



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

남한의 지형성 극한강수의
시·공간적 패턴

제주대학교 교육대학원

지리교육전공

이 승 욱

2013년 8월

남한의 지형성 극한강수의 시·공간적 패턴

지도교수 최 광 용

이 승 욱

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함

2013년 8월

이승욱의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ ㉠

위 원 _____ ㉠

위 원 _____ ㉠

제주대학교 교육대학원

2013년 8월

Spatio-Temporal Patterns of Orography-Associated Extreme Precipitation Events in South Korea

Seung-Wook Lee

(Supervised by professor Gwangyong Choi)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of
Master of Education.

2013. 8.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Tae-Ho Kim Prof. of Geography Education

Sang-Chul Kwon Prof. of Geography Education

Gwangyong Choi Prof. of Geography Education

.....
Date

Department of Geography Education
GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

< 초 록 >

이 논문에서는 최근 10년간(2002~2011년) 기상청 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observation System: ASOS)와 방재기상관측장비(Automatic Weather System : AWS)의 약 490개 지점 일별 강수자료를 활용하여 지리적 인자들(해발고도, 해안인접성 등) 및 상층 종관기후(850hPa면의 수증기 수송장) 상태에 따른 남한의 지형성 극한강수의 시·공간적 발생 패턴의 특징을 밝히고자 하였다. 이를 위해 이동지점과 결측값 분석을 통해 연구대상 관측 자료를 결정한 후 이 자료를 바탕으로 고정 임계치와(일 강수량 80mm 이상) 상대 임계치(95퍼센타일 이상 강수)로 정의된 극한강수의 발생빈도, 강도, 연중 발생 시기, 공간범위 등의 시·공간적 패턴을 지도화하고, 세부 강수 시기별 상층 수증기 수송장을 분석하였다.

주요한 연구결과를 살펴보면 남한 산악지대의 극한강수 강도는 해발고도 및 해안인접성과 같은 지리적 인자에 의해 지역적으로 높게 나타날 수 있음을 알 수 있다. 제주도와 소백산맥 산악지역에서는 해발고도 상승에 따라 극한강수의 발생빈도 및 강도가 모두 증가하는 패턴이 나타난다. 이들 지역에서는 극한강수가 전체 강수량에서 차지하는 비중이 해발고도가 낮은 저지대에 비하여 높게 나타난다. 이러한 결과들은 해양에서 수증기가 활발하게 공급되는 지역의 산악지역에서 지형에 의해 수증기들이 강제 상승되어 극한강수지역이 집중되어 나타남을 가리킨다. 서울을 포함한 경기도 지역 및 영서지역의 산지지역을 중심으로 해발고도 100m 이하에서는 해발고도 상승에 따라 고정 및 상대적 임계치 기준 극한강수 강도가 증가하는 패턴이 나타난다. 반면 이들 지역의 해발고도 100m 이상에서는 극한강수 현상의 발생 빈도 및 강도의 차이가 뚜렷하지 않으나 해안으로부터의 거리가 멀어질수록 감소하는 패턴이 나타난다. 기류의 유입이 탁월한 남해안 해안산지지역에서는 해발고도가 증가함에 따라 전체강수량이 일부 증가하는 추세가 관찰되나 극한강수 강도에는 지리적 인자와 관련된 일정한 패턴이 관찰되지 않았다.

남한의 극한강수의 시·공간적 패턴은 해발고도 및 해안인접성 등의 지리적 인

자 이외에도 한반도 주변의 시기별 수증기 수송과 관련된 종관기후상태와도 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 강수 주요 시기별로 극한강수 발생분포 패턴을 살펴보면 5~10월에 발생하는 극한강수현상은 여름장마 기간에 장마전선이 형성될 때 약 40% 이상 발생함을 알 수 있다. 여름 장마 기간의 극한강수 현상 발생 시 850hPa면의 수증기 수송장을 분석해 보면 북태평양 고기압의 강화 시 장마전선을 따라 풍부한 수증기 수송이 이루어져 남한의 내륙지역에 까지 영향을 줌을 알 수 있다. 이때 소규모 지형보다 한반도의 주축을 이루는 태백산맥과 대표적 고산지대인 설악산, 지리산, 한라산 주변 등 지형, 특히 해발고도에 의해 극한강수 강화 현상이 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 강수 계절별 극한강수는 종관기후적 특성과 지형효과가 결부되어 공간패턴이 결정됨을 알 수 있다. 태풍 내습 시에는 강한 극한강수 현상을 유발하며 그 경로에 따라 지형성 극한강수 현상이 나타나는 지역도 달라짐을 알 수 있다.

주요어: 극한강수현상, 지형효과, 강수계절, 종관분석

<차 례>

I. 서 론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 연구 동향	3
1) 지형성 강수	3
2) 극한강수	5
II. 연구 자료 및 분석방법	8
1. 연구 자료	8
2. 분석 자료 구축	9
1) 분석 기간 선정	10
2) 이동 지점 처리	11
3) 결측 지점 처리	13
3. 극한강수 정의	16
1) 고정 임계치	16
2) 상대적 임계치	17
3) 극한강수의 지역성	18
4. 강수 계절별 극한강수 분포 및 상층 종관장 분석	20
III. 결과 및 고찰	26
1. 극한강수 분포 패턴	26
1) 고정 임계치 기준 극한강수	26
2) 상대적 임계치 기준 극한 강수	41
3) 극한강수의 지역성	46
2. 강수 계절별 극한강수 분포 패턴	49
1) 장마 이전 기간	49

2) 여름 장마 기간	53
3) 장마휴지기	57
4) 늦장마 기간	61
5) 초가을 기간	64
3. 태풍 내습 시 극한강수 분포	68
1) 황해 북상형	70
2) 한반도 남부지역 상륙형	72
3) 동해 북상형	74
 IV. 결 론	 77
 참고문헌	 81
 부 록	 90
 <ABSTRACT>	 95

<표 차례>

표 1. 설악산 지점 일 평균기온 5℃이하 종료일과 시작일	10
표 2. 연구대상 기상관측지점들 간 거리와 강수자료의 유사성	12
표 3. 최근 10년간(2002~2011년) 관측지점의 이동이 없는 지점(181개)의 해발고도 증가에 따른 유사 강수 구간	13
표 4. 우리나라 기상청 호우특보 발표기준(출처: 기상연감, 2004, 2011)	16
표 5. ETCCDMI와 STARDEX의 극한강수 지수 (출처:ETCCDMI;STARDEX,2005)	17
표 6. 장마의 시종 및 지속기간(출처: 장마백서, 2011)	20
표 7. 최근 10년간(2002~2011년) 남한에 극한강수 현상을 야기한 태풍명 및 영향기간(출처: 태풍백서, 2011)	22
표 8. 연 평균 일 강수량 80mm 이상 극한강수일 발생 다발지역	29
표 9. 극한강수 발생의 정상분포를 넘는 극단값이 5년 이상 나타난 지점	31
표 10. 일 강수량 80mm 이상 극한강수 강도 분포	34
표 11. 일 강수량 80mm 이상 극한강수 기여도 분포	36
표 12. 최근 10년간(2002~2011년) 태풍 이동경로별 태풍명	68

<그림 차례>

그림 1. 남한의 기상청 산하 지상기상관측지점(2002~2011년)	8
그림 2. 기상관측지점의 수평, 수직적 이동 거리(2002~2011년)	11
그림 3. 최근 10년간(2002~2011년) 관측지점의 이동이 없는 지점(181개)의 해발고도 증가에 따른 평균 강수 패턴	13
그림 4. 최종 분석에 사용된 관측지점의 공간분포(2002~2011년)	15
그림 5. 극한강수 임계치와 3단계 척도와의 관계	19
그림 6. 최근 10년간(2002~2011년) 남한에 극한강수 현상을 야기한 태풍	

(21개)의 이동경로 및 이동경로 구분 기준 격자 (북위 34~36°, 동경 126~129.5°, 적색)	23
그림 7. 최근 10년(2002~2011년) 평균 5~10월 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수	27
그림 8. 최근 10년(2002~2011년) 해발고도별 연평균 일 강수량 80mm 이상 극한강수 발생 빈도(5~10월, 제주도 제외)	28
그림 9. 최근 10년(2002~2011년) 해발고도별 연평균 일 강수량 80mm 미만 발생 빈도(좌), 일 강수량 0.1mm 이상 강수 발생 빈도(우). (5~10월, 제주도 제외)	29
그림 10. 최근 10년(2002~2011년) 연도별 전체 관측지점 일 강수량 80mm 이상 일수(5~10월)	30
그림 11. 최근 10년(2002~2011년) 평균 5~10월 일 강수량 80mm 이상 극한강수일 강수강도(극한강수량/극한강수일)	32
그림 12. 해발고도별 일 강수량 80mm 이상의 극한강수일 강수강도 (극한강수량/극한강수일)	33
그림 13. 해발고도별 일 강수량 80mm 미만(좌) 및 0.1mm 이상(우) 강수일의 강수강도(우) 분포	33
그림 14. 최근 10년(2002~2011년) 5~10월 일 강수량 80mm 이상 극한강수가 0.1mm 이상 전체 강수에서 차지하는 비율(%)	35
그림 15. 해발고도별 전체 0.1mm 이상 누적강수 중 일 강수량 80mm 이상 극한강수가 차지하는 비율	36
그림 16. 최근 10년간(2002~2011년) 태백산맥 서사면 일대 해발고도 상승에 따른 연평균 5~10월 강수량	37
그림 17. 최근 10년간(2002~2011년) 태백산맥 서사면 일대 해발고도 상승에 따른 연평균 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수(a), 강수강도(b). (5~10월)	38
그림 18. 최근 10년간(2002~2011년) 태백산맥 서사면 일대 해안과의 거리 증가에 따른 연평균 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수(a), 강수강도(b). (5~10월)	39

그림 19. 최근 10년간(2002~2011년) 남해안 일대 해발고도 상승 및 해안과의 거리 증가에 따른 연평균 5~10월 강수량	40
그림 20. 최근 10년간(2002~2011년) 남해안 일대 해발고도 상승(a) 및 해안과의 거리 증가(b)에 따른 연평균 5~10월 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수(좌)와 강수강도(우)	41
그림 21. 최근 10년(2002~2011년) 평균 연중 일 강수량 95퍼센타일(좌) 및 99퍼센타일(우) 임계치(mm)	42
그림 22. 최근 10년(2002~2011년) 평균 5~10월중 일 강수량 95퍼센타일(좌), 99퍼센타일(우) 이상 극한강수 일 발생 빈도	43
그림 23. 최근 10년(2002~2011년) 평균 5~10월 일 강수량 95퍼센타일(좌), 99퍼센타일(우) 이상 극한강수일의 강수강도 (극한강수량/극한강수일)	44
그림 24. 최근 10년(2002~2011년) 5~10월 일 강수량 95퍼센타일	45
그림 25. 고정 임계치(일 강수량 80mm 이상)와 상대적 임계치 (95퍼센타일 이상) 극한강수 중첩 극한강수의 지역성	47
그림 26. 10년 평균(2002~2011년) 장마 이전 기간(5월 1일~6월 18일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도	49
그림 27. 10년 평균(2002~2011년) 장마 이전 기간(5월 1일~6월 18일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 강수 강도	50
그림 28. 최근 10년간(2002~2011년) 장마 이전 기간(5월 1일~6월 18일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장	52
그림 29. 10년 평균(2002~2011년) 여름 장마 기간(6월 19일~7월 25일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도	53
그림 30. 10년 평균(2002~2011년) 여름 장마 기간(6월 19일~7월 25일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 강수강도	54

그림 31. 최근 10년간(2002~2011년) 여름 장마 기간(6월 19일~7월 25일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장	56
그림 32. 10년 평균(2002~2011년) 장마휴지기(7월 26일~8월 19일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도	58
그림 33. 10년 평균(2002~2011년) 장마휴지기(7월 26일~8월 19일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 강수강도	59
그림 34. 최근 10년간(2002~2011년) 장마휴지기(7월 26일~8월 19일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장	60
그림 35. 10년 평균(2002~2011년) 늦장마 기간(8월 20일~9월 10일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도	61
그림 36. 10년 평균(2002~2011년) 늦장마 기간(8월 20일~9월 10일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 강수강도	62
그림 37. 최근 10년간(2002~2011년) 늦장마 기간(8월 20일~9월 10일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장	63
그림 38. 10년 평균(2002~2011년) 초가을 기간(9월 11일~10월 31일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도	64
그림 39. 10년 평균(2002~2011년) 초가을 기간(9월 11일~10월 31일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 강수강도	65
그림 40. 최근 10년간(2002~2011년) 초가을 기간(9월 11일~10월 31일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장	67
그림 41. 최근 10년간(2002~2011년) 남한에 극한강수 현상을 가져온 21개 태풍의 영향기간(47일)동안 일 평균 강수량(좌)과 태풍의 강수량이 5~10월 강수량에서 차지하는 비율(우)	69

그림 42. 최근 10년간(2002~2011년) 남한에 극한강수 현상을 야기한 태풍의 이동경로에 따른 유형구분. (a) 전체 이동경로(21개), (b) 황해 북상형(6개),	70
그림 43. 최근 10년간(2002~2011년) 황해 북상형 태풍 내습 시(6개, 16일) 일 강수량 80mm 이상 극한강수 발생 빈도(좌), 95퍼센타일 이상 극한강수 발생 빈도(우)	71
그림 44. 최근 10년간(2002~2011년) 황해 북상형 태풍 내습 시(6개, 16일) 상층 850hPa면의 평균 수증기 수송장	72
그림 45. 최근 10년간(2002~2011년) 한반도 남부지역 상륙형 태풍 내습 시(5개, 11일) 일 강수량 80mm 이상 극한강수 발생 빈도(좌), 95퍼센타일 이상 극한강수 발생 빈도(우)	73
그림 46. 최근 10년간(2002~2011년) 한반도 남부지역 상륙형 태풍 내습 시(5개, 11일) 상층 850hPa면의 평균 수증기 수송장	74
그림 47. 최근 10년간(2002~2011년) 동해 북상형 태풍 내습 시 (10개, 21일) 일 강수량 80mm 이상 극한강수 발생 빈도(좌), 95퍼센타일 이상 극한강수 발생 빈도(우)	75
그림 48. 최근 10년간(2002~2011년) 동해 북상형 태풍 내습 시 (6개, 16일) 상층 850hPa면의 평균 수증기 수송장	76

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

우리나라는 동아시아 몬순기후대에 속하여 매년 태풍과 집중호우와 같은 극한 강수현상이 사회기반 및 주거시설의 침수, 홍수피해, 산사태 등의 피해를 반복해서 일으키고 있다. 최근 10년(2002~2011년) 동안 우리나라 기상·기후관련 재해로 인한 사망·실종은 680명, 재산 피해액은 16조 5821억 원에 달하였다(소방방재청, 2011). 그중 태풍과 집중호우는 인명피해의 약 96%, 재산 피해액의 약 91%로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 가령, 2011년 7월 27일 서울 및 경기 북부 지역을 중심으로 발생한 극한강수현상(약 300mm)은 강남역 사거리와 테헤란로 등 도심의 침수 및 춘천과 서울 우면산 지역에서 산사태 등의 재해로 57명이 사망하고 실종 12명, 약 2천 5백억원의 재산피해가 발생하였다(기상청, 2012).

인간의 직·간접적인 활동으로 인한 급격한 지구온난화현상은 생태시스템에 뚜렷한 영향을 주고 있다. 해수면의 상승, 열과 강도 변화, 바람과 강수의 패턴 변화, 이상기온현상 등으로 인한 피해증가가 전 지구적으로 보고되었다(IPCC, 2007). 일부 극한 기상현상의 빈도와 강도에 있어서도 변화가 나타났으며 강수현상 역시 강한강수의 빈도와 강도가 총강수량에서 차지하는 비율이 증가하는 경향을 보이며 이로 인한 피해가 점점 커지고 있다(Alexander et al., 2006). 강수는 특히 시·공간적 변화에 따라 급변하며 인간생활과 밀접하게 관련되어 있기에 극한 강수의 강도와 빈도 변화, 사례 및 원인분석 등 현상을 파악하고 피해를 완화하기 위한 연구가 활발하게 진행되어 왔다(Aguilar et al., 2005; Zhang et al., 2005; Alexander et al., 2006; Vincent and Mekis, 2006, IPCC, 2012).

우리나라의 경우에도 강수일수는 감소하였지만 극한강수현상의 빈도와 강도는 증가하고 있다(Choi, 2002; 권원태 외, 2003; 김보경 외, 2008; 최광용 외, 2008; 최의수, 문일주, 2008; Jung et al., 2011; 이경미 외, 2012 등). 따라서 극한강수의 시·공간적 패턴 분석에 기반을 둔 방재대책 마련이 시급한 실정이다.

지금까지 국내 극한강수 연구는 자료의 제약으로 주로 도심을 중심으로 이루어져왔지만, 한라산과 지리산, 태백산맥, 한강 중·상류 등 대표적 산지지역에서 지형효과와 결부되어 강화되어 나타날 것으로 추정되고 있다. 산사태와 산지유역의 돌발 홍수 등을 극대화 시키는 극한강수현상과 해발고도 및 해안인접성 등 지형요소간 관련성 파악은 피해를 예측하고 방재시설 설정을 마련하는데 요구되는 정보이다. 그러나 지금까지 이러한 산악지역의 자료부족으로 보고된 연구결과가 미진한 편이다.

지금까지 국내 극한강수의 연구는 장기간 관측기록을 보유한 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observation System: ASOS)의 일 강수자료 분석을 통해 이루어져 왔다(최영은, 2004; Choi et al., 2008; 김광섭, 김종필, 2011; 김은경 외, 2011; 이경미 외, 2012 등). 이러한 연구들에서는 종관기상관측망의 평균 관측간격이 30km 이상이어서 지형에 의한 강수 패턴의 차이를 파악하기에 한계가 있었다. 종관기상관측장비의 대부분은 인간 활동이 이루어지는 곳에 밀집하여 있으며, 해발고도가 높은 지대일수록 관측장비 수가 적다. 1980년대 말 이후로 설치된 방재기상관측장비(Automatic Weather System : AWS)는 1994년까지 5년에 걸쳐 전국에 400대가 설치되었다. 방재기상관측장비는 종관기상관측장비가 없는 지역 및 접근하기 어려운 장소에 설치 확대되어 더욱 조밀한 간격(20km이내)으로 기상현상 발생을 탐지할 수 있게 되었다. 특히 1999년부터는 도서 산악지역에 방재기상관측장비가 기존 관측 음영지역을 중심으로 보강되어 약 10년간의 기후자료가 축적되기에 이르렀다(기상연감, 1999).

본 연구는 최근 10년(2002~2011)간 종관기상관측장비와 방재기상관측장비의 일별 강수자료를 활용하여 극한강수의 발생 빈도, 강도, 시기, 공간범위의 시·공간적 패턴을 분석하고 이러한 극한강수가 해발고도, 해안인접성 등 지리적인 요소와 상층대기 종관규모의 흐름에 따라 어떻게 달라지는지 그 패턴을 밝히는 것을 목적으로 한다.

2. 연구 동향

1) 지형성 강수

산지 사면의 기후적 강수량은 일정 해발고도까지 고도와 함께 증가하며 이를 지형효과라고 부른다(Daly et al., 1994). 지형효과에 대한 관심과 기초적인 이해는 적어도 고대 그리스의 문헌에서부터 찾아볼 수 있다. 기원전 340년경 아리스토텔레스(Aristotle, 384 B.C. - 332 B.C.)는 *Meteorologica*에서 하천의 기원이 되는 산지에 많은 강수가 발생하는 것을 기술하였다. 산지의 구름과 강수 현상은 르네상스 시기 이후에도 여러 학자들에 의해 관심을 받아 왔지만 관측 자료의 결여와 유체역학 이론의 부족으로 이를 이해하는데 한계가 있었다(Roe, 2005). 그 이후 1859년 설립된 영국강수기구(British Rainfall Organization)에 의해 처음으로 강수현상이 현대적 기술로 분석되었다. 이후 지형성 강수에 관한 연구는 제2차 세계대전 후 대기역학과 열역학의 발달로 인해 다양한 이론과 관측시스템, 모델의 구축이 가능하게 되었다(Roe, 2005).

바람받이 사면에서 상승하는 공기의 응결·압축작용은 상대습도를 증가시켜 구름을 형성하고 이는 강수현상의 증가로 이어진다(Bleasdale and Chan, 1972; Smith, 2003; Roe, 2005). 여러 산지에서 해발고도에 따른 강수량 증가현상은 밝혔으나 고도의 차이만을 가지고 강수의 증가를 설명하기에는 한계가 있다. 해발고도와 강수현상의 관계는 밀접하게 연관되어 있으나, 이는 규모가 크고 독립된 지형에 한해 뚜렷하게 나타나며(Weisse and Bois, 2001), 해발고도 이외에도 사면향과 경사 등 지형요소들이 강수현상에 영향을 주기 때문이다(Varney, 1920; Clyde, 1931; Spreen, 1947; Basist et al., 1994; Gregory, 1968; Houghton, 1979; Gouvas et al., 2009; Sokol and Bližňák, 2009). 이들 연구에서는 강수량의 최대치가 정상이 아닌 특정 고도에서 발생하고 지역과 사면의 향에 따라 강수량의 증가 비율 차이도 발생함을 밝히고 있다. 이외에도 지형과 강수와의 관계는 지역적인 바람, 대기의 중관패턴 역시 중요한 영향을 미치기에 더욱 복잡한 양상을 보인다(Charles, 1911). 계절과 지역의 종관적 바람 등을 변수로 하여 지형과 강수와의 관계를 분석한 연구(예 : Charles, 1911; Varney,

1920; Clyde, 1931; Houghton, 1979)에서는 다양한 지형 요소 및 대기 순환 요소와의 관련성에 주목하였다.

지금까지 전 세계적으로 산악 지역의 강수현상을 파악하기 위한 기상·기후자료 관측 기술과 방법에도 지속적인 변화가 있었다. 우량계를 통한 강수의 관측과 측정 시에는 강수 발생 후 매번 관측 지점에 방문하여 자를 이용해서 강수량을 측정한 후 안에 있는 빗물을 비웠다(Charles, 1911), 그 이후 기술이 눈부시게 발달하였고, 우리나라의 경우 21세기에 접어들면서 자동으로 강수량을 측정하고 기록할 수 있을 뿐만 아니라 관측지점의 수 역시 증가하였기에 관측의 편의 및 시·공간적 정확도가 향상되었다. 그러나 강수현상은 시·공간적으로 급변하기에 좁은 지역에서도 상당한 차이가 발생한다. 앞서 언급했듯이 총강수량 역시 같은 고도에서도 상당한 변화가 나타나며 고도의 영향은 모든 경우에 적용할 수 없다(Blumer, 1994). 산지에 복잡한 강수현상을 파악하기 위해서는 조밀한 관측망이 필요하다. 그러나 모든 지역을 포괄하기에 충분치 않으며 그 분포 역시 과학적이기 보다는 기상청의 필요조건을 만족하는 지역을 위주로 설치되어 있다(Sevruk, 1997). 관측소는 주로 계곡에 위치하고 연구의 주요 지점인 사면과 정상 부근에 상대적으로 부족하다(Frei and Schär, 1998). 이외에도 강수 관측시 지역적인 대기 요란이나 바람에 날려 들어오는 눈과 같이 관측장비 객관적 측정을 방해하는 요소들도 존재한다. 5~30m/s의 수평적 바람이 불고 있을 때 3km 상공에서 내려오는 강수입자는 지표면에 내려오기까지 1.5km에서 최대 90km까지 이동할 수 있다. 대체적으로 산지의 강수 변화량 크기가 이러한 오류범위를 넘어서기에 여전히 우량계의 지점 데이터를 이용한 연구가 진행되고 있다(Roe, 2005).

국내에서 산악지역의 강수현상 관련되어 산지 사면별 해발고도와 강수량의 분포(이장렬, 1993)와 산지효과 추정(김기옥, 2003; 유철상 외, 2004a), 강우의 지형학적 요인분석(윤혜선, 2009), 내삼기법을 통한 면적 강수량의 추정(박노옥, 장동호, 2008; 신성철, 2008; 박종철, 김만규, 2009; 백승균, 장동호, 2011) 등의 연구가 이루어져 왔다. 한국 기상학회에서는 일기예보의 수준 향상을 위해 특정한 사례를 선정하여 산지 강수량 추정 및 수치모의를 통해 분석하는 기상학적 접근방법에 기반을 둔 연구결과들을 보고하여 왔다(서경환, 이동규, 1996; 김동균, 전해영, 1999; 유철상 외, 2004b; 최기상, 2008). 반면 지금까지 지역의 특

성을 고려하여 극한강수를 분석한 사례는 김광섭 외(2011)를 제외하고는 찾아보기 힘들다. 김광섭 외(2011)는 기상관측소의 지역적 특성에 따른 변화를 분석하기 위하여 해발고도, 위도, 내륙 및 해안 등의 요소를 바탕으로 극한강수의 정량적 변화를 파악하여 극한강수의 변화특성이 지형의 영향을 많이 받는 것을 밝혔다. 기후학적 강수량 혹은 극한강수발생 사례를 보았을 때 지형효과로 인해 강수량의 증가현상이 나타난다. 해발고도와 해안인접성 등 지리적 인자들은 극한강수의 빈도와 강도에 중요한 영향을 미칠 것이지만 이에 대한 분석은 지금까지 거의 이루어지지 않았다.

2) 극한강수

극한기상 혹은 기후현상은 일반적으로 관측된 기상 또는 기후 요소 범위의 양극단 부분으로 정의된다(IPCC, 2012). WMO(World Meteorological Organization)에서는 상위 95, 99퍼센타일과 하위 1, 5퍼센타일에 해당하는 사상을 극한기후 사상이라 정의하고 있다. 그러나 엄밀한 의미에서 극한현상이란 명확히 정의되기 어렵다(Stephenson et al., 2008). 지역이 다른 경우 일 강수량 80mm의 강수현상은 다르게 받아들여 질 수 있다. 심지어 같은 지역에서도 일 강수량이 80mm가 여름철에 발생했을 경우와 겨울철에 발생했을 경우는 서로 다른 의미를 가진다. 극한현상에 대한 적응 및 기반 시설 취약성 정도도 극한강수현상 기준 차이를 가져온다. 즉, 극한현상으로 인한 영향 혹은 재해를 분석하기 위해서 절대 임계치 이외에 상대적 임계치를 사용하여 기간과 지역, 사회·경제적 환경 등 여러 측면을 고려할 필요가 있다.

따라서 전 세계적으로 극한강수에 대한 연구는 극한기후 현상을 파악하기 위한 대부분의 정량적인 연구의 경우 확률적 양 극단의 상대적 임계치나 고정 임계치를 사용한 극한지수 사용을 병행하고 있다(IPCC, 2012). 그러나 연구들마다 극한기후의 정의와 극한지수가 서로 상이하게 사용되고 있어 극한기후의 일관된 사회·경제·생태학적 영향 파악이 힘들다(Vincent and Mekis, 2006; 조창현 외, 2012). 이를 해결하기 위해 많은 국제워크숍을 통해 지역 혹은 나라간 일관성을 유지하고 국제적인 협동연구를 촉진하기 위한 극한기후 지수들이 토론되어 왔다

(Peterson et al., 2001). WMO의 ETCCDMI(Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices)에서는 광범위한 지역 연구를 위해 종합적인 일련의 지수들을 제시하였다. 많은 연구들이 ETCCDMI의 지수를 사용하여 극한기후 연구를 수행하였다(가령, Zhang et al., 2005; Alexander et al., 2006; Haylock et al., 2006; Choi et al., 2009). 유럽 연합에 의해 수행된 STARDEX(STATistical and Regional dynamical Downscaling of EXtremes for European regions) 프로젝트의 극한지수도 많은 연구에서 사용된다(Batima et al., 2005; Moberg and Jones, 2005; Goubanova and Li, 2007). STARDEX 프로젝트는 지구 온난화로 인한 21세기 말 극한 기후 사상의 변화를 예측하기 위해 총 10개의 극한지수를 강우(6개)와 기온(4개) 항목으로 구분하였다. 이를 바탕으로 관측된 극한현상의 변화와 다운스케일 모델들의 수행을 평가하였다(STARDEX, 2005).

국내에서는 STARDEX 혹은 ETCCDI 등 해외의 극한지수를 적용하거나 지역의 특성을 고려하여 일부 극한지수를 선정하여 분석을 하였다(가령, 최영은, 2004; 김보경 외, 2008; Choi et al., 2008; 김보경, 김병식, 2009; 김은경 외, 2011; 김유진, 최영은, 2010). 또한 임의 정의한 극한지수를 사용한 연구도 있었다(가령, 김광섭, 김종필, 2011; 이경미 외, 2012).

극한강수 지수를 바탕으로 해외에서는 최근 급격한 지구온난화현상으로 인한 극한 강수의 강도와 빈도 변화경향을 파악하거나, 사례 및 원인분석 등의 과정을 통해 피해를 완화하기 위한 연구가 활발하게 진행되어 왔다(Aguilar et al., 2005; Moberg and Jones, 2005; Zhang et al., 2005; Alexander et al., 2006; Vincent and Mekis, 2006, Goubanova and Li, 2007; IPCC, 2012).

