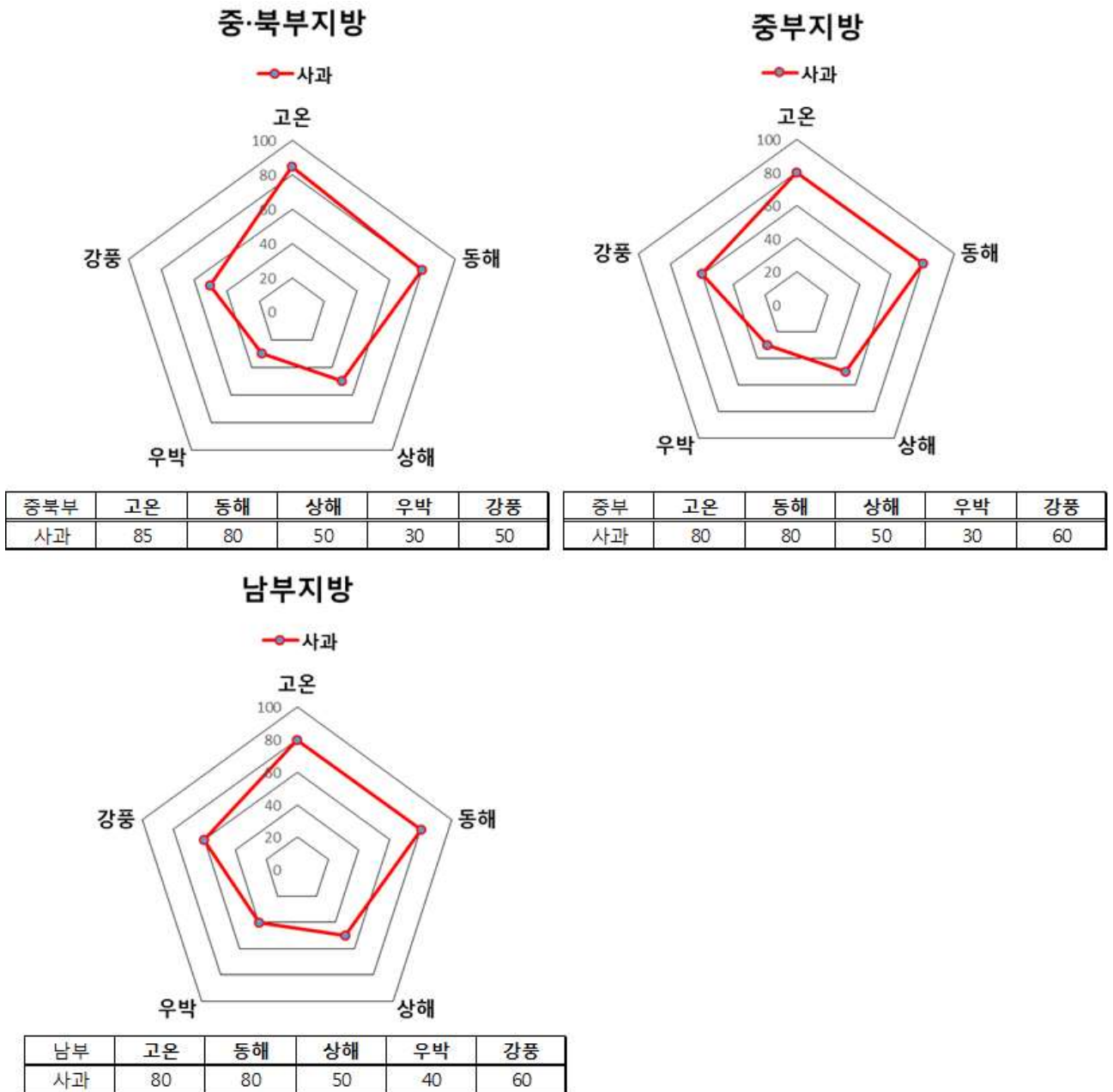
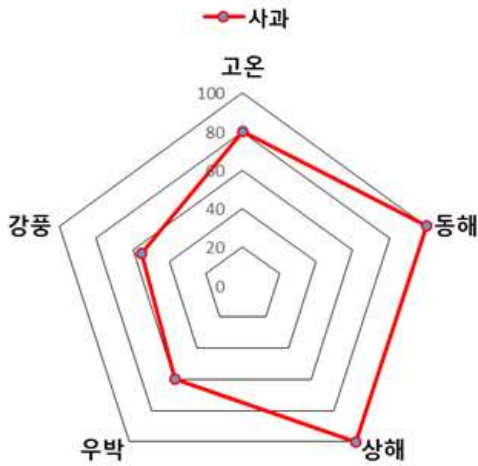


그림 55 1970~2009년 기간 동안 사과의 공간적 분석

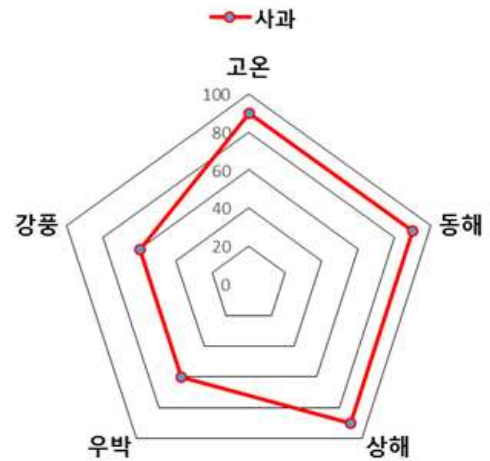
다음은 각 지역에 대하여 연도별로 사과 피해 양상이 어떻게 변화하는지 분석한 그래프이다(그림 56, 57, 58, 59)

중·북부지방 - 1970년대



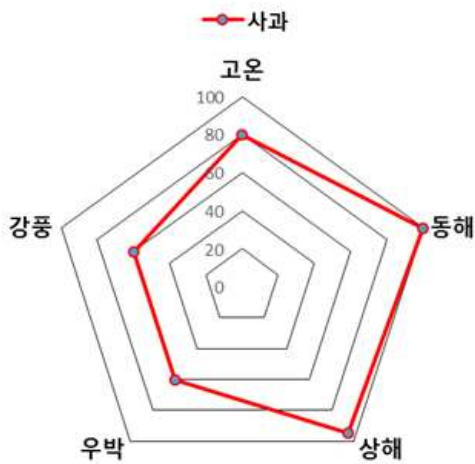
| 1970년대 | 고온 | 동해 | 상해 | 우박 | 강풍 |
|--------|----|-----|-----|----|----|
| 사과 | 80 | 100 | 100 | 60 | 55 |

중·북부지방 - 1980년대



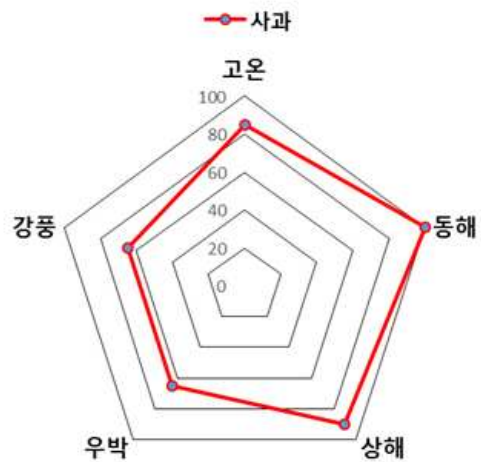
| 1980년대 | 고온 | 동해 | 상해 | 우박 | 강풍 |
|--------|----|----|----|----|----|
| 사과 | 90 | 90 | 90 | 60 | 60 |

중·북부지방 - 1990년대



| 1990년대 | 고온 | 동해 | 상해 | 우박 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|----|----|
| 사과 | 80 | 100 | 95 | 60 | 60 |

중·북부지방 - 2000년대



| 2000년대 | 고온 | 동해 | 상해 | 우박 | 강풍 |
|--------|----|-----|----|----|----|
| 사과 | 85 | 100 | 90 | 65 | 65 |

그림 56 중북부지방에 대한 사과의 시기별 분석

사과의 중북부지방의 시기별 변화를 살펴보면 고온의 취약성은 비슷하게 나타났으며 동해는 1980년대에 다른 시기보다 약간 피해 가능성이 높게 나타났다. 상해는

1970년대에 피해 가능성이 제일 낮았으며 그 이후로 1970년대에 비해 피해 가능성이 약간 증가하였다. 우박은 1970년대부터 1990년대까지 60으로 일정한 값을 보이다가 2000년대에 지수가 65로 나타나면서 피해 가능성이 약간 낮아졌다. 강풍은 1970년대에 피해 가능성이 다른 기간에 비해 가장 높았으며 2000년대로 갈수록 그 가능성이 점점 낮아졌다(그림 56).

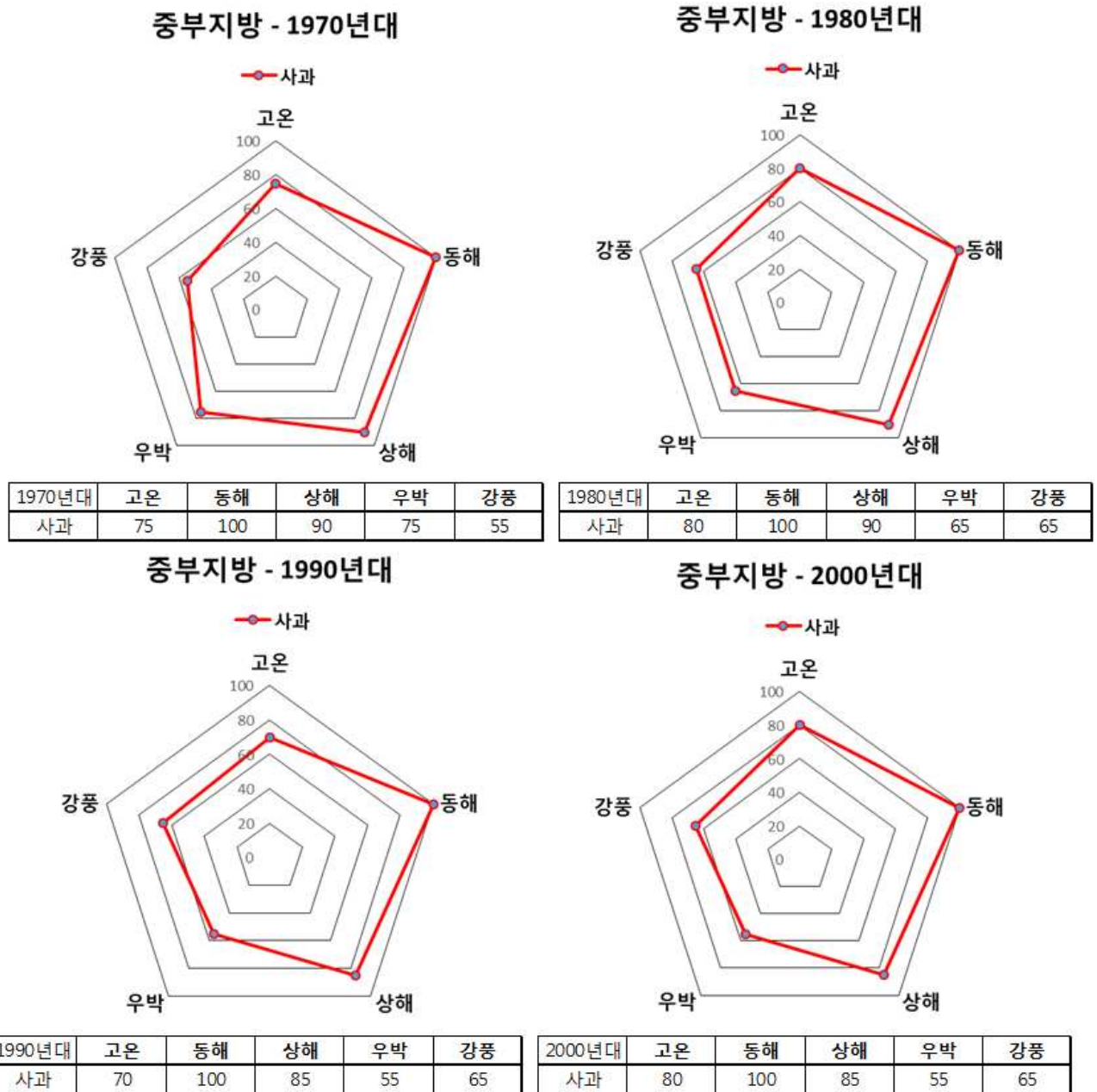


그림 57 중부지방에 대한 사과에 대한 시기별 분석

중부지방의 고온은 1970년도에 지수 값이 75이며 1980년대에는 80으로 증가하면서 피해 가능성이 낮아졌다. 1990년대에는 70을 나타내어 전 기간 중 가장 피해 가능성이 높게 나타났으나 2000년대에는 80으로 나타나면서 1990년대보다 피해 가능성이 낮아졌다(그림 57).

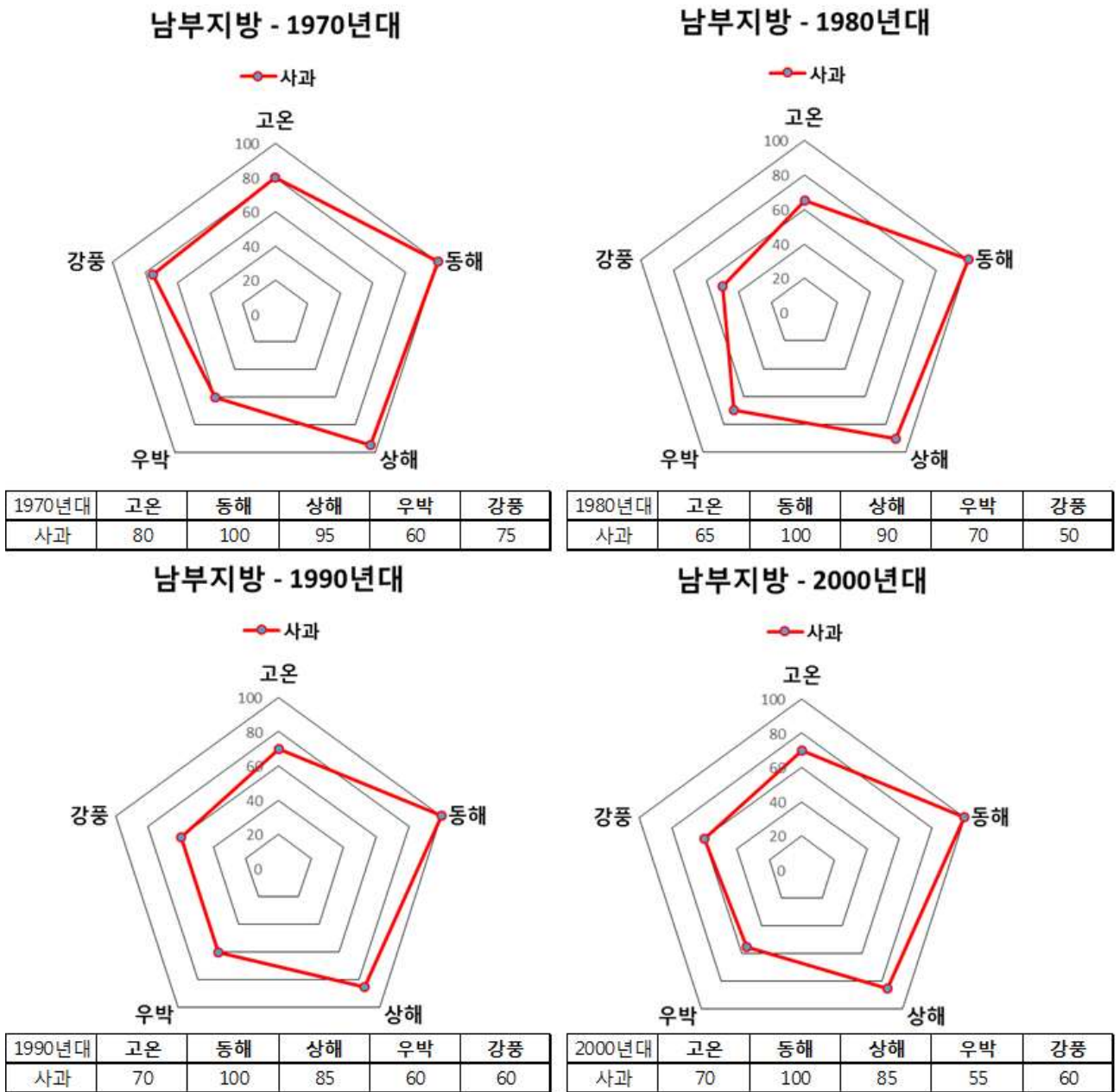


그림 58 남부지방에 대한 사과 피해의 시기별 분석

남부지방 사과는 1970년대에 가장 고온 피해가 낮았으나 1980년대에 들어서면서 갑자기 피해 가능성이 증가하였다. 1980년대의 고온은 다른 시기에 비해 가장 피해 가능성이 높았다. 1990년도와 2000년도에는 1980년대에 비하여 그 피해가 감소하였다. 동해는 전 기간 100점으로 피해 가능성이 없었고, 상해는 시간이 갈수록 피해 가능성이 증가하는 패턴을 보였다. 우박은 1970년대에 60이었으나 1980년대에 65가 되면서 그 피해 가능성이 낮아졌다. 1990년대부터 2000년대는 다시 피해 가능성이 증가하였다. 강풍은 1970년대가 전 기간에 걸쳐 가장 피해 가능성이 낮았으나 시간이 갈수록 대체적으로 증가하는 패턴을 보였다(그림 58).

그림 69~99은 각 기간별 일자료를 수정된 ACI로 나타내어 분석을 실시한 그래프이다. 모든 일 자료를 그림 16처럼 방사형 그래프처럼 한계값과 일 자료 값을 넣어 분석하기엔 자료 수가 많기 때문에, 각 지수값을 구간별로 나누어 어느 재해가 어느 지역에서 지수 크기에 따라 얼마나 발생했는가를 나타내었다. 각 재해는 분석 기간이 각각 다르기 때문에 지수 구간 당 재해 발생일을 전체 발생일로 나누어 100을 곱하는 백분율의 값으로 변환하여 나타내었다.

그림 59, 60, 61, 62, 63은 비의 중북부지방의 1970년대부터 2000년대까지 재해 강도별 발생 가능성 그래프이다.

비에 대하여 분석한 그래프 중 중북부지방의 고온의 분포는 100 이상에서 1970년도에서 2000년도로 갈수록 뚜렷한 패턴이 보이지 않았다. 1970년대와 1990년대에 피해 발생이 다른 해에 비해 많았으며, 110 이상에서도 이 두 기간에서 더 높은 위험이 발생하였다(그림 59).

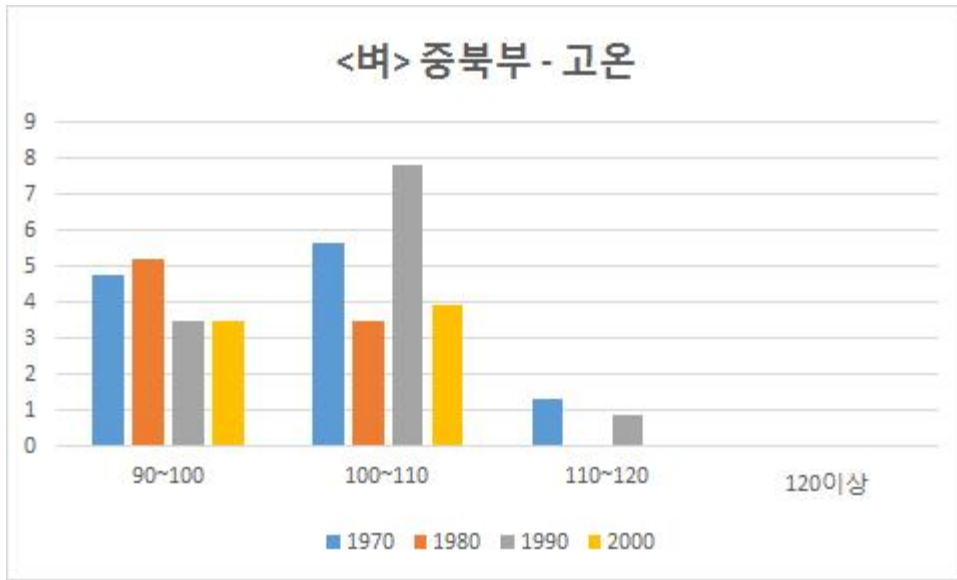


그림 59 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 고온 발생 빈도.

중북부 지방의 냉해는 100이하이나 100과 가까운 구간부터 120 구간까지 1990년도의 값이 다른 시기에 비해 눈에 띄게 많이 분석되었음을 볼 수 있다. 그리고 2000년대에 들어서면서 냉해로 인한 피해 가능성이 급감했음을 볼 수 있다(그림 60).

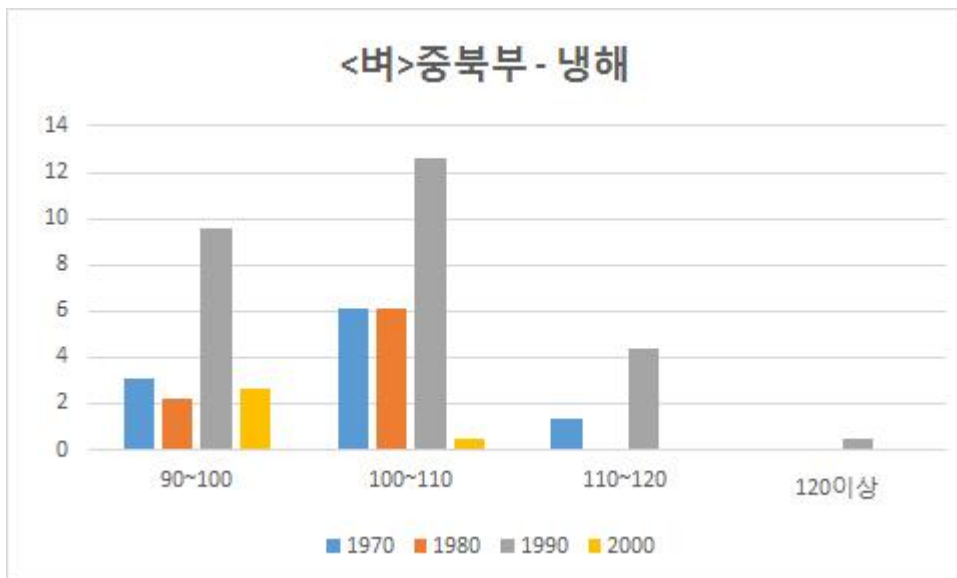


그림 60 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 냉해 발생 빈도.

중북부 지방의 가뭄은 각 지수대 별로 특별한 패턴을 보이지 않았다(그림 61).

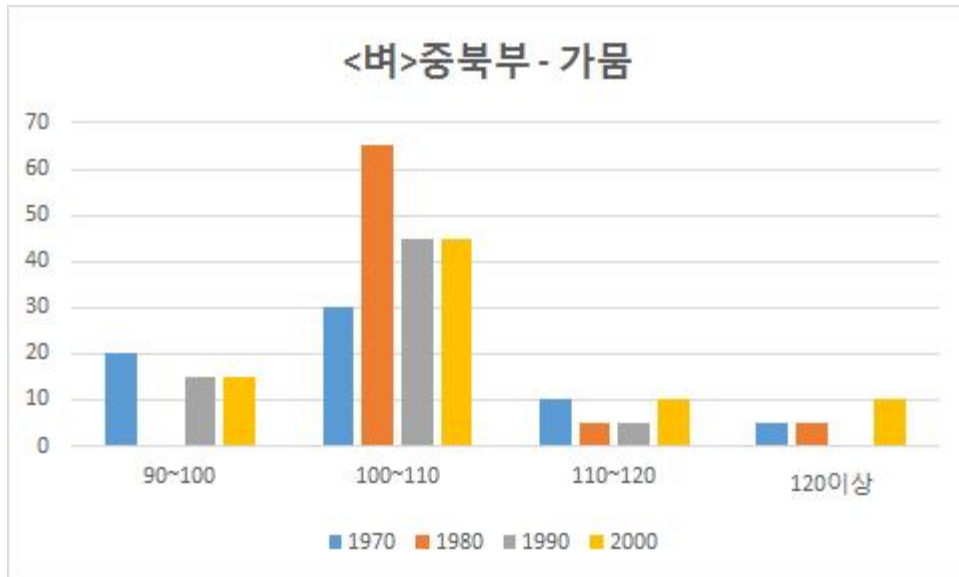


그림 61 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 가뭄 발생 빈도.

중북부지방의 일조부족은 다른 재해 분석과 달리 120 이상의 값이 많이 분석되었으며 100이상 110미만인 구간은 모든 기간 동안 비슷하게 발생하였다. 그러나 110 이상부터는 1970년대에서 2000년대로 갈수록 점차 증가하는 추세를 보였다. 120 이상에서는 1990년대에 특히 일조부족으로 인한 피해 가능성이 높게 분석되었다(그림 62).

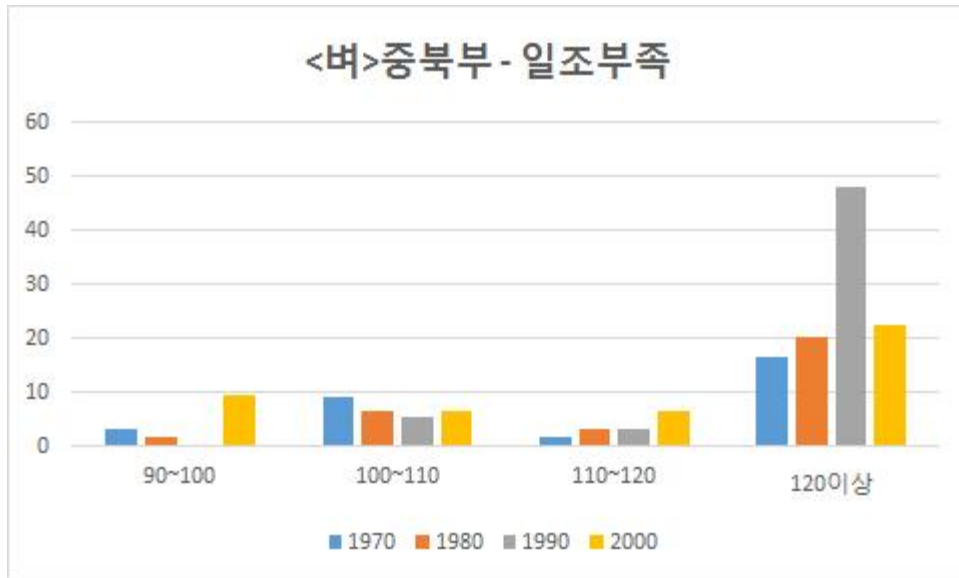


그림 62 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 일조부족 발생 빈도.

중북부지방의 강풍은 100 이상부터 일조부족과 비슷한 패턴이 나타났다. 110 이상부터 1970년대부터 2000년대로 갈수록 증가했으며, 120 이상은 1990년대에 급격히 증가하였다(그림 63).