극한강수에 대한 국내 연구동향은 장기간(30년 이상) 극한강수현상의 변동경향 파악 연구가 주를 이룬다(최영은, 2002, 2004; 유철상, 윤정수, 2008; Choi et al., 2008; 김광섭, 김종필, 2011; 김은경 외, 2011; 이경미 외, 2012). 연구 목적에 따라 시·공간적인 범위의 차이가 나타난다. 전반적인 연구방법은 종관기상관측자료를 이용하여 극한지수를 설정하고 선형회귀분석을 통해 추세를 분석한다. 최근에는 강수현상을 구분하여 시간적 변화를 살펴보거나, 연구지역의 구분, 지역의 특성과 극한강수와의 관계와 관련된 연구(오태석, 문영일, 2008; 김

은경 외, 2011; 김광섭 외 2011) 등 극한강수의 연구 범위가 넓혀지고 있다.

II. 연구 자료 및 분석방법

1. 연구 자료

이 논문에서는 남한의 지형성 극한강수 발생의 시·공간적 패턴 분석을 위해 최근 10년(2002~2011년)간 관측이 이루어진 기상청 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System: ASOS)의 76개 지점과 방재기상관측장비(Automatic Weather System: AWS)의 422개 지점에서 관측한 일 강수량 자료 중 결측 및 관측소 이동 정도가 양호한 관측 자료를 사용하였다(그림 1).

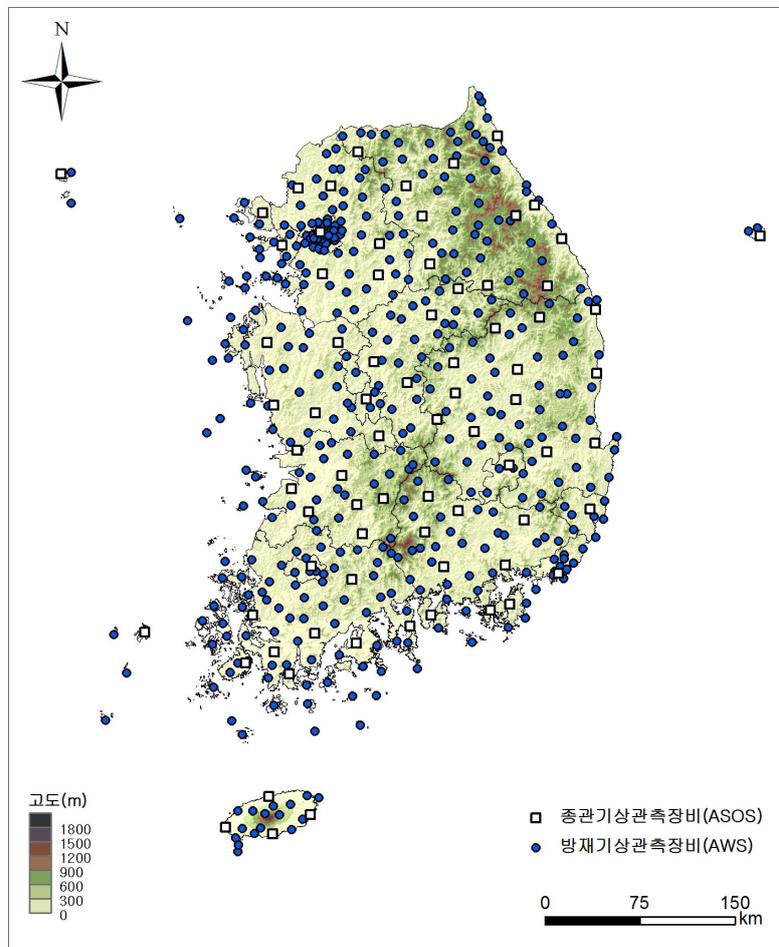


그림 1. 남한의 기상청 산하 지상기상관측지점(2002~2011년)

기상관측지점 간 평균거리는 약 11km이며 최소 약 1.5km, 최대 약 43km의 공간해상도를 가진다. 수직적으로는 해발고도 약 2~1500m 대에 분포한다.

본 연구에서 장마의 시종은 기상청에서 사후 정의한 기간을 기준으로 하였다(장마백서, 2011). 태풍의 영향기간은 국가태풍센터의 태풍백서 자료를, 경로도와 위치는 일본 동경 지역특별기상센터(Regional Specialized Meteorological Center, RSMC)의 최적진로(best track)를 이용하였다(<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>). 우리나라의 경계와 수치표고모형(Digital Elevation Models, DEM)자료는 BIZ-GIS의 자료를 이용하였다(<http://www.biz-gis.com>). DEM의 해상도는 30m이며, 사면향 분석 시에는 이를 재가공하여 5×5km 격자의 평균 향을 사용하였다. 상층 850hPa면의 수증기 수송을 나타내기 위해 미국 국립환경예측센터와 에너지부가 생산한 NCEP-DOE(National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy) Reanalysis II(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>) 자료를 이용하였다. 이 자료는 NCEP-NCAR(National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research) Reanalysis I의 문제점을 수정하고 물리과정의 매개변수를 개선하였다(Kanamitsu et al., 2002). 수직으로 17개의 기압면 고도(hPa)와 수평으로 2.5°×2.5°(144×73)의 격자로 구성된 전구 자료 중 동아시아 영역(북위 0~60°, 동경 90~170°)의 850hPa면 일 바람자료(u-wind, v-wind)와 기온, 상대습도 자료를 사용하였다.

2. 분석 자료 구축

본 연구에서는 관측 자료의 결측이나 기상관측지점의 이동 등을 고려하여 분석에 적합한 자료를 결정하고자 크게 ① 분석 기간 선정, ② 기상관측지점의 수평, 수직 이동, ③ 결측 시 주변 지점 자료와 비교를 통한 지점 선정과정의 3단계 검정을 수행하였다. 본 연구에서는 지형효과를 고려한 극한강수현상에 초점을 맞추어 제주도를 제외한 도서지역의 65개 기상관측지점을 분석에서 제외하였다. 이는 도서지역의 경우 지형보다 해양의 영향을 더 강하게 받기 때문이다.

1) 분석 기간 선정

지형에 의한 극한강수현상의 기후적 현상을 살펴보기 위해서 장기간의 평균 기상 상황을 종합해야 한다. 기상청에서는 1980년대 말 이후부터 1994년까지 전국에 400대의 방재기상관측장비를 설치한 이후, 1998년 기상업무발전 종합대책의 일환으로 1999년도 이후부터 기상관측지점수를 증가시켰고 특히 2001년까지 내장산, 계룡산, 가야산, 향로봉 등 주요 산악지역을 중심으로 32대를 증설하여 2002년부터 연 전체의 연속된 자료 관측이 이루어 졌다. 본 연구에서는 이를 고려하여 최근 10년(2002~2011년)을 분석기간으로 정하였다.

본 연구에서는 집중호우, 태풍 등을 포함한 강우의 형태로 내리는 극한강수현상 분석에 초점을 두고 강설기간을 제외한 연도별 5~10월을 연중 분석기간으로 정하였다. 기온이 5℃이상인 경우 강설 발생의 가능성이 희박해지기에(최광용 외, 2008), 고위도 대에서 가장 높은 곳에 위치한 설악산 지점(1597m)의 경우 7월 이동 평균기온이 5℃ 미만인 기간을 고려하면 5~10월에는 강우의 형태로 대부분의 강수가 발생할 것으로 추정된다(표 1).

표 1. 설악산 지점 일 평균기온 5℃이하 종료일과 시작일

연도	종료일	시작일
2002년*	4월 26일	10월 18일
2003년	4월 23일	10월 2일
2004년	4월 29일	10월 18일
2005년	5월 11일	10월 17일
2006년	4월 29일	10월 27일
2007년	4월 24일	10월 23일
2008년	5월 16일	10월 23일
2009년	4월 26일	10월 11일
2010년	5월 1일	10월 14일
2011년	5월 1일	10월 15일
평균	4월 30일	10월 16일

* 설악산지점의 관측 시작일이 2002년 12월 16일인 관계로 가장 낮은 온도를 기록한 향로봉(1267m)지점의 값을 사용

2) 이동 지점 처리

최근 10년간(2002~2011년) 중 다수의 기상관측지점이 수평·수직적으로 이동하였다(그림 2). 기상관측지점의 이동은 관측 환경의 변화 및 관리 유지의 어려움, 주변지점과의 중복을 피하기 위한 이동, 기상청사 이전으로 인한 기상관측장비의 이동 등 다양한 원인으로 인해 발생한다. 이러한 기상관측지점의 수평·수직적 이동은 자료의 연속성, 균질성에 영향을 미치는 주요한 외적 요인으로 작용한다(Mitchell, 1953; 류상범 외, 2006). 연구기간 우리나라 기상청에서 발행하는 연도별 기상연감의 지상기상관측장비 운영을 기록한 자료를 살펴보면 기상관측지점의 솔한 이동을 볼 수 있다. 특히 강수현상은 기온에 비해 상대적으로 국지성이 있기에 기상관측지점 이전에 따른 자료의 균질성을 파악하고 보정하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 2000년대 초기 관측망에서 크게 벗어났다고 판단되는 지점을 분석에서 제외하였다. 기상관측지점의 수평 이동과 수직 이동 정도를 파악하고 분석대상 지점을 여부를 결정하였다.

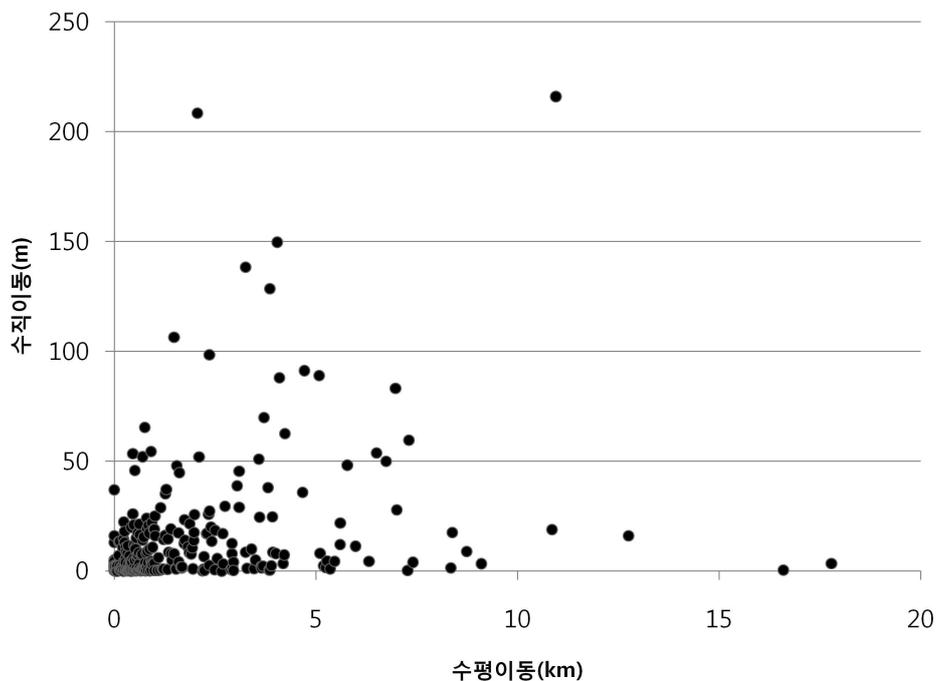


그림 2. 기상관측지점의 수평, 수직적 이동 거리(2002~2011년)

관측망내 수평 이동 여부를 결정하기 위해 연구대상 인접 기상관측지점들 간

거리와 강수량의 유사성을 분석하였다(표 2). 종관기상관측장비와 방재기상관측장비 지점들 간 평균거리는 10.67km이며 인접 지점 간 연구기간 강수량의 피어슨 상관계수는 0.92로 높은 상관관계를 보였다. 따라서 본 연구에서는 10km의 수평이동 한계치를 정하여 그 이내의 이동은 연구 초기 기간과 유사하다고 판단하였다. 반면 10km를 넘어서는 기상관측지점의 이동은 지역 강수량을 대표하는 기존의 관측환경에서 벗어나 자료의 연속성에 영향을 줄 것이라 가정하고 분석에서 제외하였다. 그 결과 기상관측지점의 이동이 있는 240개의 지점 중 수평 이동의 한계치를 넘어 이동한 5개 지점을 분석대상에서 제외하였다.

표 2. 연구대상 기상관측지점들 간 거리와 강수량의 유사성

인접순위	거리(km)			연구기간 강수량 피어슨 상관계수(r)		
	평균	최대	최소	평균	최대	최소
1순위	10.7	21.0	1.5	0.92	0.99	0.69
2순위	14.0	24.4	2.8	0.90	0.99	0.64
3순위	16.4	30.5	2.8	0.89	0.99	0.47

수직 이동 여부를 결정하기 위해 기상관측지점의 이동이 없는 181개의 지점을 선정하여 해발고도에 따른 강수패턴의 변화를 살펴보았다. 이때 제주도에 위치한 지점은 한반도와 달리 해양성 기후의 영향이 탁월하고 해발고도 증가에 따른 강수량의 증가현상이 극단적으로 크게 나타나기에 분석에서 제외하였다. 선정된 지점의 평균 강수량을 10m 고도 간격으로 구한 뒤 50m 간격으로 이동 평균을 하여 해발고도에 대한 평균적인 강수량의 변화패턴을 살펴보았다. 그 결과 해발고도의 상승에 따라 강수량이 증가·감소하는 구간이 상이하게 나타났다(그림 3). 본 연구에서는 강수량이 증가 혹은 감소하는 구간을 같은 강수환경의 영향을 받는다고 간주하였다. 이에 해발고도별로 12구간을 구분하였고(표 3), 이 범위를 넘어서서 이동한 41개 기상관측지점은 분석대상 지점에서 제외하였다.

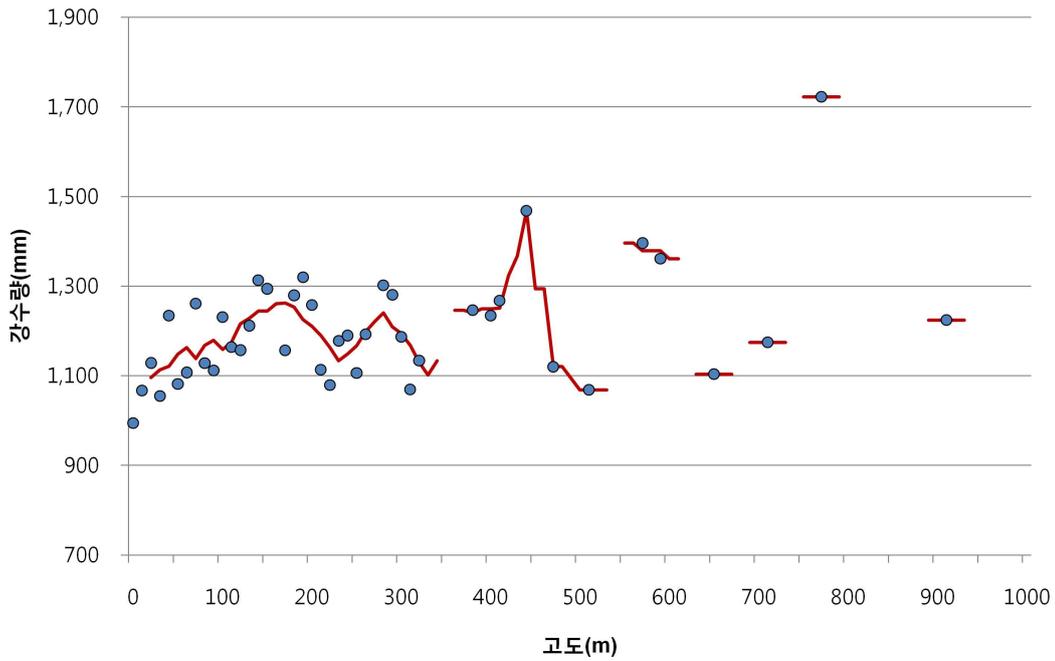


그림 3. 최근 10년간(2002~2011년)가 관측지점의 이동이 없는 지점(181개)의 해발고도 증가에 따른 평균 강수 패턴

표 3. 최근 10년간(2002~2011년) 관측지점의 이동이 없는 지점(181개)의 해발고도 증가에 따른 유사 강수 구간

구간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
해발 고도 (이상 ~ 미만)	0 ~ 100 m	100 ~ 170 m	170 ~ 230 m	230 ~ 280 m	280 ~ 330 m	330 ~ 440 m	440 ~ 500 m	500 ~ 550 m	550 ~ 630 m	630 ~ 750 m	750 ~ 890 m	890 ~ 1000 m

기상관측지점의 수평과 수직이동 분석기준을 벗어나는 관측지점 총 46개를 분석대상에서 제외한 결과 총 387개 지점이 1차 대상으로 선정되었다.

3) 결측 지점 처리

산악지역의 기상관측지점은 같은 위치에 고정되어 있더라도 장비의 수리, 저온으로 인한 동결, 전력 공급의 중단, 태풍 등 극한현상 발생 시 장비 고장, 폭설로 인한 장비 덮임 등 여러 가지 원인으로 결측이 자주 발생한다. 이는 자료 신뢰성

에 영향을 주어 과학적인 분석을 어렵게 한다. 지금까지 이러한 결측을 보완하기 위해 산술평균법, 정상비법, 수정 정상비법, 역거리제곱법, 선형계획법 총강수량 관법 등 다양한 방법이 사용되었다. 그러나 사례수가 적고 강수량의 변동성이 큰 극한강수의 경우 결측자료의 보완은 신중히 고려해야 할 문제이다. 이에 강수관측 자료의 결측 발생 시 인접 지점의 관측 자료와 비교를 통해 일 강수량 80mm 이상 극한강수현상이 발생하였을 것으로 추정되거나 인접 지점들 역시 결측된 경우를 포함한 관측지점은 분석에서 제외하였다. 이를 위해 다음과 같은 분석 절차를 따랐다.

- ① 강수 발생 시 모든 관측지점을 대상으로 가장 인접한 관측소와의 일별 강수량 차이를 구하였다.
- ② 강수량 차이의 극단적인 값을 구하기 위해 지점별 일강수량 차이의 상위 95퍼센타일의 값을 구하고 이를 평균하였다.
- ③ 극한강수의 고정 임계치인 일 강수량 80mm에서 지점별 95퍼센타일 강수량 차의 평균값을 제외한 결측 여부 기준값을 산출하였다.
- ④ 이와 같이 정한 값을 기준으로 지점 결측 발생 시 인접 지점의 강수량이 결측 여부 기준값을 넘으면 극한강수현상이 발생하였을 것이라 가정하여 해당지점을 분석대상에서 제외하였다.
- ⑤ 인접 관측지점도 결측인 경우 순차적으로 2순위, 3순위 인접 관측지점까지의 강수량 값을 사용하였으며 3개 지점 모두 결측 발생 시 결측으로 처리하여 분석에서 제외하였다.

본 연구에서 총 387개의 자료를 바탕으로 인접한 두 관측지점들 간 강수량 차의 상위 95퍼센타일 값을 평균한 결과는 21.2mm 이다. 이를 극한강수의 고정 임계치인 일 강수량 80mm 에서 제외하여 60mm를 결측 여부 기준 값으로 정하였다. 지점의 결측 발생 시 인접 지점의 강수량이 결측 여부 기준 값(60mm) 이상인 경우 해당 날짜에 극한강수가 발생하였으나 결측된 것으로 판단하여, 이와 같은 사례가 1일이라도 있는 52개 지점이 분석에서 제외되었다. 이러한 결측 자료의 점검에서 남은 335개의 지점이 남한의 지형성 극한강수의 시·공간 패턴 분석에 사용되었다. 최종 분석에 사용된 기상관측지점의 공간분포는 그림 4와 같다.

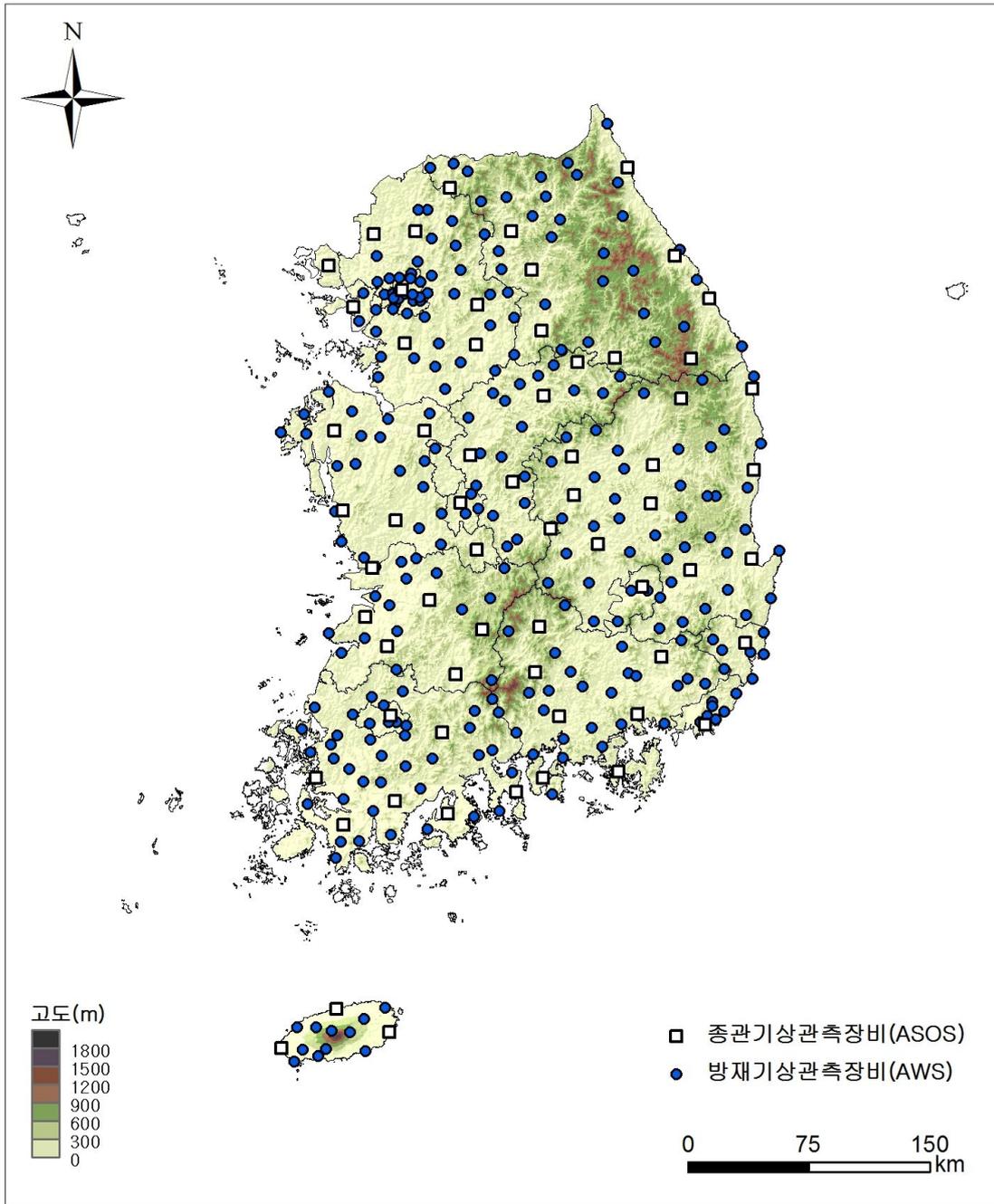


그림 4. 최종 분석에 사용된 관측지점의 공간분포(2002~2011년)

3. 극한강수 정의

본 연구에서는 극한강수현상의 객관적 영향 파악을 위한 고정 임계치와 지역의 기후평균 강수량을 넘는 극한강수현상 파악을 위한 상대적 임계치를 선정해 극한강수현상을 각각 정의하였다. 이를 바탕으로 연구기간(2002~2011년, 매년 5~10월) 고정 임계치와 상대적 임계치 기준 연평균 극한강수 일수와 극한강수 일 강수강도(극한강수일의 총 강수량을 극한강수 일수로 나눈 값), 극한강수 기여도(극한강수일의 총 강수량이 5~10월 총 강수량에서 차지하는 비율)의 세 가지 지수를 산출하였다. 각각 임계치 설정방법은 다음과 같다.

1) 고정 임계치

기상청에서는 일반적으로 한 시간에 30mm 이상, 하루에 80mm 이상의 비가 내릴 때, 또는 연강수량의 10%에 상당하는 비가 하루에 내리는 정도를 집중호우(severe rain storm)라 정의한다(기상청 기상백과). 이러한 기준을 바탕으로 호우 현상으로 인하여 피해가 예상될 때 국민의 주의를 환기시키고 자연재해로부터 대비하기 위해 호우 특보를 발표한다(표 4).

표 4. 우리나라 기상청 호우특보 발표기준(출처: 기상연감, 2004, 2011)

단계	변경 전	2004년 5월	2011년 6월
호우 주의보	24시간 강우량이 80mm 이상 예상될 때	12시간 강우량이 80mm 이상 예상될 때	6시간 강우량이 70mm 이상 예상되거나, 12시간 강우량이 110mm 이상 예상될 때
호우 경보	24시간 강우량이 150mm 이상 예상될 때	12시간 강우량이 150mm 이상 예상될 때	6시간 강우량이 110mm 이상 예상되거나, 12시간 강우량이 180mm 이상 예상될 때

이러한 기준들 중 본 연구에서는 일 강수량 80mm 이상을 극한강수의 고정 임계치 기준으로 사용하였다. 국내에서 일 강수량 80mm 이상의 현상은 국내 극한 강수 연구에서 기준 값으로 자주 사용되었다(김광섭, 김종필, 2011; 김은경 외, 2011).

고정 임계치 사용 시 피해를 유발하는 특정 임계치 이상의 극한강수현상 분포를 공간적으로 비교할 수 있다. 고정임계치가 극한강수현상을 대표하기 위해서는 지역의 특성이 고려되어야 하며 기존 연구와 비교를 가능케 해야 한다(IPCC, 2012).

2) 상대적 임계치

본 연구에서는 세계기상기구(World Meteorological Organization: WMO)의 ETCCDMI(Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices)와 STARDEX(STATistical and Regional dynamical Downscaling of EXtremes for European regions)의 극한강수 지수(표 5)를 종합하여 95퍼센타일 이상 강수현상을 극한강수의 상대적 임계치로 정의하였다. 추가적으로 극단적 사례를 보기 위해 일부 분석에서 99퍼센타일 이상 강수현상을 보조 임계치로 사용하였다.

표 5. ETCCDMI와 STARDEX의 극한강수 지수(출처: ETCCDMI; STARDEX, 2005)

연구회 명	극한강수 지수
ETCCDMI	1일 최다강수량, 5일 최다강수량, 일강수강도, 10mm 이상강수일 수, 20mm 이상강수일 수, 연구자 정의 임계치 이상강수일 수, 일 강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수(최대무강수지속기간), 95 퍼센타일 초과 연누적 강수량, 99퍼센타일 초과 연누적 강수량, 총강수량
STARDEX	90퍼센타일 임계치, 지속기간 5일 최대 강우량, 일강수강도, 최대무강수지속기간, 90퍼센타일 강우량 비율, 90퍼센타일 강우량 빈도

국내에서 95퍼센타일 이상(혹은 초과) 강수현상은 대부분의 국내 극한강수 연구에서 기준 값으로 자주 사용되었다(최영은, 2004; Choi et al., 2008; 김은경 외, 2011; 최영은 외, 2011; 이경미 외, 2012).

본 연구의 연구기간이 평년(30년)보다 짧은 10년(2002~2011년)임을 고려하여 지점별 매년의 강수현상을 평균한 기후적 퍼센타일 값을 구하였다. 본 연구에서 사용된 95퍼센타일 산출을 위해 다음과 같은 절차를 따랐다. 연구지점별 매년의 일 강수량을 값의 크기에 따라 내림차순으로 나열하였다. 일별 순위자료를 큰 값을 기준으로 10년 평균한 뒤 일별 순위자료의 95퍼센타일 값을 구하였다. 퍼센타일(Percentili, 백분지수)이란 관측 자료 전체의 개수를 100으로 보았을 때 그 순위를 말한다. 세계기상기구(WMO)에서는 평년(30년)의 강수량에 대한 양 극단의 퍼센타일 강수량 값을 권장한다. 상대적 임계치는 지역의 기후평균적인 강수량을 넘어서는 상대적인 극한강수 현상을 보여줄 수 있는 장점이 있지만, 연구 지역과 기간, 산출 방식의 차이(가령, 평년 강수량에 대한 퍼센타일 혹은 연도별 강수량에 대한 퍼센타일 값의 평균) 강수일의 기준(가령, 0.1mm 이상 혹은 1mm 이상)에 따라 민감하게 변할 수 있다.