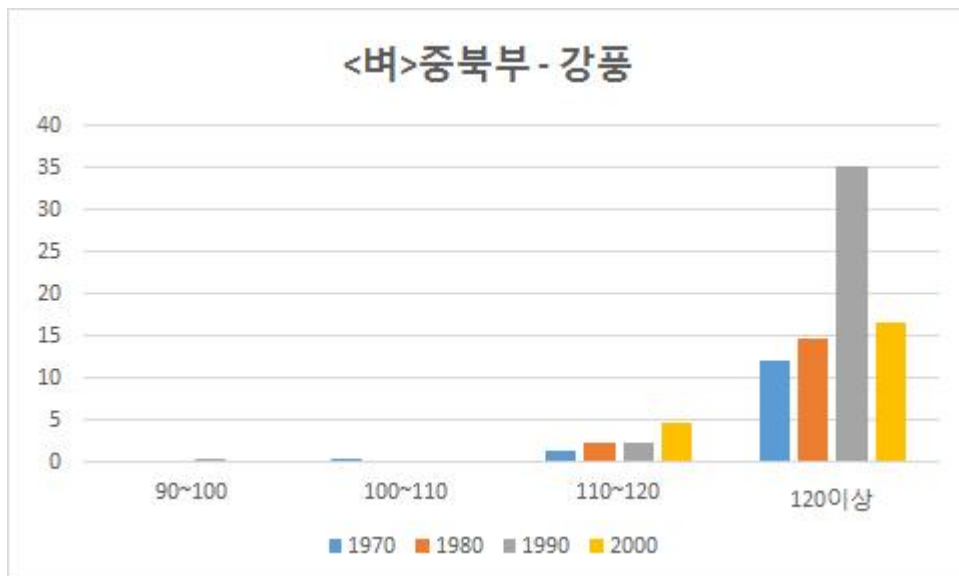


그림 63 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 강풍 발생 빈도.

그림 64, 65, 66, 67, 68은 중부지방의 1970년대부터 2000년대까지 재해 강도별 발생 가능성 그래프이다.

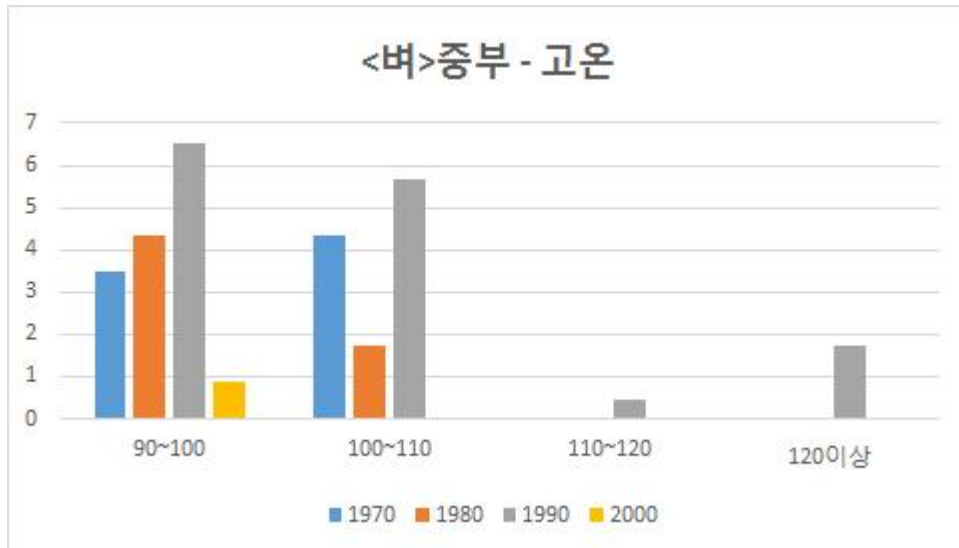


그림 64 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 고온 발생 빈도.

중부의 고온을 분석하면 100이상부터 2000년대에는 고온으로 인한 피해 가능성이 적었다. 1990년대의 고온 가능성이 가장 높았으며 이는 120 구간 이상에도 나타났다 (그림 64).

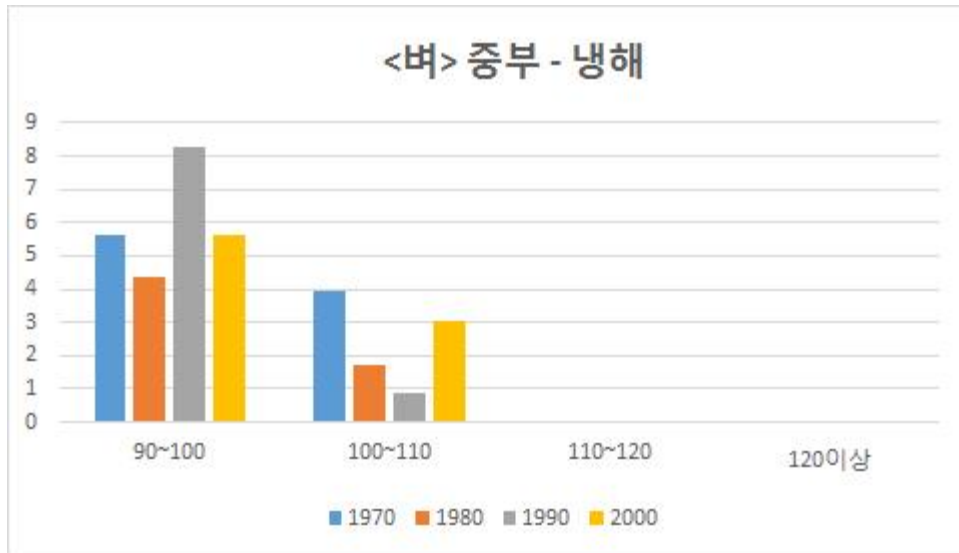


그림 65 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 냉해 발생 빈도.

중부지방의 냉해는 100이상 110미만에서 1970년대에서 1990년대로 갈수록 감소하였으나 2000년대에 냉해 피해 가능성이 증가하였다. 110 이상부터는 위험가능성이 전 기간 동안 나타나지 않았다(그림 65).

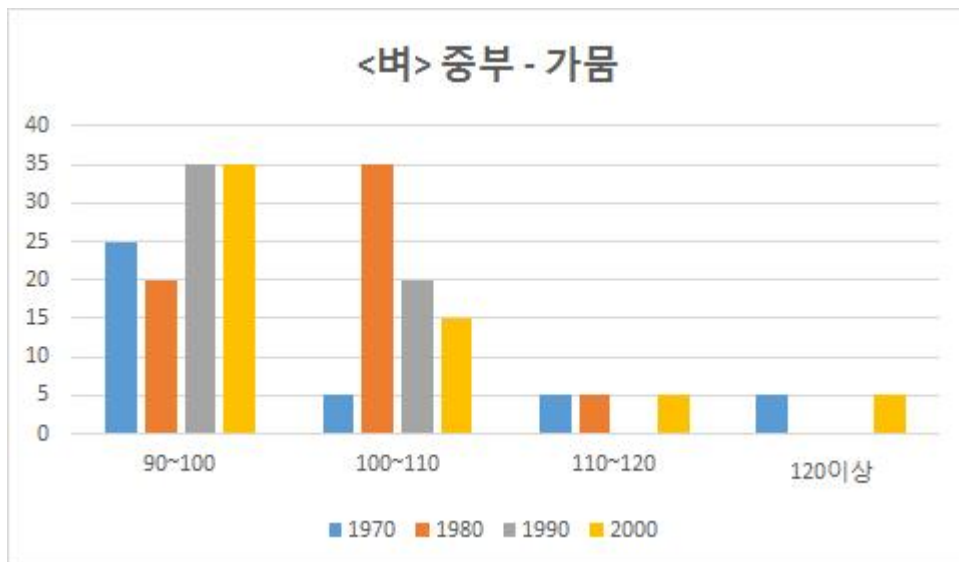


그림 66 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 가뭄 발생 빈도.

중부지방 가뭄은 100이상 110미만 구간에서 1980년대에 그 피해 가능성이 급증했으나 이후로 다시 감소하는 경향을 보였다. 110이상 120미만 구간에서는 1990년대를 제외하고 나머지 기간에서 비슷하게 피해 가능성을 보였으며, 120이상에서는 1970년대와 2000년대에서 비슷한 피해 가능성을 나타내었다(그림 66).

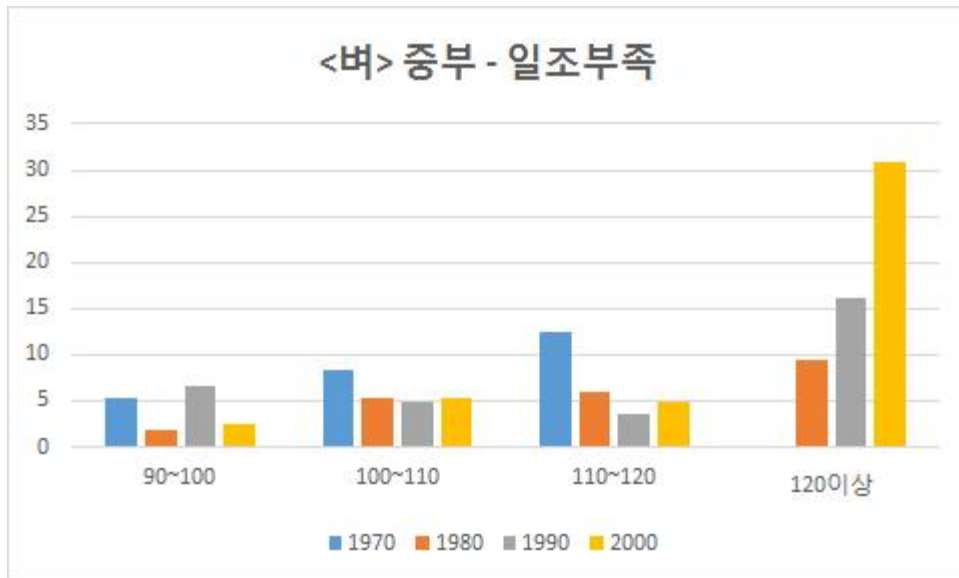


그림 67 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 일조부족 발생 빈도.

중부의 일조부족은 100이상 110미만 구간에서는 1970년대가 피해가능성이 조금 높았으나 전 기간 동안 비슷한 피해 가능성을 보였으며, 110이상 120미만인 구간에서는 1970년대에서 1990년대로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며 2000년대에 약간 증가한 것으로 분석되었다. 그러나 120이상에서는 2000년대로 갈수록 일조부족으로 인한 피해가 급증하였음을 나타냈다(그림 67).

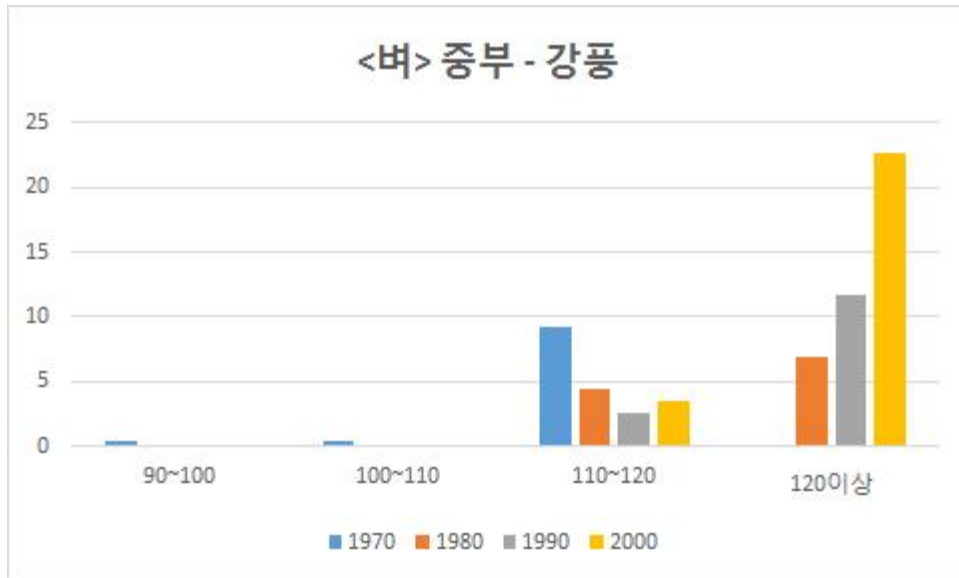


그림 68 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 강풍 발생 빈도.

중부지방의 강풍은 110이상 구간에서 1970년대에서 1990년대로 갈수록 감소하며 2000년대에서 약간 증가하는 패턴을 보였으며, 120 이상에서는 1980년대부터 2000년대로 갈수록 강풍의 피해 가능성이 증가하는 패턴을 나타냈다(그림 68).

그림 69, 70, 71, 72, 73은 남부지방의 1970년대부터 2000년대까지 재해 강도별 발생 가능성 그래프이다.

남부지방의 고온은 100이상 110미만은 2000년대에 가장 피해 가능성이 높게 분석되었으며, 110이상 120미만에서는 1980년대를 제외하고 나머지 기간은 발생일 수는 적지만 그 횟수는 비슷하게 분석되었다. 120 이상은 1990년대에서만 나타났다(그림 69).

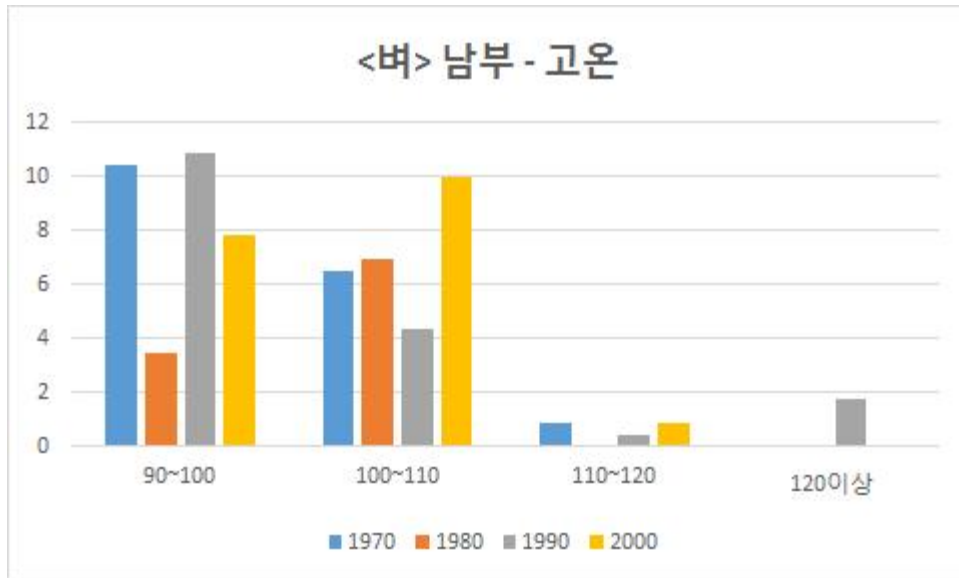


그림 69 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 고온 발생 빈도.

남부지방의 냉해는 110 이상에서는 그 피해 가능성이 전 기간동안 나타나지 않았으며 100이상 110미만에서는 1970년대에서 2000년대로 갈수록 그 피해 가능성이 점점 낮아지는 것으로 분석되었다(그림 70).

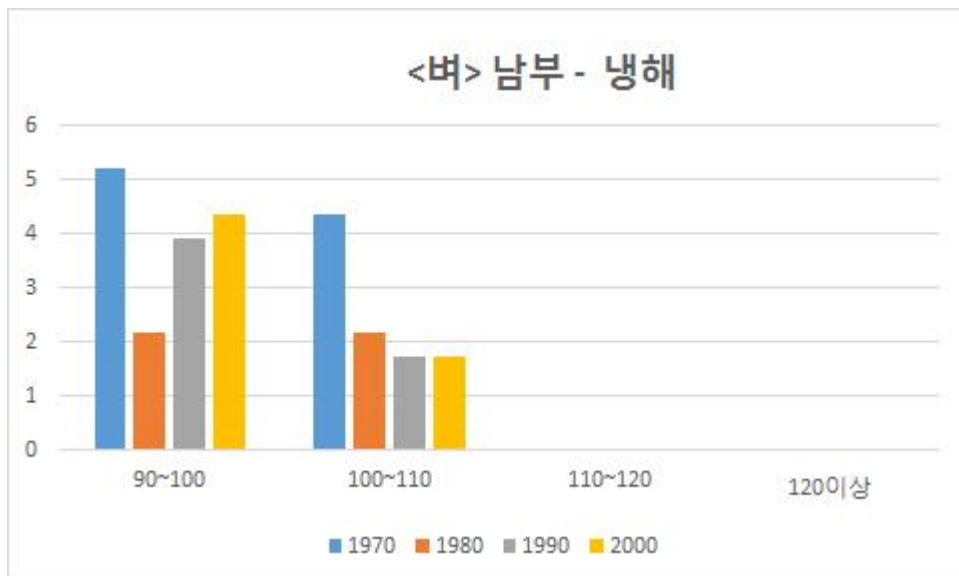


그림 70 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 냉해 발생 빈도.

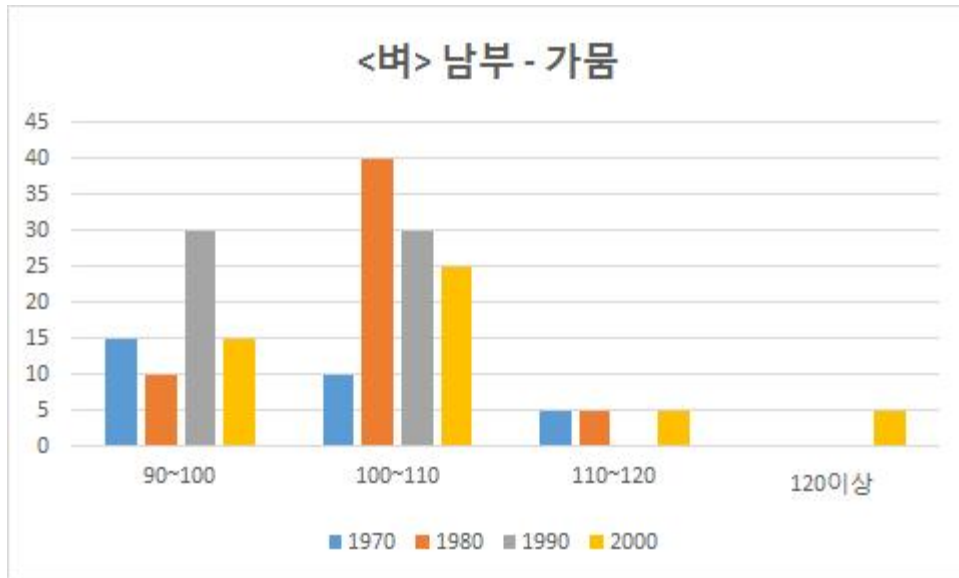


그림 71 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 가뭄 발생 빈도.

남부지방의 가뭄은 100이상 110미만 구간에서 1980년대에 피해 가능성이 급증했다가 2000년대로 올수록 서서히 감소하는 패턴을 나타냈다. 110이상 120미만 구간에서는 1990년대를 제외하고 나머지 기간에서 5미만의 발생횟수를 보였다. 120이상에서는 2000년대에서만 그 피해 가능성을 보였다(그림 71).

남부지방의 일조부족은 100이상 110미만 구간에서 1970년대에서 2000년대 동안 10미만의 횟수로 증감하는 패턴을 나타냈으며 110이상 120미만인 구간에서는 1970년대에 일조부족으로 인한 피해 가능성이 가장 높았으며 2000년대가 그 다음으로 분석되었다. 그러나 120이상 구간에서는 다른 구간보다 전 기간에서 피해 가능성이 가장 높았으며 또한 1970년대에서 2000년대로 갈수록 피해 가능성이 높게 분석되었다(그림 72).

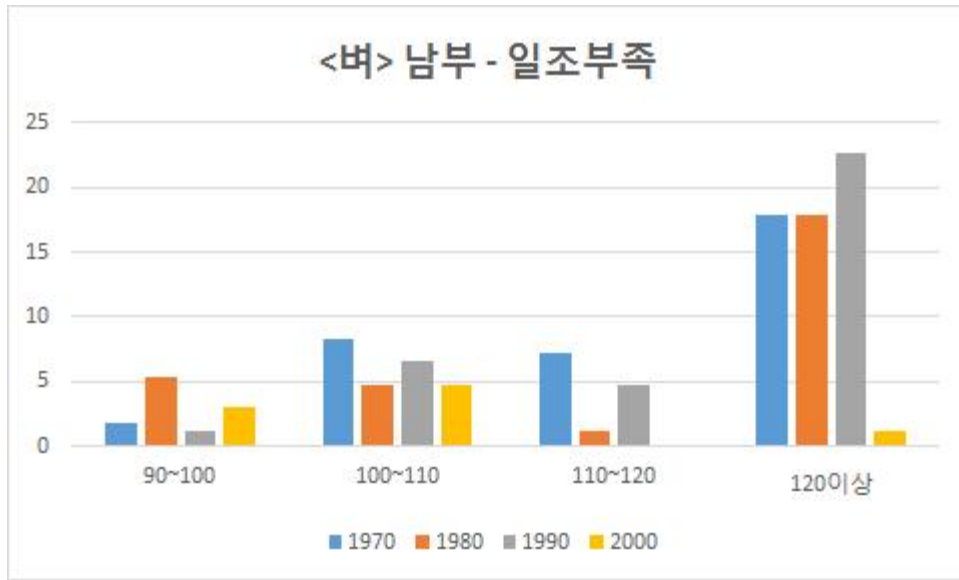


그림 72 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 일조부족 발생 빈도.

남부지방의 강풍은 110이상부터 그 피해 가능성이 나타났으며 그 패턴은 일조부족과 동일하게 분석되었다(그림 73).

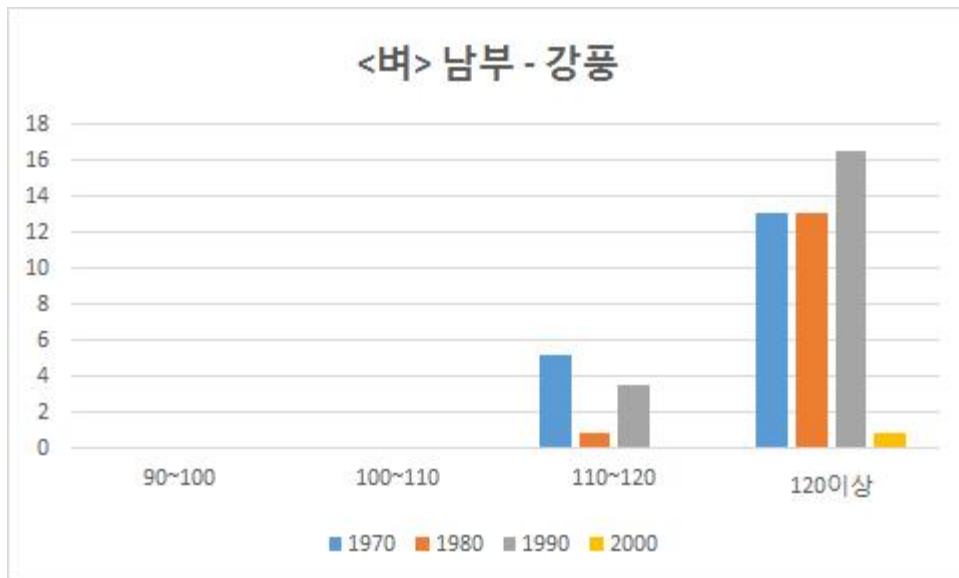


그림 73 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 강풍 발생 빈도.

그림 74, 75, 76, 77, 78은 남부지방의 1970년대부터 2000년대까지 재해 강도별 발생 가능성 그래프이다.

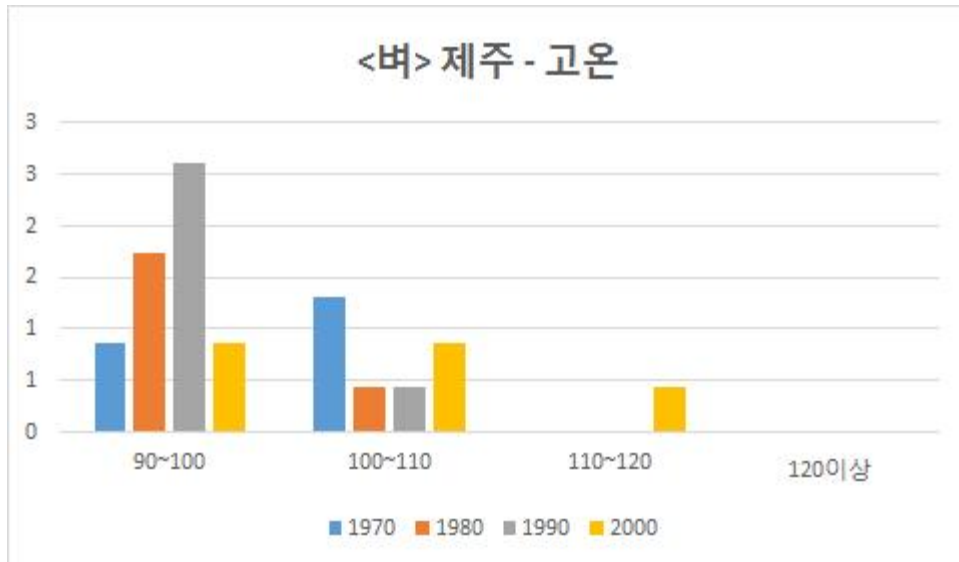


그림 74 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 발생 빈도.

제주도의 고온피해는 100이상 110미만 구간에서 1970년대에 피해 가능성이 가장 높았으며 1980년대와 1990년대에 줄었다가 2000년대에 다시 증가하였다. 110이상 120미만에서는 2000년대에서만 그 피해 가능성이 나타났다(그림 74).

제주도의 냉해 피해는 110이상구간에서는 전 기간 동안 그 피해 가능성이 나타나지 않았으며 100이상 110미만 구간에서는 1970년대에 피해 가능성이 가장 높았으며 그 후로 점점 감소하는 추세를 나타냈다(그림 75).

가뭄은 100이상 110미만에서 가장 피해 빈도가 높게 나타났으며 그 중 1970년대가 가장 높게 나타났다. 110이상 120미만인 구간에서는 1970년대에서 2000년대로 갈수록 그 피해 가능성이 감소하는 추세로 나타났으나 120이상 구간에서는 그와 반대로 2000년대로 갈수록 피해 가능성이 급증하는 것으로 나타났다. 따라서 시간이 갈수록 보다 높은 강도의 피해가 급증하는 것으로 분석되었다(그림 76).

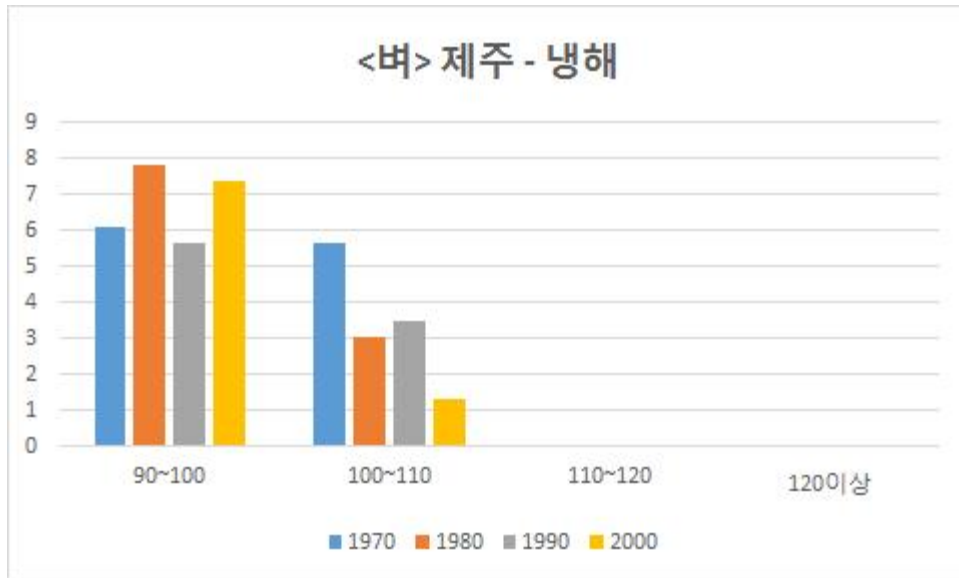


그림 75 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 냉해 발생 빈도.

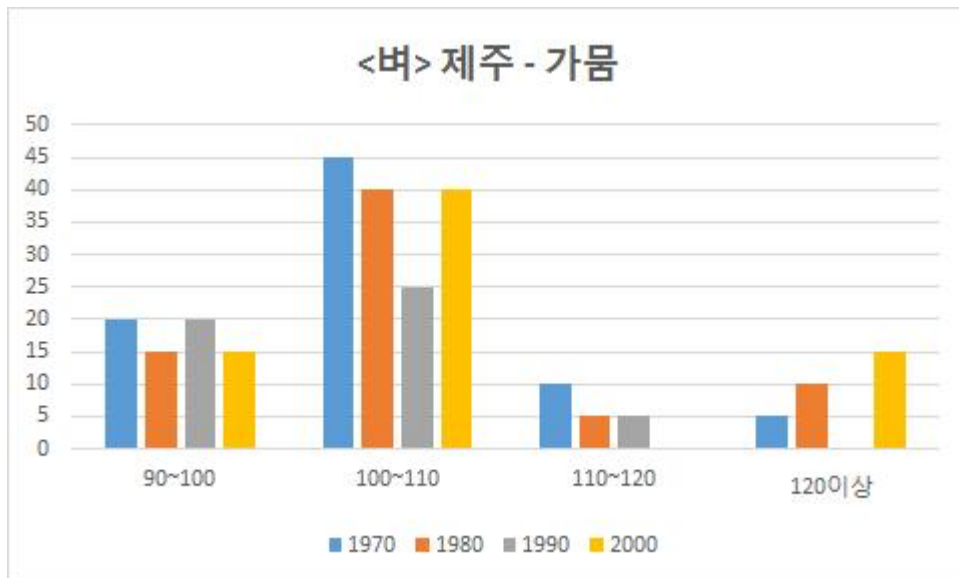


그림 76 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 가뭄 발생 빈도.

일조부족은 120이상 구간에서 전 기간 동안 피해 발생 빈도가 가장 높게 나타났으며 그 중 2000년대 값이 가장 높게 나타났다. 100이상 110미만 구간에서는 전 기간 동안 비슷한 횟수로 발생한 것으로 분석되었으며, 110이상 120미만에서는 1970년대에서 1990년대로 갈수록 감소하다가 2000년대에 약간 증가한 것으로 나타났다.

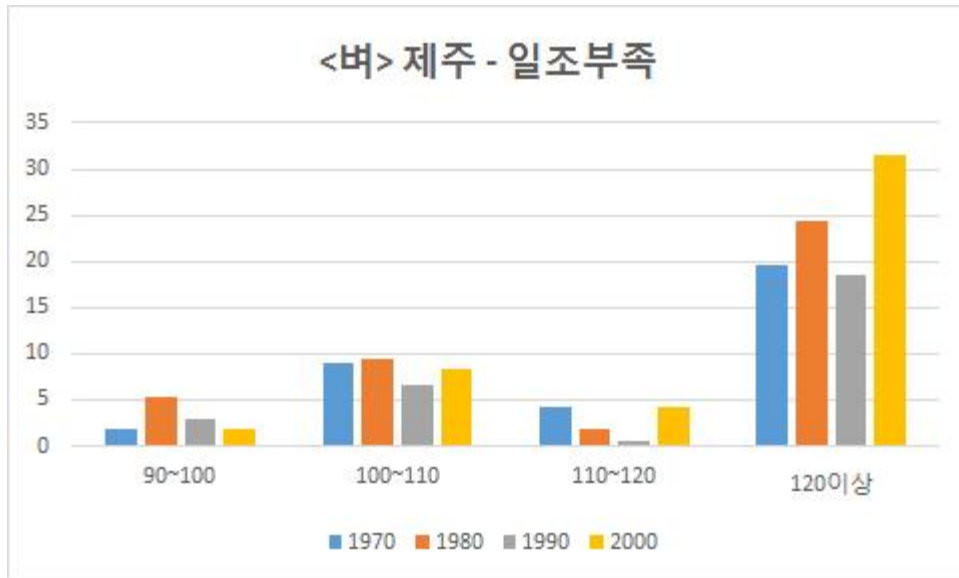


그림 77 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 일조부족 발생 빈도.

강풍 또한 120이상 구간에서 전 기간 동안 피해 발생 빈도가 가장 높게 나타났으며 그 중 2000년대 값이 가장 높게 나타났다. 110이상 120미만 구간에서는 1970년대에서 1990년대로 갈수록 피해 가능성이 줄어들고 2000년대에 다시 증가하였다(그림 78).

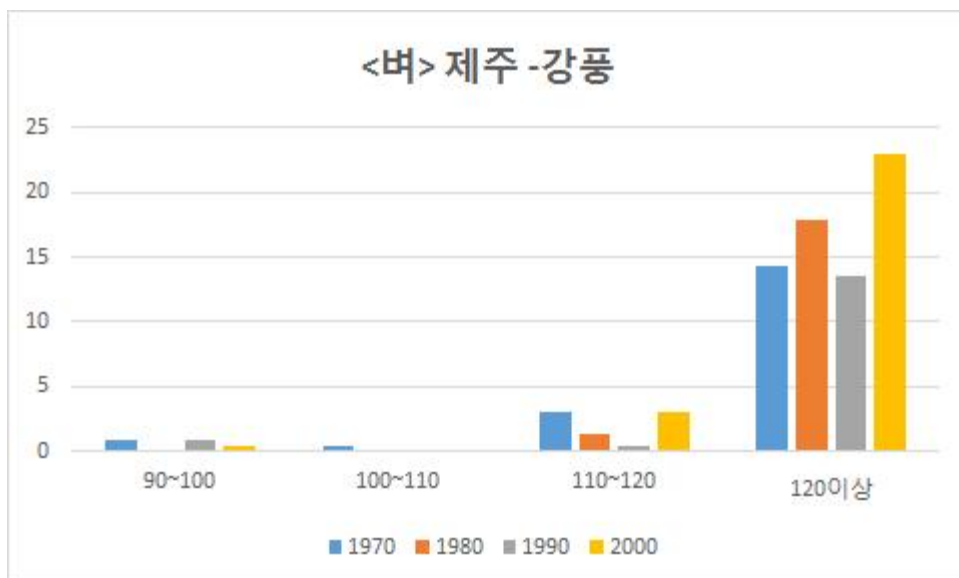


그림 78 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 제주도 강풍 발생 빈도.

그림 79, 80, 81, 82, 83은 사과와 중북부지방의 1970년대부터 2000년대까지 재해 강도별 발생 가능성 그래프이다.

중북부 지방의 고온 피해 가능성은 100이상 110미만에서는 1970년도가 가장 피해 가능성이 높게 나타났으며 나머지 기간은 비슷하게 나타났다. 110이상 120미만 구간에서는 1970년대에서 2000년대로 갈수록 피해가능성이 높게 분석되었다. 120이상 구간에서는 1990년대에서만 피해 가능성이 나타났다(그림 79).

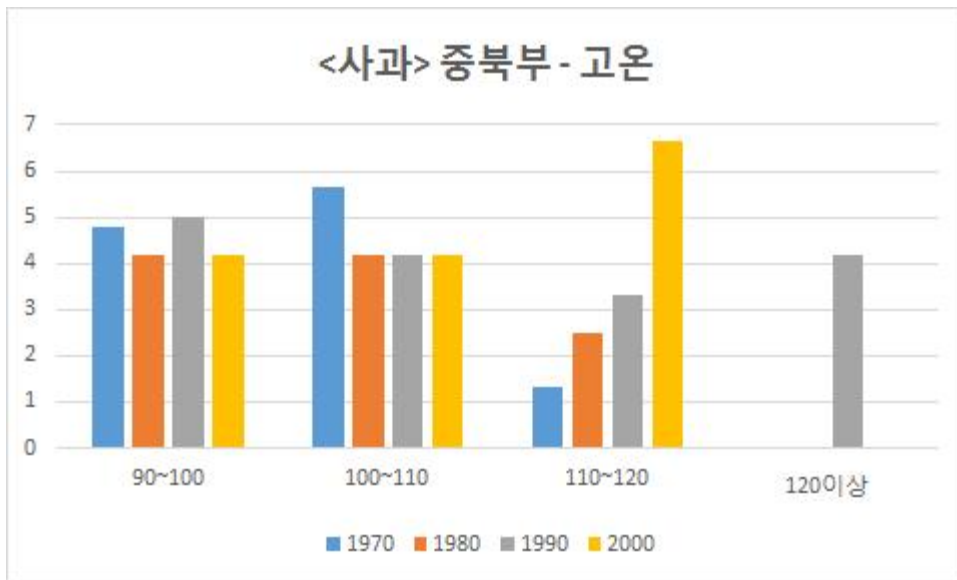


그림 79 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 고온 발생 빈도.

중북부지방에서 사과와 동해와 상해 가능성은 전 기간 동안 나타나지 않았다(그림 80, 81).

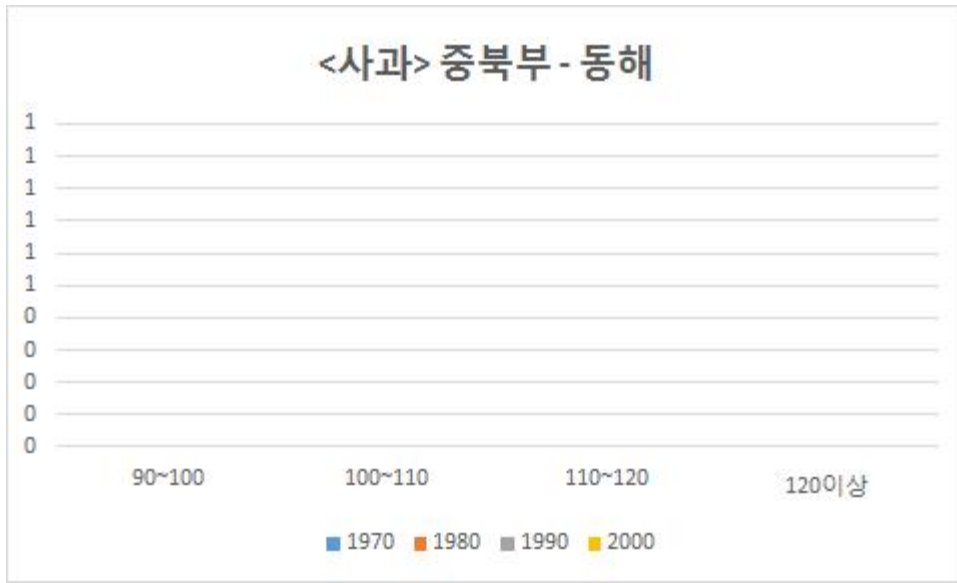


그림 80 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중복부 지방 동해 발생 빈도.

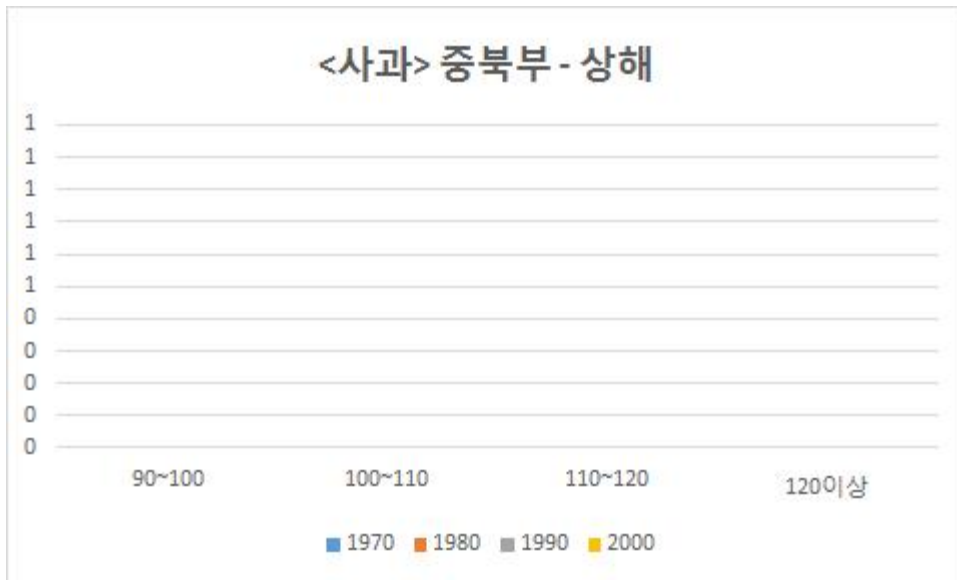


그림 81 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중복부 지방 상해 발생 빈도.

중북부 우박은 100이상 110미만은 1970년대와 1990년대에 비슷하게 발생하였으며 2000년도에 급격히 증가하였다. 그리고 120은 1980년대에 나타났다(그림 82).

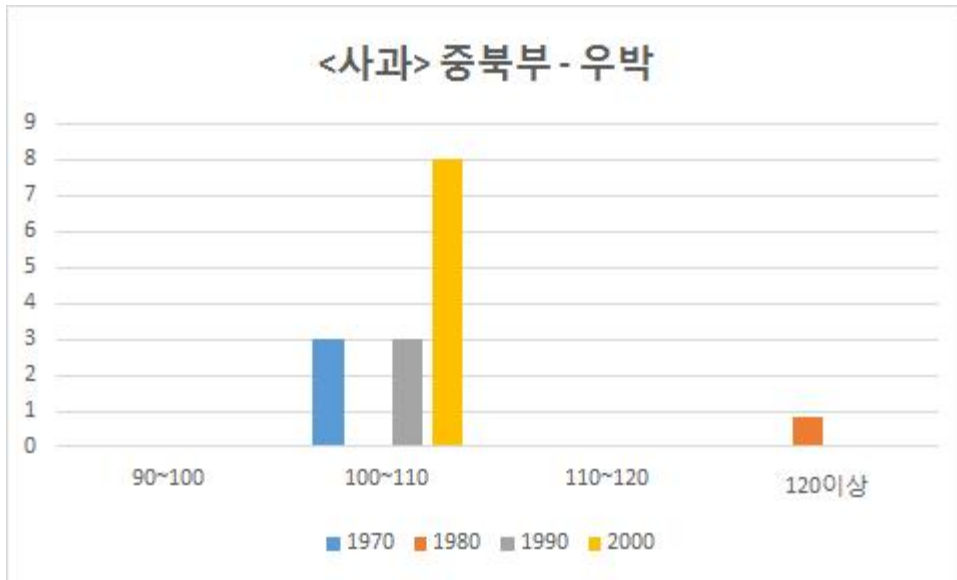


그림 82 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 우박 발생 빈도.

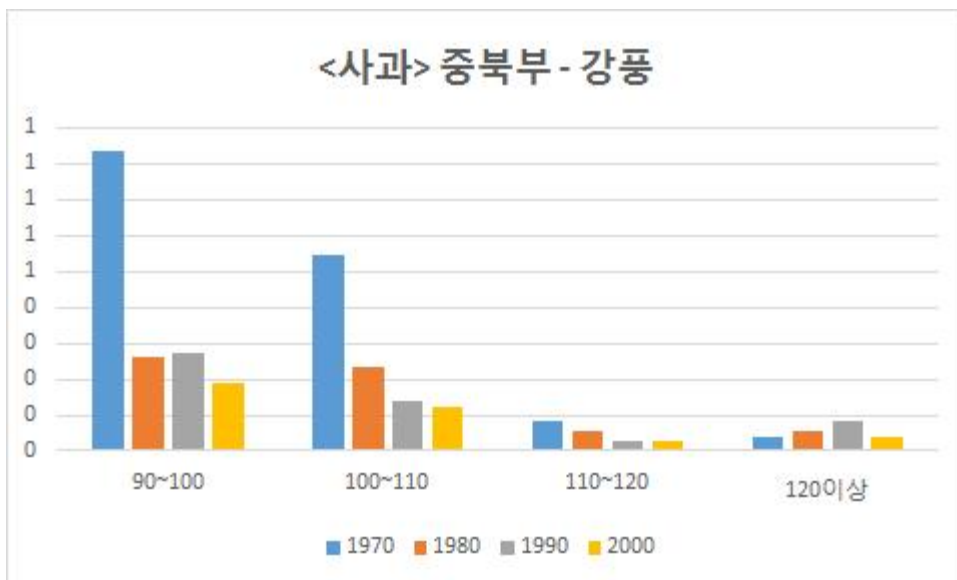


그림 83 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중북부 지방 강풍 발생 빈도.

그림 84, 85, 86, 87, 88은 사과와 중부지방의 1970년대부터 2000년대까지 재해 강도별 발생 가능성 그래프이다.

중부지방 고온피해는 100이상 110미만은 1970년도가 가장 많이 발생했으며 1990년대, 2000년대, 1980년대 순으로 나타났다. 110이상 120미만 또한 같은 순으로 발생했으나 그 횟수는 100이상 110미만보다 적었다. 120이상은 2000년대는 그 횟수가 나타나지 않았으며 1980년대에 가장 피해 가능성이 높게 나타났다(그림 84).

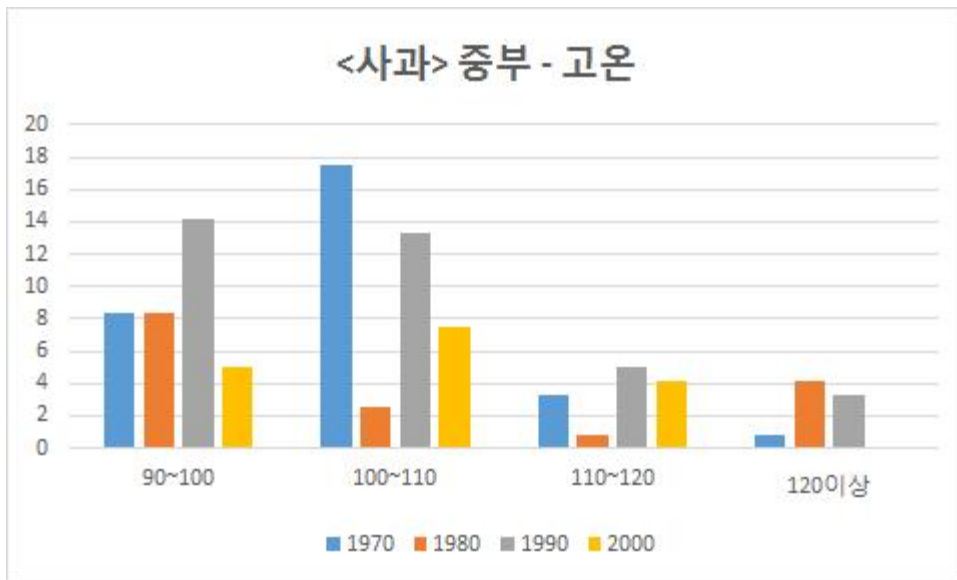


그림 84 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 고온 발생 빈도.

중부지방에서 사과와 동해 발생 가능성은 전 기간 동안 나타나지 않았다(그림 85).

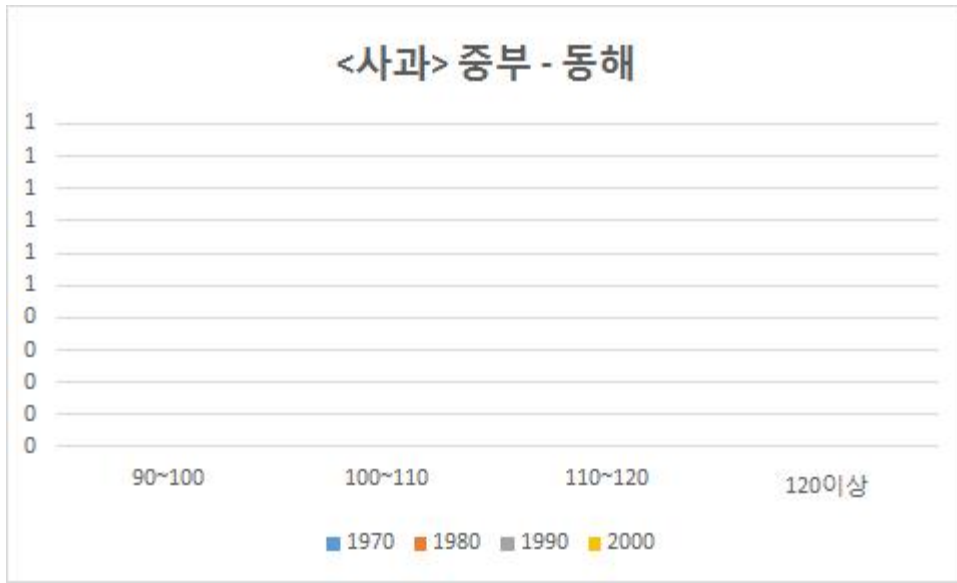


그림 85 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 동해 발생 빈도.

중부지방 우박은 2000년대에 100이상 110미만 구간에서 발생하였다(그림 86).

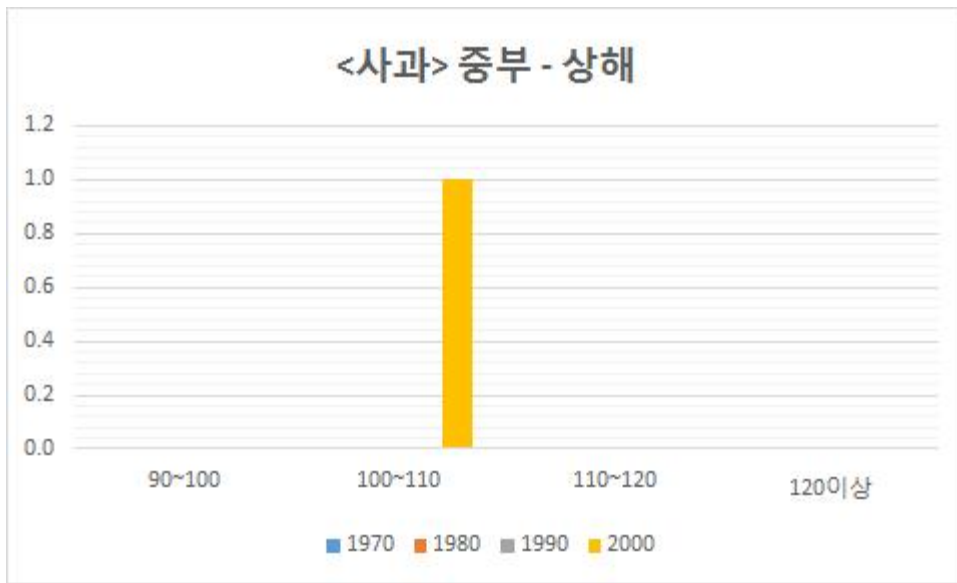


그림 86 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 상해 발생 빈도.

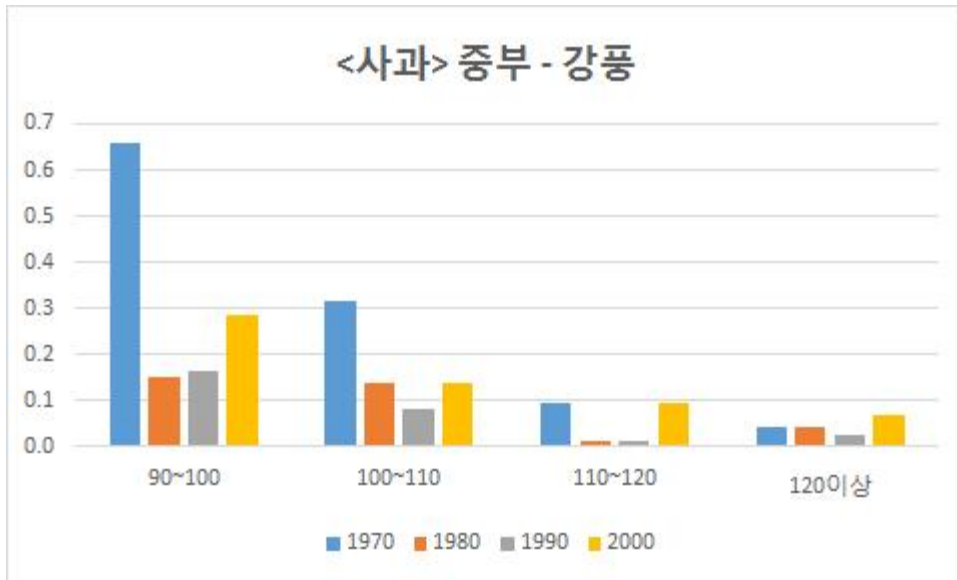


그림 88 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 중부 지방 강풍 발생 빈도.

중부지방 강풍은 가장 강한 강도인 120이상은 2000년대에서 다른 시기에 비해 많이 발생했으며, 그 전 기간은 1970년대에 많이 발생하였다(그림 88).

그림 89, 90, 91, 92, 93은 사과와 남부지방의 1970년대부터 2000년대까지 재해 강도별 발생 가능성 그래프이다.

남부지방 고온은 전체적으로 고온위험은 1980년대에 주로 나타났다. 100이상 110미만은 1980년대에 고온 위험성이 가장 높았다가 2000년대로 가면서 감소했다. 120이상에서도 같은 패턴이 나타났다. 110이상 120미만은 1970년대에 피해가능성이 가장 적게 나타났으며 1990년대에 가장 높게 나타났다(그림 89).

남부지방에서 사과와 동해 가능성은 전 기간 동안 나타나지 않았다(그림 90).