3) 극한강수의 지역성

극한강수현상을 고정 임계치(일 강수량 80mm 이상)와 상대적 임계치(95퍼센타일 강수량 이상)로 구분하여 살펴봄으로써 각각 객관성 및 기존 연구와의 비교, 지역의 강수특성을 고려한 상대적 극한현상 파악이 가능하다. 서로 다른 특성을 가진 임계치를 직접적으로 비교하는 것은 부적절하지만, 확률 표현을 사용하여 결과를 중첩하고 이를 특성화하는 것은 가능할 것이다. 이를 위해 관측된 극한강수현상을 3단계의 확률적 척도로 구분한 뒤 각각 중첩하였다(그림 5). 극한강수 임계치와 3단계의 척도를 기술하기 위해 고정 임계치와 상대적 임계치의 경우 각각 고정과 상대라는 용어를, 3단계 척도는 그 구간에 따라 높음, 보통, 낮음의 용어를 사용하여 표현 하였다.

고정 임계치와 상대적 임계치를 중첩한 관계에서 고정 높음-상대 낮음, 고정 높음-상대 높음, 고정 낮음-상대 높음의 관계를 분석하였다. 예를 들면 고정 높

음-상대 낮음의 관계는 고정 임계치 이상의 극한강수 일수가 높으나 상대 임계치 이상의 극한강수 일수는 낮게 나타나는 지역이며, 이는 해당지역이 비가 많고 강하게 오는 다우 지역임을 의미한다. 이러한 특징이 나타나는 지역을 다우 극한강수지역이라고 표현하였다. 위와 같은 방식으로 고정 낮음-상대 높음을 상대 극한강수지역으로, 고정 높음-상대 높음을 집중 극한강수지역이라는 용어를 사용하여 표현하였다.

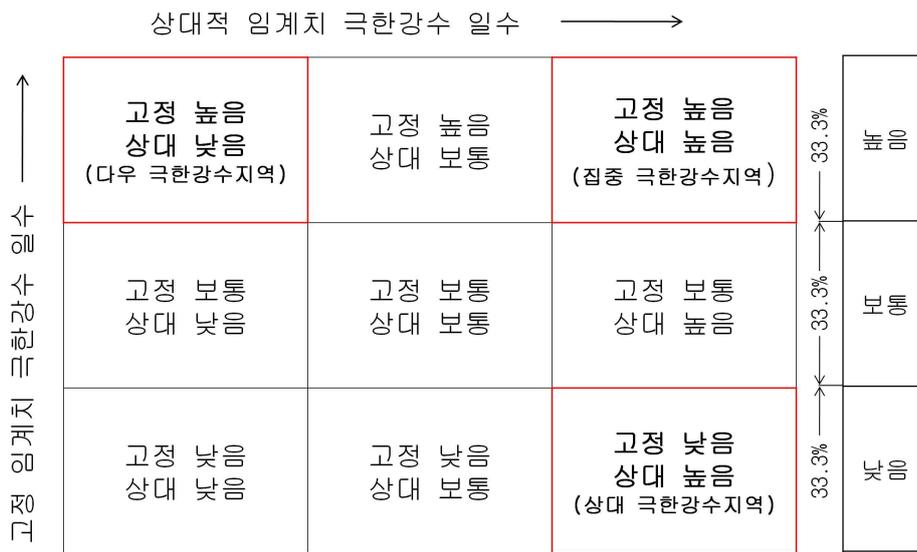


그림 5. 극한강수 임계치와 3단계 척도와의 관계

4. 강수 계절별 극한강수 분포 및 상층 종관장 분석

지금까지 기후연구에서는 통상 3개월 단위의 계절을 중심으로 분석이 이루어졌으나 강수 계절은 대기의 종관적 특징이 변화하는 단위이므로 이와 일치하지 않는다. 강수 현상의 대표적 유형은(가령, 장마와 태풍) 계절 혹은 월 사이에서도 변화가 나타난다. 본 연구에서는 이를 고려하여 극한강수 분석 시 유형별(사례별) 발생 기간을 중심으로 한 세부 강수 계절별 특성을 파악하였다. 세부 강수 계절에 따른 극한강수현상을 분석하기 위해 강수 유형을 ① 여름 장마, ② 늦장마(혹은 가을장마)로 분류한다.

여름 장마는 평균적으로 6월 19일 경 정체전선이 제주도로 북상하며 시작되고 7월 24일 경 정체전선이 한반도 북쪽의 북위 40° 위로 북상하면 종료된다(장마백서, 2011). 기후적인 여름 장마 기간의 극한강수현상의 분석을 위해 기상청의 30년 평균 여름 장마 시종기간(6월 19일~7월 25일)을 사용하였다(장마백서, 2011). 기상청의 사후 정의에 따른 연구기간 여름 장마 기간 역시 평년(30년)의 여름 장마 시종 기간과 유사하게 나타났다(표 6).

표 6. 장마의 시종 및 지속기간(출처: 장마백서, 2011)

기간	시작일(제주지방)	종료일(중부지방)	지속기간(일)
30년 기후평균 (1981~2010년)	6월 19~20일	7월 24~25일	36~37
최근 10년 평균 (2002~2011년)	6월 18~19일	7월 24~25일	37~38

늦장마는 한반도 북쪽으로 북상하면서 약해졌던 정체전선이 오히려 고기압 세력의 복사냉각으로 강화되면서 8월 중순경 다시 남하하게 되며 시작된다. 9월 초순 혹은 중순까지 지속되는 늦장마 기간은 매우 불규칙하며 정체전선으로 인한 강수뿐만이 아닌 북상하는 태풍이나 국지성 집중호우 등 여러 요인으로 인해 강수현상이 나타난다고 알려져 있다(Lee, 1974; 장마백서, 2011). 늦장마 기

간은 대기의 중관패턴을 분석해 정의한 Lee(1974)의 연구(8월 20일~9월 10일)를 참고하였다.

즉, 본 연구에서는 여름장마와 늦장마 기간을 기준으로 ① 장마 이전 기간, ② 여름 장마 기간, ③ 장마휴지기, ④ 늦장마 기간, ⑤ 초가을 기간의 총 5개 세부 강수 계절로 분류하였다.

한편 태풍의 경우 강수 계절에 상관없이 나타날 수 있기 때문에 별도로 분리하여 분석하였다. 태풍으로 인한 강수현상은 개별 태풍의 경로와 강도에 따라 차이가 발생하며, 전선과 태풍에 의한 상호작용 역시 중요한 요소로 작용한다(차은정 외, 2009). 본 연구에서는 태풍으로 인한 기후적인 극한강수일의 발생 빈도 분포에 중점을 두어 한반도의 영향을 준 태풍의 이동경로에 따른 극한강수 현상의 공간분포를 파악하였다. 영향 태풍의 정의는 국가 태풍센터에서 사용하는 정의(태풍백서, 2011)인 태풍이 비상구역(북위 28°, 동경 128°의 북서쪽)에 진입하였을 때로 정하였으며 태풍의 영향기간 동안 발생한 강수현상의 전반적인 분포를 파악하였다. 최근 10년간(2002~2011년) 한반도에 영향을 준 27개의 태풍 중 극한강수 현상이 발생하지 않았거나 일부 지점에서 발생한 6개 태풍을 분석에서 제외하여 총 21개의 태풍이 분석에 사용되었다(표 7). 태풍의 이동경로는 태풍이 북상하는 전면에 위치하는 남부지역 일대에 임의의 격자(북위 34~36°, 동경 126~129.5°)를 설정하여 이를 기준으로 태풍의 이동경로에 따라 황해 북상형, 한반도 남부지역 상륙형, 동해 북상형의 3가지 그룹으로 세분한다(그림 6).

표 7. 최근 10년간(2002~2011년) 남한에 극한강수 현상을 야기한
태풍명 및 영향기간(출처: 태풍백서, 2011)

태풍번호	태풍명	영향기간
0205	라마순(RAMMASUN)	2002년 7월 4~6일
0215	루사(RUSA)	2002년 8월 31일~9월 1일
0304	린파(LINFA)	2003년 05월 30일
0306	사우델로르(SOUDELOR)	2003년 6월 18~19일
0314	매미(MAEMI)	2003년 9월 12~13일
0407	민들레(MINDULLE)	2004년 7월 2~4일
0410	남테운(NAMTHEUN)	2004년 08월 01일
0415	메기(MEGI)	2004년 8월 17~19일
0418	송다(SONGDA)	2004년 9월 6~8일
0514	나비(NABI)	2005년 9월 6~7일
0603	에위니아(EWINIAR)	2006년 7월 9~10일
0610	우쿵(WUKONG)	2006년 8월 18~19일
0613	산산(SHANSHAN)	2006년 9월 17~18일
0705	우사기(USAGI)	2007년 8월 3~4일
0711	나리(NARI)	2007년 9월 14~16일
0807	갈매기(KALMAEGI)	2008년 7월 19~20일
1004	덴무(DIANMU)	2010년 8월 10~11일
1007	곤파스(KOMPASU)	2010년 9월 1~2일
1009	말로(MALOU)	2010년 9월 6~7일
1105	메아리(MEARI)	2011년 6월 25~27일
1109	무이파(MUIFA)	2011년 8월 6~8일

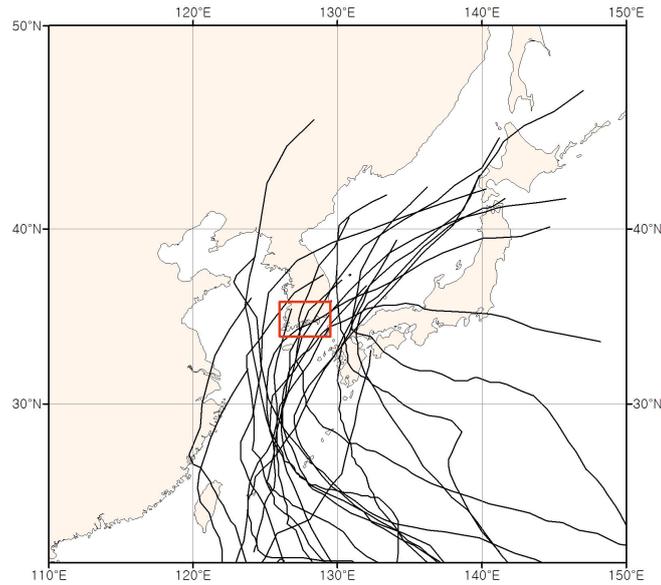


그림 6. 최근 10년간(2002~2011년) 남한에 극한강수 현상을 야기한 태풍(21개)의 이동경로 및 이동경로 구분 기준 격자(북위 34~36°, 동경 126~129.5°, 적색)

그 후 세부 강수 계절별 각 기간과 태풍의 이동경로에 따라 발생한 극한강수 현상과 지리적 인자들과의 관련성을 살펴보았다. 지리적 인자는 해발고도와 지역의 평균 해발고도, 사면향, 해양과의 거리 등을 정량화하여 극한강수 발생 패턴과 비교 기술 및 상관관계 분석을 실시한다. 이를 위한 지리적 요소의 산출과정은 다음과 같다. 극한강수현상과 해발고도와의 관계를 보기 위해 지점의 해발고도를 10m간격으로 구분하고 평균하여 해발고도대별 평균 극한강수현상을 산출한다. 해외의 여러 연구들(Spreen, 1947; Basist et al., 1994 등)에서도 산지지역의 경우 강수와 해발고도사이에는 양의 상관관계가 있음이 나타났다. 여러 연구에 따르면 강수는 측정지점의 해발고도보다 2~15km정도의 평균화된 지형과 더욱 강한 상관관계를 보였다(Daly et al., 1994; Hay et al., 1998; Gouvas et al., 2009 등). 본 연구에서는 강수관측지점의 평균 거리가 약 10km인 것을 고려하여 강수관측지점 반경 5km의 평균 해발고도를 지점이 대표하는 평균 해발고도로 정하였다. 사면향의 경우 지역의 전반적인 사면향을 보기 위해 복잡한 지형의 기록을 단순화한 5×5km 격자의 평균 향을 사용한다. 기상관측지점과 수분공급원인 해양과의 거리는 지역의 지배적인 바람방향을 고려하여 바람이 불어오

는 쪽으로 지점과 해양과의 최단 거리를 산출한다.

세부 강수 계절에 따른 상층중관특성을 살펴보기 위해서 NCEP-DOE Reanalysis II의 동아시아 영역(북위 0~60°, 동경 90~170°) 850hPa면 일 평균 바람(u-wind, v-wind), 기온, 상대습도자료를 활용하였다. 850hPa면은 해발 약 1.5km 상공에 위치하며 지상기압계의 모양과 매우 유사하며 지형 및 복사의 영향을 적게 받는다(기상청 기상백과). 이에 국내 다수의 연구에서도 850hPa면의 바람과 수증기 수송을 중관패턴 분석에 사용한다(김성삼 외, 1983; 박창용 외, 2008; 박병익, 2005, 2006, 2011). 극한강수 발생 시 중관상태 패턴을 보기 위해 강수 계절별로 극한강수현상이 한 지점이라도 발생하였을 경우 해당일 들의 평균 수증기 수송량을 나타내었다. 수증기 수송량은 Bolton(1980)의 공식을 이용해서 다음과 같은 방식으로 산출하였다. 먼저 기온자료에서 포화수증기압을 계산 하고(식 1)

$$es = 6.112^{(17.67 \times T)/(T+243.5)} \quad (\text{식 1})$$

상대습도 자료에서 수증기압을 구하였다(식 2).

$$e = es \times \frac{RH}{100} \quad (\text{식 2})$$

이를 이용하여 비습을 구하고(식 3), 비습에 풍속을 곱하여 수증기 수송량을 산출하였다.

$$q = \frac{0.622 \times e}{(p - (0.378 \times e))} \times 1000 \quad (\text{식 3})$$

여기에서

T = 기온(°C)

es = 포화수증기압(단위: hPa)

e = 수증기압(단위: hPa)

$RH = \text{상대습도}(\%)$

$q = \text{비습}(\text{단위: g/kg})$

$p = \text{기압(hPa)}$

한편 태풍의 경우 저기압회전을 하며 빠르게 이동하고 이동경로 역시 다르게 나타나기에 일평균 자료를 이용하면 이동경로에 따라 같은 유형으로 구분한 태풍이라 할지라도 기후적인 상층종관패턴 특성이 나타나기 어렵다. 때문에 NCEP-DOE Reanalysis II의 850hPa면 6시간 간격의 바람, 기온, 상대습도 자료를 사용하였다. 이 자료를 이용하여 각 유형별 태풍의 중심이 서로 인접한 정도에 위치하게 되는 북위 약 34~35° 상에 태풍의 중심이 위치하였을 때 평균 수증기 수송장을 나타냈다. 그 후 태풍의 이동경로별 기후적인 상층종관 패턴과 극한강수 분포와의 관계를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 극한강수 분포 패턴

기상관측지점 수평·수직 이동 및 극한강수 기준 결측 여부를 모두 고려하여 최근 10년간(2002~2011년) 종관기상관측장비(ASOS) 64개 지점과 방재기상관측장비(AWS) 271개 지점, 총 355개 지점을 선정하였다. 그 후 선정지점의 일 강수량 자료를 사용하여 각 지점별 고정 임계치와 상대적 임계치 이상의 일 강수량 발생일수와 강도(극한강수량/극한강수일), 비율(극한강수량이 5~10월 전체 0.1mm 이상 강수량에서 차지하는 비율)을 산출하고 지도화 하였다.

고정 임계치의 경우 극한강수현상과 해발고도와의 관계를 보기 위해 관측지점의 해발고도를 10m간격으로 구분하여 해발고도대별 연평균 극한강수 일수와 강도 비율을 산출하고 그래프화 하였다. 이때 제주도에 위치한 지점은 한반도와는 달리 해양성 기후의 영향이 탁월하고 해발고도 증가에 따른 강수량의 증가현상이 극단적인 큰 값을 나타내기에 극한강수현상과 해발고도와의 관계 분석 그래프에서 제외하였다.

고정 임계치 기준 극한강수, 상대 임계치 기준 극한강수 분포 패턴을 분석하면 다음과 같다.

1) 고정 임계치 기준 극한강수

최근 10년간 일 강수량 80mm 이상 일수의 연평균 공간분포를 살펴보면, 서울과 경기도의 산간지역, 남해안 일대, 제주도 고산지대를 중심으로 3일 이상의 극한강수일수가 나타난다(그림 7). 특히 경기도의 산간지역과 지리산 동사면, 제주도의 고산지대에서는 4~5일 이상의 높은 극한강수일수가 나타난다. 대조적으로 경상북도는 극한강수일수가 2일 이하의 낮은 지역이 전반적으로 관찰된다. 경상북도 지역은 중위도 풍향인 편서풍대에 위치해 있고 여름철 남풍 혹은 남서풍의 비그늘 지역에 속하여 극한강수 발생 빈도가 낮게 나타난다. 극한강수 일수는 광주산맥 주변에서 최대치가 나타나고 태백산맥에 가까워질수록 감소하는 경향을

보인다. 강원도 태백산맥 지역의 경우 해발고도가 약 600m 이상으로 높지만 극한강수의 발생빈도는 사면향과 해발고도에 따른 일정한 증감패턴 없이 복잡한 패턴을 보인다.

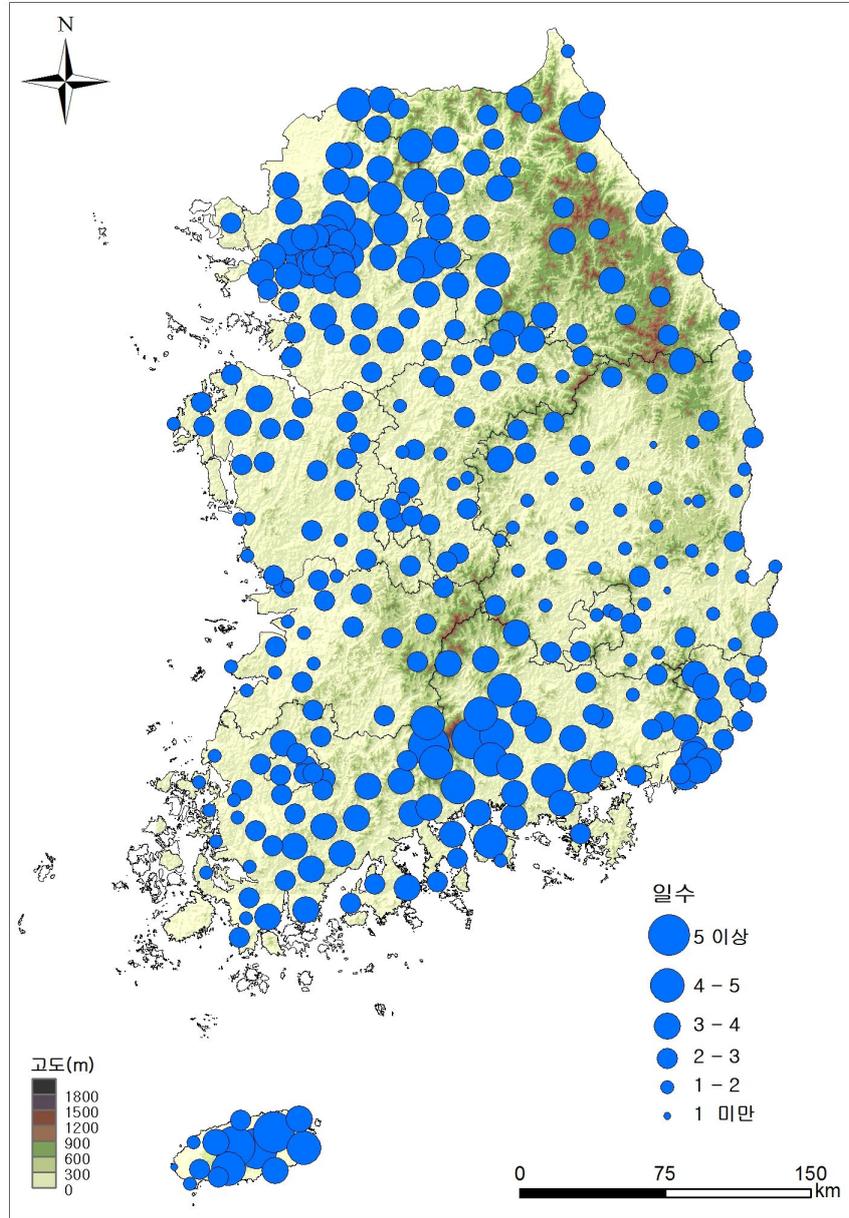


그림 7. 최근 10년(2002~2011년) 평균 5~10월 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수

고정 임계치 극한강수 발생 빈도와 해발고도와의 관계를 보기 위해, 지점의 해발고도를 10m 간격으로 구분하고 극한강수 발생 일수를 평균하여 해발고도대별 연평균 극한강수 일수를 산출하였다(그림 8). 해발고도와 극한강수 발생 빈도 간에는 통계적으로 유의미한 상관관계가 관찰되지 않았다. 해발고도 300m 이상의 산간지대에는 기후 관측지점이 드물어 대표성이 취약할 수 있지만, 대체적으로 350~480m 구간에서 극한강수 발생 빈도가 증가하는 경향이 뚜렷하게 관찰된다.

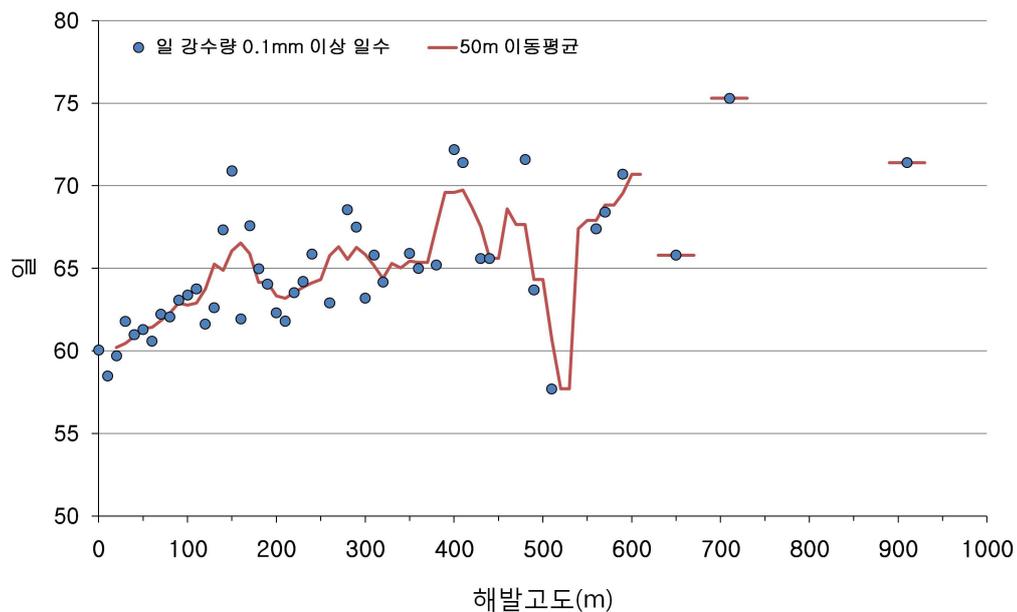


그림 8. 최근 10년(2002~2011년) 해발고도별 연평균 일 강수량 80mm 이상 극한강수 발생 빈도(5~10월, 제주도 제외)

세부적으로 강수 강도에 따른 차이를 보기 위해 해발고도별 연평균 일 강수량 80mm 미만 일수와 전체 강수일수(일 강수량 0.1mm 이상)와의 관계를 살펴보았다(그림 9). 일 강수량 80mm 미만 일수의 해발고도별 분포는 전체 강수일수의 해발고도별 분포와 유사한 패턴을 보인다. 최근 10년간 연평균 강수일수는 전반적으로 해발고도가 상승함에 따라 증가하는 추세를 보이고 있다. 특히 전체지점의 약 70% 이상의 관측지점이 위치하고 있는 해발고도 0~110m 구간은 해발고도 상승에 따라 강수일수의 뚜렷한 증가 패턴이 보인다. 이 구간의 해발고도와

강수일수간의 피어슨 상관계수는 0.9로 높게 나타난다. 해발고도 650m 이상 지역의 강수일수는 전 구간의 평균적인 강수일수보다 높게 나타난다.

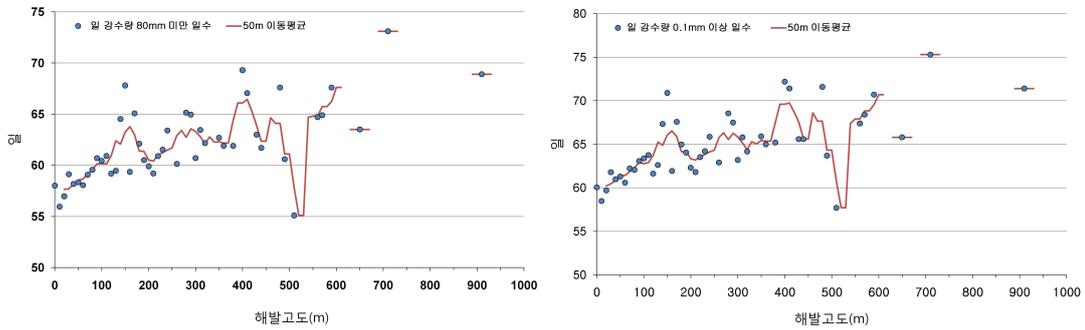


그림 9. 최근 10년(2002~2011년) 해발고도별 연평균 일 강수량 80mm 미만 발생 빈도(좌), 일 강수량 0.1mm 이상 강수 발생 빈도(우). (5~10월, 제주도 제외)

해발고도가 높은 산악지역의 관측지점 수가 적어 극한강수현상이 집중적으로 나타나는 지역규모에서 분석해 보면 전 관측지점 기록 극한강수일수의 +2 표준편차(약 50일) 이상의 극한강수 발생빈도가 나타나는 관측지점은 산지 혹은 산지 주변에 위치하는 것으로 나타난다(표 8).

표 8. 연 평균 일 강수량 80mm 이상 극한강수일 발생 다발지역

지점명	산지명 사면방향	극한강수 발생일수	관측지점 해발고도(m)	반경 5km 평균 해발고도
성관악	한라산 남사면	12.9	757.4	708.1
어리목	한라산 북사면	8.0	968.3	942.8
피아골	지리산 남사면	6.0	413.3	769.9
설악동	설악산 동사면	5.7	189.5	457.1
선흘	한라산 남사면	5.3	340.6	304.8
용문산	용문산 남사면	5.2	197.3	414.6
삼장	지리산 동사면	5.1	134.5	507.3

해당지점 해발고도는 약 130~960m의 범위에 해당된다. 강수현상은 관측지점의 해발고도가 아닌 지역의 전반적인 평균 해발고도의 영향을 받기에(Daly et al., 1994; Hay et al., 1998; Gouvas et al., 2009) 관측지점을 중심으로 5km 반경의 평균 해발고도와의 관련성을 분석하였다. 그 결과 극한강수현상의 집중구역은 해발고도 약 300m 이상 지역과, 대체적으로 남사면과 동사면에서 나타남을 알 수 있다. 제주도 한라산의 어리목 지점 경우에는 주향이 북사면이지만 해발고도가 상대적으로 높고 정상에서의 거리도 비교적 가깝기에 극한강수현상이 집중된다.

강수현상은 경년 변동이 있으므로 지난 10년간 연도별 극한강수 일수의 시계열을 살펴보았다. 10년 동안 각 지점별로 고정 임계치를 넘는 극한강수 발생일은 연평균 5일 이하로 나타난다(그림 10).

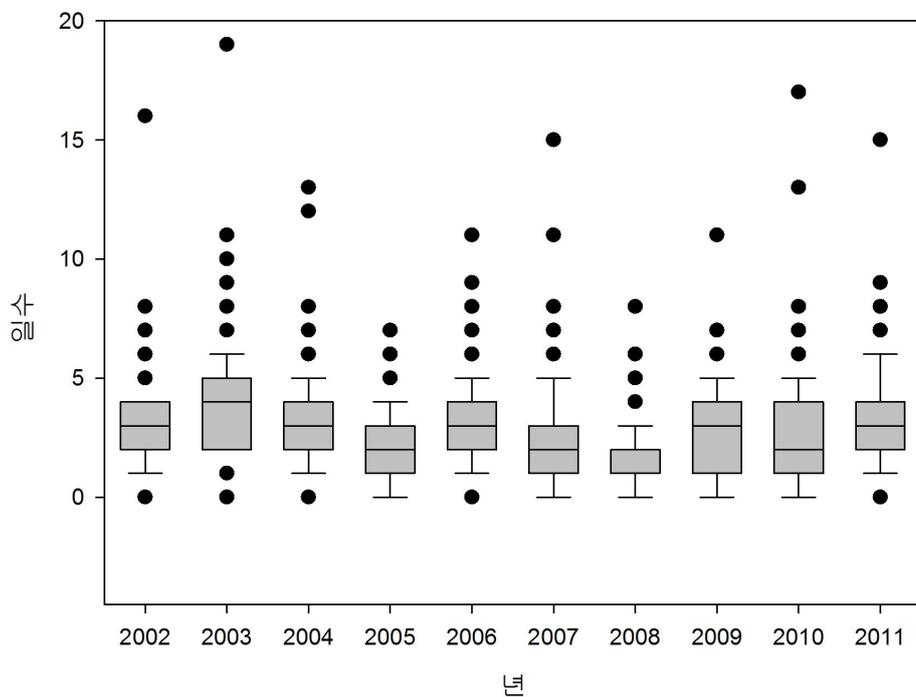


그림 10. 최근 10년(2002~2011년) 연도별 전체 관측지점 일 강수량 80mm 이상 일수(5~10월)

5년 이상 극단값이 발생한 지점은 한라산 사면의 성관악과 어리목, 설악산 사면의 설악동, 지리산 사면의 피아골 지점이며 극한강수 일수가 +2 표준편차 이

상인 지점의 상위권에 해당한다(표 9). 한라산과 설악산, 지리산 일대는 극한강수의 지역적 차이로 인해 정상분포를 넘어서는 극단값이 자주 발생함을 알 수 있다.