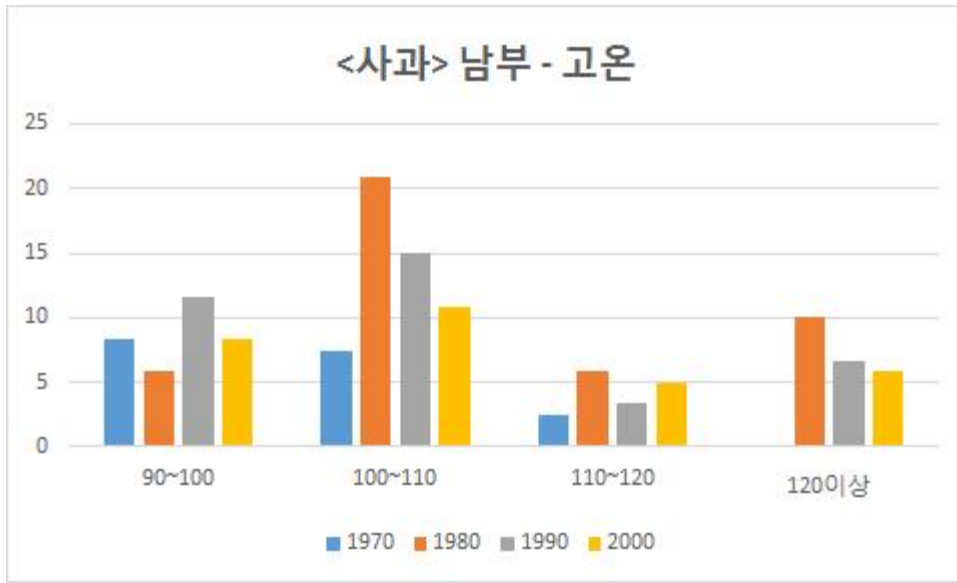


그림 89 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 고온 발생 빈도.

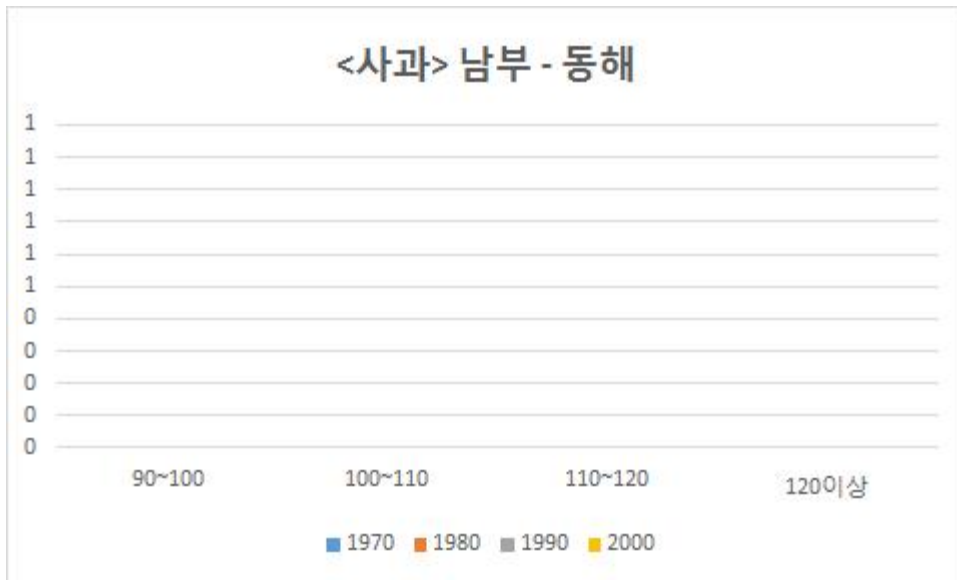


그림 90 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 동해 발생 빈도.

남부지방 상해 위험성은 전 기간 동안 나타나지 않았다(그림 91).

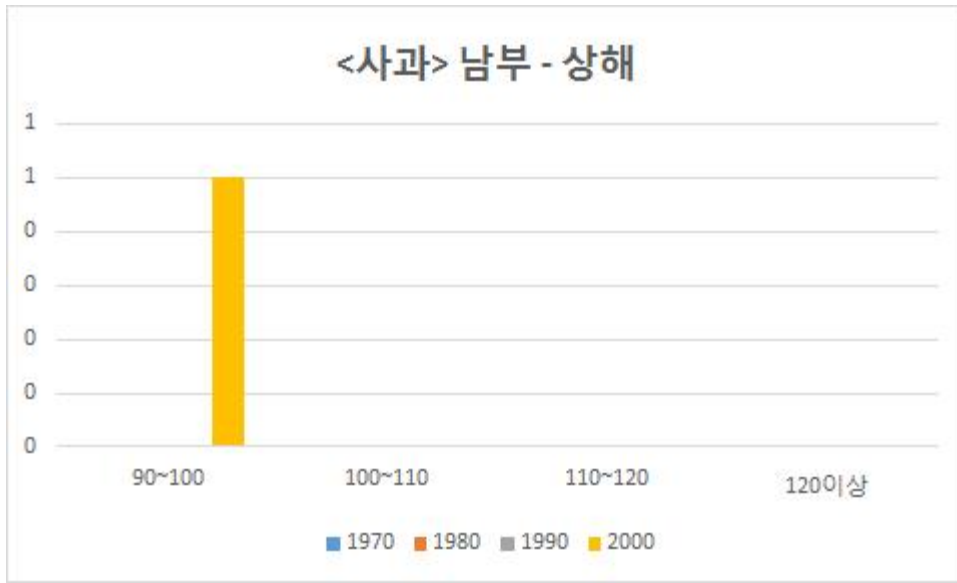


그림 91 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 상해 발생 빈도.

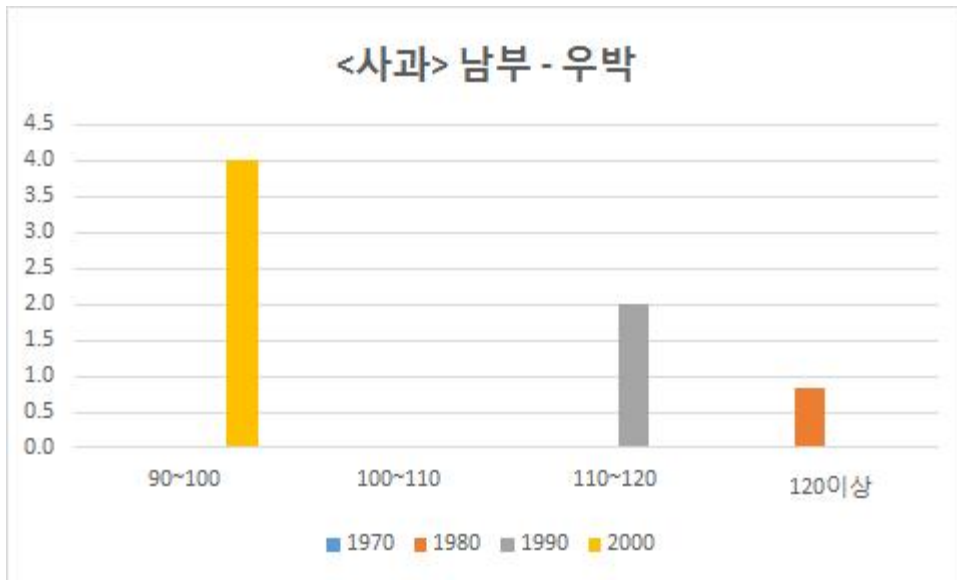


그림 92 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 우박 발생 빈도.

남부지방 우박 100이상 110미만 구간에서는 전 기간 동안 나타나지 않았으며 110이상 120미만에서 1990년대에 발생하였다. 그리고 120이상에서는 1980년대에 나타났다 (그림 92).

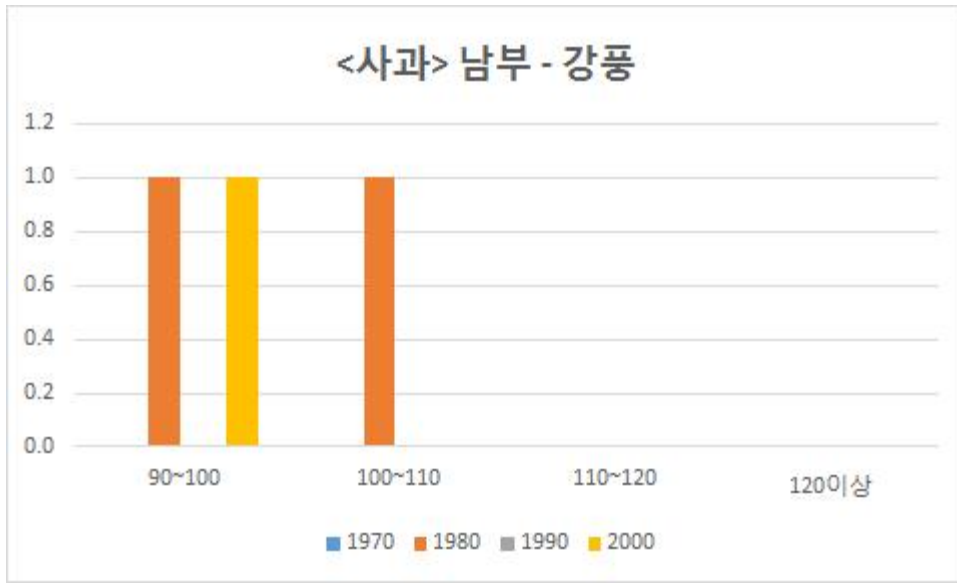


그림 93 수정된 ACI에 대한 한계값 이상의 남부 지방 강풍 발생 빈도.

강풍은 100이상 110미만에서 1980년대에서 피해 가능성을 나타냈다(그림 93).

제 4 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서 제작된 지수는 벼와 사과를 중심으로 분석이 수행되었다. 그러나 이 지수는 절대적인 정의를 가지고 있지 않아 필요에 따라 변형 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그렇기 때문에 다른 작물을 분석할시 그 작물이 피해를 받을 수 있는 재해와 그 기준을 제시한다면 얼마든지 응용이 가능하다. 개발된 지수는 농업에 직접적으로 응용하거나 정책에 실질적으로 반영하기에는 어느 정도 한계가 있지만 추후 이상기후지수 수정 및 개발에 초석이 될 것으로 본다. 향후 지속적인 연구를 통해 각 대리변수별 중요도를 파악하여 가중치를 고려한 표준화 작업을 통하여 더 상세히 재해를 나타낼 수 있는 지수를 최종 정립하고, 우리나라 시·군을 대상으로 한 상세한 지수를 표출하여 이상기후로 인한 농가의 피해를 사전적으로 예방하는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

[부 록]

[부록 1]

ACI 시기별 · 지역별 표준화 값 분포
및 표준화

1. 며



그림 1 1970년대 중북부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 2 1970년대 중북부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 3 1970년대 중북부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.



그림 4 1970년대 중북부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

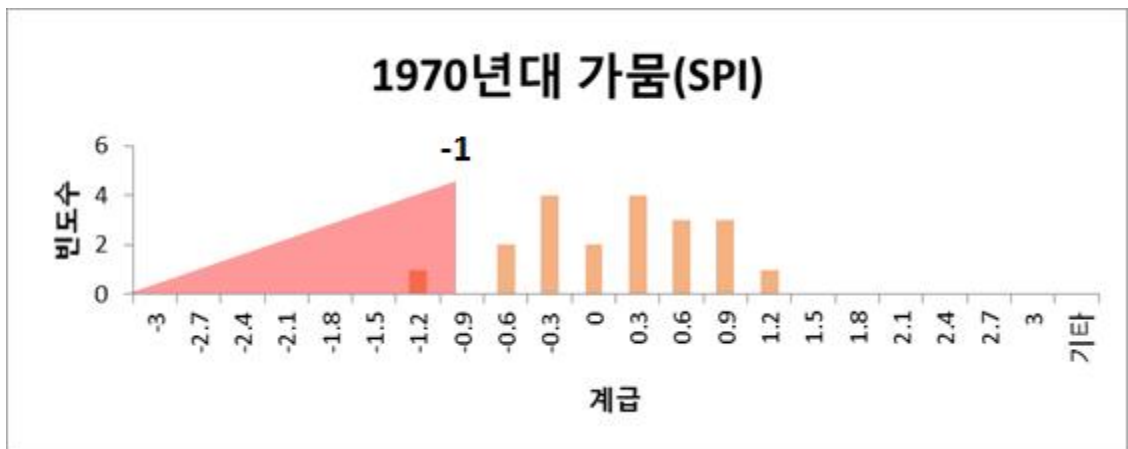


그림 5 1970년대 중북부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 6 1980년대 중북부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 7 1980년대 중북부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

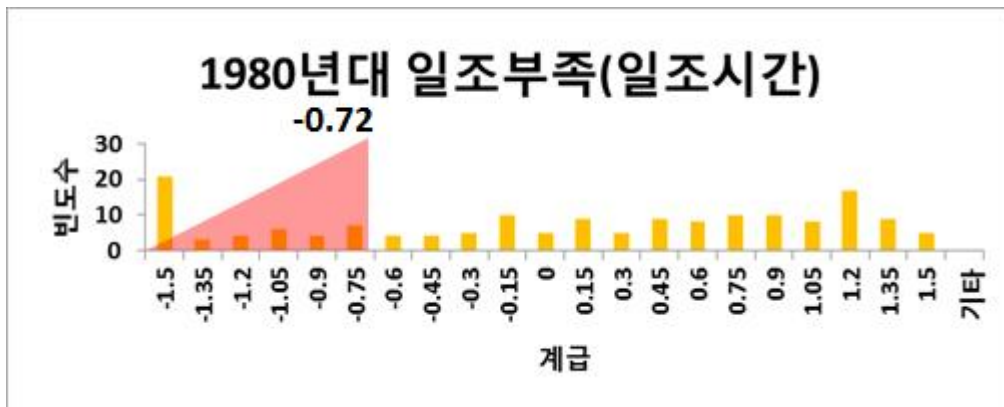


그림 8 1980년대 중북부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.



그림 9 1980년대 중북부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

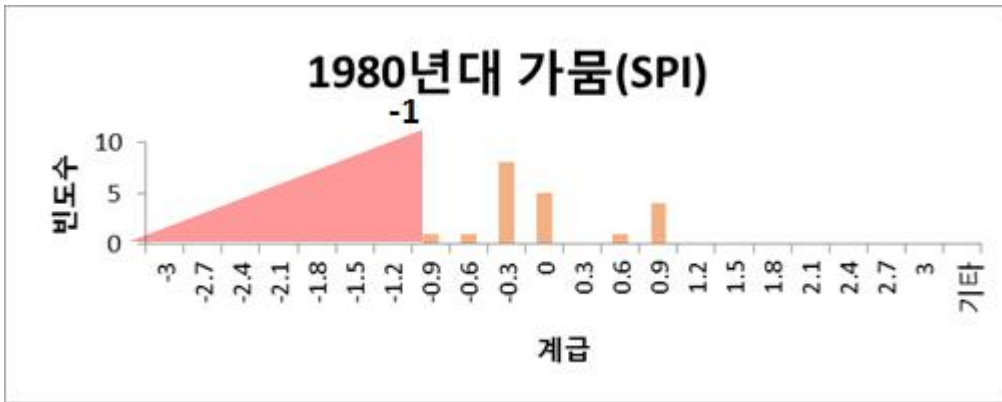


그림 10 1980년대 중북부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 11 1990년대 중북부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 12 1990년대 중북부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

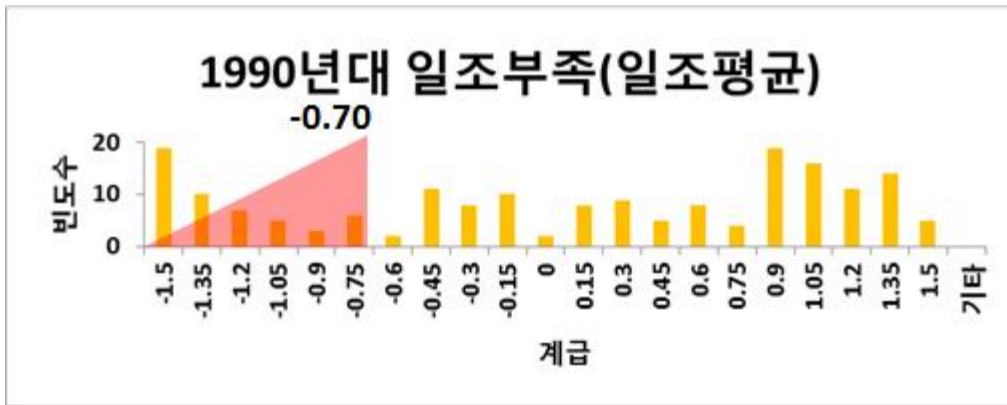


그림 13 1990년대 중북부지방 일조평균 표준화 값 분포와 한계값.

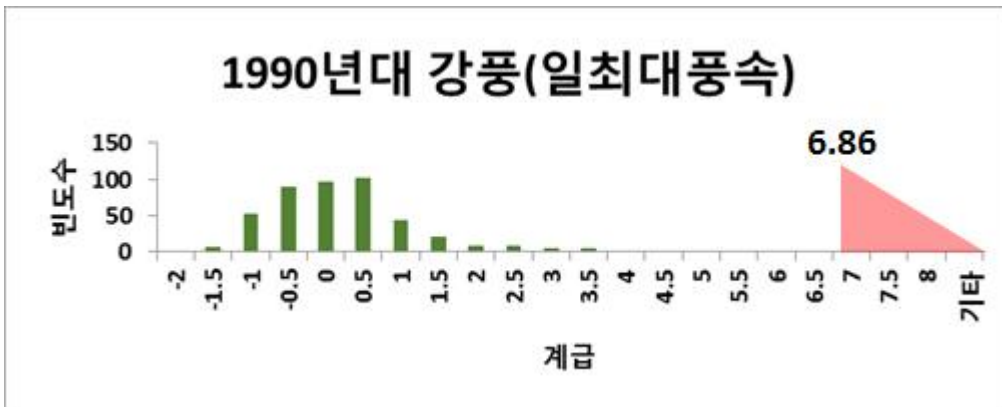


그림 14 1990년대 중북부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

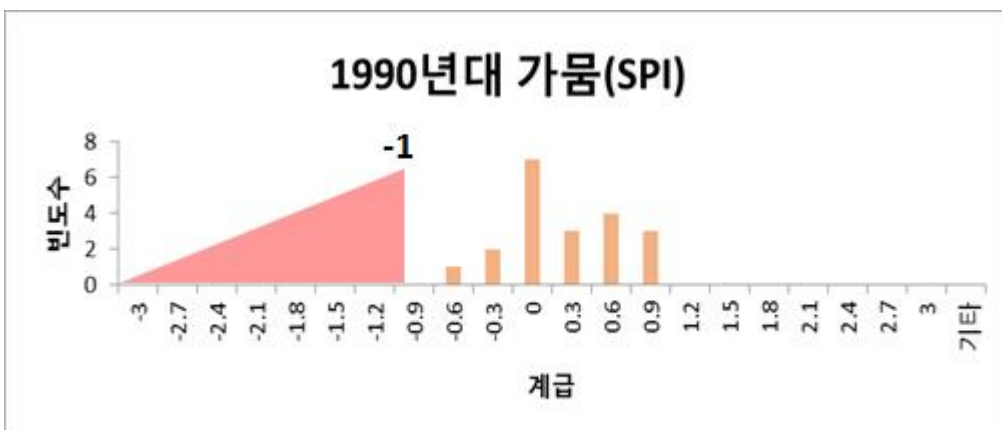


그림 15 1990년대 중북부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 16 2000년대 중북부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 17 2000년대 중북부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

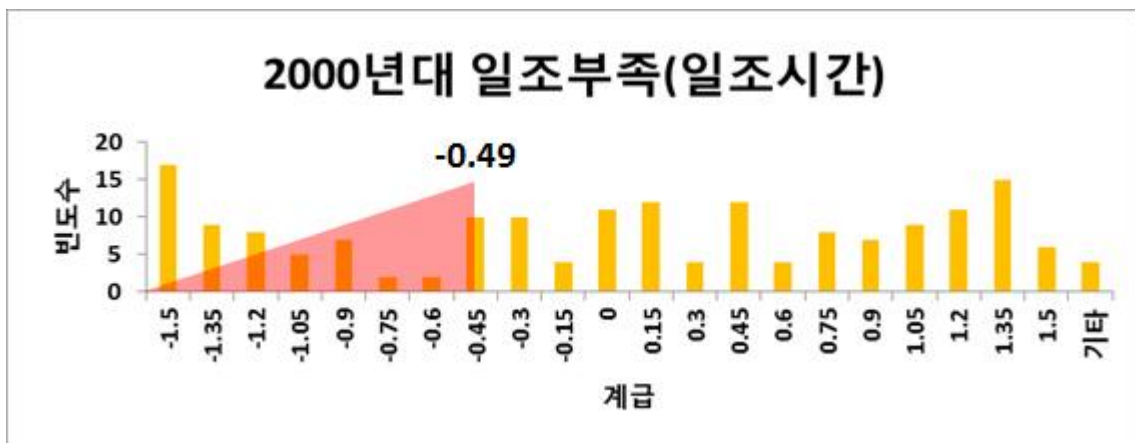


그림 18 2000년대 중북부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.



그림 19 2000년대 중북부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

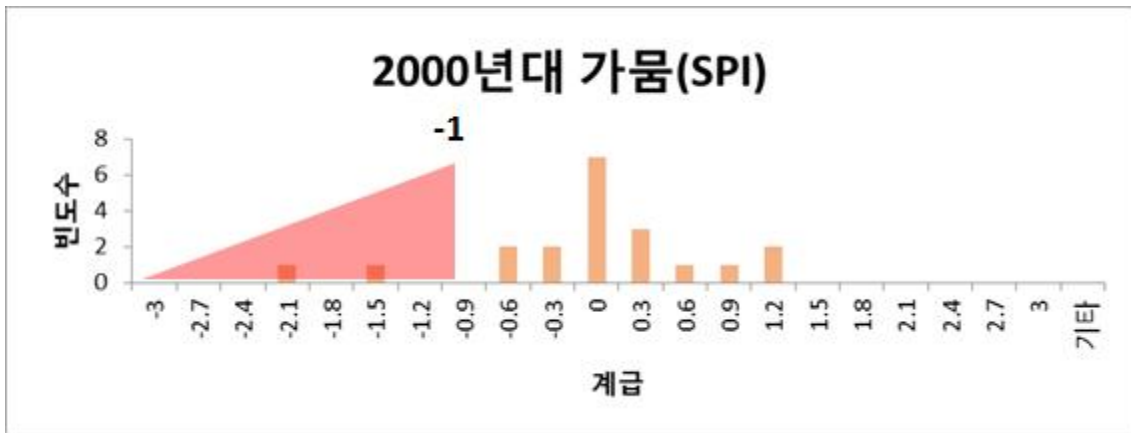


그림 20 2000년대 중북부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 21 1970년대 중부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 22 1970년대 중부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 23 1970년대 중부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

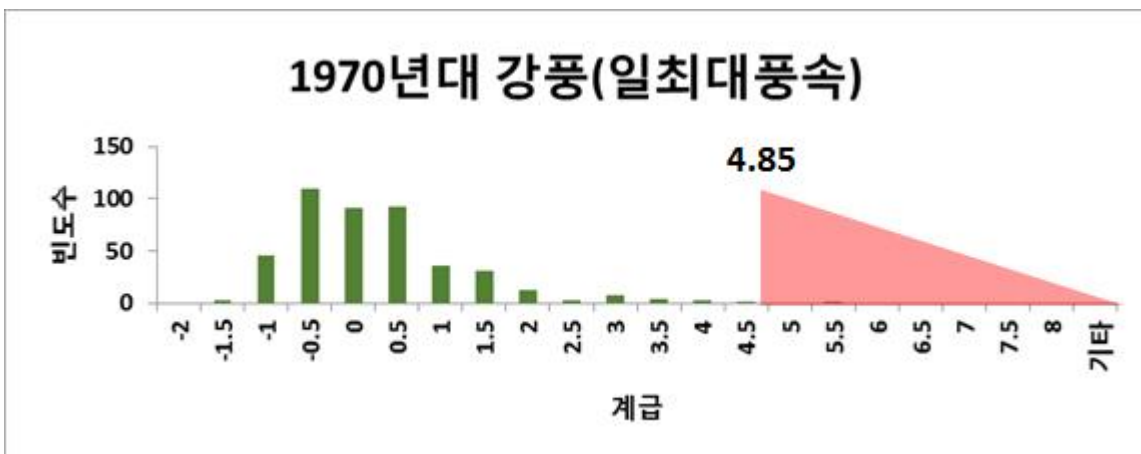


그림 24 1970년대 중부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

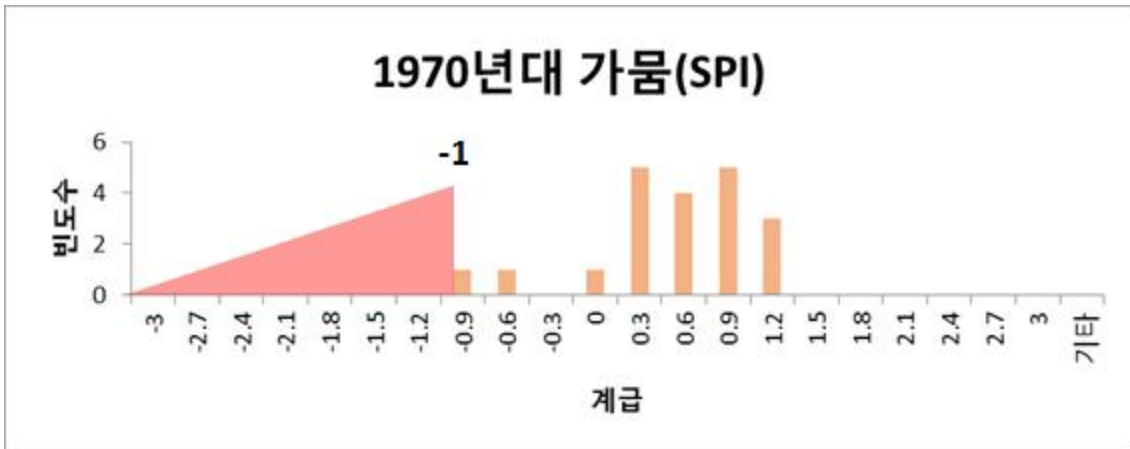


그림 25 1970년대 중부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.