표 9. 극한강수 발생의 정상분포를 넘는 극단값이 5년 이상 나타난 지점

지점명	산지명 및 사면방향	연평균 발생빈도(일)	관측지점 해발고도(m)	반경 5km 이내 평균 해발고도
성판악	한라산 동사면	10	757.4	708.1
어리목	한라산 북사면	7	968.3	942.8
설악동	설악산 동사면	6	189.5	457.1
피아골	지리산 남사면	5	413.3	769.9

고정 임계치를 넘는 극한강수강도(극한강수량/극한강수일)의 공간적 분포를 살펴보면, 제주도 한라산 고산지대의 어리목(968.3m)과 성판악(757.4m), 태백산맥 동사면의 강릉(26.0m)지점에서 150mm를 넘는 강수강도가 나타난다(그림 11). 130mm 이상의 극한강수강도는 남해안 일대와 서울, 경기도, 강원도 지역을 중심으로 나타난다. 충청도 경상북도지역은 전반적으로 120mm 이하의 강수강도가 나타난다. 극한강수 일수와 강도는 비례하지 않지만 전반적인 분포 패턴은 유사하게 나타난다.

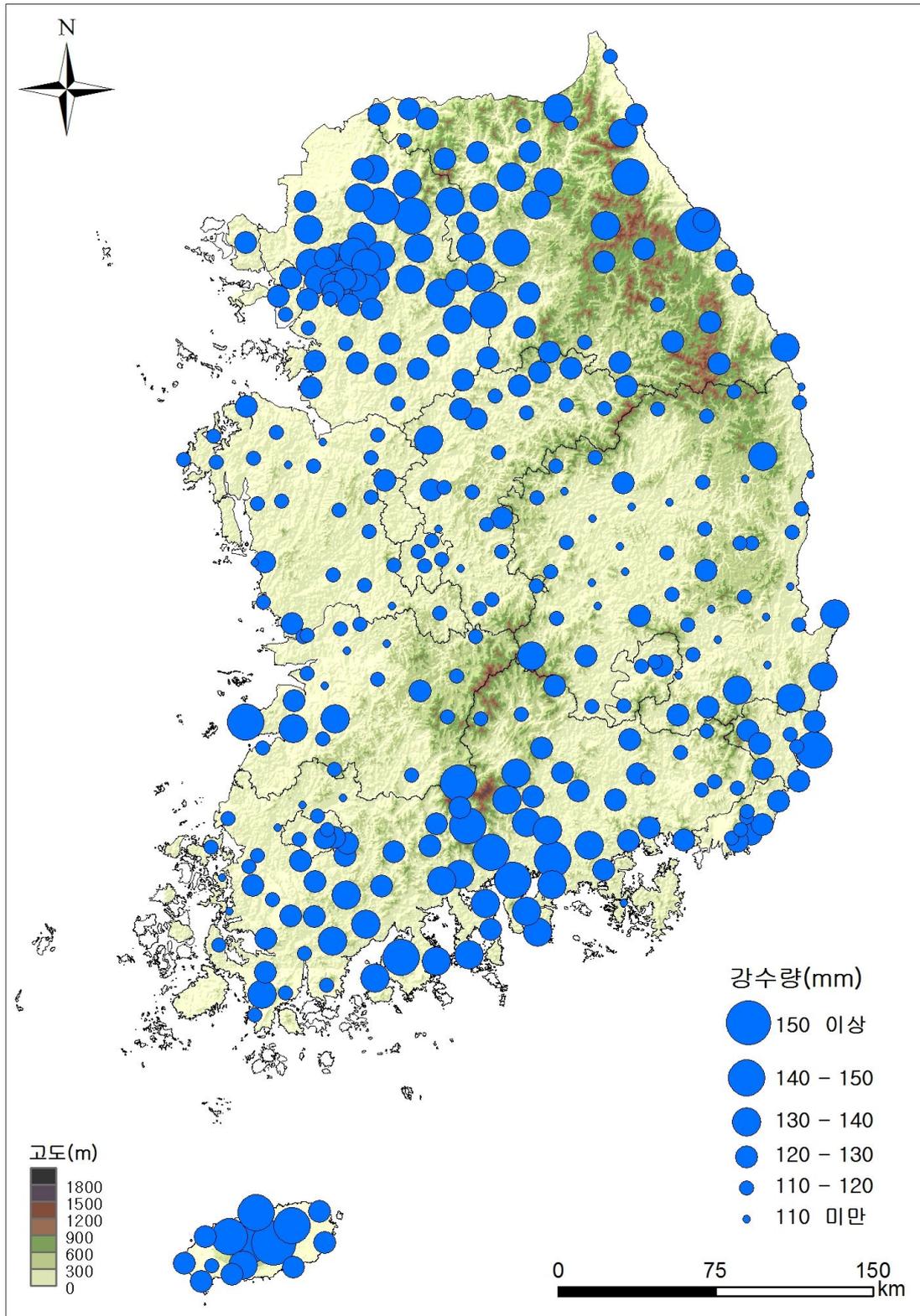


그림 11. 최근 10년(2002~2011년) 평균 5~10월 일 강수량 80mm 이상 극한강수일 강수강도(극한강수량/극한강수일)

극한강수강도는 해발고도 400m 이상 지점에서 증가하다가 해발고도 480m 이상 지점에서는 감소하는 패턴이 나타난다(그림 12). 대체적으로 지속적인 증감추세는 나타나지는 않는다. 해발고도 650m 이상 지역의 극한강수강도는 전체 평균 보다 다소 높은 경향을 보인다. 극한강수 일수가 해발고도 650m 이상 지역에서 평균보다 다소 낮은 경향을 보이는 것과 상반된다. 이는 650m 이상의 해발고도대에서 극한강수 일수는 감소하지만 극한강수 강도는 더 높아지는 것을 가리킨다.

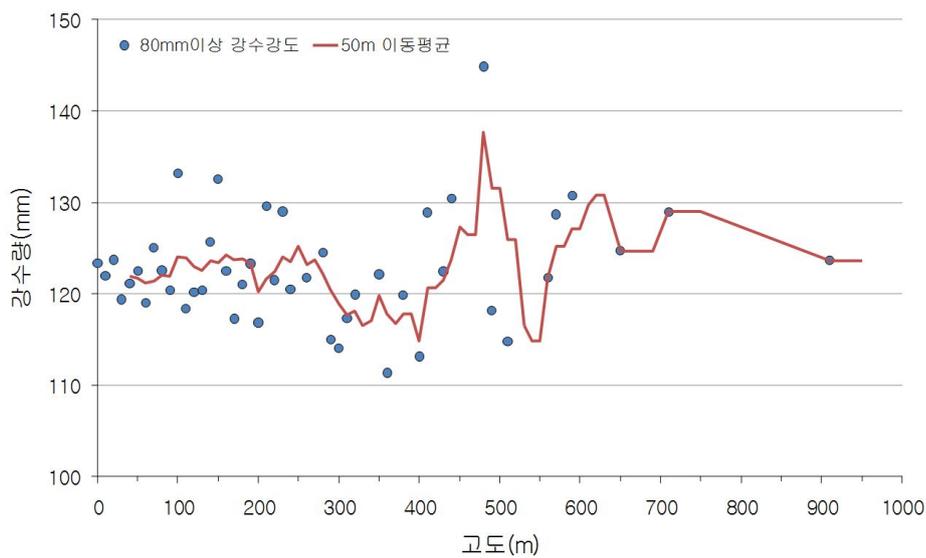


그림 12. 해발고도별 일 강수량 80mm 이상의 극한강수일 강수강도(극한강수량/극한강수일)

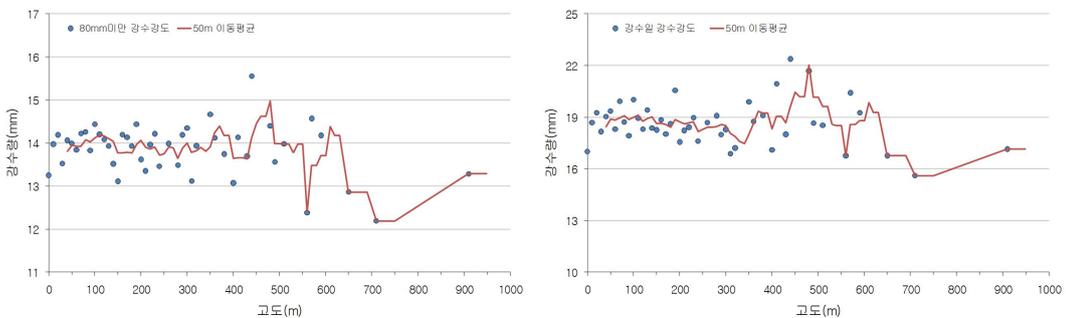


그림 13. 해발고도별 일 강수량 80mm 미만(좌) 및 0.1mm 이상(우) 강수일의 강수강도(우) 분포

대조적으로 연구기간 강수일(일 강수량 0.1mm 이상 일수)과 80mm 미만 강수일의 강수강도는 해발고도 650m 이상 지역에서 평균적인 강수강도에 비해 다소 낮게 나타난다(그림 13).

상대적으로 높은 극한강수강도가 나타나는 지점의 지리적 요소를 보기 위해 +2 표준편차 이상의 극한강수강도가 나타나는 지점을 살펴보았다(표 10). 공간적으로 극한강수강도가 높은 관측지점의 분포는 대체적으로 한라산과 지리산 등의 산지와 남해안과 동해안 일대에 위치하였다.

표 10. 일 강수량 80mm 이상 극한강수 강도 분포
(335개 지점 중 +2 표준편차 이상인 경우)

지점명	관측지점 해발고도(m)	극한강수일 강수강도(mm)	반경 5km 이내 평균 해발고도
어리목	968.3	161.5	942.8
성판악	757.4	153.9	708.1
강릉	26.0	150.5	47.2
울기	38.1	149.3	13.3
유수암	422.9	147.5	390.0
서림	159.8	146.3	538.4
양동	110.0	145.4	217.4
금남	11.3	145.0	103.0
뱀사골	480.6	144.9	835.4
선홀	340.6	144.7	304.8

극한강수일수 극한값이 나타나는 지점과의 주요한 차이점은 해발고도가 낮은 지역에도 극한강수강도가 높은 지점이 나타난다는 점이다. 해발고도 100m 이내에 위치한 해당지점들은 수증기의 공급원인 해양과 거리가 10km 이내로 극한강수강도에 있어 해안과의 거리가 중요한 비중을 차지함을 확인할 수 있다.

일 강수량 80mm 이상의 극한강수일의 강수량이 연구기간 강수량에서 차지하는 비율이 30% 이상인 지점은 서울과 경기도를 중심으로 한 중부지방과, 남해안 일대를 중심으로 분포한다(그림 14).

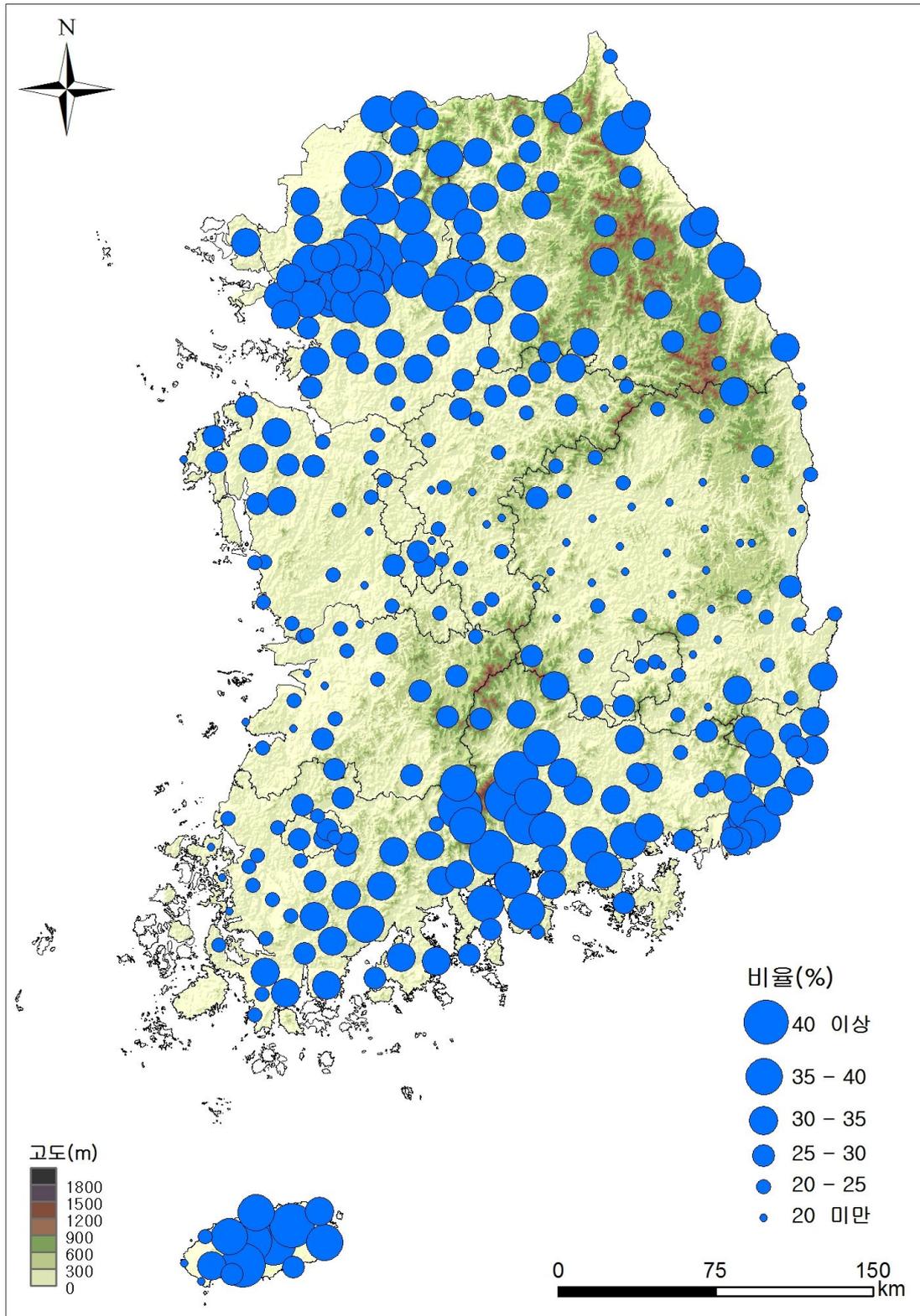


그림 14. 최근 10년(2002~2011년) 5~10월 일 강수량 80mm 이상 극한강수가 0.1mm 이상 전체 강수에서 차지하는 비율(%).

극한강수 비율이 35% 이상인 지점은 서울과 경기도, 영동지방, 지리산 주변과 섬진강 하류, 제주도 등의 지역이다. 특히 제주도의 성판악과 어리목 지점은 연 구기간 강수량에서 극한강수일의 강수량이 차지하는 비율이 각각 61.1%, 54%로 매우 높게 나타난다(표 11).

표 11. 일 강수량 80mm 이상 극한강수 기여도 분포
(+ 2 표준편차 이상인 경우)

지점명	관측지점 해발고도(m)	비율(%)	5~10월	
			강수량 (mm)	극한강수량 (mm)
성판악	757.4	61.1	3247.1	1985.2
어리목	968.3	54.0	2392.8	1291.6
설악동	189.5	44.4	1713.8	761.8
용문산	197.3	43.2	1549.2	669.5

해발고도대별 일 강수량 80mm 이상의 극한강수량이 5~10월 전체 0.1mm 이상 강수량에서 차지하는 비율은 극한강수일수 빈도 그래프와 유사한 패턴을 보인다(그림 15).

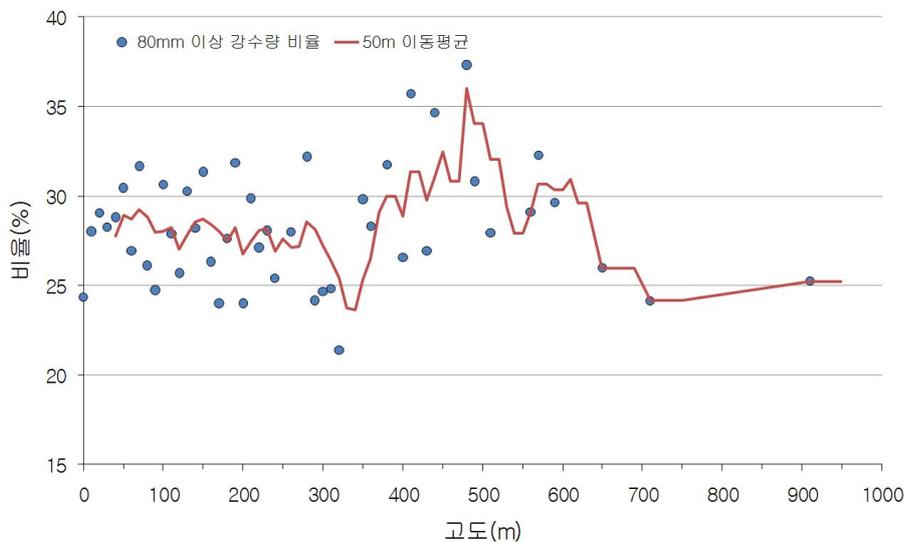


그림 15. 해발고도별 전체 0.1mm 이상 누적강수 중 일 강수량 80mm 이상 극한강수가 차지하는 비율

일 강수량 80mm 이상의 극한강수현상 발생 빈도는 연구기간 중 1%, 강수일의 4% 비중을 차지하지만 전체 강수량에서 극한강수가 차지하는 비율은 28%로 높게 나타난다. 극한강수현상의 강수강도 및 강수량은 전체 강수량에 영향을 주어 해발고도에 따른 강수량의 증가패턴을 약화시킨다. 이를 고려하지 않은 기존 연구들은, 제주도와 같이 뚜렷한 지형성 강수가 나타나는 지역을 제외하고, 해발고도에 따른 강수량의 증가패턴을 파악하지 못하였다.

극한강수 분포 패턴을 종합하면 전반적으로 서울을 포함한 경기도와 강원도의 산지지역과 남해안의 해안산지 일대, 제주도를 중심으로 극한강수현상의 빈도와 강도, 비율이 상대적으로 높게 나타남을 알 수 있다. 이에 극한강수 현상이 집중되는 지역을 중심으로 지역을 구분하고 해당 지역의 극한강수 현상과 해발고도, 해안인접성 등 지리적 인자와의 관계를 보기 위해 분석을 수행하였다.

서울과 경기도, 영서지방의 경우 태백산맥의 서사면에 위치하며 주로 경기만에 서 들어오는 기류의 영향을 받는다. 해당 지역에서 최근 10년간(2002~2011년) 해발고도 상승에 따른 5~10월 강수량을 살펴본 결과 해발고도 약 100m 이하의 지점에서 해발고도 상승에 따른 강수량의 증가 패턴이 나타나지만 약 100m 이상의 지점에서는 뚜렷한 증감패턴이 관찰되지 않았다(그림 16).

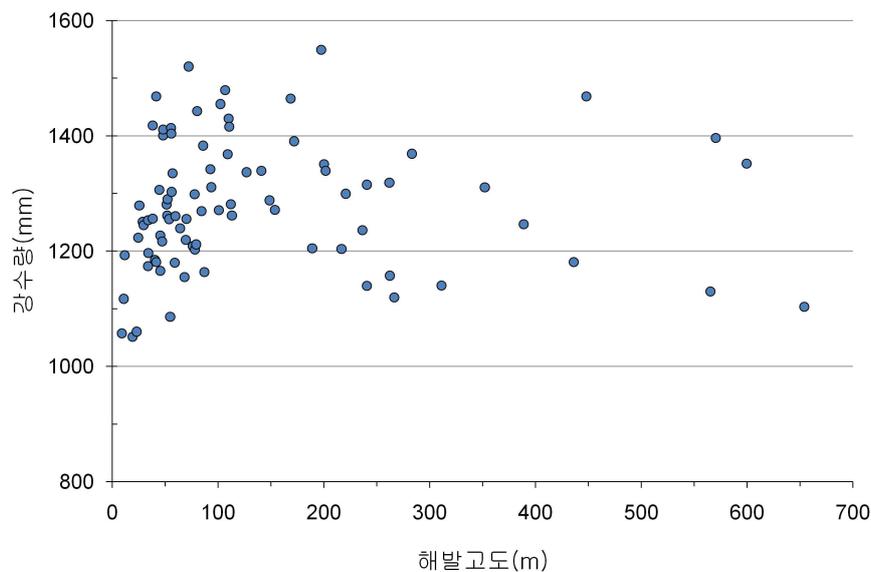


그림 16. 최근 10년간(2002~2011년) 태백산맥 서사면 일대 해발고도 상승에 따른 연평균 5~10월 강수량

일 강수량 80mm 이상 극한강수 현상의 빈도와 강도의 경우 해발고도 상승에 따른 극한강수 일수의 증감패턴은 뚜렷하게 나타나지 않으나 강수강도는 해발고도 100m 이하에서 증가하는 패턴이 나타난다(그림 17).

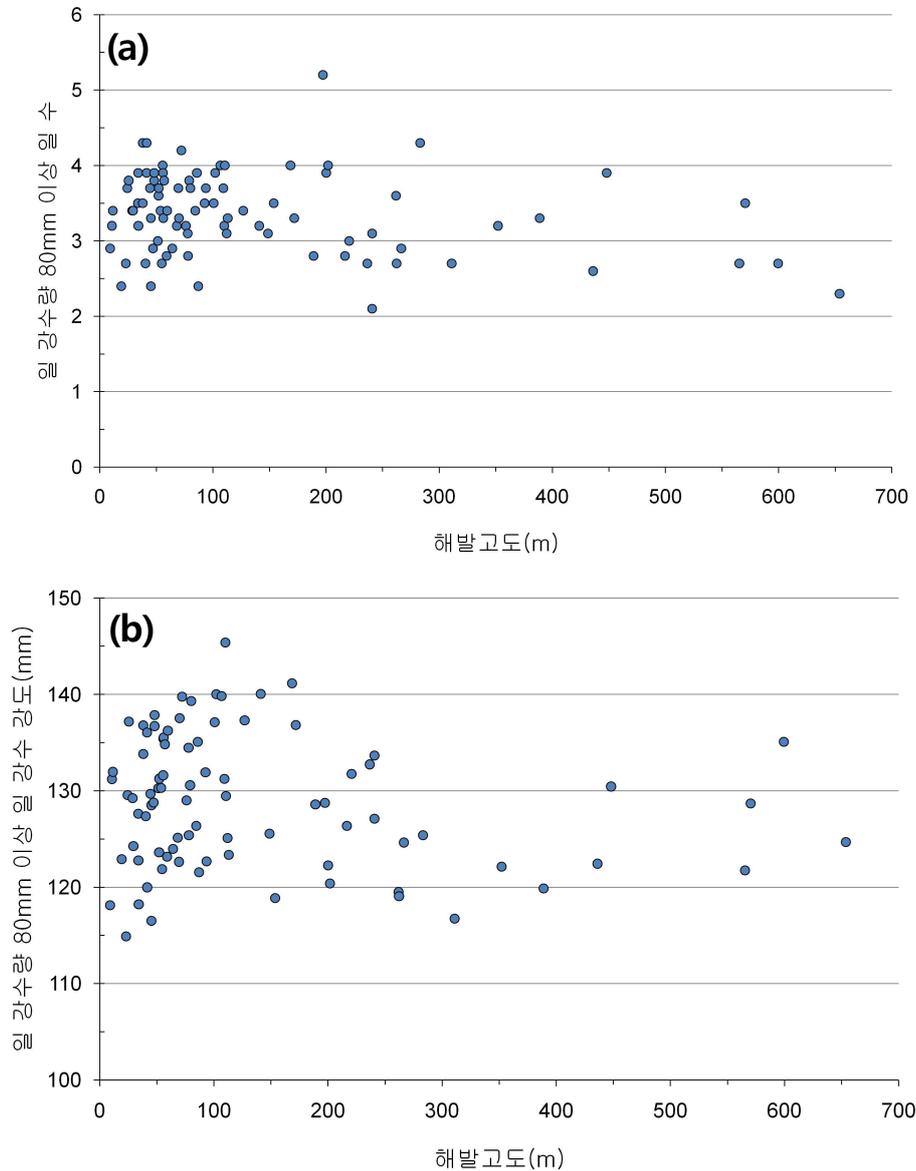


그림 17. 최근 10년간(2002~2011년) 태백산맥 서사면 일대 해발고도 상승에 따른 연평균 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수(a), 강수강도(b). (5~10월)

태백산맥 서사면 일대에서 경기만으로부터의 거리와 극한강수 현상의 빈도와 강도의 관계를 살펴본 결과 극한강수 일수와 강수강도는 경기만에서 약 100km 이내의 지점까지는 대체적으로 증가하나 약 100km를 넘는 지점에서는 감소하는 패턴이 나타났다(그림 18).

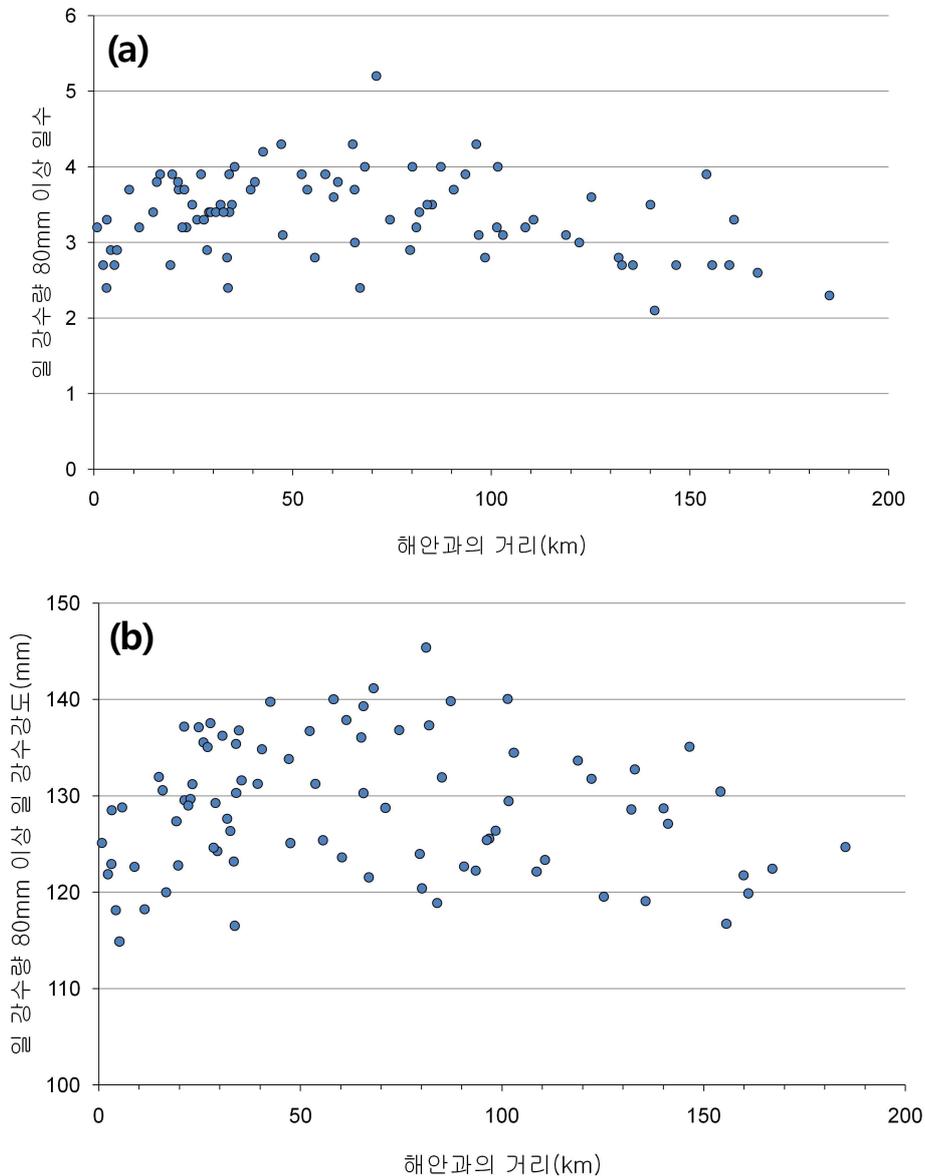


그림 18. 최근 10년간(2002~2011년) 태백산맥 서사면 일대 해안과의 거리 증가에 따른 연평균 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수(a), 강수강도(b). (5~10월)

이는 상대적으로 경기만에서 인접한 서울 및 경기도 지역의 경우 경기만의 수증기가 이류해올 때 북한산, 도봉산, 용문산, 화악산 등 해발고도 200~400m 이상의 산지들의 영향으로 극한강수현상이 강화되었을 것으로 사료된다. 반면 영서 지방의 경우 서풍으로 인한 수증기 수송이 경기만에서 나타날 때 이미 서울과 경기도 산지 지역에 강수로 내리면서 더 동쪽으로 이동 한 후에는 감소하여 극한강수 현상의 발생 빈도 및 강도가 상대적으로 낮아지게 된 것으로 사료된다.