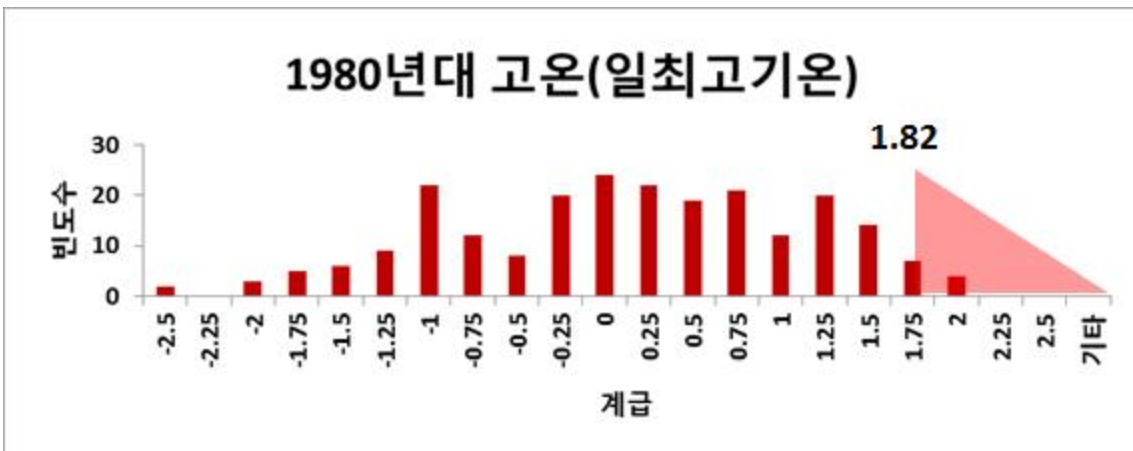


그림 26 1980년대 중부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 27 1980년대 중부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

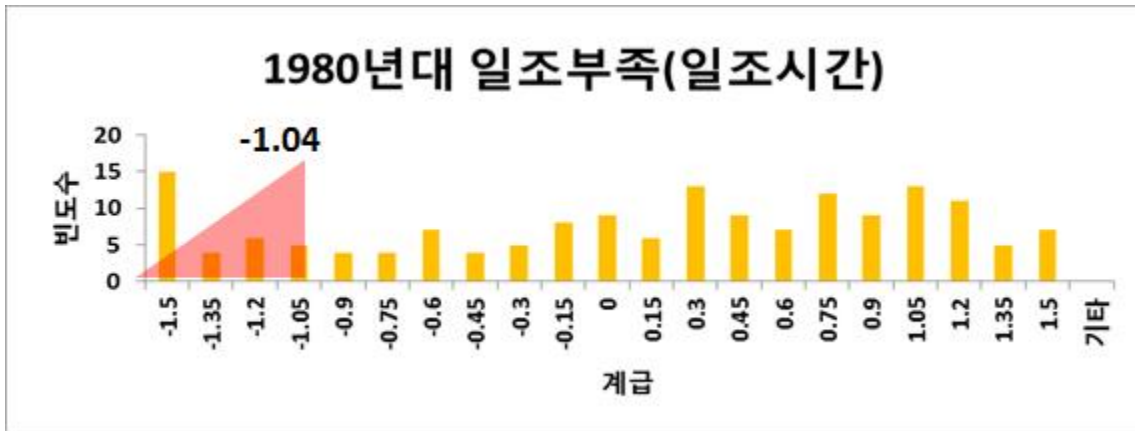


그림 28 1980년대 중부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

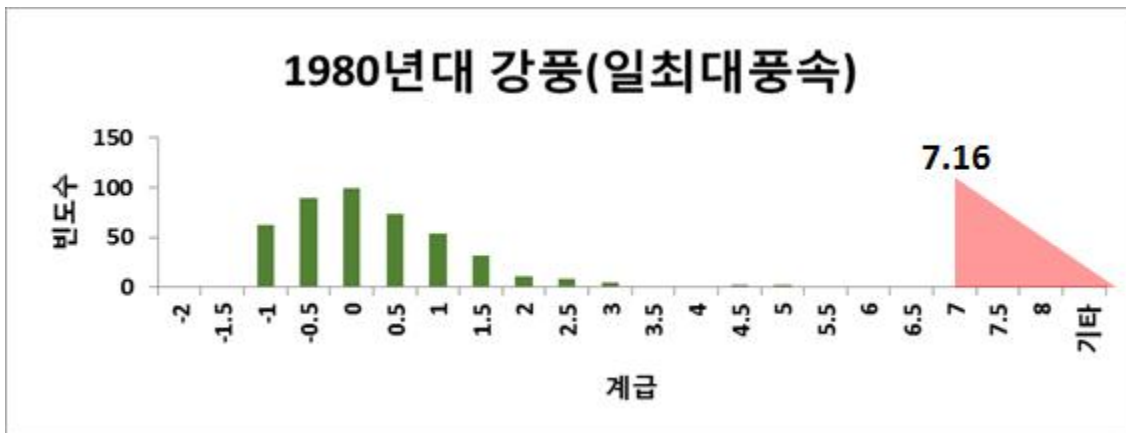


그림 29 1980년대 중부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

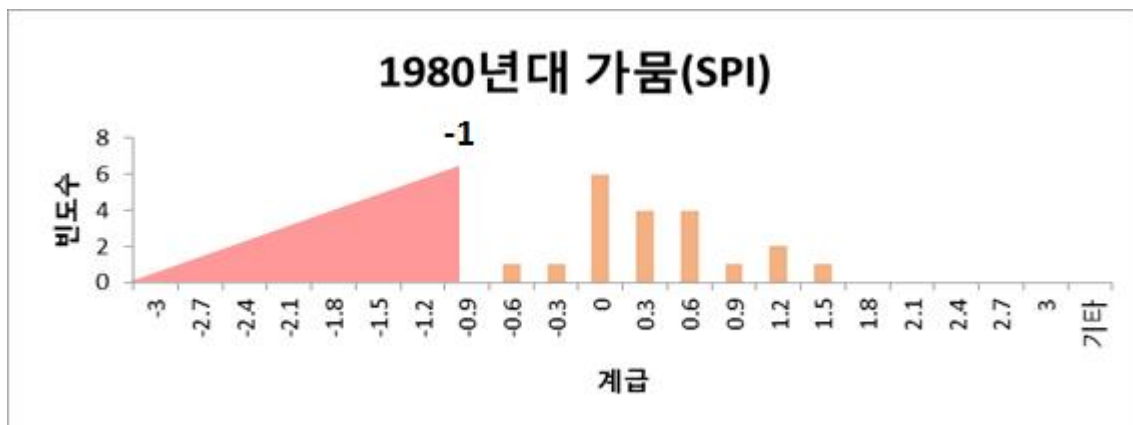


그림 30 1980년대 중부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 31 1990년대 중부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 32 1990년대 중부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

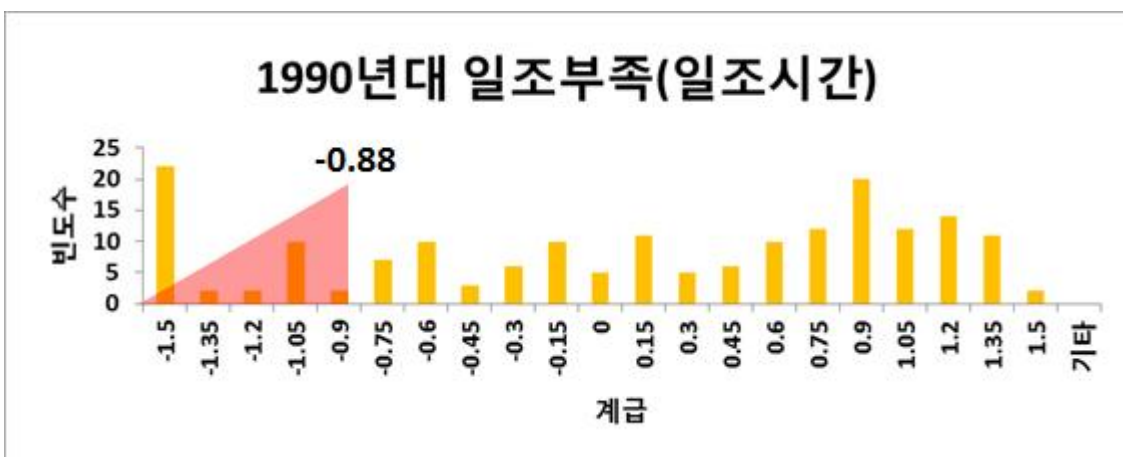


그림 33 1990년대 중부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

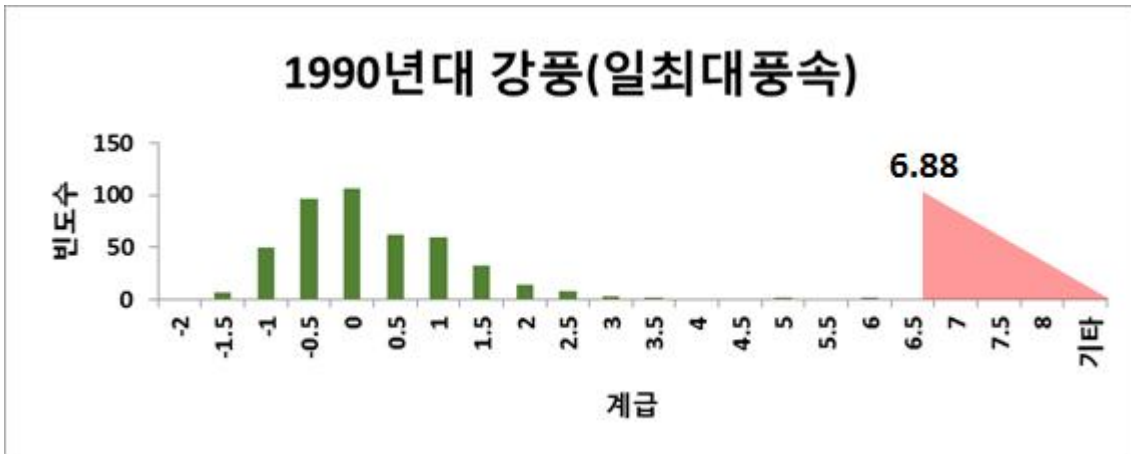


그림 34 1990년대 중부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

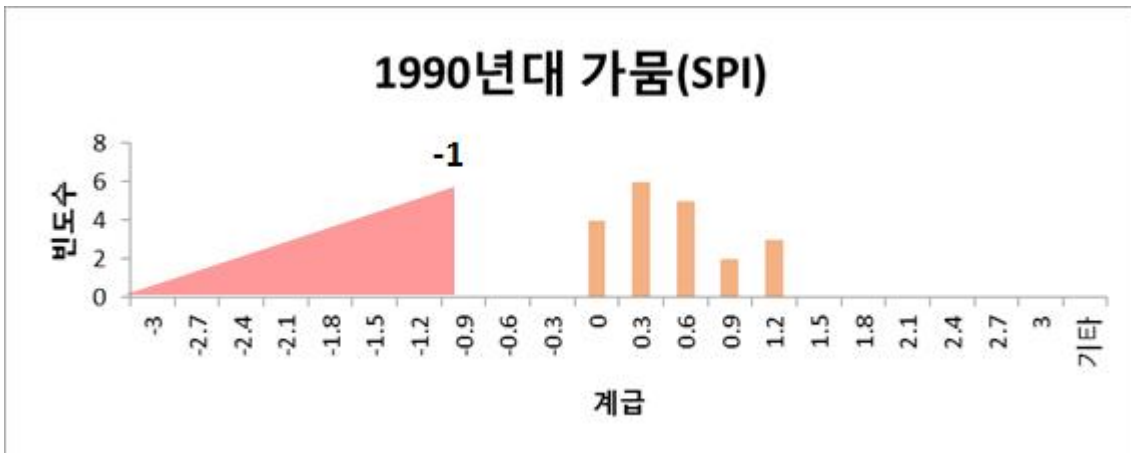


그림 35 1990년대 중부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 36 2000년대 중부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 37 2000년대 중부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

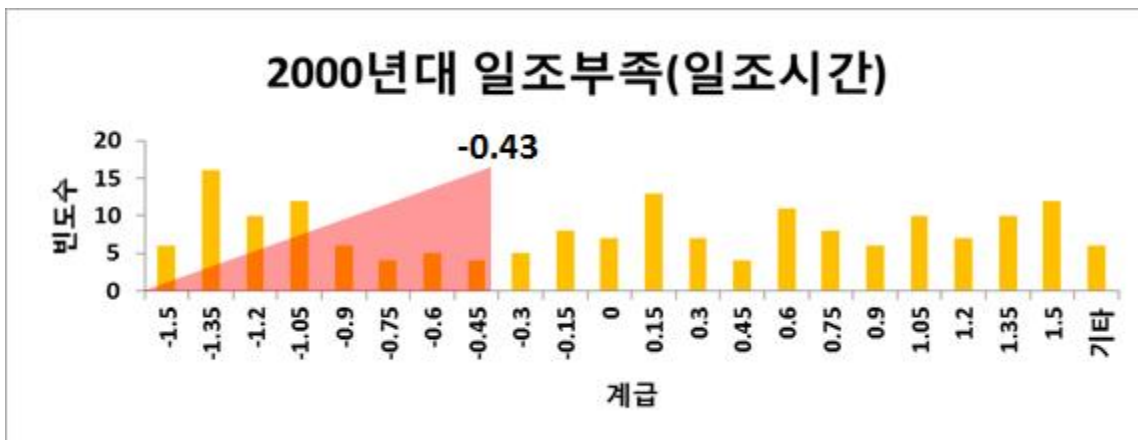


그림 38 2000년대 중부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.



그림 39 2000년대 중부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

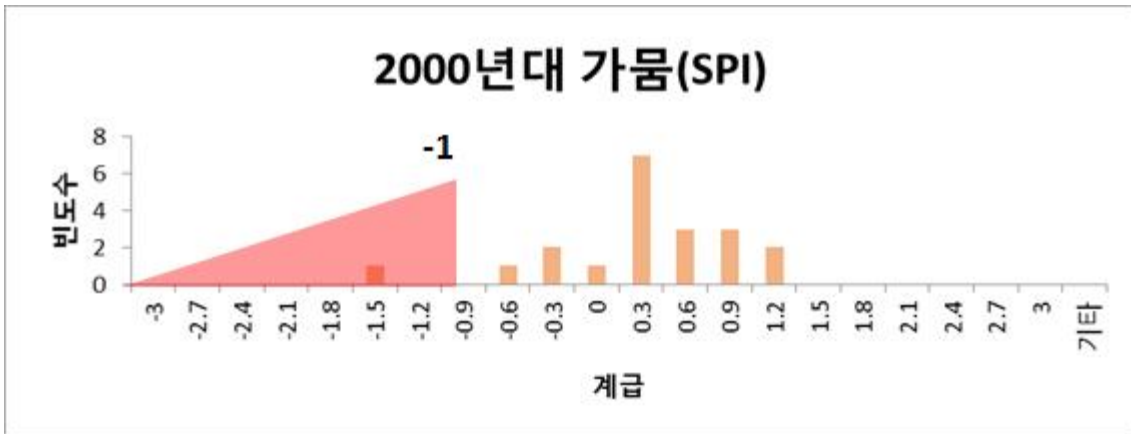


그림 40 2000년대 중부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 41 1970년대 남부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 42 1970년대 남부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

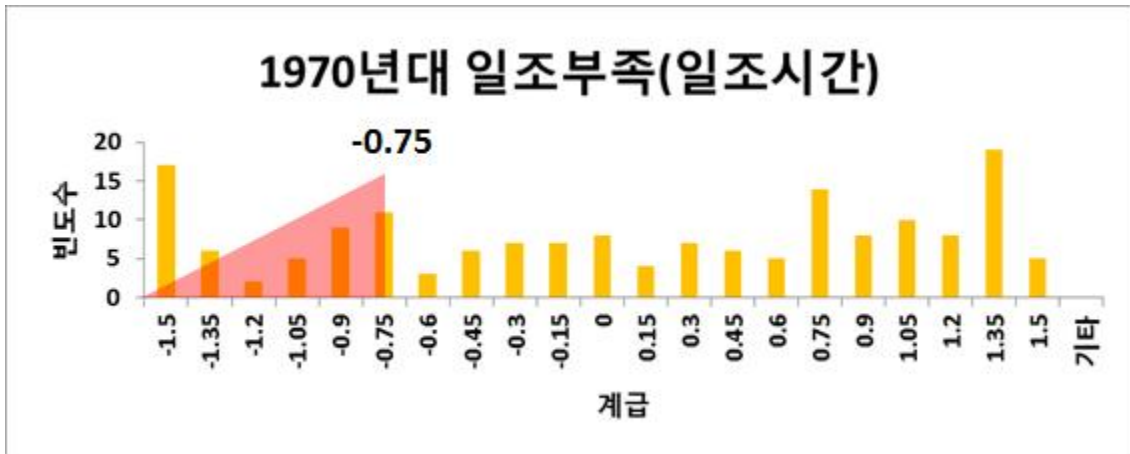


그림 43 1970년대 남부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

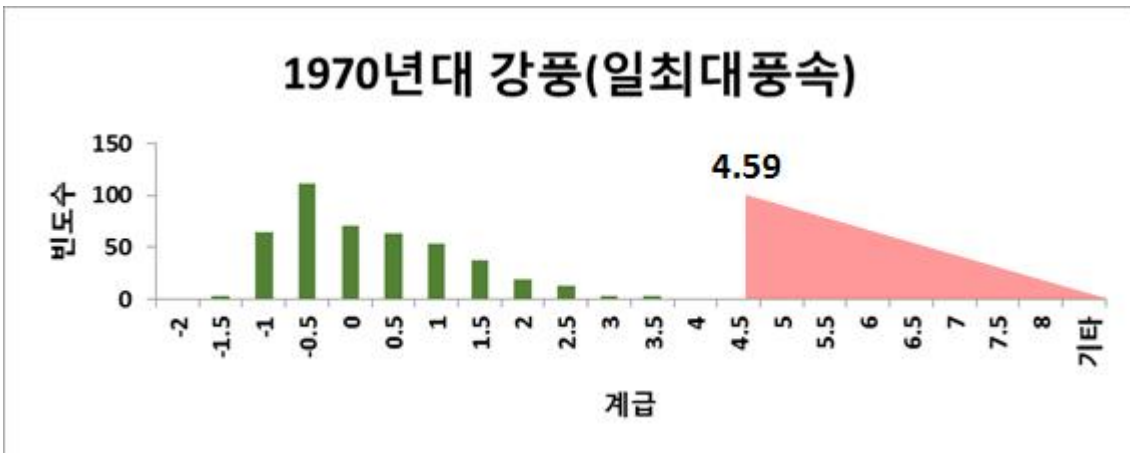


그림 44 1970년대 남부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

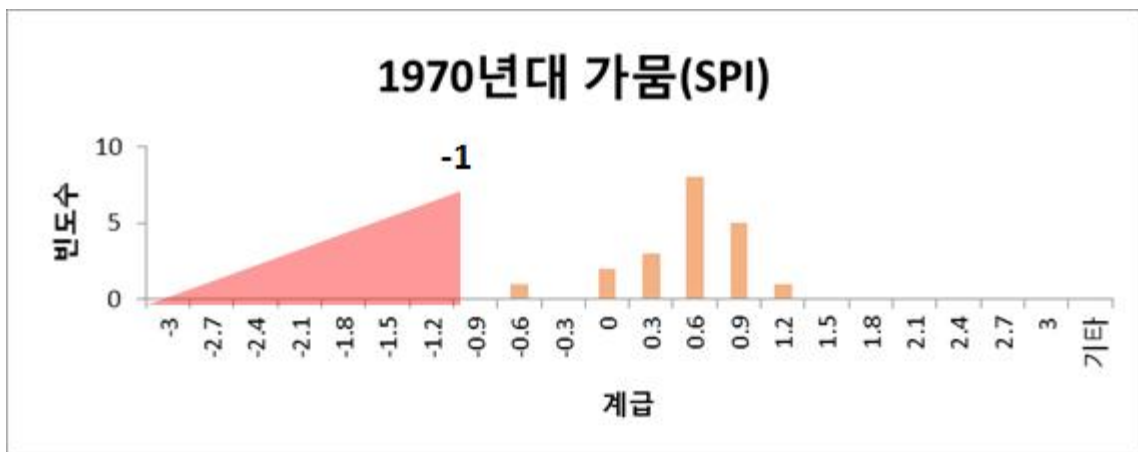


그림 45 1970년대 남부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 46 1980년대 남부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 47 1980년대 남부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

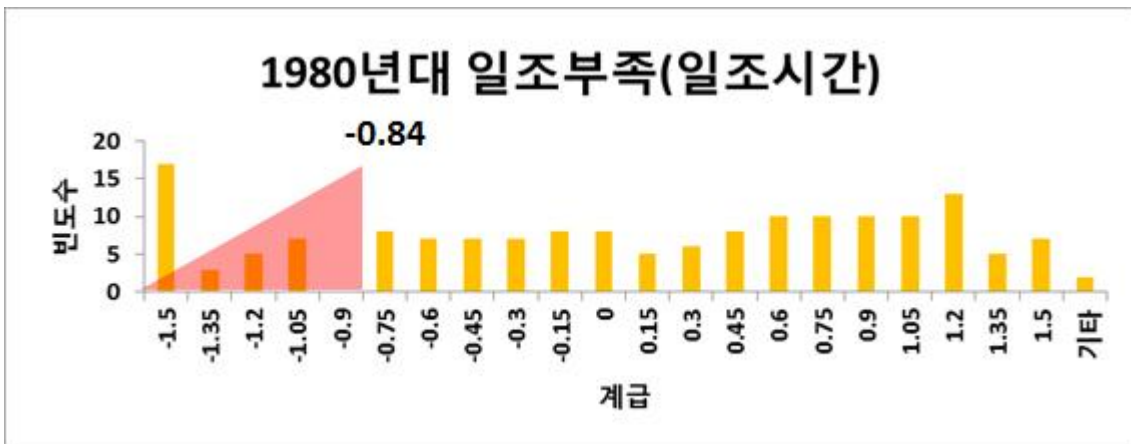


그림 48 1980년대 남부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.



그림 49 1980년대 남부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

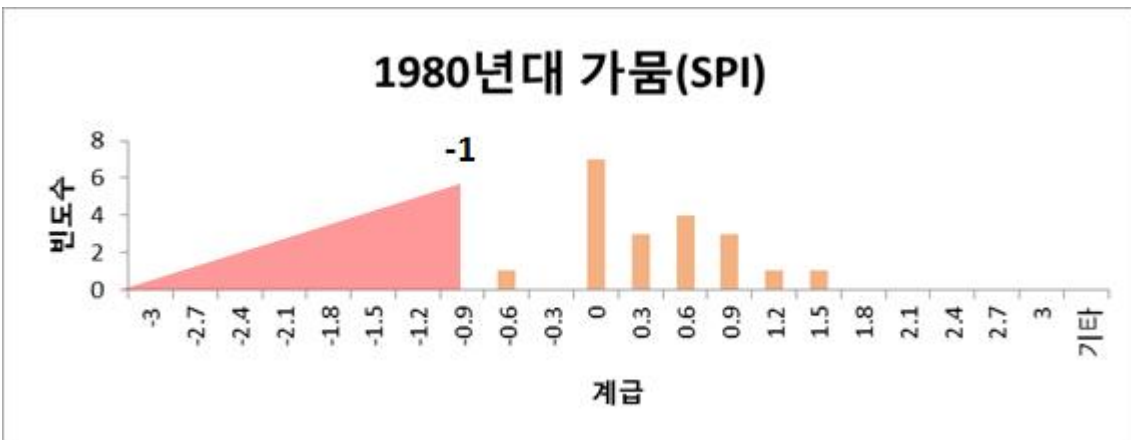


그림 50 1980년대 남부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 51 1990년대 남부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 52 1990년대 남부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

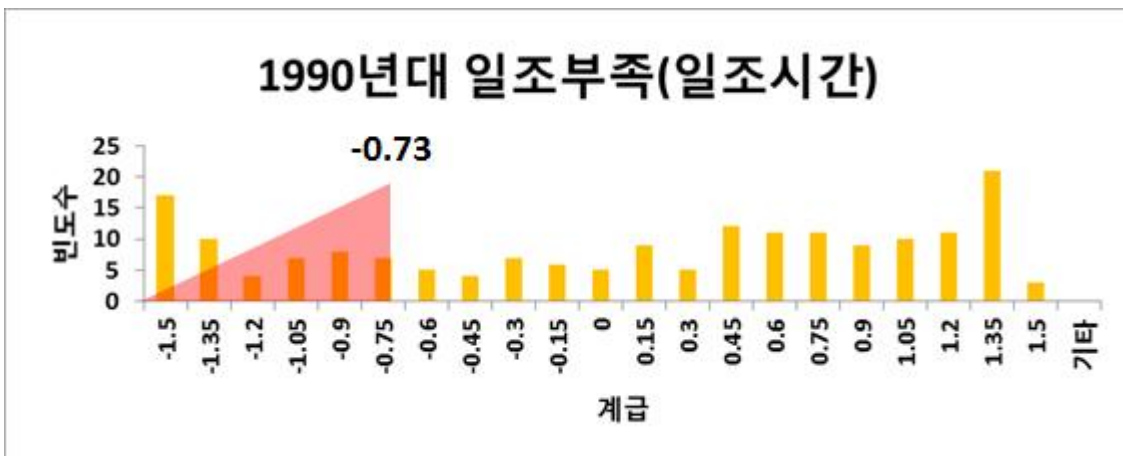


그림 53 1990년대 남부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

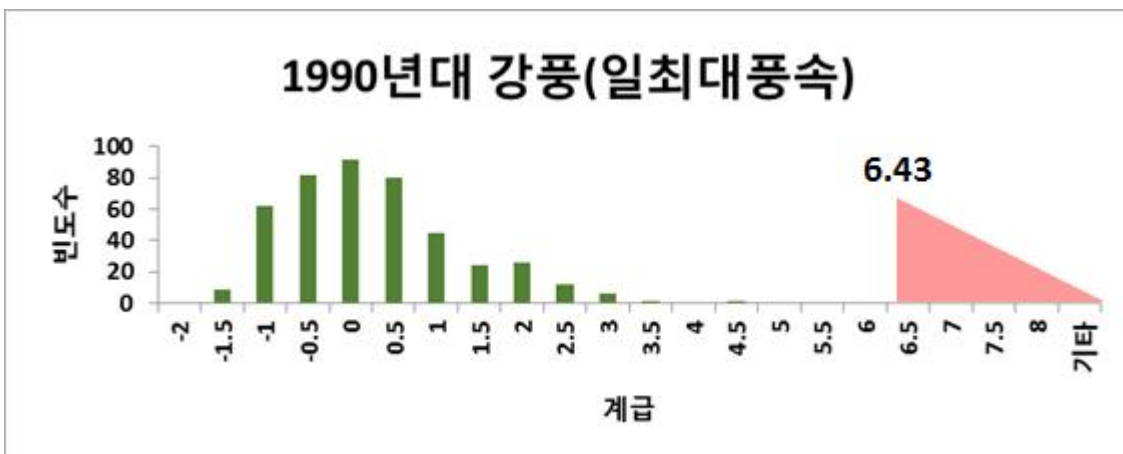


그림 54 1990년대 남부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

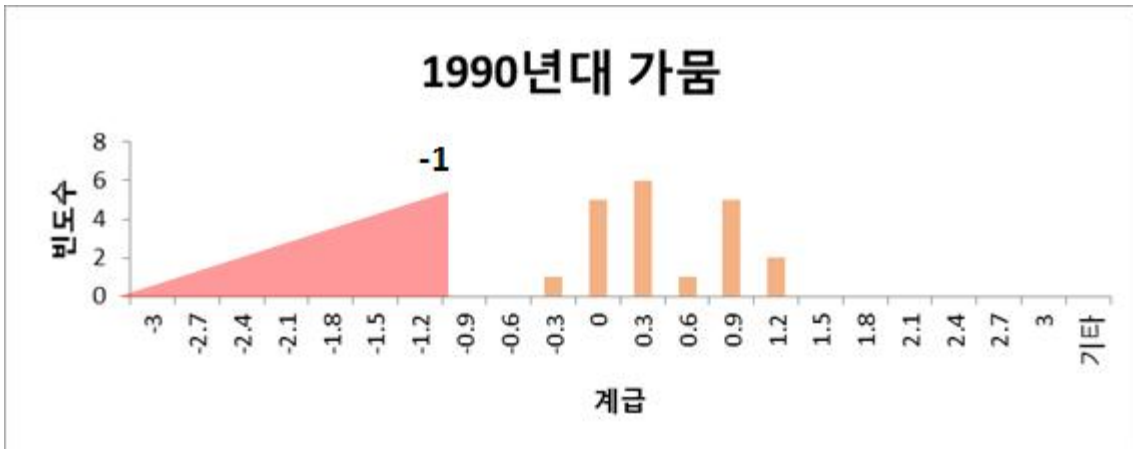


그림 55 1990년대 남부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 56 2000년대 남부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 57 2000년대 남부지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