남해안 일대의 경우 기류의 유입이 탁월하며 일 강수량 80mm 이상 극한강수 현상의 일수와 강도, 비율이 전반적으로 높게 나타난다. 극한강수 현상의 패턴이 집중되어 나타나는 해안에서 약 50km 이내 지점의 최근 10년간(2002~2011년) 해발고도 상승에 및 해안과의 거리에 따른 5~10월 강수량을 살펴보았다. 그 결과 두 경우 모두 해발고도 상승 및 해안과의 거리가 증가함에 따라 일부 지점에서 강수량의 증가가 관찰되나 뚜렷한 증감패턴이 관찰되지 않았다(그림 19).

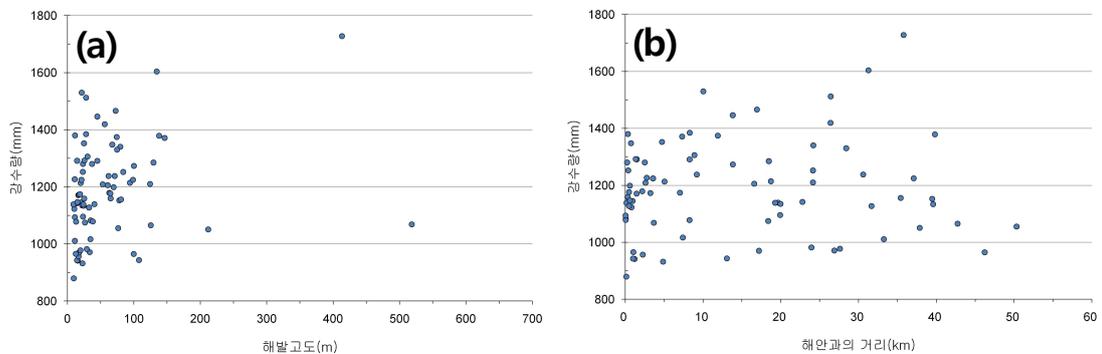


그림 19. 최근 10년간(2002~2011년) 남해안 일대 해발고도 상승 및 해안과의 거리 증가에 따른 연평균 5~10월 강수량

극한강수 현상의 빈도와 강도에 있어서도 해발고도 상승 및 해안과의 거리 증가와 뚜렷한 관계가 관찰되지 않았다(그림 20).

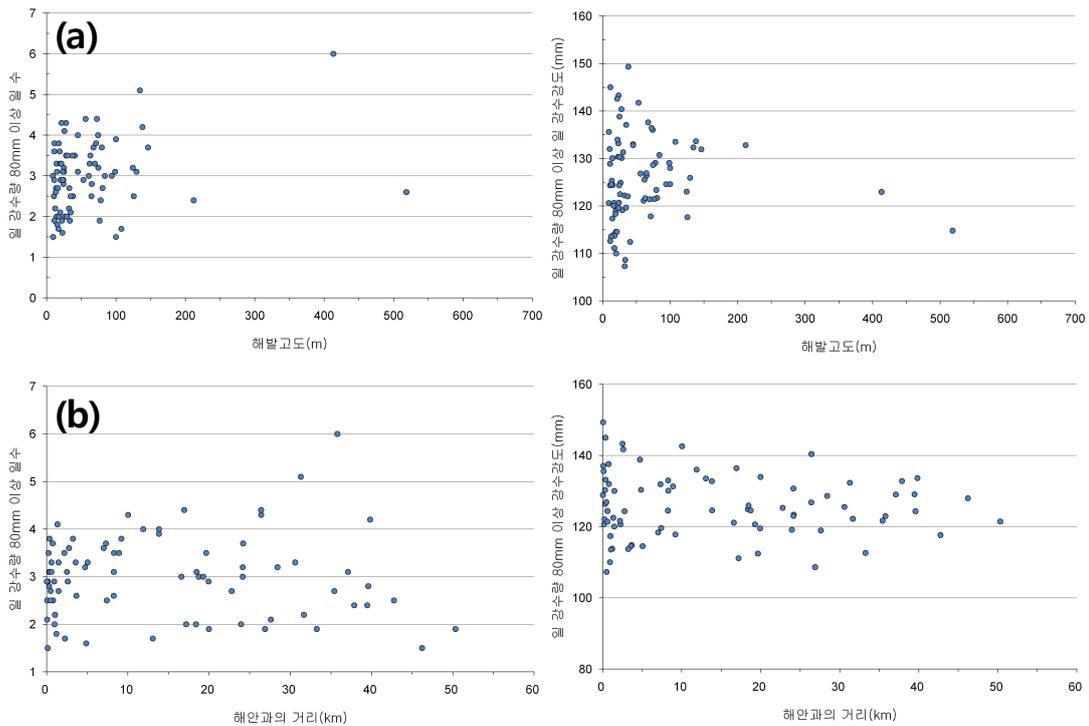


그림 20. 최근 10년간(2002~2011년) 남해안 일대 해발고도 상승(a) 및 해안과의 거리 증가(b)에 따른 연평균 5~10월 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수(좌)와 강수강도(우)

2) 상대적 임계치 기준 극한 강수

상대적 임계치 기준 극한 강수현상을 살펴보기 위해 최근 10년간(2002~2011년) 연도별 일 강수량을 내림차순으로 정리 후 평균한 뒤 95, 99퍼센타일 값을 산출하고 이를 지도화 하였다(그림 21). 각 지점별 95퍼센타일 극한강수 임계치의 공간분포를 살펴보면 제주도 한라산의 성관악(117.2mm), 어리목(82.7mm) 지점에서 80mm 이상으로 높은 극한강수 임계치가 나타난다. 극한강수 임계치가 70mm 이상인 지역은 설악산 동사면의 설악동 지점, 지리산 사면과 섬진강 하류, 제주도의 고산지대에서 나타난다. 전라북도, 충청도, 경상북도 지역에서 전반적으로 95퍼센타일 임계치는 40mm 이하로 상대적으로 낮은 값을 보인다. 국지적으로 제주도의 경우 한라산 남동사면과 북서사면의 차이를 보인다. 이는 제주도의 강수현상이 편서풍에 의해 수송된 수증기보다 남쪽에서 올라오는 저기압의

영향을 많이 받기 때문인 것으로 사료된다.

99퍼센타일 극한강수 임계치의 공간분포는 95퍼센타일 임계치의 공간 분포와 유사하다. 서울과 경기도의 수도권 일대와, 남해안 일대, 제주도를 중심으로 99퍼센타일 임계치가 120mm 이상으로 상대적으로 높게 나타난다. 99퍼센타일 임계치가 140mm 이상인 지점은 한라산 고산지대의 해발고도 340m 이상 지점과 지리산 주변, 경기도 남양주와 청평지점의 해발고도 약 130m 이하 지점에서 나타난다.

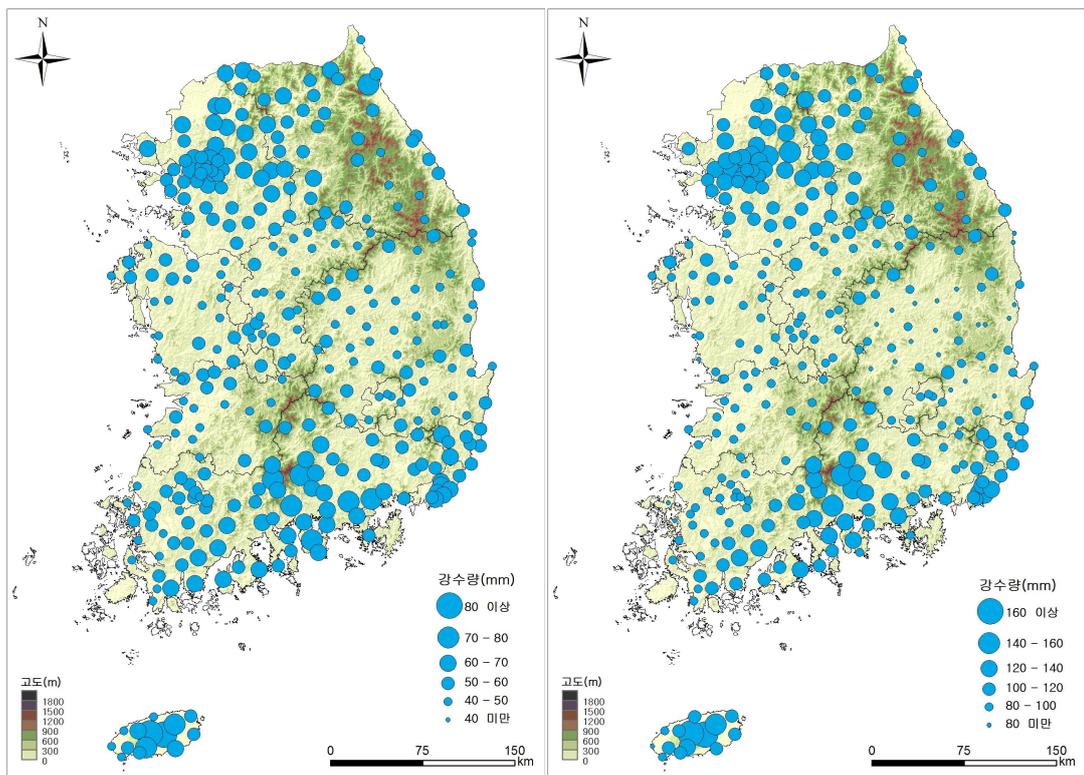


그림 21. 최근 10년(2002~2011년) 평균 연중 일 강수량 95퍼센타일(좌) 및 99퍼센타일(우) 임계치(mm)

해발고도가 높고 그 규모가 큰 한라산과 지리산 일대의 상대적 극한강수 임계치가 전반적으로 높은 것을 볼 때 독립된 큰 규모의 산지로 인해 극한강수현상이 강화된 것으로 사료된다. 큰 규모의 산지(약 40km의 지름, 1.5km의 해발고도)는 산지사면을 타고 올라가는 기류로 인한 지형성 강수가 나타나기 좋은 조건에 해당한다(Roe, 2005).

각 지점별로 95퍼센타일 임계치 이상 극한강수 일수의 공간 분포를 살펴보면 노령산맥을 중심으로 극한강수 일수가 6~7일 이상의 지점이 다수 분포한다(그림 22좌). 이 지역에서는 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수가 상대적으로 낮지만 지역의 기후적인 강수량을 넘는 상대적 극한강수일의 발생 빈도는 다른 지역에 비해 높게 나타난다. 남해안 일대의 극한강수 일수는 5~6일 이하인 경우가 빈번하다. 95퍼센타일 임계치 값이 전반적으로 높게 나타난 남해안 일대 지역에서는 상대적 극한강수일의 발생 빈도가 낮는데 이는 극한 강수일의 강수량도가 매우 높음을 가리킨다. 반면 한라산과 지리산의 고산지대는 95퍼센타일 임계치와 이를 초과하는 극한강수일의 발생빈도(7일 이상)가 모두 높게 나타난다.

99퍼센타일 임계치 이상 극한강수 일수는 경기도와 강원도 북부지역에 약 2일 이상 나타나며 강원도 지역의 양구군 해안면에서 가장 높은 2.4일의 값을 보인다(그림 22우).

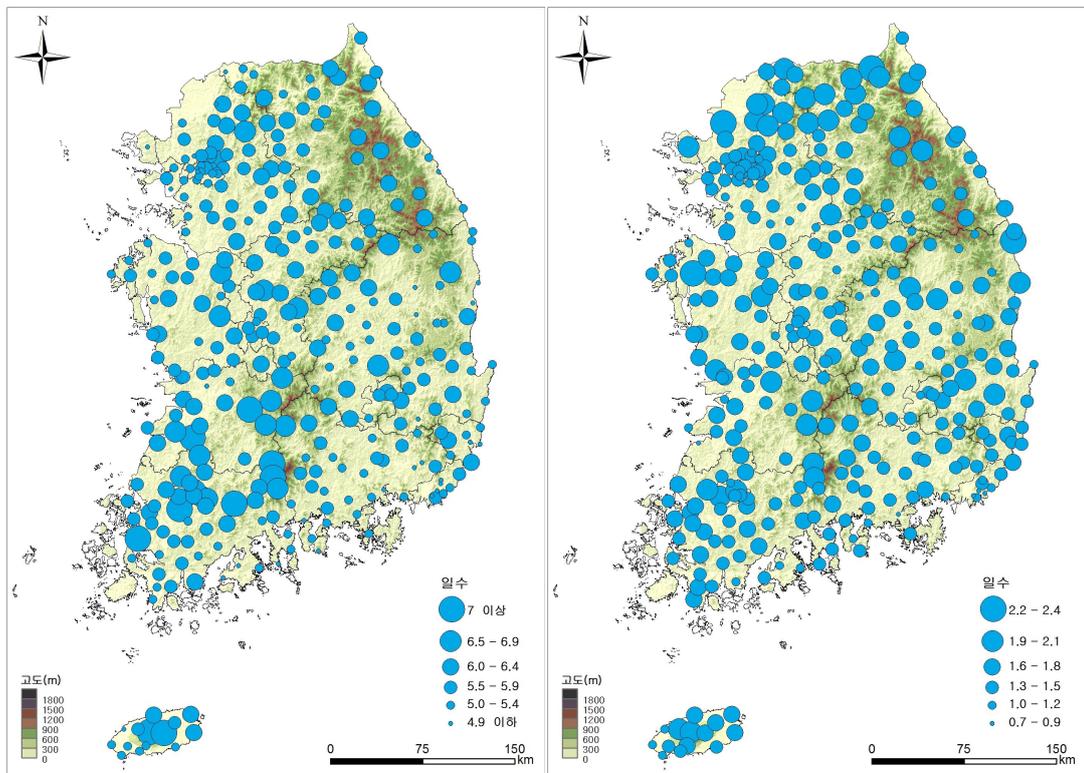


그림 22. 최근 10년(2002~2011년) 평균 5~10월중 일 강수량 95퍼센타일(좌), 99퍼센타일(우) 이상 극한강수 일 발생 빈도

연구기간 지점별 95퍼센타일 이상 극한강수현상의 강수강도(극한강수량/극한강수일) 분포 패턴은 고정 임계치(일 강수량 80mm 이상) 극한강수현상 강수강도 분포패턴과 유사하다(그림 23좌). 각 지점별 99퍼센타일 이상의 극한강수일의 강수강도의 경우 190mm/일 이상의 높은 값을 가진 서울을 중심으로 집중되어 나타나고 있다(그림 23우). 인구와 기반시설이 밀집된 서울 도심의 99퍼센타일 이상 극한강수현상은 연평균 1~2회 정도의 사례가 나타난다.

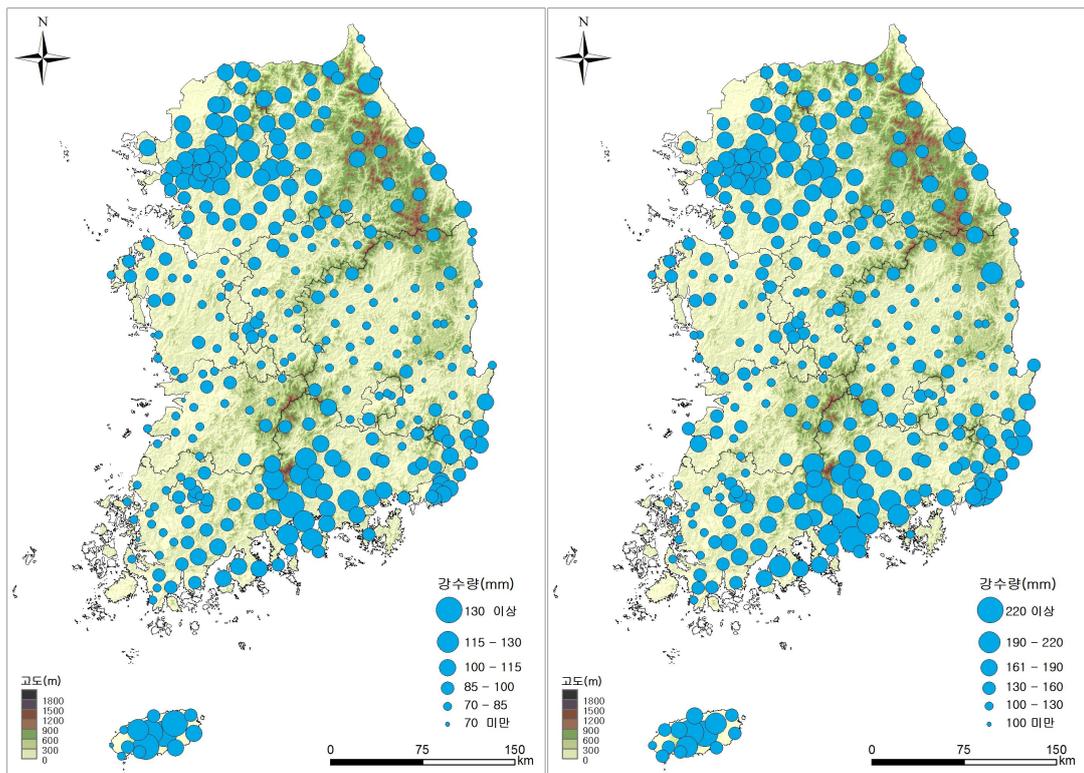


그림 23. 최근 10년(2002~2011년) 평균 5~10월 일 강수량 95퍼센타일(좌), 99퍼센타일(우) 이상 극한강수일의 강수강도(극한강수량/극한강수일)

상대적 임계치 이상 극한강수일의 강수량이 연구기간 전체 일 강수량 0.1mm 이상 강수량에서 차지하는 비율을 그림 24에 나타냈다. 95퍼센타일 이상 극한강수일의 강수량이 연구기간 전체 0.1mm 이상 강수량에서 차지하는 비율의 경우 서울을 중심으로 한 수도권과 노령산맥 일대, 제주도의 어리목과 제주, 동해안의 강릉지역에서 50% 이상으로 상대적으로 높게 나타난다. 반면 남해안 일대와 중

부내륙지방에서는 그 값이 약 40%이하로 상대적으로 낮게 나타난다. 경기도의 산지와 광주산맥, 태백산맥, 한라산과 지리산 등 주요 산맥과 산지 주변에서 99퍼센타일 이상 극한강수일의 강수량이 연구기간 전체 0.1mm 이상 강수량에서 차지하는 비율이 24%이상으로 높게 나타난다. 이러한 결과들은 극한강수 일수와 비교하여 볼 때 5~10월 강수량의 약 10% 정도의 극한현상이 수일 이내에 발생하는 것을 가리킨다.

다른 산악지역인 한라산과 지리산의 경우 일 강수량 80mm 이상 극한강수일의 강수량이 0.1mm 이상 전체 강수일의 누적 강수량에서 차지하는 비율이 남사면에서 높게 나타나는 것과 대조적으로 95퍼센타일, 99퍼센타일 극한강수일과 비율이 북사면에서 높게 나타난다. 이 지역은 한반도에 영향을 주는 태풍 발생 시 회전하는 기류가 북사면과 부딪혀 지형성 극한강수현상이 발생하는 것으로 사료된다.

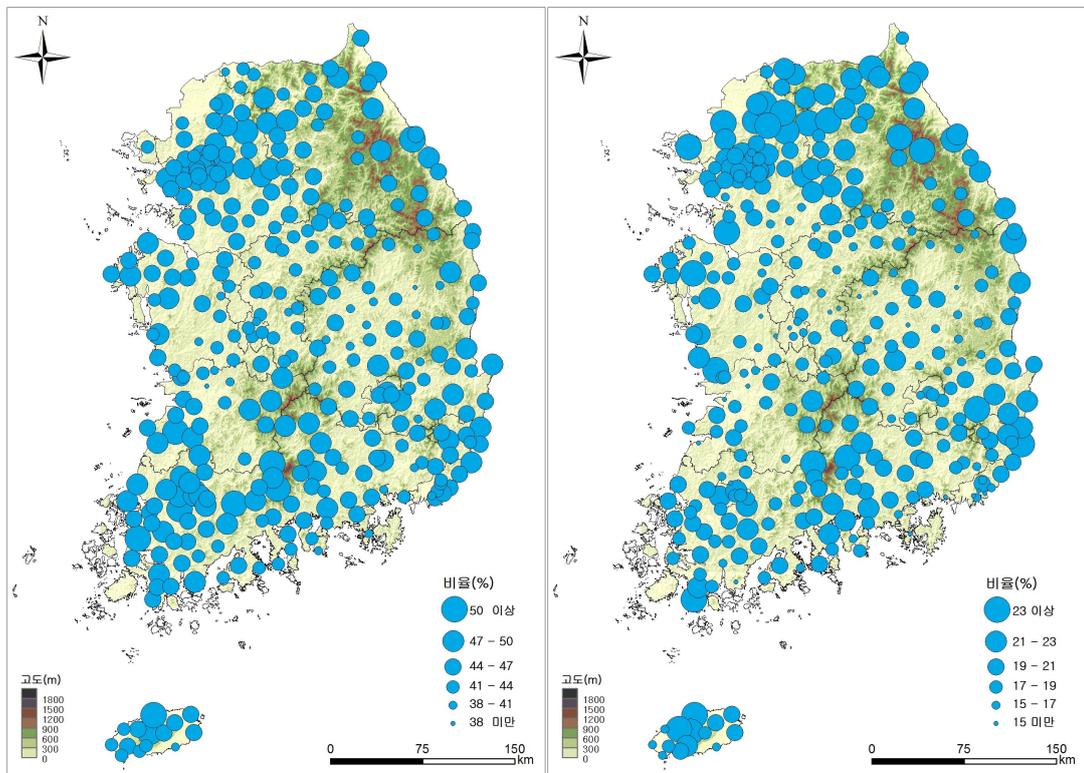


그림 24. 최근 10년(2002~2011년) 5~10월 일 강수량 95퍼센타일(좌), 99퍼센타일(우) 극한강수가 0.1mm 이상 전체 강수에서 비율(%).

3) 극한강수의 지역성

고정 임계치인 일 강수량 80mm 이상 극한강수일과 상대적 임계치인 95퍼센타일 이상 극한강수일을 높음, 보통, 낮음의 3단계 척도로 나눈 뒤 이를 중첩하였다. 중첩한 극한강수의 특징별로 집중 극한강수 지역, 다우 극한강수 지역, 상대 극한강수 지역으로 분류한 후 이를 지도화 하여 극한강수의 지역성을 살펴보았다(그림 25).

일 강수량 80mm 이상 극한강수일이 높고 95퍼센타일 이상 극한강수일이 낮은 다우 극한강수지역의 경우 서울과 광주산맥, 서산의 가야산지 서사면과 남해안 일대와 일부 내륙 산간지역, 제주도 한라산의 남사면 방면에 나타난다. 대부분의 다우 극한강수 지역이 해양과 가까운 거리에 위치하고 일부 내륙지역에 위치하는 경우 산지지역을 중심으로 나타나는 것을 볼 때 해양에서 불어오는 기류에 포함된 수증기가 해안일대의 지형으로 인해 상승하여 일 강수량 80mm 이상 극한강수일의 빈도가 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 해양과 인접한 곳에 위치하여 풍부한 수증기의 유입으로 지역의 기후평균 강수량이 전반적으로 높게 나타나기에 이를 넘어서는 상대적인 극한강수일의 발생 빈도는 낮게 나타난다.

일 강수량 80mm 이상 극한강수일이 높고 95퍼센타일 이상 극한강수일이 높은 집중 극한강수 지역의 경우 다우 극한강수 지역 후방에 위치한 내륙 산간지역을 중심으로 집중된 분포가 나타난다. 이는 해양과 인접한 다우 극한강수 지역에서 강수현상으로 인해 해양과 멀어지면서 다우 극한지역의 출현 빈도가 감소하나 내륙의 산지지형으로 인해 기류가 상승하여 응결·압축되어 일 강수량 80mm 이상 극한강수일의 빈도와 기후평균적인 강수현상을 넘어서는 95퍼센타일 이상 극한강수일의 빈도가 집중되어 나타나는 것으로 사료된다.

일 강수량 80mm 이상 극한강수일이 낮고 95퍼센타일 이상 극한강수일이 높은 상대 극한강수 지역의 경우 전반적으로 일 강수량 80mm 이상 극한강수일이 낮은 빈도를 보이는 충청도와 경상북도, 전라남도의 북서쪽을 중심으로 나타난다. 이는 일 강수량 80mm 이상 극한강수일이 낮은 지역일지라도 지역의 기후평균적인 강수량을 넘어서는 상대적 의미의 극한강수 현상이 나타남을 의미한다.

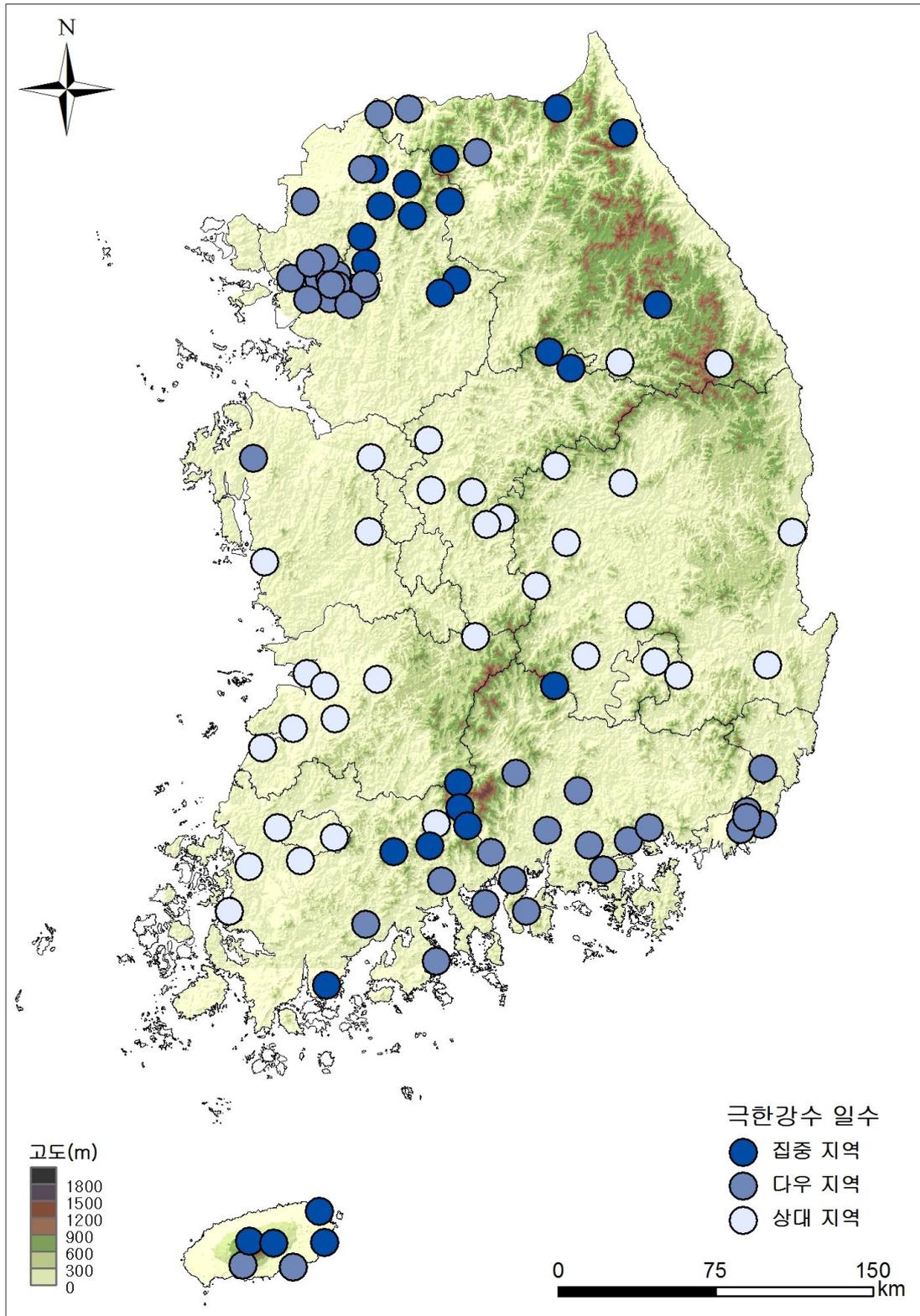


그림 25. 고정 임계치(일 강수량 80mm 이상)와 상대적 임계치(95퍼센타일 이상) 극한강수 중첩 극한강수의 지역성

극한강수 분포 패턴을 종합하면 산지 혹은 산지 배후지역에서 강도가 강한 극한강수현상이 나타나며 해양과의 거리도 극한강수 강도에 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 수증기의 주된 이동경로도 지형적 요인과 결합되어 극한강수 발생에 중요한 요인이 될 것으로 추정된다. 충청도와 전라북도 해안의 경우 서울과 경기지역, 남해안 일대와 달리 고정 및 상대적 임계치 이상 극한강수가 차지하는 비율이 낮게 나타난다. 경상북도의 해안지역 역시 태백산맥의 지형장벽에도 불구하고 영동지방에 비해 상대적으로 낮은 비율을 보인다. 서울도심의 경우 강도와 비율에서 모두 높은 값이 나타난다. 도시화에 의한 극한강수현상의 차이도 고려되나 다른 주요 도시지역에서 유사한 패턴은 보이지 않는다.

2. 강수 계절별 극한강수 분포 패턴

1) 장마 이전 기간

지난 10년간(2002~2011년) 매년 장마 이전 기간(5월 1일~6월 18일, 매년 49일)의 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일수의 분포를 보면(그림 26) 제주도에서 한라산 고산지대와 남사면 방면으로 1.5일 이상 나타난다. 전반적으로 0.5일 이상의 지점이 제주도와 남해안 일대, 지리산을 중심으로 분포한다. 이 외의 지역에서는 대체적으로 0.4일 이하의 발생 빈도를 보인다. 충청도와 전라북도, 경상북도의 저지대에서는 지난 10년간 장마 이전 기간에 극한강수현상이 발생하지 않은 지점이 다수 분포하며 이와 대조적으로 경기도의 태백산맥 고산지대에도 극한강수현상이 발생하지 않은 지점이 일부 분포한다.

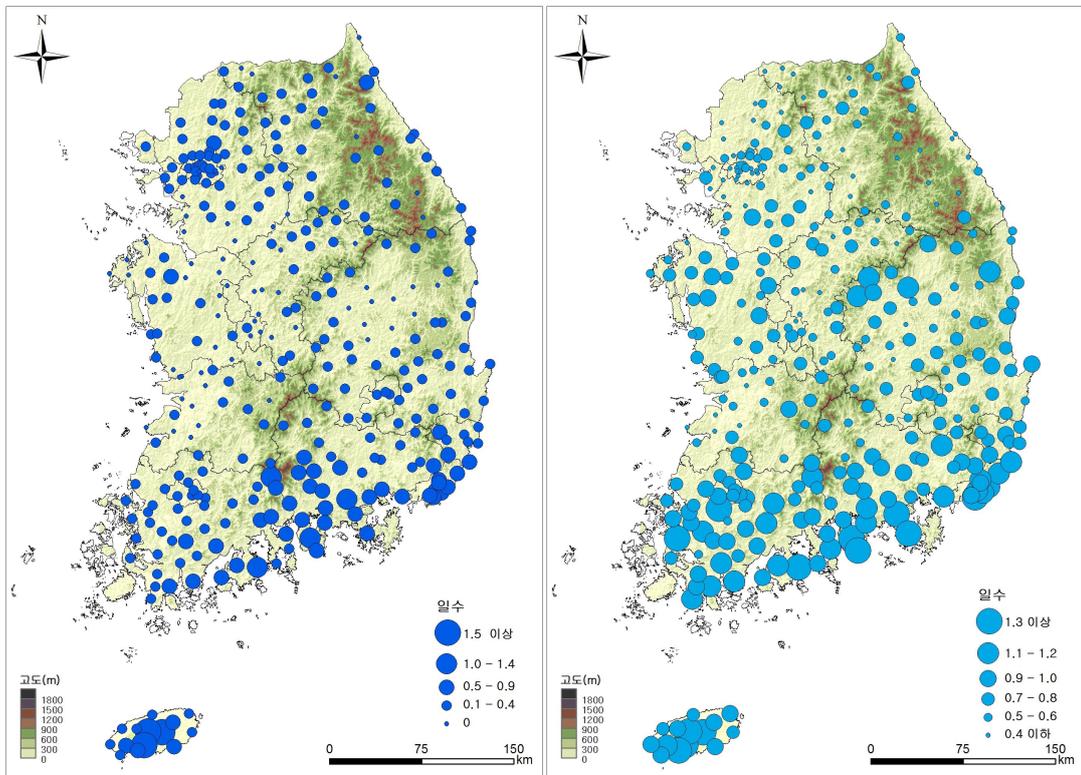


그림 26. 10년 평균(2002~2011년) 장마 이전 기간(5월 1일~6월 18일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도

장마 이전 기간 95퍼센타일 임계치 이상 극한강수일은 제주도 산간지대와 남해안 일대를 중심으로 1.3일 이상의 빈도가 나타난다. 0.9일 이상의 빈도가 제주도와 남부지방에서 나타나며 위도가 상승함에 따라 극한강수일의 빈도가 점차 감소하는 경향이 보인다. 강원도 태백산맥 일대의 극한강수일은 0.4일로 가장 낮은 패턴이 나타난다.

일 강수량 80mm 이상 극한강수일의 강수강도는 제주도에서 130mm 이상의 높은 강도를 나타내는 지점이 다수 분포한다. 남부지방 일대에는 90~110mm 이상의 강수강도가 나타난다(그림 27). 95퍼센타일 이상 극한강수일의 강수강도는 100mm 이상의 값을 나타내는 지점이 제주도와 남부내륙지역의 해안과 산지 주변을 중심으로 분포한다. 서울과 경기, 강원지방은 장마 이전 기간 극한강수일의 평균적 강수강도가 전반적으로 높은 편이다. 반면 충청도와 전라북도, 경상북도 지역은 극한강수일의 강수강도가 전반적으로 낮게 나타난다.

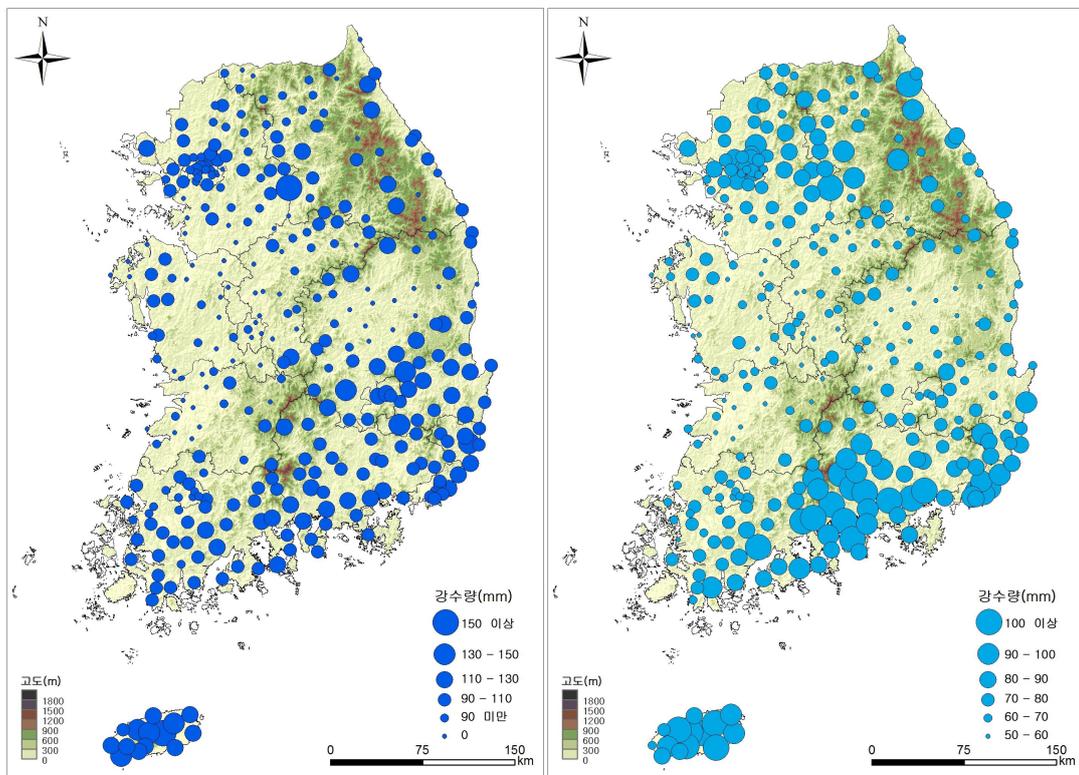


그림 27. 10년 평균(2002~2011년) 장마 이전 기간(5월 1일~6월 18일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일의 강수강도

장마 이전 기간 극한강수와 관련된 상층중관장 850hPa면의 평균 수증기 수송장을 일 강수량 80mm 이상 지점이 발생하지 않은 기간의 평균과 일 강수량 80mm 이상 지점이 1개 지점 이상 발생 시의 평균과 상호 비교하였다. 지난 10년간 장마 이전 기간인 490일 중 일 강수량 80mm 이상 극한강수현상이 발생하지 않은 419일간 상층중관장 850hPa면의 평균 수증기 수송장을 보면 한반도를 중심으로 한 북위 40°에 편서풍대가 동서 방향으로 위치한다(그림 28a). 반면 일 강수량 80mm 이상 극한강수현상 발생일의 경우(71일) 한반도 서쪽에 기압골(trough)이 위치하고 한반도를 중심으로 북위 30°에서는 강한 남서기류를 타고 60~90g/kg m/s의 수증기 수송이 나타난다. 이때 풍부한 수증기가 유입되면서 한반도 남쪽의 북위 30° 부근에 60~90g/kg m/s의 강한 수증기 수송대가 나타난다(그림 28b). 증가한 수증기수송량은 한반도 남부지역을 중심으로 영향을 미치고 위도 상승에 따라 극한강수에 미치는 영향은 감소한다.

즉, 장마 이전 극한강수현상은 아열대기단과 북태평양기단의 강화로 그 연변을 따라 풍부한 수증기가 남서기류를 타고 한반도 남부지역을 중심으로 유입할 때 발생함을 알 수 있다. 장마 이전 기간의 일 강수량 80mm 이상 극한강수 현상의 공간 분포가 남해안 일대를 중심으로 높게 나타나는 것을 볼 때 남해안 일대의 지형은 수증기 상승에 영향을 주어 지형성 극한강수 현상이 나타나는데 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한 한라산과 지리산 부근의 극한강수 일수와 강도가 높게 나타나는 것을 볼 때 큰 규모의 독립된 산지가 역시 지형성 극한강수 형성에 주요한 비중을 차지하는 것으로 사료된다.

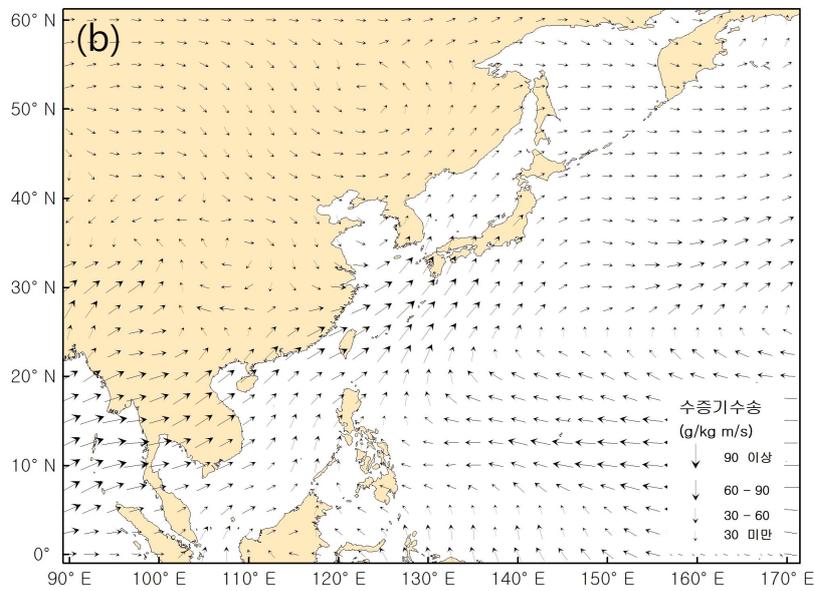
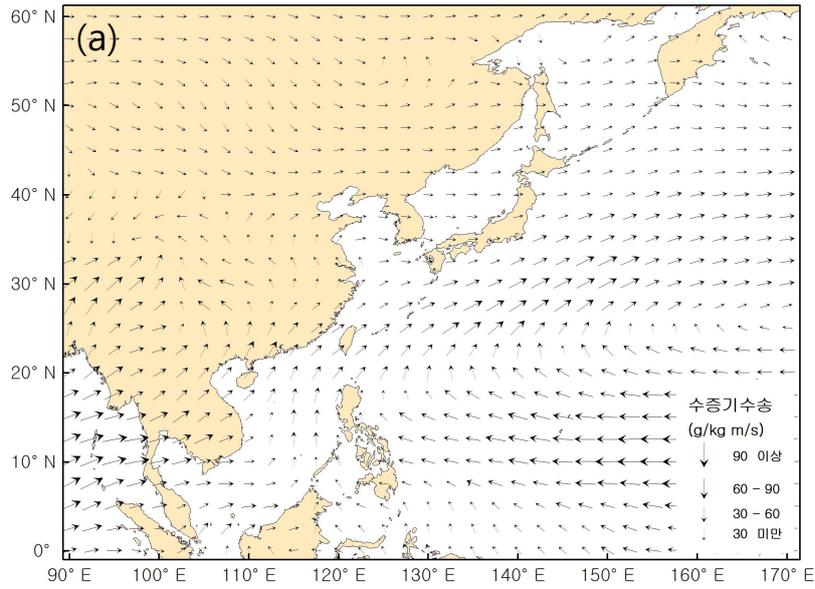


그림 28. 최근 10년간(2002~2011년) 장마 이전 기간(5월 1일~6월 18일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장
 (a) 일 강수량 80mm 미만 일(419일),
 (b) 일 강수량 80mm 이상 극한강수일(71일)

2) 여름 장마 기간

여름 장마 기간(6월 19일~7월 25일, 매년 37일) 중 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일 발생 시의 공간분포를 살펴보면 태백산맥 서쪽과 소백산맥 북서쪽의 경기도, 강원도 지역에 1~2일 이상 발생빈도가 나타난다(그림 29좌). 특히 경기도 양평 주변과 평창지역에서는 3일 이상 높은 발생빈도가 나타난다. 태백산맥의 동사면의 영서지방 역시 일부 지점에서 높은 발생 빈도를 보인다. 남해안 일대는 지리산 주변과 남동해안 방향 사면을 따라 극한강수 일 발생빈도가 1.7일 이상으로 높게 나타난다. 제주도 한라산 고산지대의 성판악 지점에서도 발생일이 3.3일로 매우 높은 발생빈도가 나타난다.

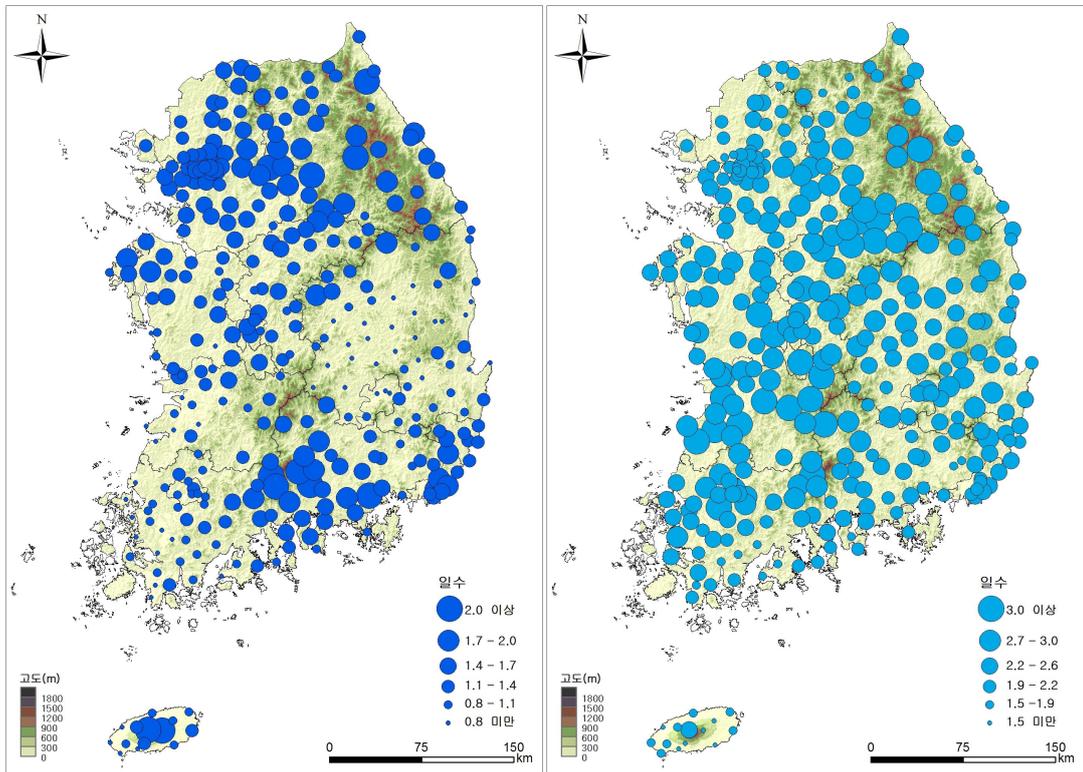


그림 29. 10년 평균(2002~2011년) 여름 장마 기간(6월 19일~7월 25일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도

각 지점별 95퍼센타일 이상 극한강수일수의 공간분포를 살펴보면 태백산맥과 소백산맥의 서사면을 따라 집중된 패턴이 나타난다(그림 29우). 이 지역 전반적

으로 강수계절 전체 극한강수 발생 빈도의 50% 이상을 차지하고 있다. 경상북도의 경우에도 전체 극한강수 발생빈도에서 장마 기간 극한강수 빈도가 차지하는 비율이 높게 나타난다. 반면 제주도의 극한강수는 상대적으로 낮게 나타난다. 대부분의 경우에서 높은 극한강수 일수가 나타나는 것을 볼 때, 제주도의 장마 기간 극한강수현상은 매우 낮은 비중을 차지하는 것을 알 수 있다.

일 강수량 80mm 이상 극한강수일 강수강도의 공간분포는 남부지방과 서울과 경기도, 강원도의 영서지방을 중심으로 130mm 이상으로 높게 나타난다(그림 30 좌). 특히 서울과 경기도의 광주산맥 전면부에서는 150mm 이상으로 집중된 패턴을 보인다. 태백산맥의 서사면에 위치한 서울, 경기도 지역은 한반도의 편서풍에 의해 수송된 수증기가 이동하며 서울주변의 산지와 광주산맥의 전면을 타고 올라가면서 극한 강수 강수량이 강화되기에 유리한 조건을 지니고 있다.

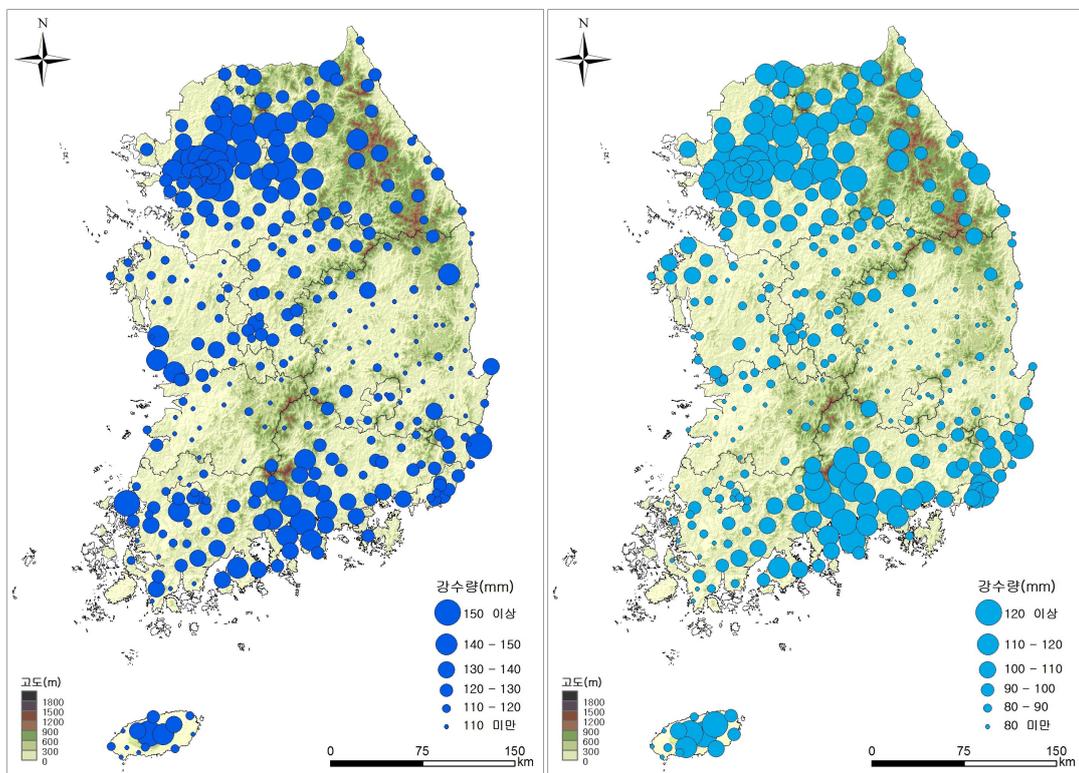


그림 30. 10년 평균(2002~2011년) 여름 장마 기간(6월 19일~7월 25일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일의 강수 강도

95퍼센타일 이상 극한강수일 강수강도는 고정임계치 이상의 극한강수일 강수

강도보다 낮은 값을 보이거나 전반적인 분포패턴은 유사하다(그림 30우). 태백산맥과 소백산맥의 서사면을 따라 내륙에 집중된 극한강수현상의 높은 일수는 지역의 강수평균에 비해 장마 기간에 상대적인 극한강수현상이 다수 발생한 것을 보여주지만, 극한강수일의 강수강도에 있어서는 서울과 경기도, 강원도의 영서지방, 남해안 일대와 지리산을 중심으로 하는 남부내륙지역, 제주도와 비교하여 더 낮은 값을 보인다.

여름 장마 기간 극한강수와 관련된 상층중관장 850hPa면의 평균 수증기 수송장을 일 강수량 80mm 이상 지점이 발생하지 않은 기간의 평균과 일 강수량 80mm 이상 지점이 1개 지점 이상 발생 시의 평균과 상호 비교하였다. 지난 10년간 여름 장마 기간인 370일 중 일 강수량 80mm 이상 극한강수현상이 발생하지 않은 207일간 상층중관장 850hPa면의 평균 수증기 수송장을 보면 편서풍이 우세하게 나타나는 장마 이전 기간의 상층중관패턴과 대조적으로 남서풍이 우세하게 나타난다(그림 31a). 아열대기단과 북태평양 고기압 연변의 남서기류를 타고 수송된 수증기는 한반도 남쪽의 북위 30° 부근을 지나면서 약화되는 경향을 보인다. 반면 일 강수량 80mm 이상 극한강수현상이 발생한 163일간의 상층중관장 850hPa면의 평균 수증기 수송장을 보면 아열대기단과 북태평양 고기압의 강화로 한반도 일대에 약 60~120g/kg m/s의 높은 수증기 수송이 나타난다(그림 31b). 즉, 여름 장마 기간 북태평양 고기압의 강화는 장마 전선의 지속과 활동에 직접적인 영향을 미치며(장마백서, 2011) 극한강수 현상 발생의 주요한 원인이 됨을 알 수 있다.

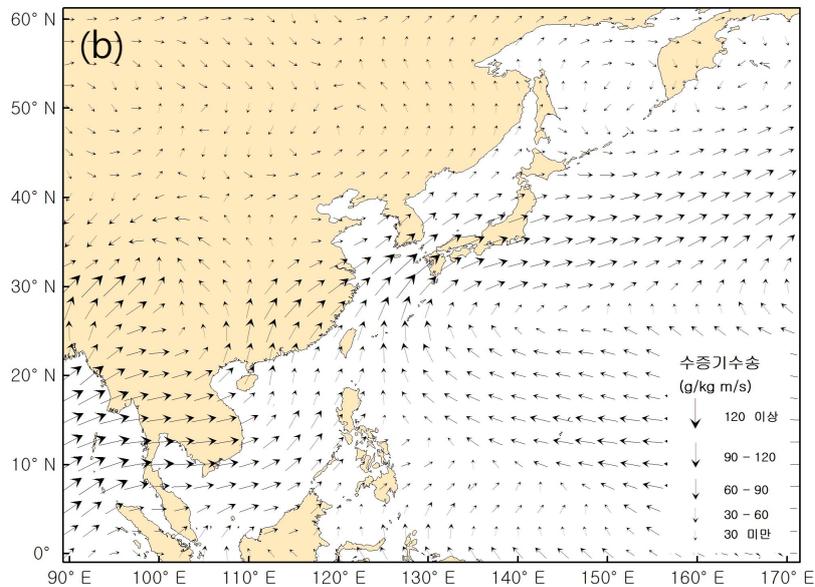
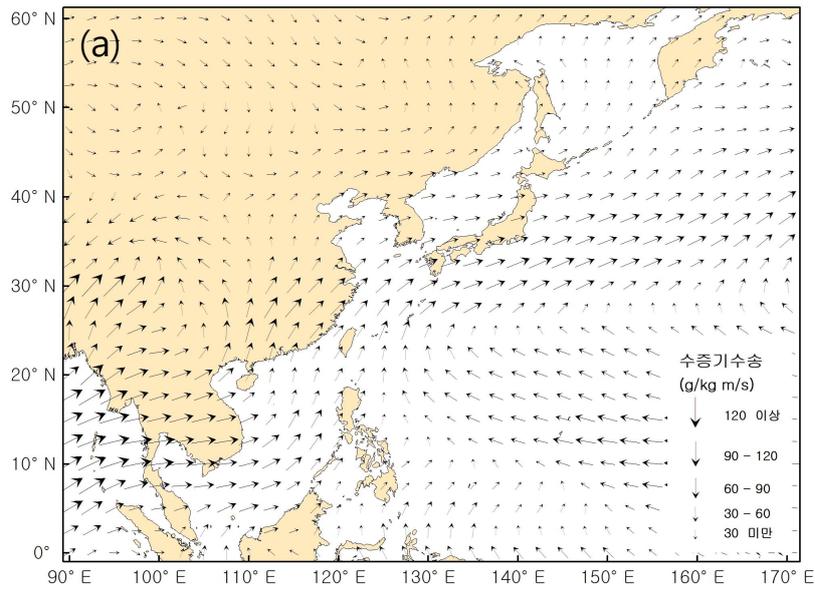


그림 31. 최근 10년간(2002~2011년) 여름 장마 기간(6월 19일~7월 25일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장
 (a) 일 강수량 80mm 미만 일(207일),
 (b) 일 강수량 80mm 이상 극한강수일(163일)

여름 장마 기간은 다양한 기단의 영향으로 복잡한 강수특성이 나타난다. 장마 전선은 대상형태로 한반도 영역에서 상승과 하강을 반복하며 강수현상을 일으킨다. 일 강수량 80mm 이상 극한강수현상의 분포를 보면 태백산맥과 지리산 한라

산 주변을 중심으로 극한강수현상이 집중된 패턴이 나타난다. 즉, 장마 기간의 극한강수 현상은 소규모 지형보다 한반도의 주축을 이루는 태백산맥과 대표적 고산지대인 설악산과 지리산과 한라산 주변 등 지형, 특히 해발고도에 의한 극한강수 강화 현상이 나타나는 것을 알 수 있다. 다른 강수계절과 비교하였을 때 상대적으로 강한 풍속과 풍부한 수증기 수송량은 내륙에 위치한 영서지방에까지 영향을 준다. 이는 태백산맥의 지형효과로 인해 지형성 극한강수 현상을 증가시킨다. 충청도와 전라북도, 경상북도를 중심으로 95퍼센타일 이상 극한강수일이 높은 지점이 집중된 패턴은 대상형태의 장마전선의 영향으로 사료된다. 같은 위도대임에도 불구하고 태백산맥과 소백산맥의 서사면 일대에 높은 극한강수 현상을 볼 때 상층중관 바람장과 사면의 향에 의한 지형효과로 극한강수 현상이 강화된 것을 알 수 있다.