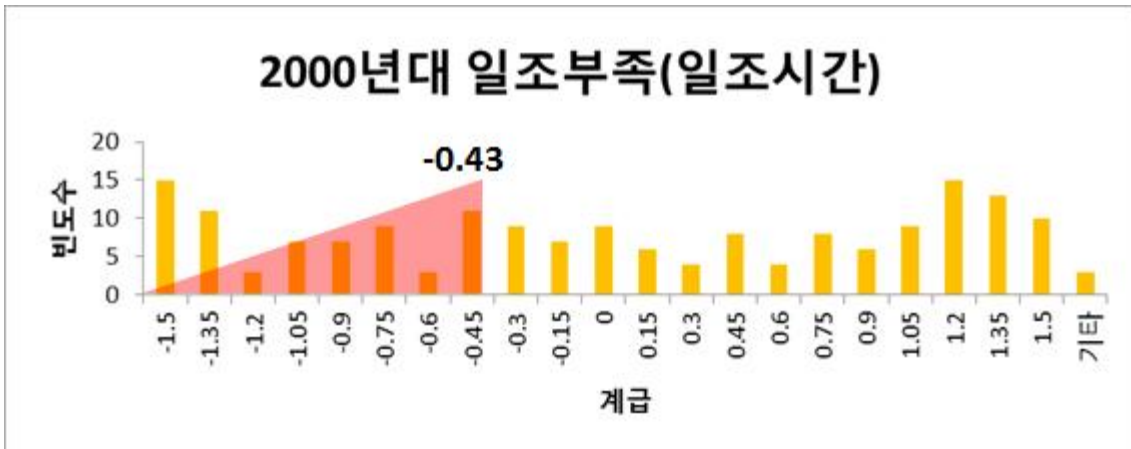


그림 58 2000년대 남부지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

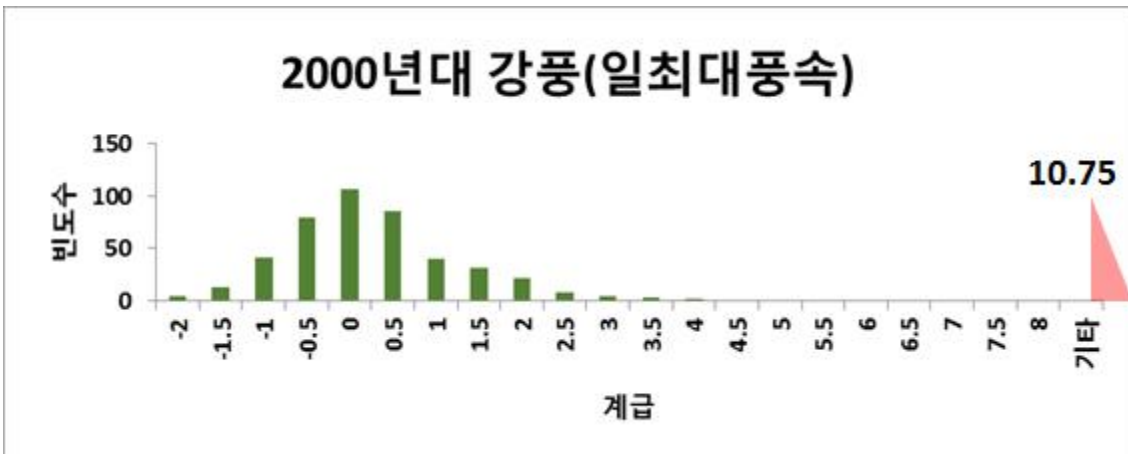


그림 59 2000년대 남부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

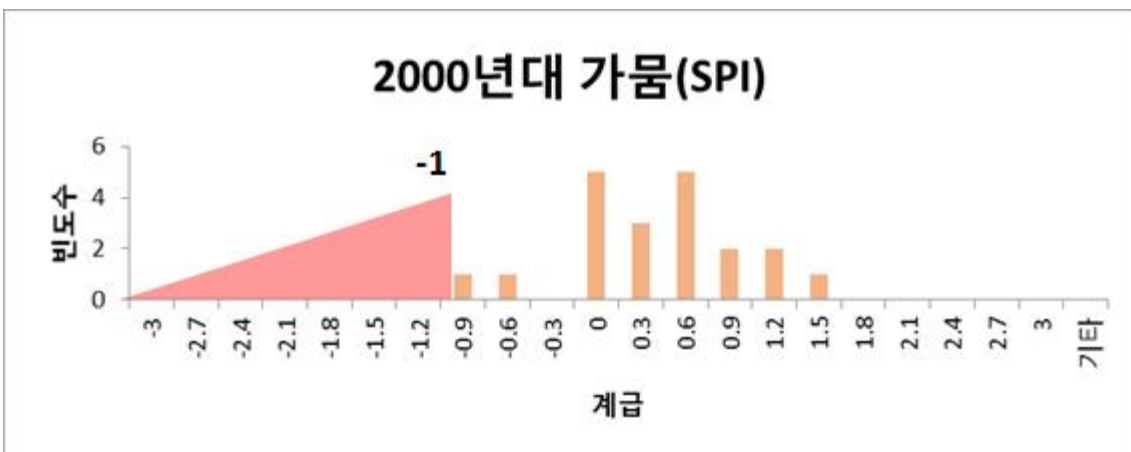


그림 60 2000년대 남부지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 61 1970년대 제주지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 62 1970년대 제주지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

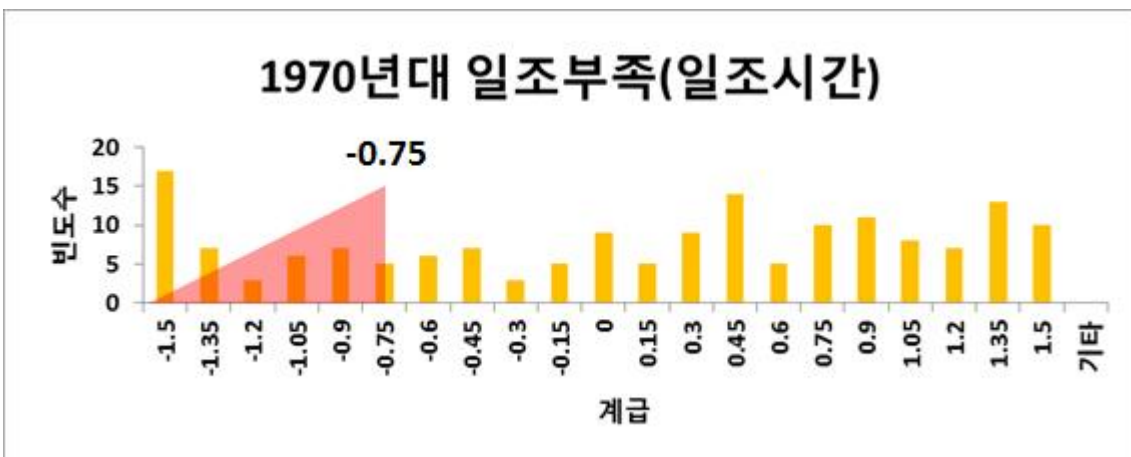


그림 63 1970년대 제주지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

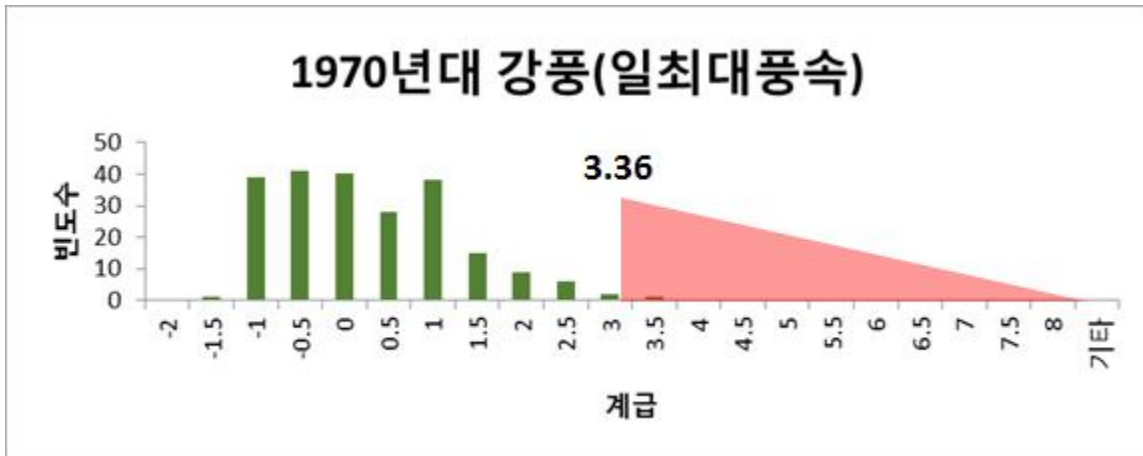


그림 64 1970년대 제주지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

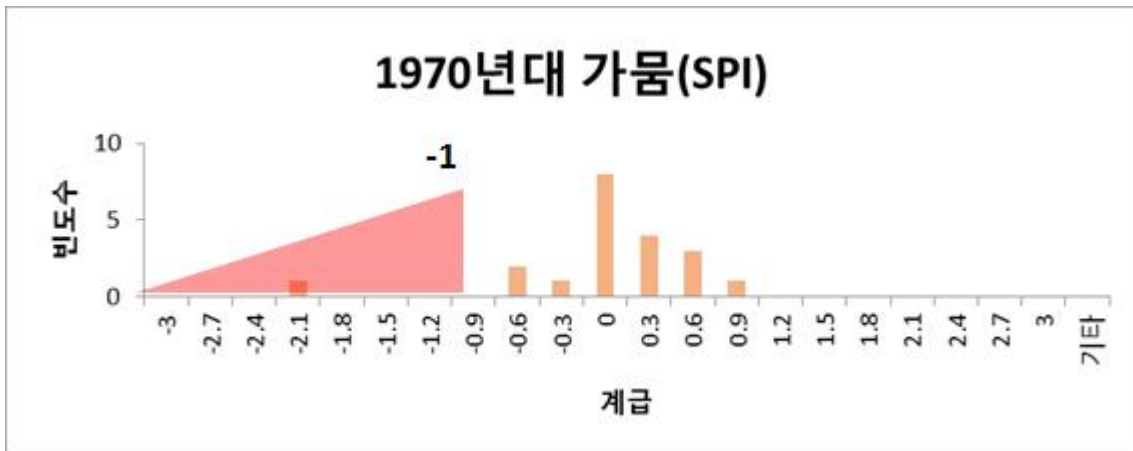


그림 65 1970년대 제주지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 66 1980년대 제주지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 67 1980년대 제주지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

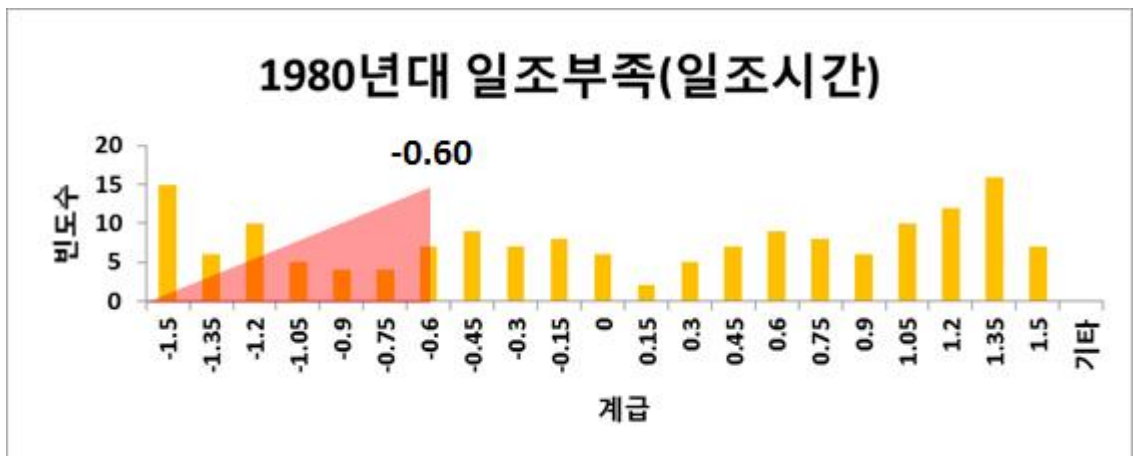


그림 68 1980년대 제주지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.

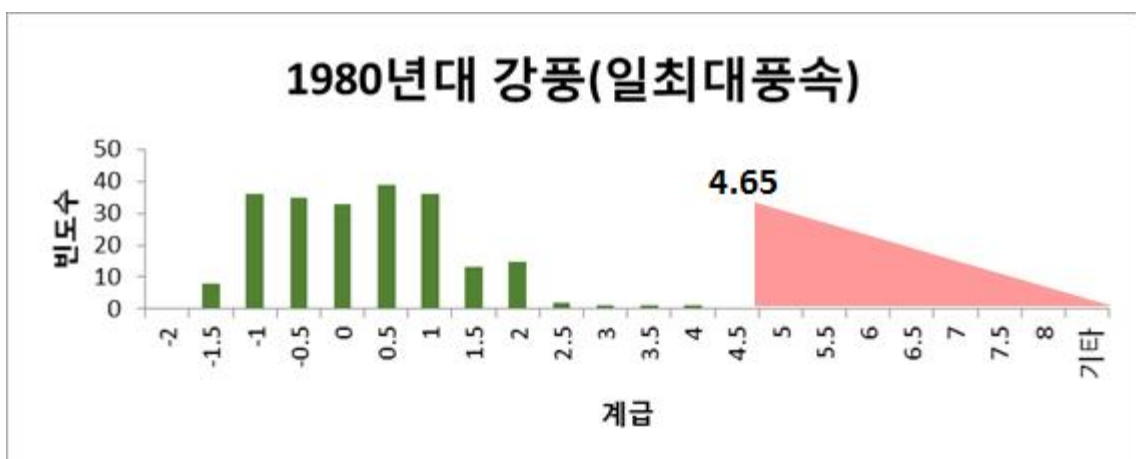


그림 69 1980년대 제주지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

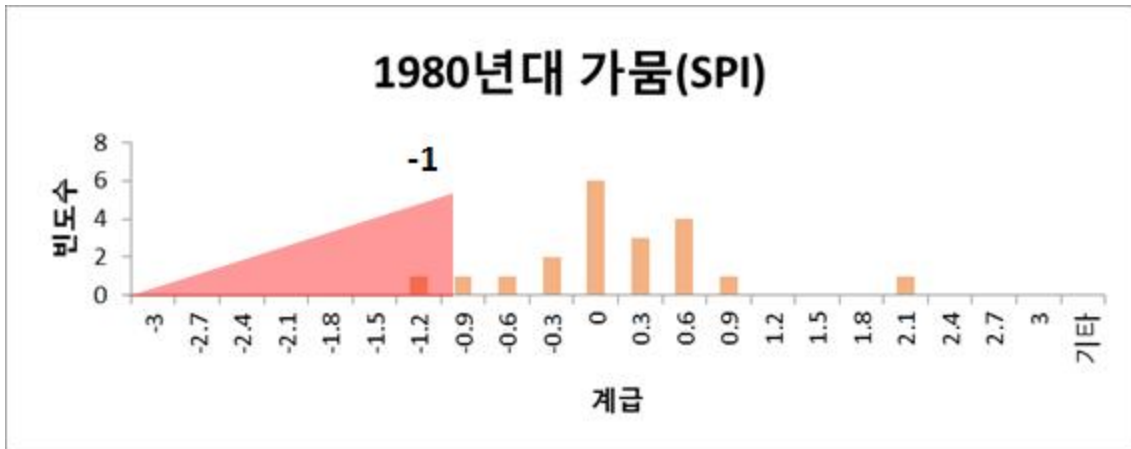


그림 70 168 1980년대 제주지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.



그림 71 1990년대 제주지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 72 1990년대 제주지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

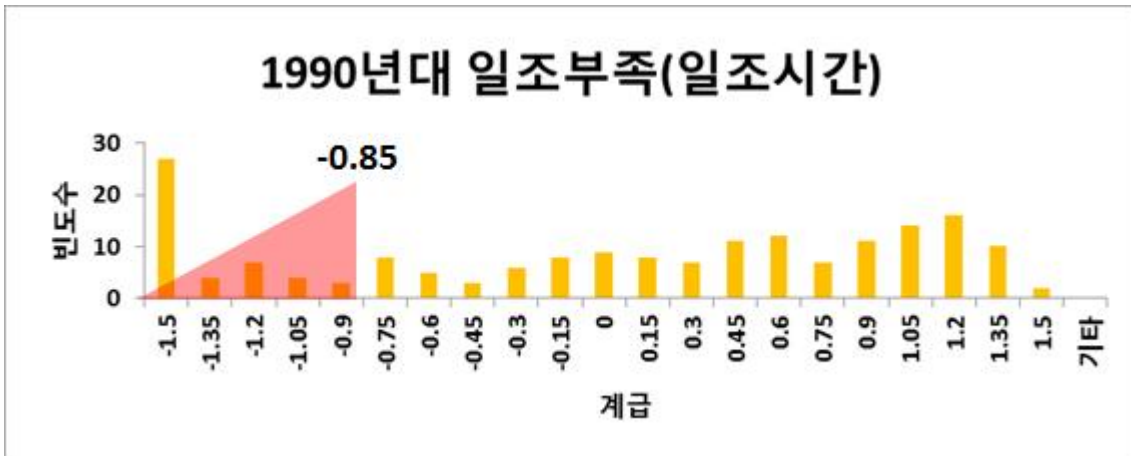


그림 73 1990년대 제주지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.



그림 74 1990년대 제주지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

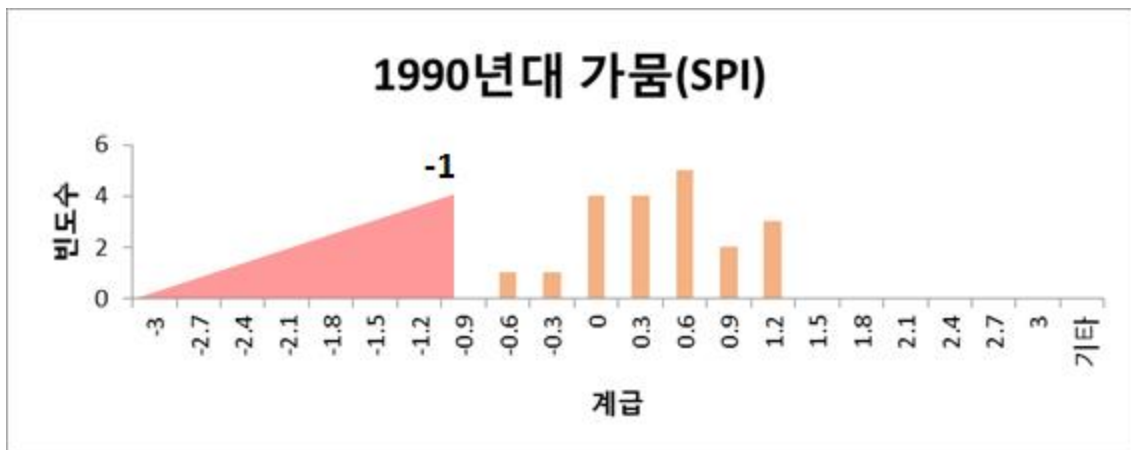


그림 75 1990년대 제주지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.

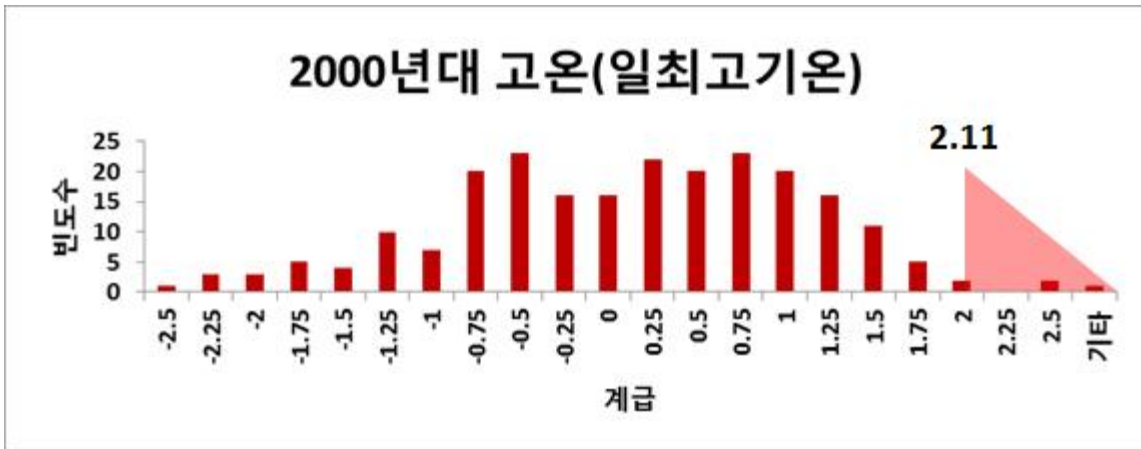


그림 76 2000년대 제주지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 77 2000년대 제주지방 일평균기온 표준화 값 분포와 한계값.

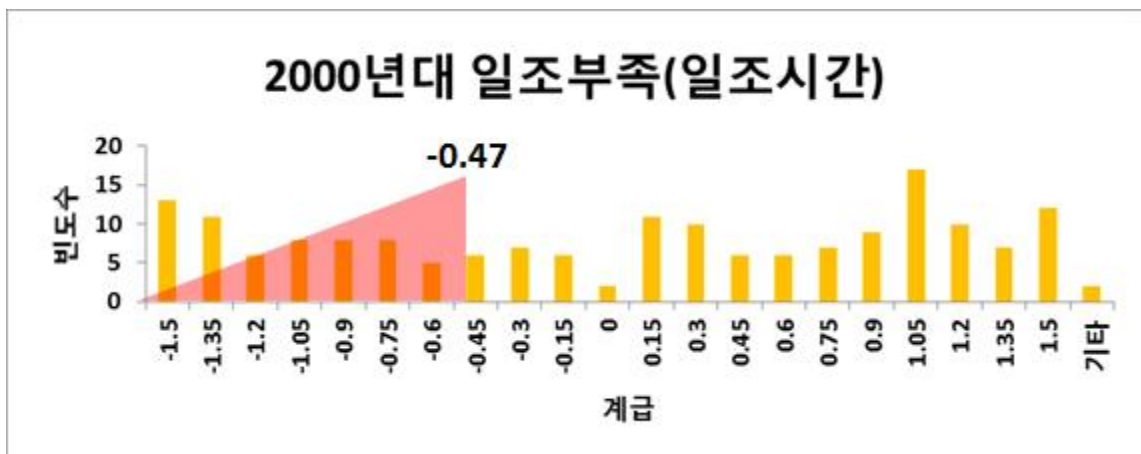


그림 78 2000년대 제주지방 일조시간 표준화 값 분포와 한계값.



그림 79 2000년대 제주지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

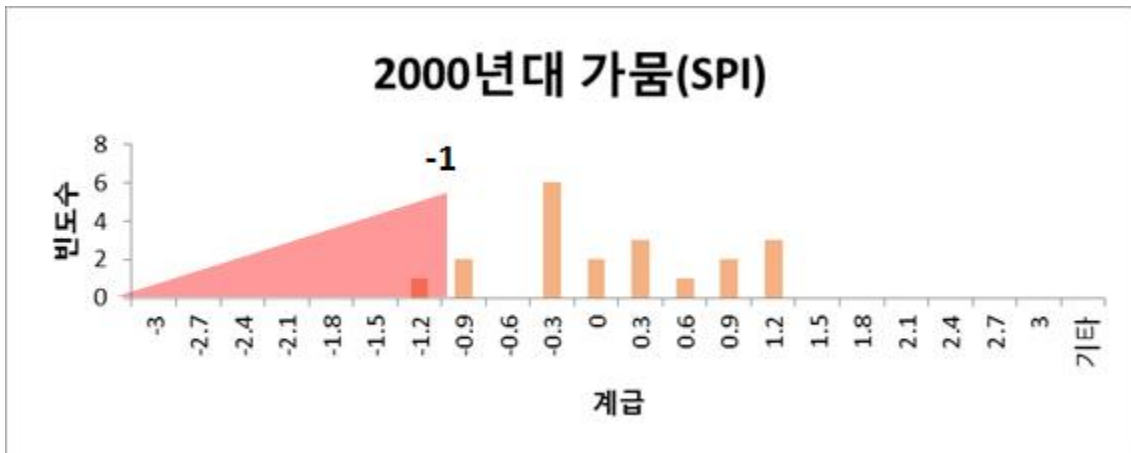


그림 80 2000년대 제주지방 SPI 표준화 값 분포와 한계값.

2. 사과



그림 1 1970년대 중북부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 2 1970년대 중북부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 3 1970년대 중북부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.

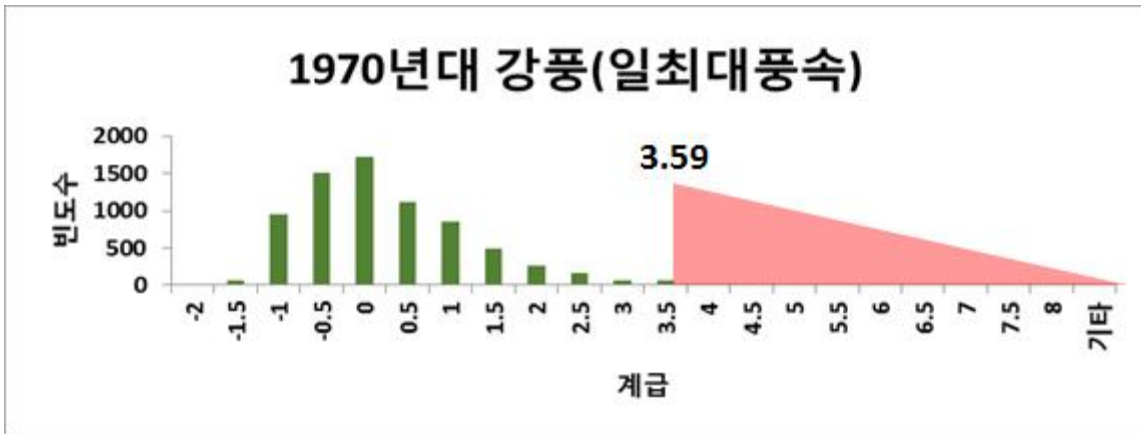


그림 4 1970년대 중북부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

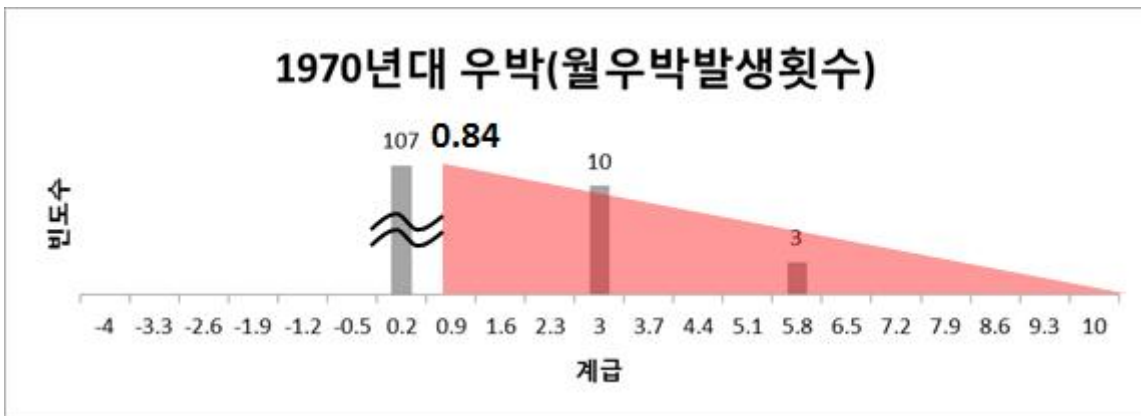


그림 5 1970년대 중북부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.



그림 6 1980년대 중북부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 7 1980년대 중북부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 8 1980년대 중북부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 9 1980년대 중북부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

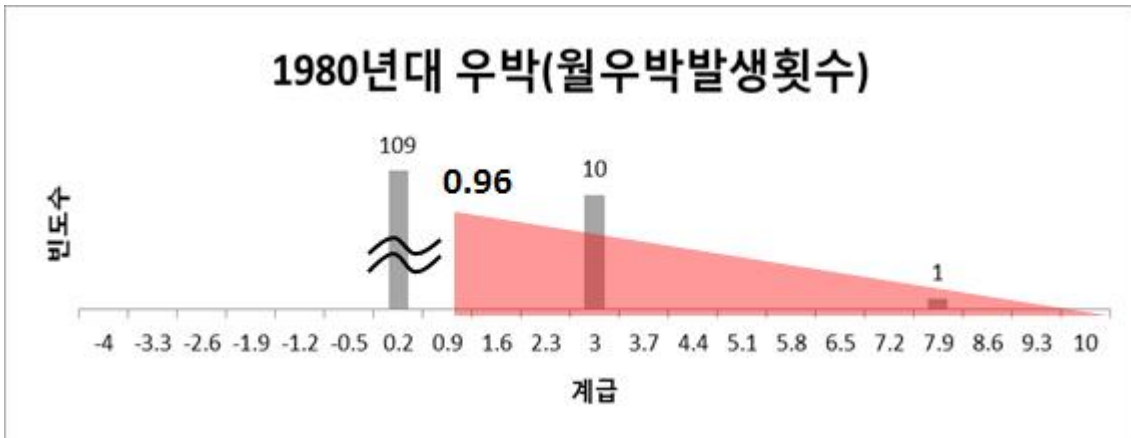


그림 10 1980년대 중북부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.



그림 11 1990년대 중북부지방 일최대기온 표준화 값 분포와 한계값.

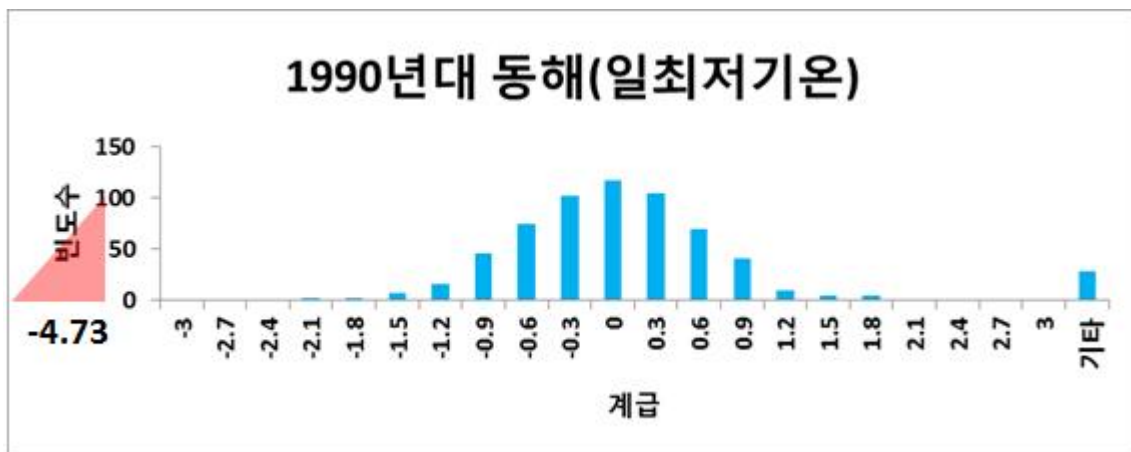


그림 12 1990년대 중북부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 13 1990년대 중북부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 14 1990년대 중북부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

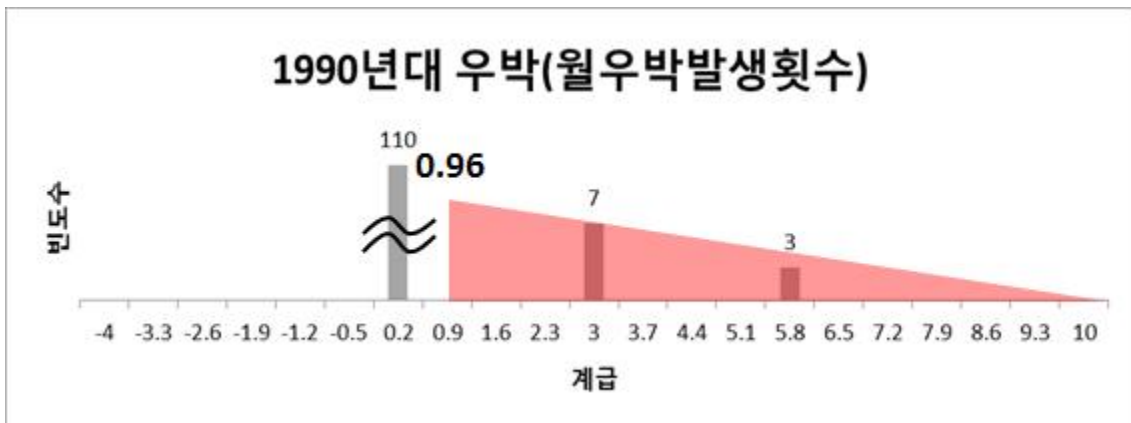


그림 15 1990년대 중북부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.

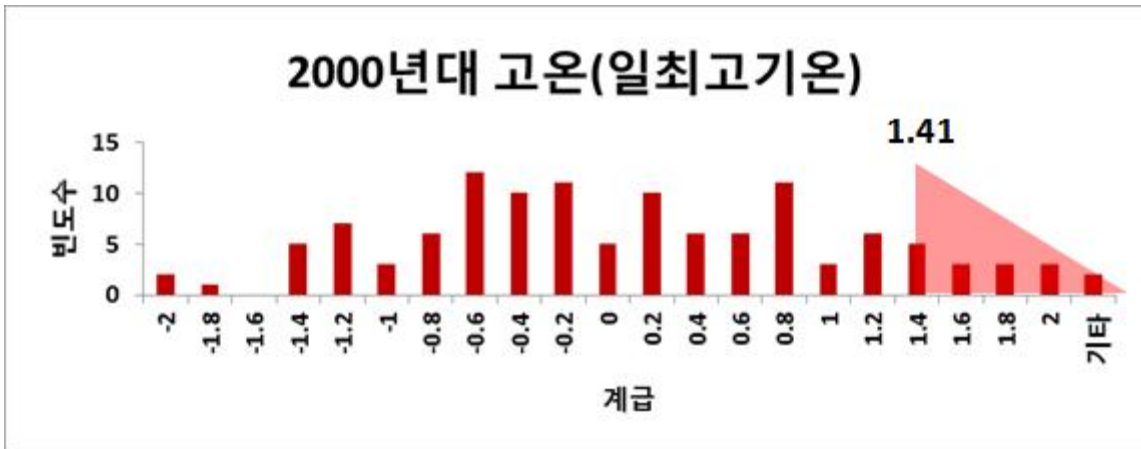


그림 16 2000년대 중북부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 17 2000년대 중북부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 18 2000년대 중북부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.

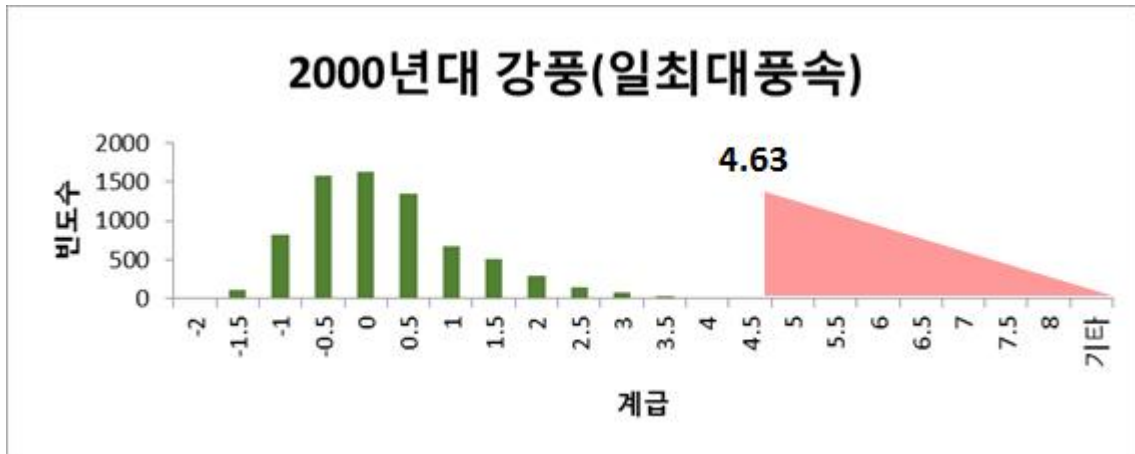


그림 19 2000년대 중북부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

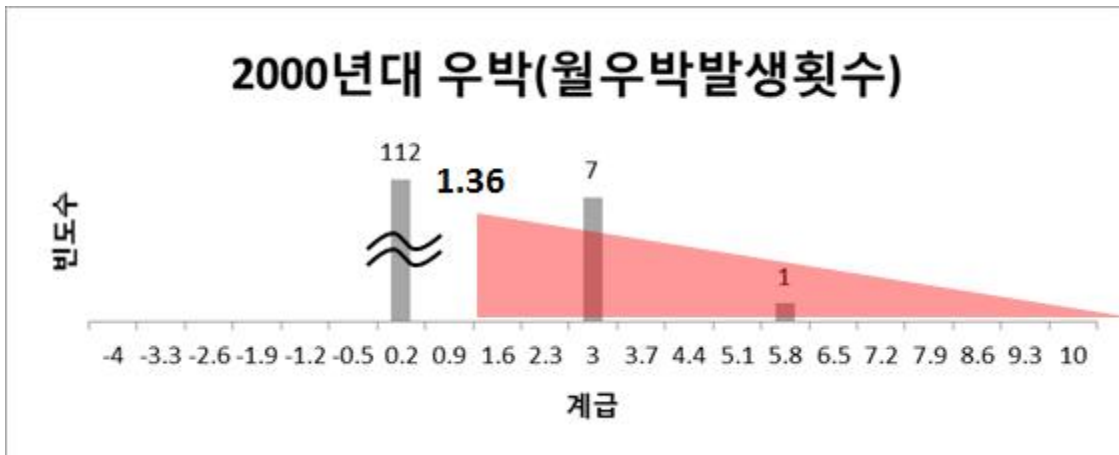


그림 20 2000년대 중북부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.

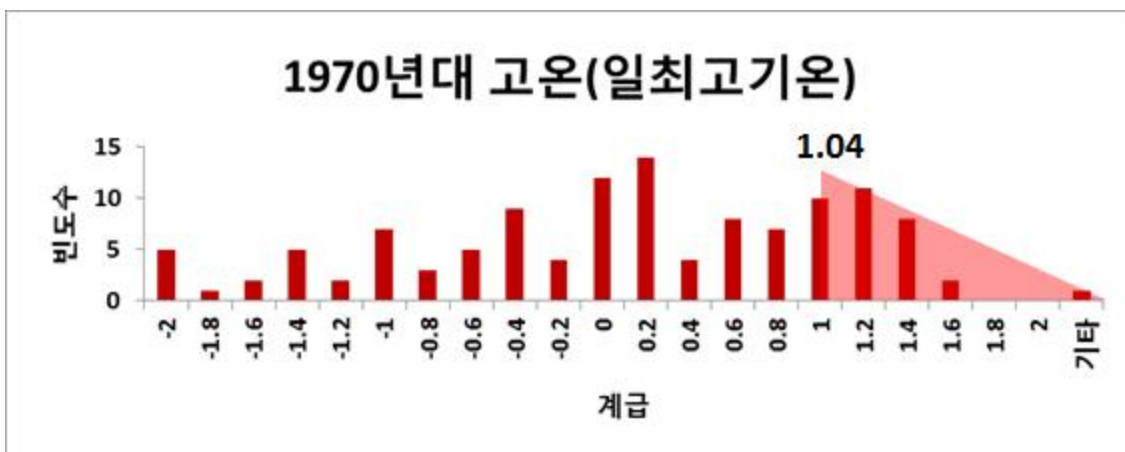


그림 21 1970년대 중부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 22 1970년대 중부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 23 1970년대 중부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 24 1970년대 중부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

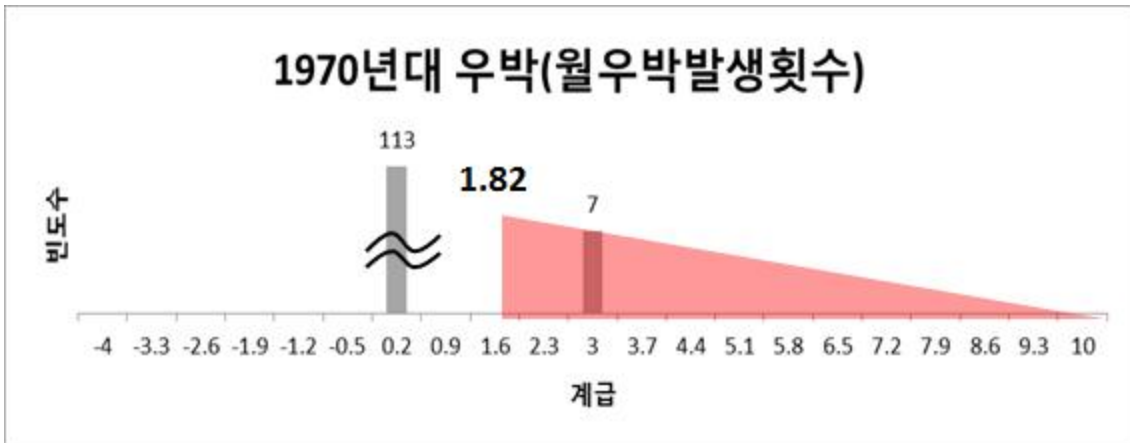


그림 25 1970년대 중부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.



그림 26 1980년대 중부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 27 1980년대 중부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 28 1980년대 중부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 29 1980년대 중부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

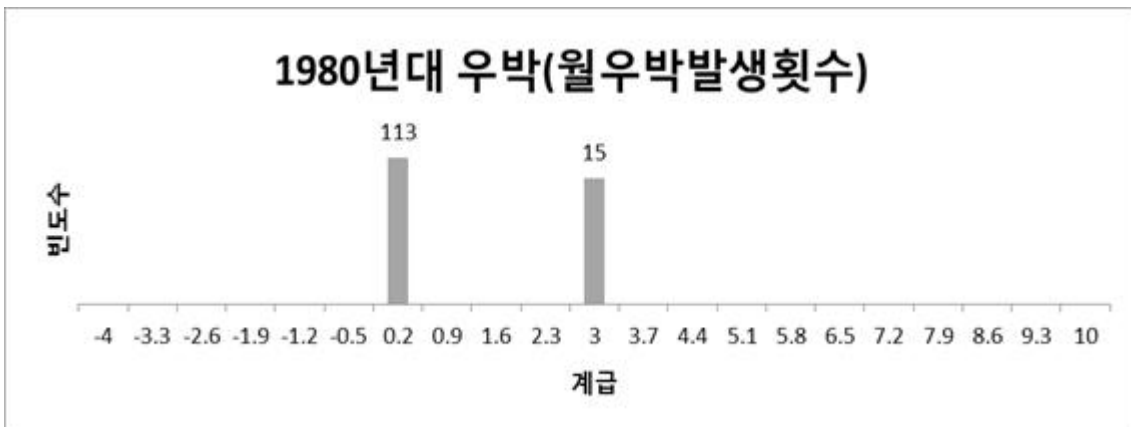


그림 30 1980년대 중부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.

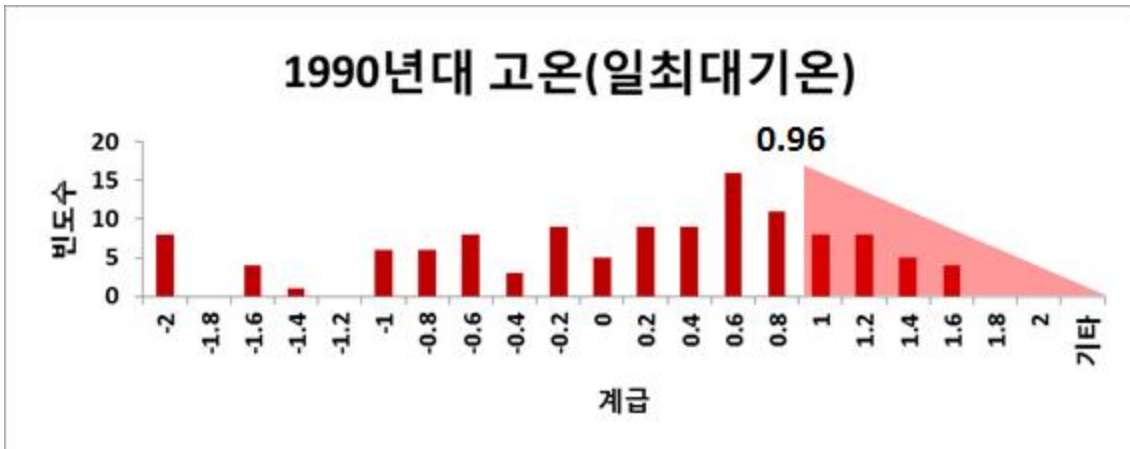


그림 31 1990년대 중부지방 일최대기온 표준화 값 분포와 한계값.

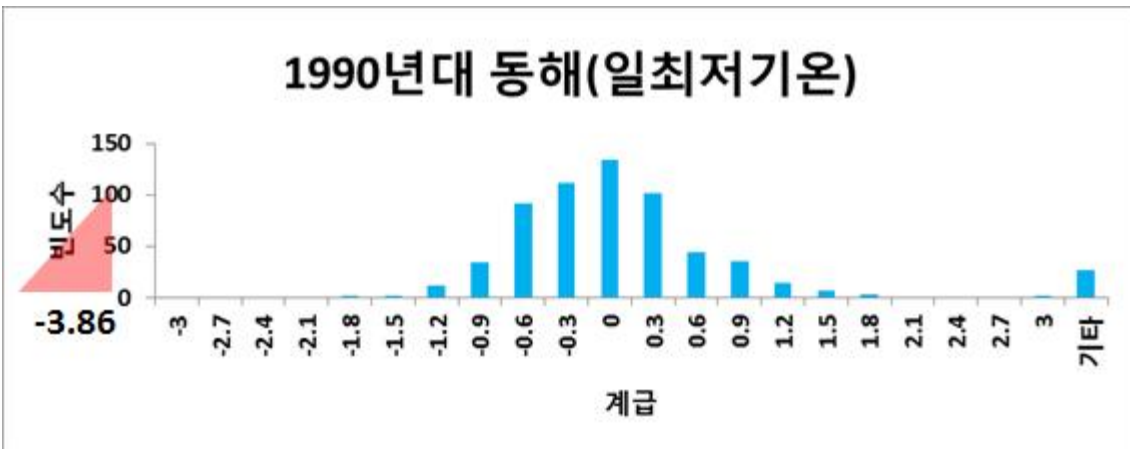


그림 32 1990년대 중부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 33 1990년대 중부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.

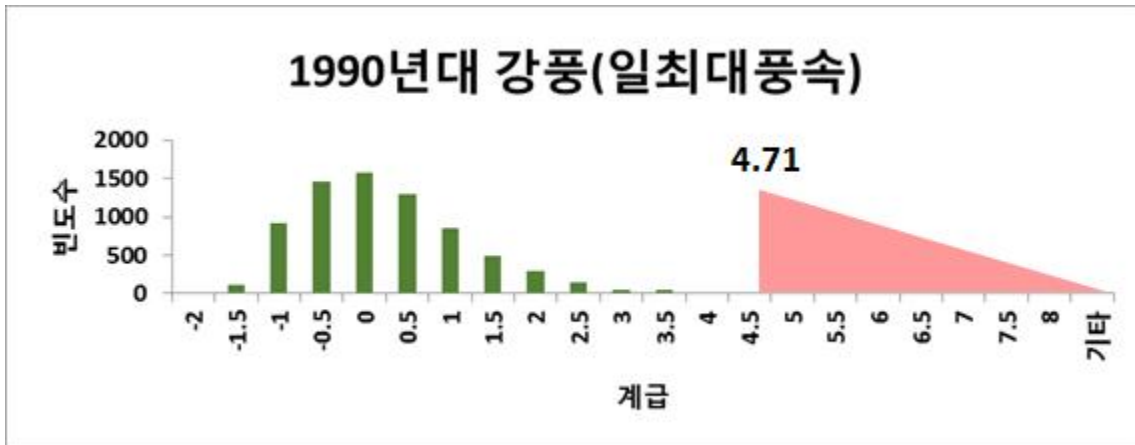


그림 34 1990년대 중부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

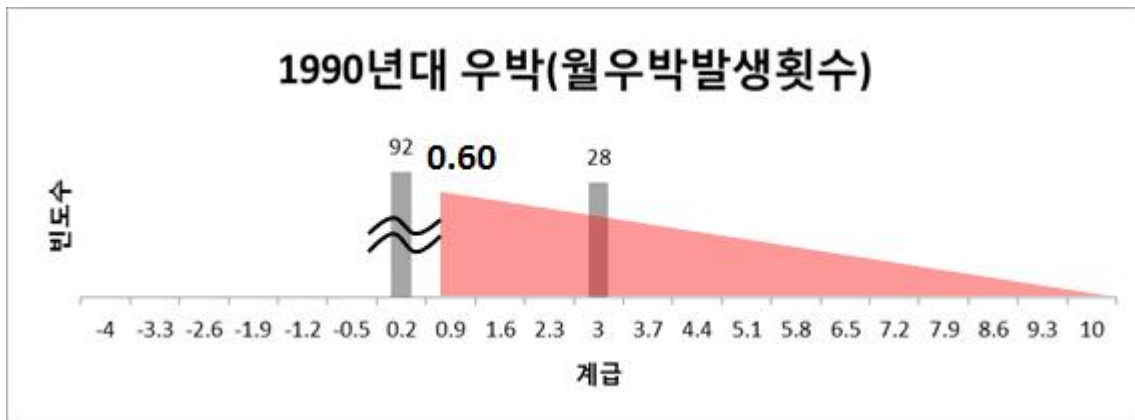


그림 35 1990년대 중부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.



그림 36 2000년대 중부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 37 2000년대 중부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.

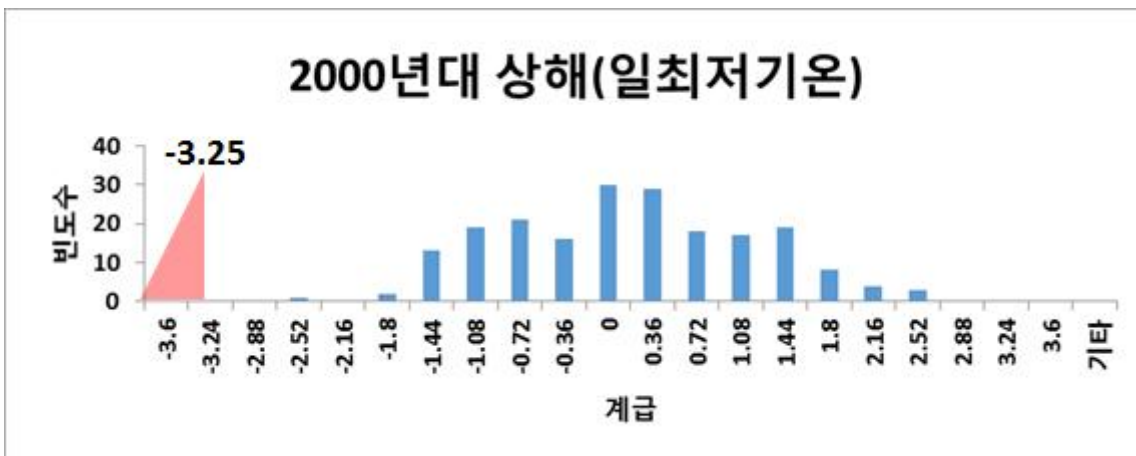


그림 38 2000년대 중부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 39 2000년대 중부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

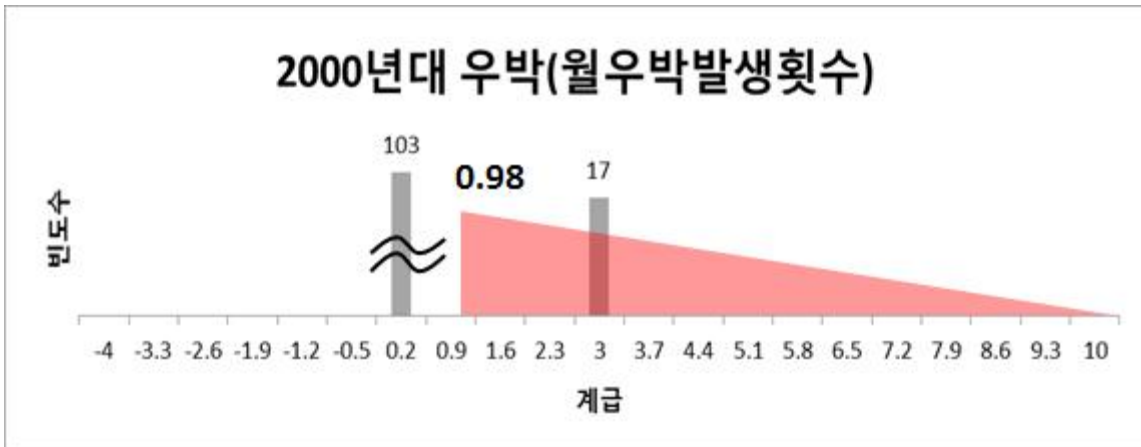


그림 40 2000년대 중부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.