3) 장마휴지기

장마휴지기 기간(7월 26일~8월 19일, 매년 50일) 지점별 극한강수일은 전반적으로 낮게 나타난다(그림32). 일 강수량 80mm 이상 극한강수일은 서울과 경기도의 광주산맥 일대, 경기도의 영서지방, 전라도와 경상남도의 소백산 일대, 제주도의 한라산을 중심으로 1.3일 이상 발생한다. 95퍼센타일 이상 극한강수일의 분포는 소백산맥의 덕유산을 중심으로 한 내륙지방과 광주산맥을 중심으로 1.5~1.8일이 나타난다. 극한강수일이 상대적으로 낮은 지점은 대체로 해발고도가 낮은 해안지역에 위치한다.

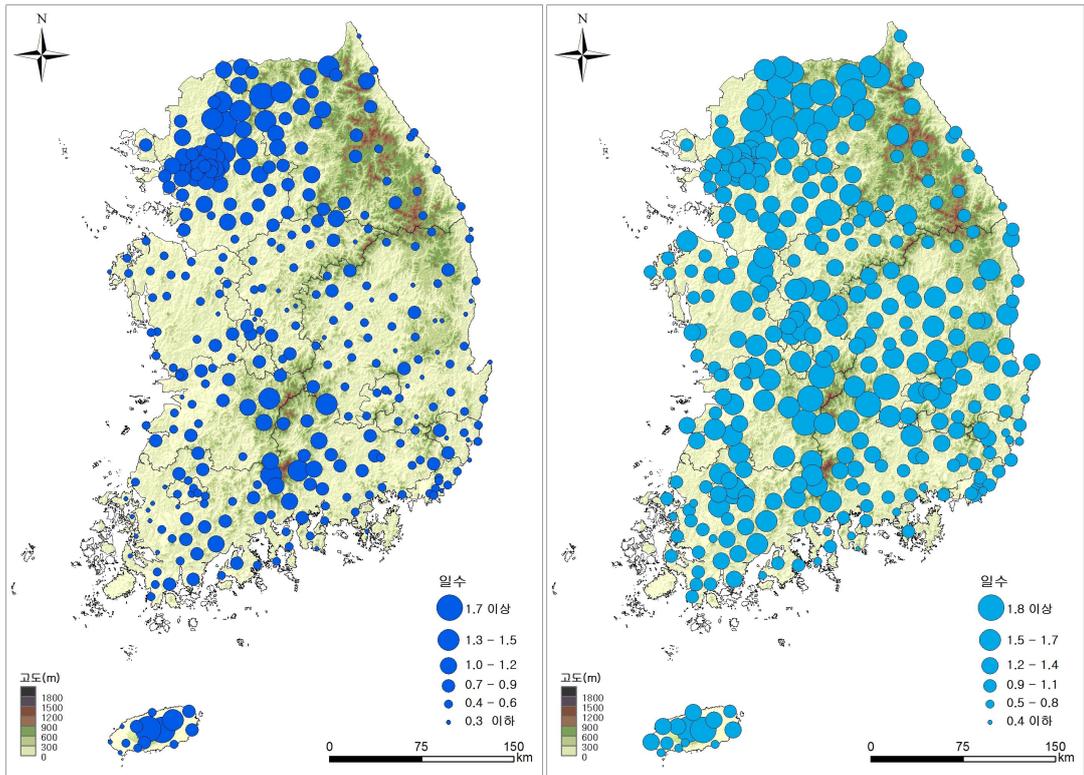


그림 32. 10년 평균(2002~2011년) 장마휴지기(7월 26일~8월 19일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도

장마휴지기 기간 극한강수일 강수강도의 공간분포는 고정 임계치, 상대적 임계치 모두의 경우에서 서울과 경기도, 강원도, 남부지방에서 약 120mm 이상으로 상대적으로 높게 나타난다(그림 33). 중부지방은 충청도와 경상북도 지역에서 100mm 이내로 전반적으로 극한강수일의 강수강도가 낮게 나타난다. 강원도의 태백산맥 지역은 동사면에 위치한 영동지방에서 지형장벽의 영향으로 인해 120mm 이상의 극한강수일의 강수강도가 나타난다. 일 강수량 80mm 이상 극한강수일 강수강도의 경우 전라남도 노령산맥의 서사면의 화순 지역과 충청북도에 위치한 차령산맥일대에서 180mm 이상의 상대적으로 높은 값이 나타난다.

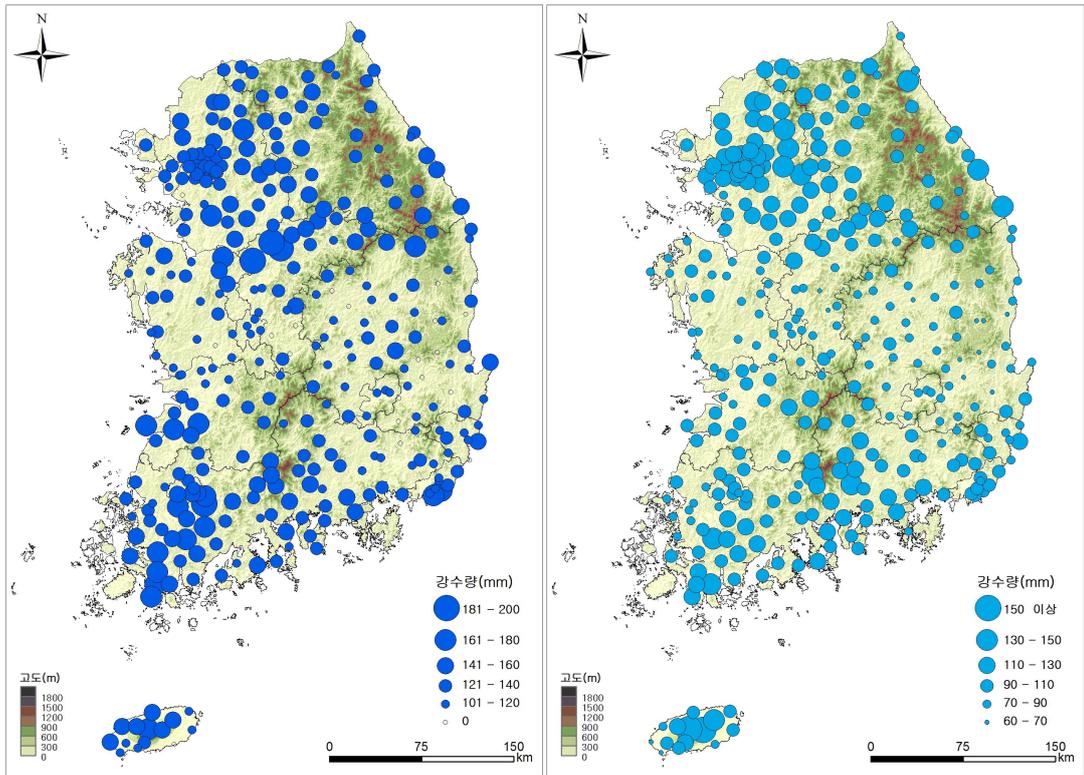


그림 33. 10년 평균(2002~2011년) 장마휴지기(7월 26일~8월 19일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 강수강도

장마휴지기 동안 일 강수량 80mm 이상 극한강수일을 제외한 126일간의 상층 종관장 850hPa면의 평균 수증기 수송장을 보면 한반도 북쪽 북위 45°지점에 편서풍대가 동서로 길게 나타나고 장마전선의 북상으로 인해 한반도 북쪽 지점에서의 수증기 수송량이 높게 나타난다. 아열대 기단은 인도양 동쪽의 동경 140°까지 확대되고 북상하며 북서쪽으로 상승하는 북태평양 고기압과 만나 일본열대 서쪽에서 남동풍의 형태로 나타난다. 이는 약 북위 30° 상에서 전향되어 한반도 일대에 남~남서풍향대가 형성된다. 이때 한반도는 해양에서 공급되는 기류의 영향을 받으나 수증기 수송량은 약 30~60g/kg m/s 이하로 낮게 나타난다(그림 34a). 대조적으로 장마휴지기 동안 일 강수량 80mm 이상 극한강수일(124일)의 상층종관장 850hPa면의 평균 수증기 수송장을 보면 만주지역의 편서풍이 약화되고 북태평양 고기압의 강화로 수증기수송이 증가하는 패턴이 나타난다(그림 34b). 남~남서풍을 타고 유입되는 기류에 포함된 60~120g/kg m/s의 풍부한 수증기 수송으로 장마 휴지기에는 여름 장마 기간 다음으로 극한강수일의 높은 빈도를 보인다.

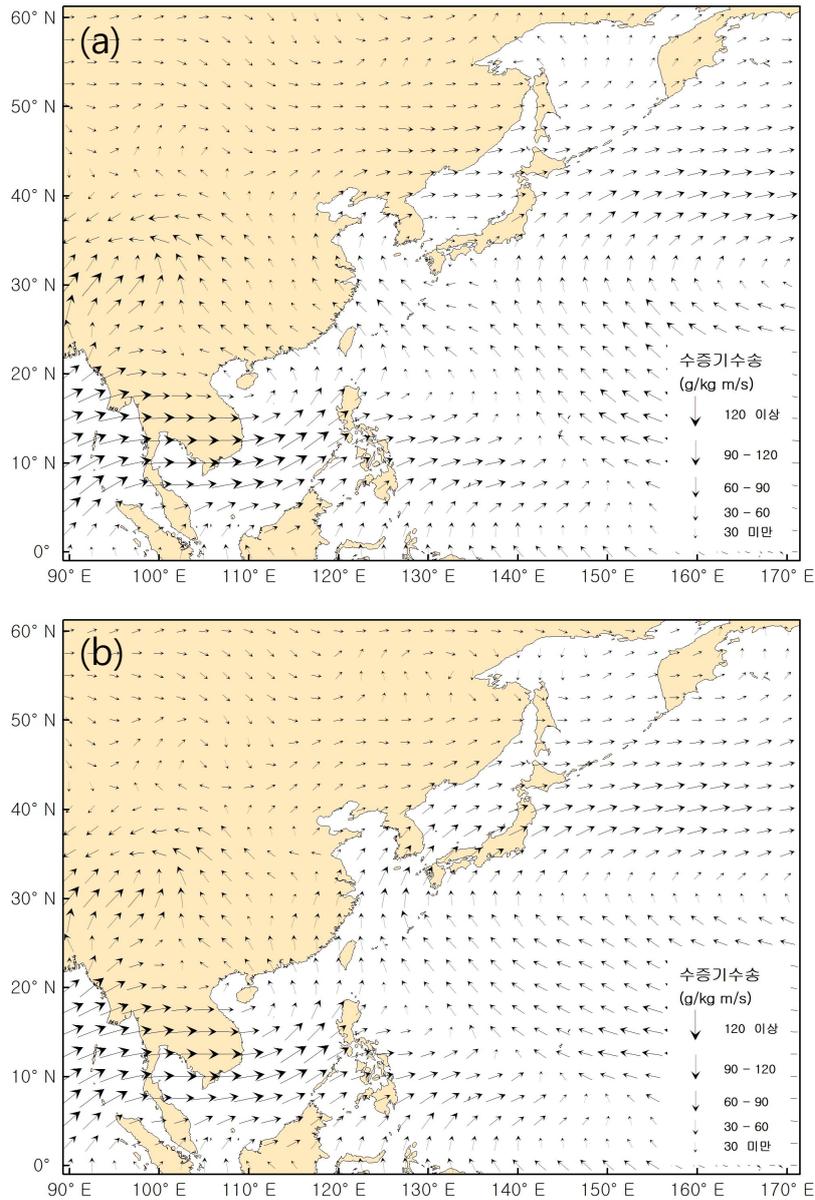


그림 34. 최근 10년간(2002~2011년) 장마휴지기(7월 26일~8월 19일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장
 (a) 일 강수량 80mm 미만 일(126일),
 (b) 일 강수량 80mm 이상 극한강수일(124일)

남부지역의 경우 제주도의 한라산(1950m)에서 최대의 극한강수 일수가 나타나며, 지리산(1915m)과 덕유산(1614m), 가야산(1430m)부근에서 극한강수일의 발생빈도가 높게 나타나는 것을 볼 때 남~남서풍을 타고 한반도로 유입하는 수

증기가 한라산과 소백산맥의 남·남서사면을 타고 상승하여 지형성 극한강수 현상이 나타나는 것으로 사료된다. 서울과 경기도, 강원도 지역에서는 광주산맥을 중심으로 극한강수일의 발생 빈도가 높게 나타나며, 이는 경기만에서 남~남서풍을 타고 유입하는 수증기가 서울과 경기도, 강원도 일대의 산지로 인해 상승하여 지형성 극한강수 현상 발생이 발생하는 것으로 사료된다.

4) 늦장마 기간

늦장마 기간 극한강수일의 발생빈도는 전반적으로 연 평균 1회 이하로 매우 드물게 발생한다(그림 35). 늦장마 기간 동안 일 강수량 80mm 이상 극한강수일 발생이 연평균 1회 이상인 지역은 제주도의 한라산 일대와 경기도의 광주산맥 부근에서 나타난다. 95퍼센타일 이상 극한강수일은 제주도와 전라남도 일대, 광주산맥, 태백산맥 동사면에 위치한 영동지방에서 연 평균 1일 이상 지점이 나타난다.

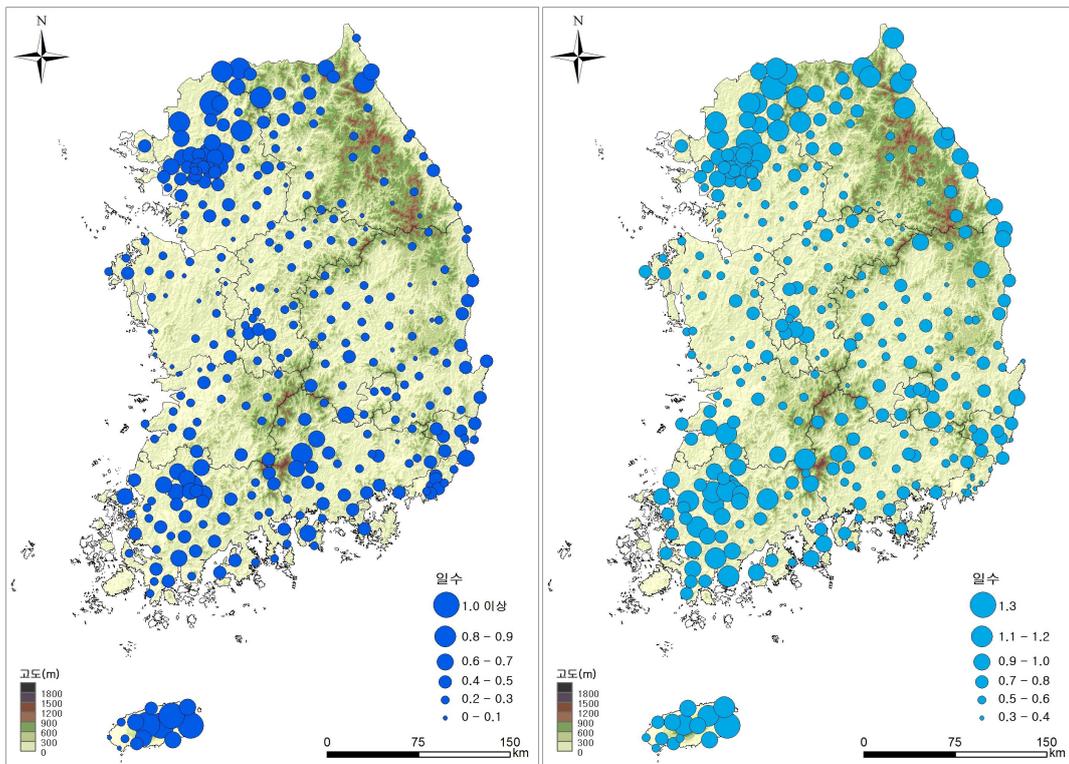


그림 35. 10년 평균(2002~2011년) 늦장마 기간(8월 20일~9월 10일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도

늦장마 기간 극한강수일 강수강도는 동해안 일대와 경상도의 소백산맥지역을 중심으로 높게 나타난다(그림 36). 일 강수량 80mm 이상 극한강수일 강수강도는 태백산맥의 동사면과 울산지역, 소백산맥에 위치한 덕유산과 가야산일대 지리산과 섬진강 유역에서 180mm 이상으로 높게 나타난다. 95퍼센타일 이상 극한강수일 강수강도는 울산지역에 상대적으로 높은 130mm 이상의 지점이 다수 분포한다.

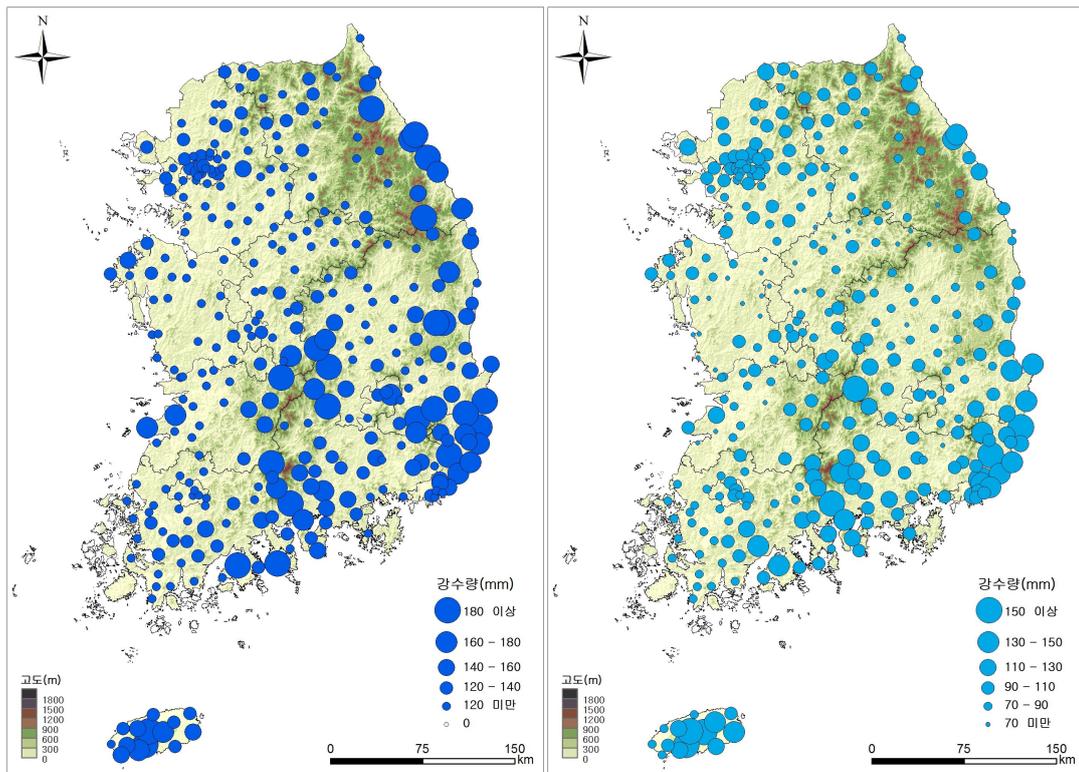


그림 36. 10년 평균(2002~2011년) 늦장마 기간(8월 20일~9월 10일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 강수강도

늦장마 기간(8월 20일~9월 10일, 매년 22일) 일 강수량 80mm 이상 극한강수일을 제외한 기간의(137일) 동아시아 주변 850hPa면 평균 수증기 수송장을 보면 한반도는 장마휴지기 동안 북위 45°지점에 동서로 길게 나타난 편서풍대가 남하하여 편서풍의 골에 위치하는 것을 볼 수 있다(그림 37a). 이에 북~북서풍의 영향을 받으며 한랭건조한 대륙성 기단으로 인해 수증기수송량 역시 30g/kg m/s 미만으로 낮게 나타난다. 일 강수량 80mm 이상 극한강수 현상이 한 지점 이상

에서 발생한 날들(83일)의 동아시아 주변 850hPa면 평균 수증기 수송장은 북태평양 고기압 세력의 강화로 한반도 일대에 남~남서풍을 타고 해양의 수증기가 공급됨을 알 수 있다(그림 37b). 하지만 수증기 수송량은 30~60g/kg m/s 미만으로 전반적으로 낮게 나타나기에 늦장마 기간 각 지점별 극한강수일은 연평균 약 1회 이하로 매우 드문 발생 빈도를 보인다.

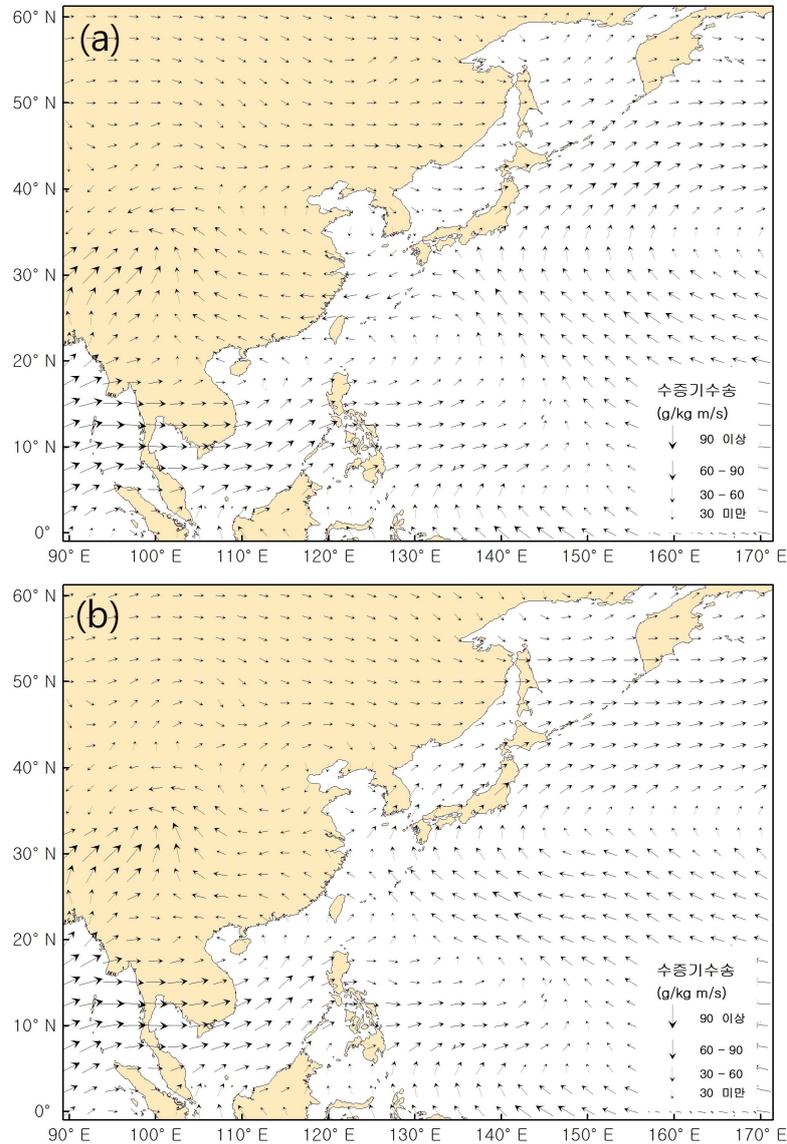


그림 37. 최근 10년간(2002~2011년) 늦장마 기간(8월 20일~9월 10일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장
 (a) 일 강수량 80mm 미만 일(137일),
 (b) 일 강수량 80mm 이상 극한강수일(83일)

즉, 일반적으로 늦장마는 북태평양 고기압 세력의 쇠퇴와 대륙의 한랭한 고기압의 확장, 오호츠크해 고기압의 강화로 인해 정체전선이 형성·강화되고 남하하며 발생한다고 알려져 있지만(Lee, 1974; 장마백서, 2011) 늦장마 기간 일 강수량 80mm 이상 극한강수 현상은 다른 강수 계절과 마찬가지로 북태평양 고기압의 강화와 관련을 보인다.

5) 초가을 기간

초가을 기간(9월 11일~10월 31일, 매년 51일) 극한강수일은 연 평균 1일 이하의 낮은 발생 빈도를 보인다(그림 38). 일 강수량 80mm 이상 극한강수일은 한라산의 고산지대와 설악산의 동사면에서 매년 약 1일의 발생 빈도를 보인다. 서울과 경기도, 충청도의 차령산맥, 강원도 영동지역, 지리산 주변과 전라남도 지역에서는 전반적으로 0.3일 이상의 지점들이 분포한다. 전라북도와 경상북도에 위치한 지점은 0.2일 이하의 낮은 발생 빈도를 보인다.

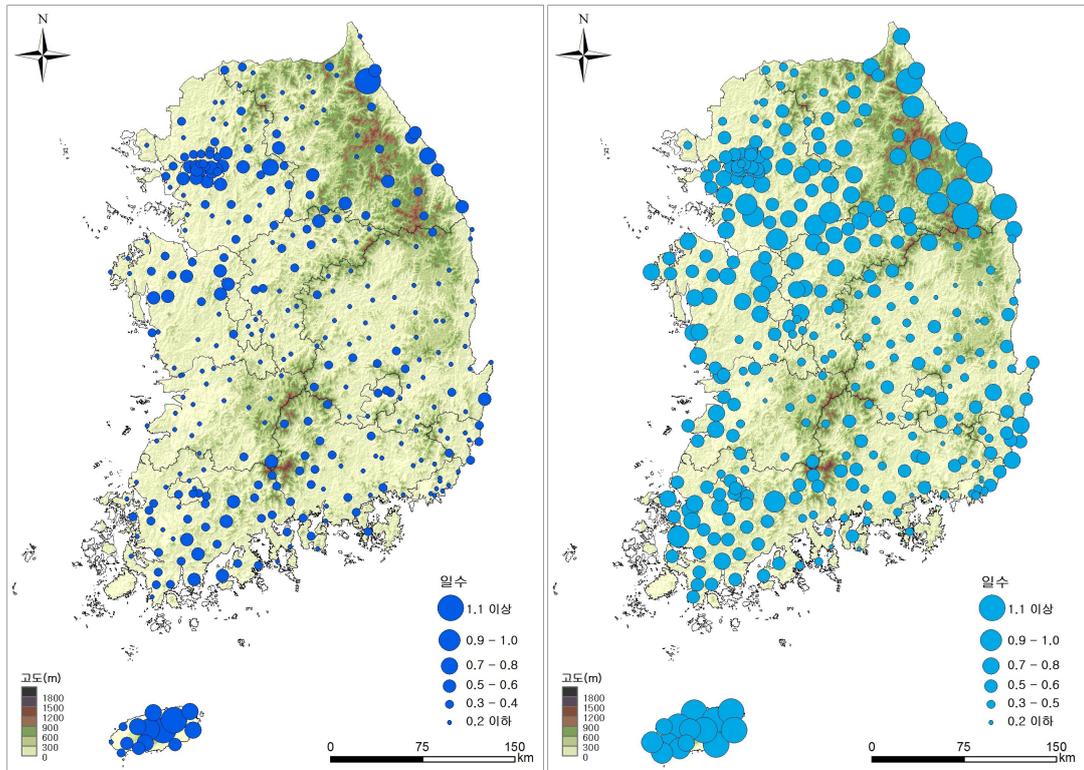


그림 38. 10년 평균(2002~2011년) 초가을 기간(9월 11일~10월 31일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 발생 빈도

95퍼센타일 이상 극한강수일은 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일보다 전반적으로 높은 발생 빈도를 보인다. 한라산과 태백산맥 동사면에 위치한 강릉, 태백지역 등을 중심으로 1.1일 이상 극한강수일이 나타난다. 강릉과 태백지역의 극한강수 현상은 이동성 저기압이 동해상에 위치하고 있어 남동~북동풍의 영향을 받을 때와 태풍 내습으로 인한 강수 등이 원인이다.

초가을 기간 일 강수량 80mm 이상 극한강수일의 강수강도는 경상도와 전라남도 지역에서 높게 나타난다(그림 39).