그림 41 1970년대 남부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 42 1970년대 남부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 43 1970년대 남부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 44 1970년대 남부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

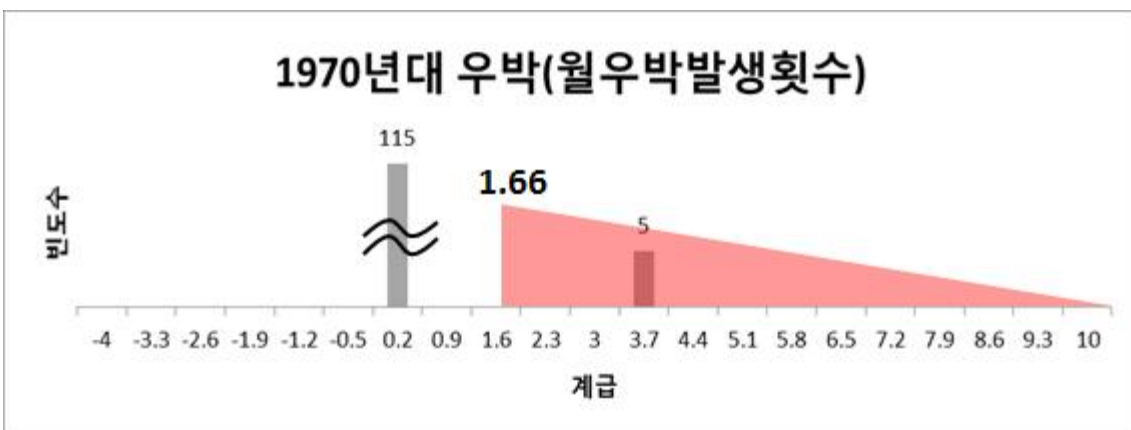


그림 45 1970년대 남부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.

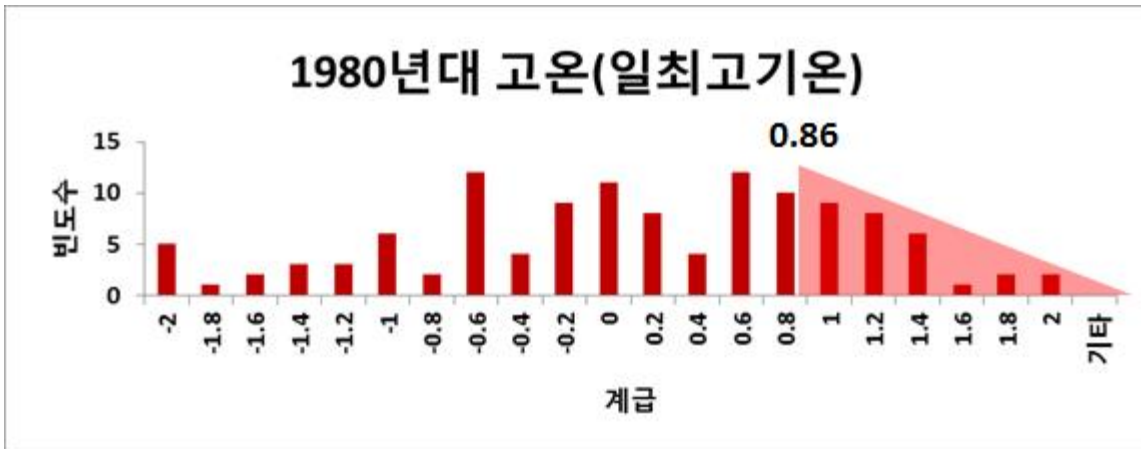


그림 46 1980년대 남부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 47 1980년대 남부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 48 1980년대 남부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 49 1980년대 남부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

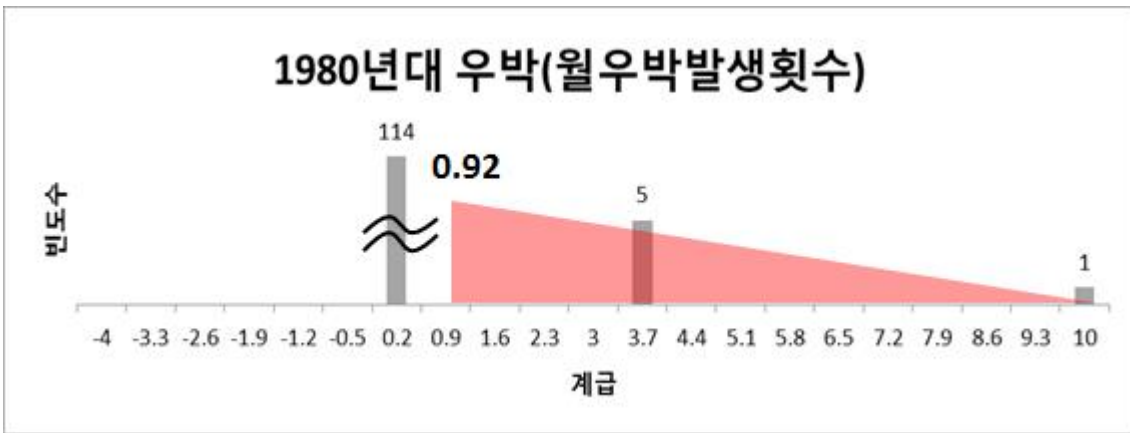


그림 50 1980년대 남부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.

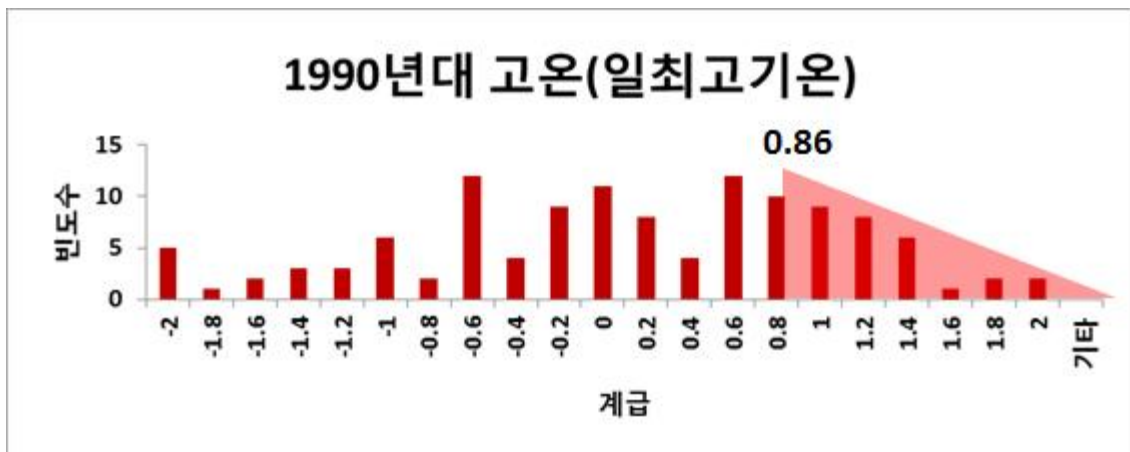


그림 51 1990년대 남부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 52 1990년대 남부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 53 1990년대 남부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 54 1990년대 남부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

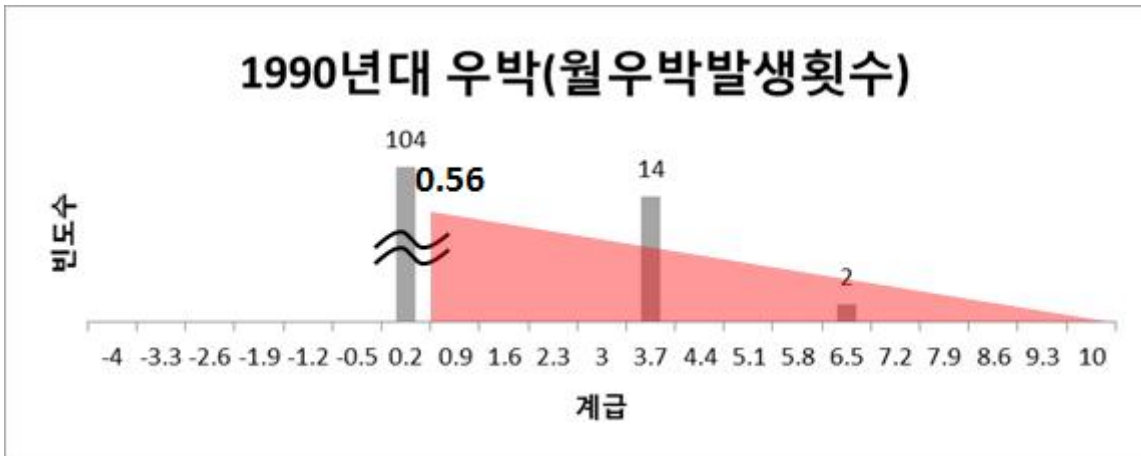


그림 55 1990년대 남부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.



그림 56 2000년대 남부지방 일최고기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 57 2000년대 남부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 58 2000년대 남부지방 일최저기온 표준화 값 분포와 한계값.



그림 59 2000년대 남부지방 일최대풍속 표준화 값 분포와 한계값.

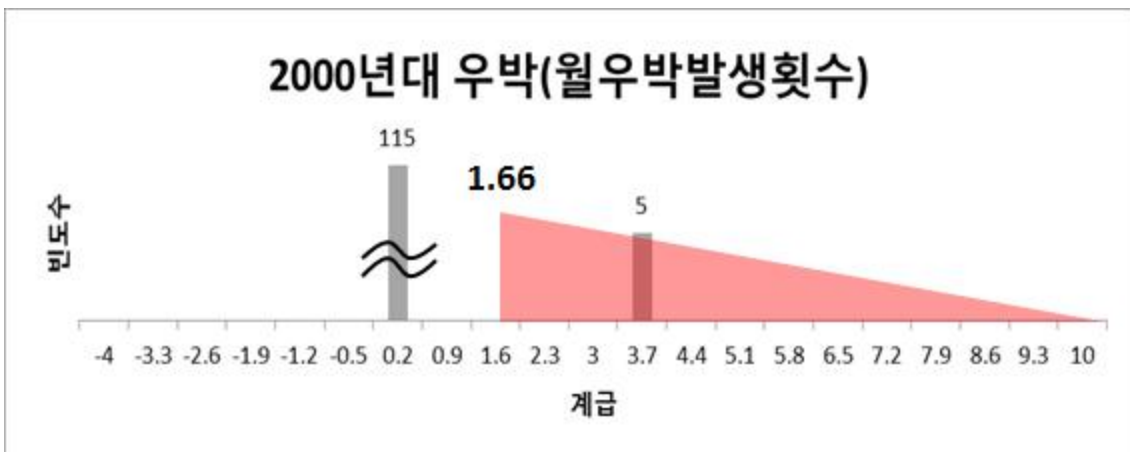


그림 60 2000년대 남부지방 월우박발생횟수 표준화 값 분포와 한계값.

[부록 2]

기타 작물에 대한 기상·기후 피해기준 및 피해 양상

표 1 식량 작물에 대한 기상 및 기후 피해 기준 및 피해 양상

(농촌진흥청 국립식량과학원)

| | 기상재해 유형 | 기준 | 작물 영향 | 작물 피해양상 |
|----|---------|--|--------------------------------|--------------|
| 벼 | 고온 | 개화시간 중 35℃ 이상 | 꽃가루 수정능력 상실 | 불임유발 |
| | 냉해 | 7-8월 일평균기온 17℃ 이하 | 출수기 지연, 꽃가루 퇴화 | 출수기 지연, 불임유발 |
| | 가뭄 | 이앙기 용수 부족 | 이앙불가 | 이앙기 지연 |
| | 일조부족 | 등숙기 일평균일조 4.6 시간 이하 | 광합성 저하, 등숙률 낮아 | 등숙불량, 수발아 |
| | 침관수 | 침관수 3일 이상 | 호흡정지 | 수량감소, 고사 |
| | 태풍 | 출수전3일 ~ 출수후10일 일최대풍속이 17ms ² 이상 | 탈수에 의한 백수발생, 도복, 마찰에 의한 변색립 발생 | 불임유발, 쌀 품질저하 |
| 보리 | 동해 | 월동전,기 -12℃ ~ -17℃ | 세포내외 결빙 | 잎, 식물체 고사 |
| | 저온 | 유수형성기 -1℃ ~ -9℃ | 유수형성 저해 | 불임, 수량감소 |
| | 습해 | 토양수분 30% 이상 지속 | 발아능과 광합성 저해 | 수량감소 |
| | 한발 | 토양수분 12% 이하 30일 | 등숙저해 | 수량감소 |

표 2 과수에 대한 기상 및 기후 피해 기준 및 피해 양상

(농촌진흥청, 국립원예특작과학원)

| | 기상재해 유형 | 기준 | 작물 영향 | 작물 피해양상 |
|-----|---------|---|-----------------------------------|---|
| 사과 | 동해 | -30~-35℃ 이하 | 조직 동결, 조직 파괴, 삼투조절기능상실, 세포내 대사 불량 | 눈·가지 갈변, 수피(樹皮)가 갈라짐, 나무 고사, 부란병·동고병·나무줄벌 등 2차피해 |
| | 상해 | -1.7℃이하(만개기기준) *꽃눈의 생육정도에 따라 많은 차이가 있음 | 동해와 동일 | 눈(꽃)의 갈변:특히 암술의 씨방부위 갈변, 종자형성 불량, 기형과 발생 |
| | 우박 | - | 엽, 가지, 과실의 기계적 손상, 광합성 저해 | 엽·가지 찢어짐, 기형과 발생, 낙엽·낙과 → 심한 경우 다음해 생육 불량 초래 |
| | 태풍 | - | 엽, 가지, 과실의 기계적 손상, 광합성 저해 | 엽·가지 찢어짐, 엽 갈변 나무 도복(쓰러짐), 낙엽·낙과 → 심한 경우 가을 개화로 다음해 생육 불량 초래, 바다와 가까운 과수원 염분 피해 |
| | 일소 | 32℃이상일 때 많이 발생 | 고온에 의한 조직변성 광합성 저해, 호흡증가 | 과피·엽의 일부분이 흰색 또는 옅은 노란색으로 변함 → 진전되면 갈색, 흑변 탄저병 등 2차피해 발생 |
| 배 | 동해 | -30~-35℃ 이하 | 사과와 동일 | 사과와 동일 |
| | 상해 | 사과와 동일 | 사과 동해와 동일 | 사과와 동일 |
| | 우박 | 사과와 동일 | 사과 동해와 동일 | 사과와 동일 |
| | 태풍 | 사과와 동일 | 사과 동해와 동일 | 사과와 동일 |
| | 일소 | - | 사과와 동일 | 사과와 동일 |
| 포도 | 동해 | -20~-25℃ 이하 | 사과와 동일 | 사과와 동일 |
| | 우박 | 사과와 동일 | 사과 동해와 동일 | 사과와 동일 |
| | 태풍 | 사과와 동일 | 사과 동해와 동일 | 사과와 동일 |
| | 일소 | - | 사과와 동일 | 사과와 동일, 과립의 연화, 갈변, 낙과 |
| 복숭아 | 동해 | -15~-20℃ 이하 | 사과와 동일 | 사과와 동일 |
| | 상해 | * 사과나 배와 유사할 것으로 추정됨 | 사과 동해와 동일 | 사과와 동일 |
| | 우박 | 사과와 동일 | 사과 동해와 동일 | 사과와 동일 |
| | 태풍 | 사과와 동일 | 사과 동해와 동일 | 사과와 동일 |
| | 일소 | - | 사과와 동일 | 사과와 동일, 줄기의 균열 및 형성층 고사 |

표 3 채소에 대한 기상 및 기후 피해 기준 및 피해 양상

(농촌진흥청, 국립원예특작과학원)

| | 기상재해 유형 | 기준 | 작물 영향 | 작물 피해양상 |
|----|---------|-----------------------|-----------------|----------------|
| 배추 | 혹서 | 일 최고기온이 35℃ 이상 | 광합성 저하 | 잎 마름, 결구력 저하 |
| | 가뭄 | SPI(표준강수지수) 값이 -1.0이하 | 양수분 흡수 저하 | 잎 무름, 결구력 저하 |
| | 일조부족 | 일조부족 3~4일간 지속시 | 광합성 저하, 생육지연 | 결구력 저하 |
| | 동해 | 일최저기온이 -8℃ 이하 | 생육정지 | 고사, 세포조직 붕괴 |
| | 다우 | 침수 5시간 이상 | 뿌리활력 저하 | 조직부패, 시듦 및 고사 |
| | 강풍 | 일최대풍속이 25m/s 이상 | 잎등 지상부 물리적상처 | 찢어짐, 부러짐 |
| 무 | 혹서 | 일 최고기온이 35℃ 이상 | 광합성 저하 | 잎 마름, 뿌리비대저하 |
| | 가뭄 | SPI(표준강수지수) 값이 -1.0이하 | 뿌리발육 저하 | 잎 마름, 뿌리품질저하 |
| | 일조부족 | 일조부족 3~4일간 지속시 | 광합성 저해, 뿌리발육지연 | 뿌리비대저하 |
| | 동해 | 일최저기온이 -3℃ 이하 | 생육정지 | 세포조직붕괴 |
| | 다우 | 침수 4시간 이상 | 뿌리활력 저하 | 뿌리부패, 시듦 및 고사 |
| | 강풍 | 일최대풍속이 25m/s 이상 | 잎등 지상부 물리적상처 | 꺼짐, 부러짐 |
| 고추 | 혹서 | 일 최고기온이 40℃ 이상 | 광합성저해, 착과력저하 | 낙화, 낙과 |
| | 가뭄 | SPI(표준강수지수) 값이 -1.6이하 | 생육지연, 광합성저하 | 수확량감소 |
| | 일조부족 | 일조부족 5일간 지속시 | 광합성 저해, 도장 | 낙화, 낙과, 수확량 감소 |
| | 저온 | 일최저기온이 10℃ 이하 | 생육지연, 기형과발생 | 수확량감소, 색소발현 미흡 |
| | 다우 | 침수 4시간 이상 | 뿌리활력 저하, 병발생 | 시듦 및 고사, 병발생 |
| | 강풍 | 일최대풍속이 15m/s 이상 | 광합성 저하, 도복 | 낙엽, 낙과, 줄기 부러짐 |
| 양파 | 혹서 | 일 최고기온이 35℃ 이상 | 광합성 저해, 지상부 시들음 | 잎 마름, 구비대 저해 |
| | 가뭄 | SPI(표준강수지수) 값이 -1.0이하 | 생육지연, 광합성저하 | 수확량감소 |
| | 일조부족 | 일조부족 10일간 지속시 | 광합성 저해, 생육불량 | 비대지연 |
| | 동해 | 일최저기온이 -9℃ 이하 | 생육 정지 | 조직붕괴, 고사 |
| | 다우 | 침수 5시간 이상 | 뿌리활력 저하, 병발생 | 조직부패, 시듦 및 고사 |

[부록 3]

참 고 문 헌

- 강정훈. 2011. 기후변화협약체제 대응을 위한 기후관련 지원우선지수 개발 연구. 국립환경과학원, 환경부. 2010. 한국기후변화평가보고서.
- 권원태. 2012. 기후변화 시나리오와 농업적 활용. 농업전망 2012 제31장.
- 권의석, 김익제, 이기열. 2012. 이상기상에 대응한 복숭아 수분수 선발. 원예과학기술지 제30권 별호2 pp.101-101.
- 기상청. 1991. <<한국기후표 제I권>>, 632pp.
- 기상청. 2008. 기후변화의 이해와 기후변화 시나리오 활용 (I). 40pp.
- 기상청. 2011. <<한국기후표>>
- 기상청. 2011a. 북한기상 30년보. 302pp.
- 기상청. 2011b. 지역기후변화보고서(11종).
- 김성재, 박태양, 김성민, 김상민. 2012. 기후변화에 따른 농업생산기반 재해 취약성 평가를 위한 대리변수 선정. 한국관개배수논문집, 제18권, 제2호.
- 김해동. 2001. 인적자원개발 지표(Indicators)와 지수(Index) 개발 동향
- 농림축산식품부. 2013. 보도자료 「농작물재해보험 17년까지 신규 도입품목 13개 확정」 2013.10.14.
- 농림축산식품부. 2014. 보도자료 「2014년 농업재해보험 예산 34% 늘어나 재해대응강화」 2014.01.20.
- 농업과학기술원. 2007. 기후변화에 따른 농업생태계영향, 취약성 평가 및 적응 방안 구축.
- 배석현, 오태광, 이무하. 2010. 기후변화에 대한 농수산학 분야의 현황과 대책 -일반현황-
- 백승협, 최시중, 홍승진, 김동필. 2011. 홍수관련 지표 산정을 위한 표준화 및 가중치 비교 연구. 한국습지학회지, 제13권, 제3호, pp.411-426.
- 서울대학교. 2011. 과제번호PJ007948 기후변화에 따른 농업의 사회·경제적 영향 평가에 관한 연구
- 서형호. 2003. 기후변화가 원예작물의 생장과 품질에 미치는 영향(과수를 중심으로), 제1차 기후변화 학술대회, pp.131-137.
- 서형호, 김점국. 2006. 기온상승에 따른 동아시아의 사과 재배적지 변동 예측. 제1회 기후변화협약 대응 연구개발사업 범부처 합동 Workshop.
- 심교문. 2011. 기후변화 대응 농업환경 영향평가, 도서출판 도요새, pp.359-383

- 안중배, 허지나, 심교문. 2010. 수치예보모형을 이용한 역학적 규모 축소 기법을 통한 농업기후지수 모사. 한국농림기상학회지, 제12권, 제1호, pp.1~10.
- 양정석, 박진혁, 김남기. 2012. 경향성 분석을 통한 가뭄취약성 지수의 개발. 대한토목학회논문집, 제32권 제3B호 pp.185~192
- 윤성탁. 2005. 지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대책. 한국제농지. 17(3). 199-207.
- 이변우. 2010. 기후변화에 대한 농수산학 분야의 현황과 대책 <<기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향과 대책 -농작물 분야->>
- 이상규, 최장선, 최준명, 이희주, 박수형, 도경란. 2013. 이상기상 조건이 배추의 생육 및 세포조직에 미치는 영향. 시설원예·식물공장 제22권 제 2호, pp.87-90
- 이정택. 2011. 기후변화와 농업생태계, 기후변화교과서, 도서출판 도요새, pp.315-358
- 임상준, 박승우, 강문성. 1997. 이상기후에 따른 농작물의 수확량 및 재해발생 확률의 추정. 한국농공학회지, v.39 no.6, pp.31-40.
- 임정남. 1992. <지구온난화가 우리나라 농업생태계에 미치는 영향>, <<생태계 위기와 한국의 환경문제>>, 도서출판 뚝섬 103~123쪽.
- 한국농촌경제연구원. 2012. 해외출장연수보고서 <<농업부문 기후변화 대응 유관기관 방문>>
- 한국농촌경제연구원. 2012. 해외출장연수보고서 <<FAO-OECD 기후변화 적응 워크숍 및 OECD 농업환경정책위원회 제 33차 JWPAE 회의참석>>
- Aall, C.(2005) The Concept of Indicator, Paper presented at a semina within the EUproject Capacity building to enable the incorpration of urban sustainability parameters in spatial urban development and planning policypractices through the use of indicators (URBANGUARD). Nicosia Cyprus.
- GERMANWATCH. 2014. The Climate Change Performance Index Result 2014.
- HayesM. J.;M.D. Svoboda; D.A. Wilhite; and O.V. Vanyarkho. 1999. "Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index." Bulletin of the American Meteorological Society 80(3):429-438.
- Jin, D., D. Ge, H.Chen and J. Feng (1995). Effects of climate change on rice production and strategies for adaptation in south China. In: C.

- Rosenzweig, J.T. Ritchie, J.W. Jones, G.Y. Tsuji and P. Hildebrand, Editors, *Climate change and Agriculture: Analysis of Potential International Impacts*, American Society of Agronomy (1995).
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January, Anaheim, CA, pp179–194.
- Ministry of the Environment, Japan (2009). *Global warming impact on Japan –Long-term climate stabilization levels and impact risk assessment–*. S-4 Comprehensive assessment of climate change impacts to determine the dangerous level of global warming and appropriate stabilization target of atmospheric GHG concentration. Second Report.
- Lin E., W. Xiong, H. Ju, Y.L. Xu, Y. Li, L.P. Guo and L.Y. Xie (2005). Climate change impacts on crop yield and quality with CO₂ fertilization in China, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*360 (2005): 2149–2154.
- Stabilization target of atmospheric GHG concentration. Second Report.
- Nardo, M., M. Saisana, A. Saltelli, S. Tarantola, A. Hoffman and E. Giovannini (2005). *Handbook On Constructing Composite Indicators: Methodology And User Guide*, OECD Statistics Working Paper JT00188147, STD/DOC(2005)3.
- Saisana M. and S. Tarantola (2002) *State-of-the-Art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development*, EUR 20408 EN.
- Szalai, S., Szinell, C.S., Zoboki, J. 2000. Drought monitoring in Hungary. in: *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, World Meteorological Organization, Lisboa, 182–199.
- Sharpley, A.N. and J.R. Williams, 1990. EPIC–Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation, Technical Bulletin No. 1768, USDA–ARS, p235.
- Szinell, Cs., Bussay, A., Szentimrey, T., 1998. Drought tendencies in Hungary. *International Journal of Climatology* 18, 1479–1491.
- Tao, F.L., Y. Hayashi, Z. Zhang, T. Sakamoto and M. Yokozawa (2008), *Global warming,*

rice production, and water use in China: Developing a probabilistic assessment, *Agricultural and Forest, Meteorology* 148 (2008): 94-110.

Wehbe.M.B, Seiler R.A., Vincour M.R., Eakin H., Santos C., Civitaresi H.M, 2005: Social methods for assessing agricultural producers' vulnerability to climate variability and change based on the notion of sustainability. Assessments of impacts and adaptations of climate change working papers.

Xiong, W., D. Conway, E. Lin, Y. Xu, H. Ju, S. Calsamiglia-Mendlewicz, and L. Erda (2008). The impact of climate change on chinese agriculture-Phase II, National Level Study: The impact of climate change on cereal production in China, Report to DECC and DFID, ED02264, Issue 2, October 2008.