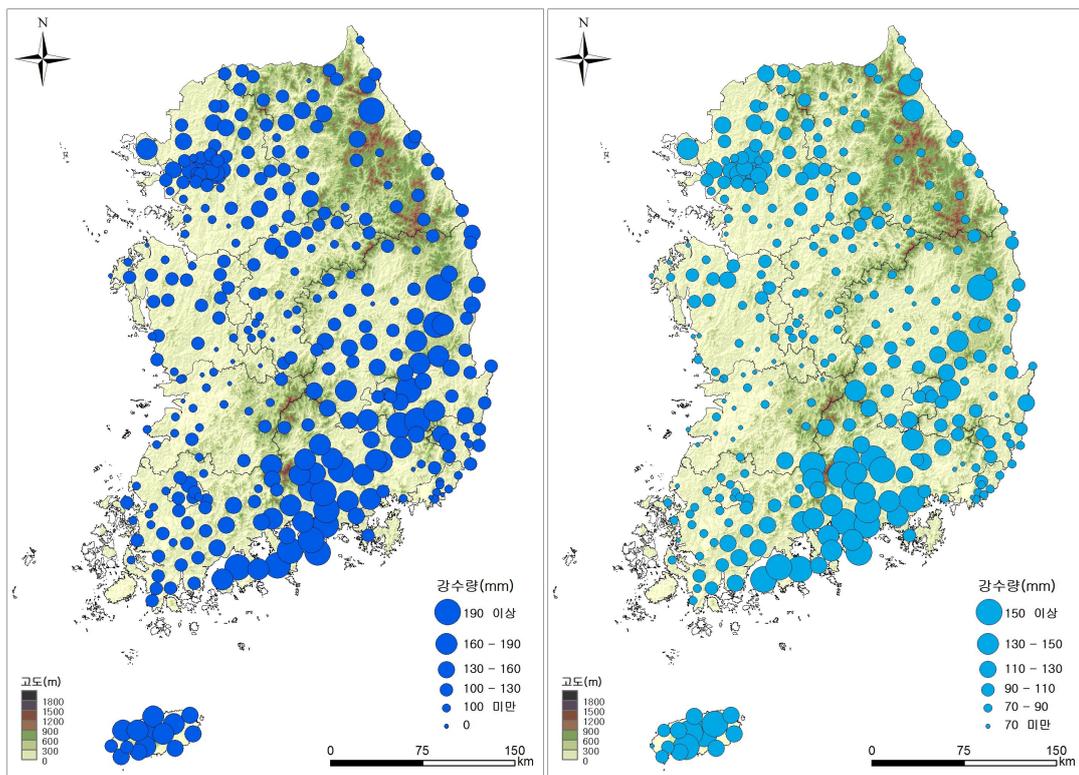


그림 39. 10년 평균(2002~2011년) 초가을 기간(9월 11일~10월 31일) 일 강수량 80mm 이상(좌), 95퍼센타일 이상(우) 극한강수일 강수강도

160mm 이상 극한강수강도가 나타나는 지점이 남서~북동방면의 대상형 패턴을 이룬다. 특히 지난 10년간 1회의 극한강수 현상이 발생한 지점 위주로 190mm 이상의 강한 극한강수 강도를 보인다. 이는 2003년 9월에 한반도를 통과하는 태풍 매미로 인한 극한강수 현상의 결과이다. 초가을 기간의 극한강수일은 전반적으로 지난 10년간 1회 미만으로 매우 드물게 발생하며 태풍으로 인한

극한강수의 영향을 크게 받는다. 때문에 강수변동율은 늦장마의 종식일의 변동 및 태풍으로 인한 강수 현상의 유무로 인해 높게 나타난다(양진석, 1999).

초가을 기간(9월 11일~10월 31일) 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일을 제외한 기간의(445일) 동아시아 주변 850hPa면 평균 수증기 수송장을 나타내었다(그림 40a). 한반도는 한랭건조한 대륙성 기단의 영향으로 북서풍대에 위치하며 늦장마 기간과 유사한 30g/kg m/s 미만의 수증기 수송이 나타난다. 일 강수량 80mm 이상 극한강수 현상이 한 지점 이상에서 발생한 날들(65일)의 동아시아 주변 850hPa면 평균 수증기 수송장의 경우 한반도는 북태평양 고기압의 세력의 확장으로 그 연변에 위치함을 알 수 있다(그림 40b). 남한의 동부지역일대에 남~남서풍대에 포함된 30~60g/kg m/s의 수증기 수송이 나타난다. 즉, 초가을 기간의 극한강수 현상은 북태평양 고기압의 세력 확장이 그 원인이 되나 대륙성 기단의 세력이 강하게 나타나기에 상대적으로 낮은 수증기 수송량을 나타낸다. 때문에 극한강수 현상의 발생 빈도 역시 매우 드물게 나타남을 알 수 있다.

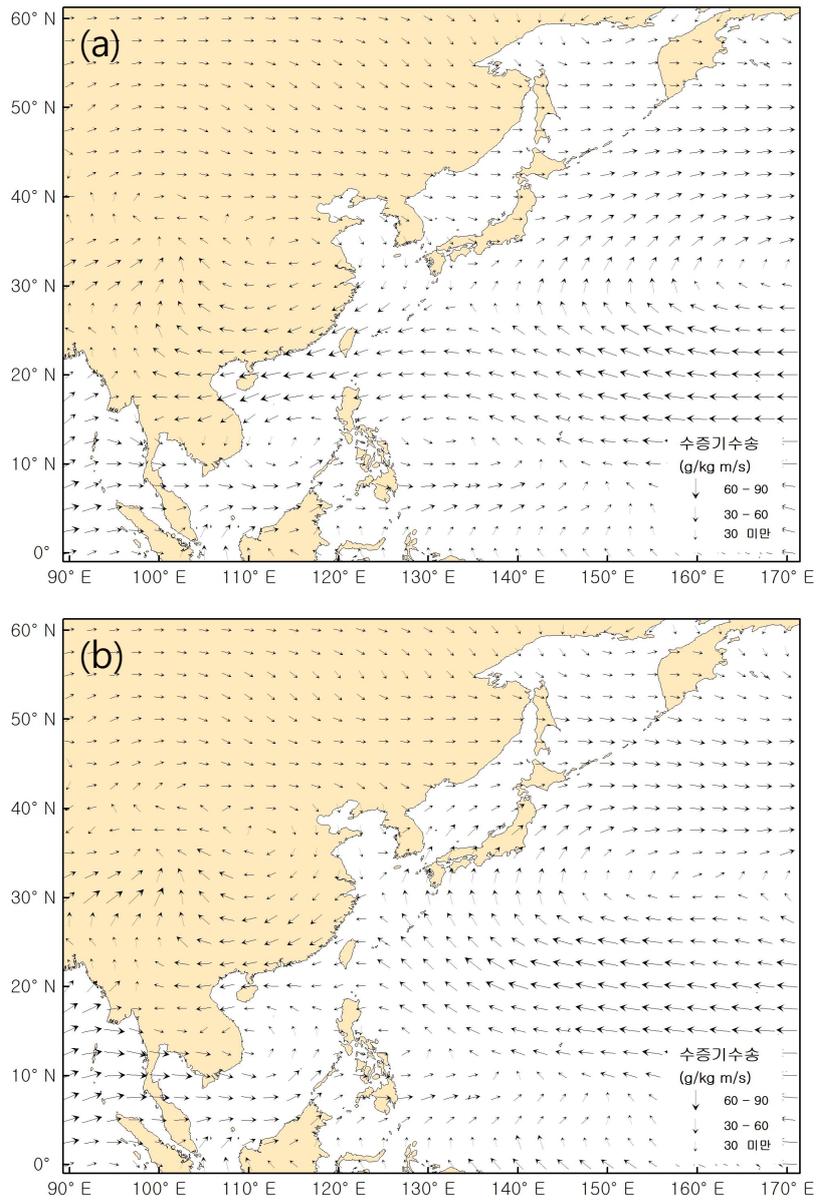


그림 40. 최근 10년간(2002~2011년) 초가을 기간(9월 11일~10월 31일) 동아시아 주변 850hPa 평균 수증기 수송장
 (a) 일 강수량 80mm 미만 일(445일),
 (b) 일 강수량 80mm 이상 극한강수일(65일)

3. 태풍 내습 시 극한강수 분포

지난 10년간(2002~2011년) 기상청에서 영향태풍으로 분류한 태풍의 내습 시 남한에 일 강수량 80mm 이상 극한강수 현상을 야기한 태풍 21개를 선정하여 태풍의 영향기간 동안 발생한 강수현상의 전반적인 분포를 파악 하였다(표 12).

표 12. 최근 10년간(2002~2011년) 태풍 이동경로별 태풍명

유형	개수	태 풍 명
황해 북상형	6	0205 라마순(RAMMASUN), 0407 민들레(MINDULLE), 0807 갈매기(KALMAEGI), 1007 콘파스(KOMPASU), 1105 메아리(MEARI), 1109 무이파(MUIFA)
한반도 남부지역 상륙형	5	0215 루사(RUSA), 0314 매미(MAEMI), 0603 에위니아(EWINIAR), 0711 나리(NARI), 1004 덴무(DIANMU)
동해 북상형	10	0304 린파(LINFA), 0306 사우델로르(SOUDELOR), 0410 남테운(NAMTHEUN), 0415 메기(MEGI), 0418 송다(SONGDA), 0514 나비(NABI), 0610 우쿵(WUKONG), 0613 산산(SHANSHAN), 0705 우사기(USAGI), 1009 말로(MALOU)

태풍의 영향기간인 47일간 지점별 일 평균 강수량을 살펴보면 30~50mm 이상의 강수량이 남부지역과 동해안 일대를 중심으로 나타난다(그림 41좌). 반면 태백산맥의 서쪽과 소백산맥의 북서쪽에 해당하는 서울과 경기도, 영서지방, 충청도와 전라북도 지역에서는 상대적으로 낮은 30mm 이하의 강수량을 보인다. 태풍의 영향기간 강수량이 최근 10년간(2002~2011년) 5~10월 강수량에서 차지하는 비율의 공간분포는 태풍의 영향기간 동안 평균 강수량과 유사한 분포 패턴을 보인다(그림 41우). 15~20% 이상 비율이 나타나는 지점이 남부지역과 동해안 일대에 중점적으로 분포한다. 태백산맥의 서쪽과 소백산맥의 북서쪽에 해당하는 서울과 경기도, 영서지방, 충청도와 전라북도 지역에서는 전반적으로 10%

미만의 낮은 비율을 보인다. 즉, 태풍으로 인한 강수현상의 강수량과 5~10월 강수량에서 차지하는 비율은 태백산맥과 소백산맥을 경계로 주로 남부지역과 동해안 일대를 중심으로 높은 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

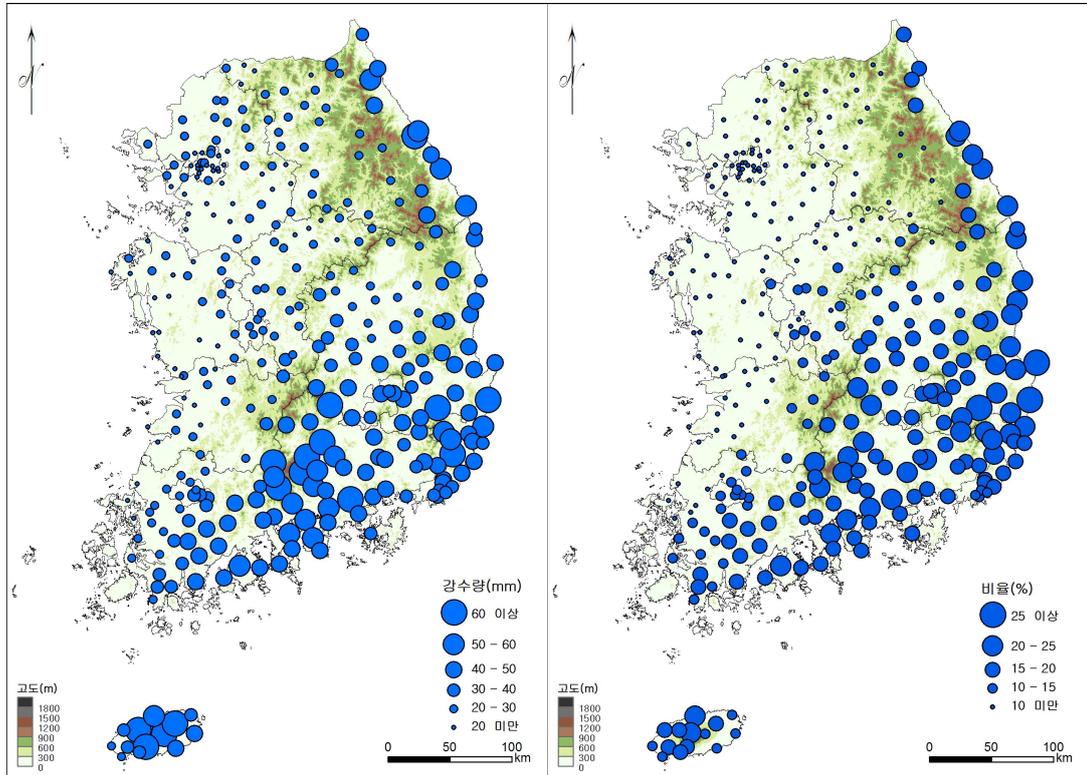


그림 41. 최근 10년간(2002~2011년) 남한에 극한강수 현상을 가져온 21개 태풍의 영향기간(47일)동안 일 평균 강수량(좌)과 태풍의 강수량이 5~10월 강수량에서 차지하는 비율(우)

또한 태풍은 그 경로에 따라 강수지역의 차이가 발생하기에 태풍의 이동경로에 따라 황해 북상형, 한반도 남부지역 상륙형, 동해 북상형으로 유형을 구분하고 일 강수량 80mm 이상 극한강수와 95퍼센타일 이상 극한강수 분포의 특징을 살펴보았다(그림 42).

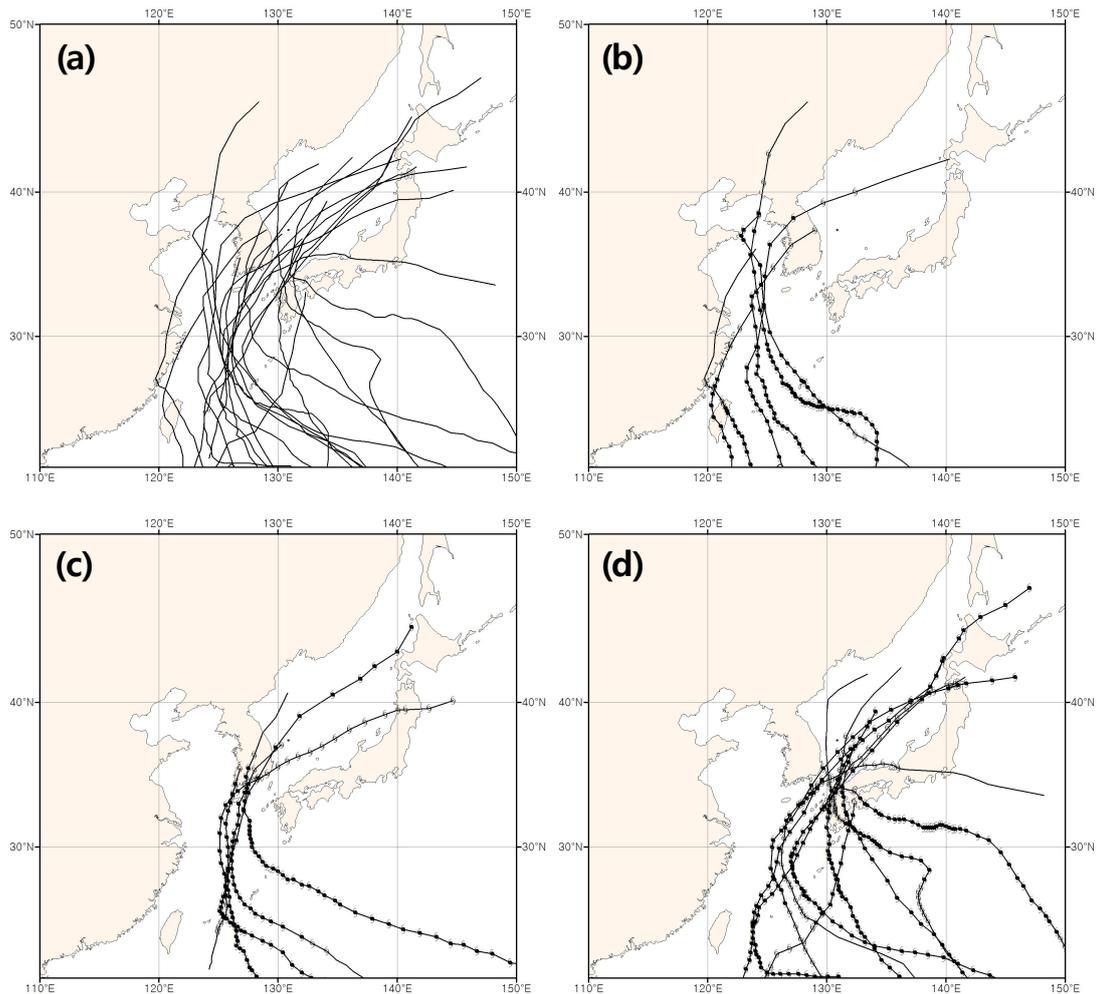


그림 42. 최근 10년간(2002~2011년) 남한에 극한강수 현상을 야기한 태풍의 이동경로에 따른 유형구분. (a) 전체 이동경로(21개), (b) 황해 북상형(6개), (c) 한반도 남부지역 상륙형(5개), (d) 동해 북상형(10개)

1) 황해 북상형

황해 북상형 태풍은 지난 10년간(2002~2011년) 발생한 2002년 7월 라마순(RAMMASUN), 2004년 7월 민들레(MINDULLE), 2008년 7월 갈매기(KALMAEGI), 2010년 9월 콘파스(KOMPASU), 2011년 6월 메아리(MEARI), 2011년 8월 무이파(MUIFA)의 총 6개이며 태풍의 영향기간은 16일이다. 황해 북상형 태풍의 내습 시 극한강수 발생 빈도를 살펴보면 일 강수량 80mm 이상 극한강수일은 강원도 태백산맥의 동사면의 영동지방, 남부지방, 제주도를 중심으

로 약 3~6일의 빈도가 나타는 지점이 다수 분포한다(그림 43좌). 지리산과 한라산의 고산지대에서는 극한강수일이 5~8일로 높게 나타난다. 서울과 경기 충청도 지역은 전반적으로 1~2일의 빈도가 나타난다. 반면 강원도 태백산맥 서사면의 영서지방과 경상북도, 전라북도 지역은 지난 10년간 황해 북상형 태풍 내습 시 일 강수량 80mm 이상 극한강수일이 나타나지 않았다. 95퍼센타일 이상 극한강수일의 분포도 일 강수량 80mm 이상 극한강수일의 분포와 유사한 패턴을 보이거나 경상북도와 전라북도 지역에도 극한강수일이 1~2일 이상의 빈도가 나타난다(그림 43우). 이는 황해 북상형 태풍 내습 시 경상북도와 전라북도 지역에서 일 강수량 80mm 이상 극한강수 현상이 발생하지 않았더라도 지역의 기후평균적인 강수량을 넘어서는 95퍼센타일 이상 극한강수 현상이 나타난 것을 의미한다.

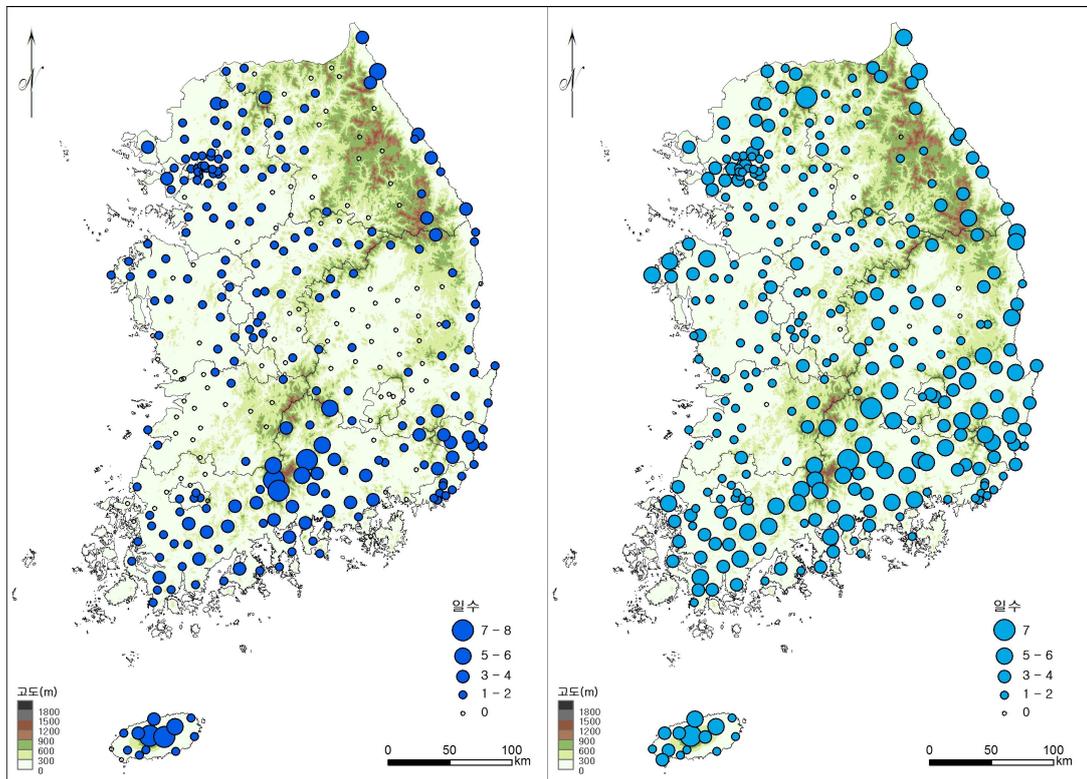


그림 43. 최근 10년간(2002~2011년) 황해 북상형 태풍 내습 시(6개, 16일) 일 강수량 80mm 이상 극한강수 발생 빈도(좌), 95퍼센타일 이상 극한강수 발생 빈도(우)

황해 북상형 태풍의 기후적인 상층중관패턴을 보기위해 태풍이 북위 약 35°에 위치하였을 때 850hPa면의 평균 수증기 수송량을 나타냈다(그림 44). 한반도는 태풍의 위험반경에 속하며 수증기 수송량은 150g/kg m/s 이상으로 나타난다. 남해에서 반시계방향으로 회전하며 불어오는 기류는 남해안 일대 지형의 영향으로 상승하여 남부지방에 극한강수현상이 발생하기 유리하며 특히 해발고도가 높은 산악지역에서 극한강수일의 발생 빈도 증가가 나타난다. 태백산맥 동사면에서는 지형장벽으로 인해 지형성 극한강수 현상이 발생할 가능성이 크다. 서울과 경기도, 충청도 지역은 태풍의 중심과 가까워 직접적인 영향을 받아 극한강수현상이 나타나는 것을 알 수 있다.

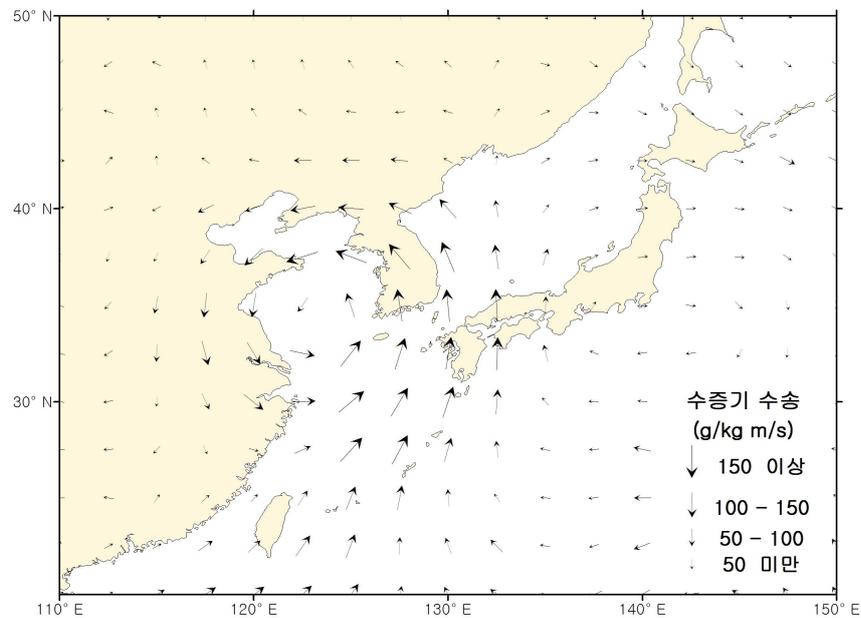


그림 44. 최근 10년간(2002~2011년) 황해 북상형 태풍 내습 시(6개, 16일) 상층 850hPa면의 평균 수증기 수송장

2) 한반도 남부지역 상륙형

한반도 남부지역 상륙형 태풍은 지난 10년간(2002~2011년)발생한 2002년 8월 루사(RUSA), 2003년 9월 매미(MAEMI), 2006년 7월 에위니아(EWINIAR), 2007년 9월 나리(NARI)의 총 5개이며 태풍의 영향기간은 11일이다. 한반도 남

부지역 상륙형 태풍의 내습 시 극한강수 발생 빈도를 살펴보면 일 강수량 80mm 이상 극한강수일은 영동지방과 경상도, 남부지방을 중심으로 약 3~8일의 빈도가 나타는 지점이 다수 분포한다(그림 45좌). 또한 태백산맥과 소백산맥을 경계로 분포 패턴이 뚜렷하게 구분된다. 태백산맥의 서사면과 소백산맥의 북서사면은 약 1~3일 정도의 일 강수량 80mm 이상 일수가 나타나는 지점이 다수 분포하며 경기도 지역과 영서지방의 경우 한반도 남부지역 상륙형 태풍으로 인한 극한강수일이 발생하지 않은 지점이 다수 분포한다. 95퍼센타일 이상 극한강수일의 공간분포는 일 강수량 80mm 이상 극한강수 일의 공간분포와 유사하나 충청북도와 전라북도 지역에까지 약 3~4일의 극한강수 발생 빈도가 나타난다(그림 45우). 전반적으로 태풍의 이동경로에서 멀어질수록 극한강수일이 감소하는 경향을 보인다.

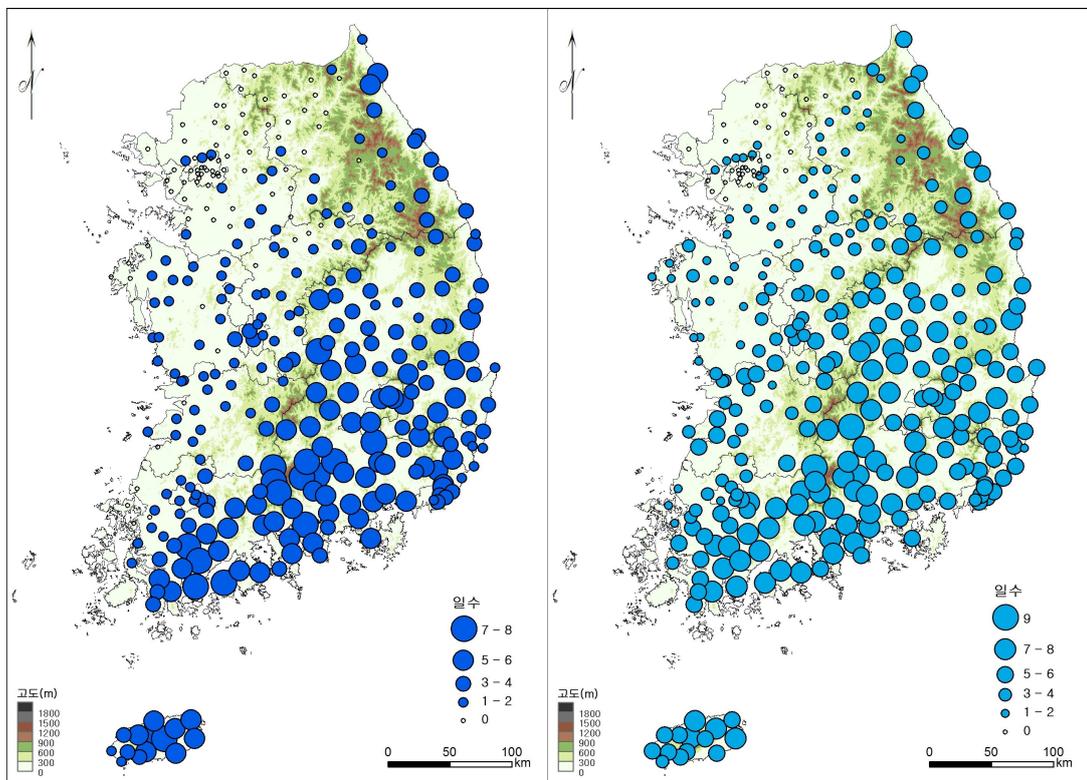


그림 45. 최근 10년간(2002~2011년) 한반도 남부지역 상륙형 태풍 내습 시 (5개, 11일) 일 강수량 80mm 이상 극한강수 발생 빈도(좌), 95퍼센타일 이상 극한강수 발생 빈도(우)

한반도 남부지역 상륙형 태풍의 기후적인 상층중관패턴을 보기위해 태풍이 북위 약 35°에 위치하였을 때 850hPa면의 수증기 수송량을 나타냈다(그림 46). 남부지역은 태풍 중심에 직접적인 영향권에 위치하고 동해안 일대는 태풍의 위험반경에 속하며 150g/kg m/s 이상의 수증기 수송이 나타난다. 태백산맥의 동사면과 소백산맥의 남동사면을 중심으로 높은 극한강수일의 집중 현상은 지난 10년간 한반도 남부지역에 상륙한 태풍이 상륙 후 북동진 하며 동해상으로 빠져나갔으며 반시계방향으로 회전하는 기류와 산맥에 의한 지형 장벽의 영향이 종합되어 나타난 결과이다.

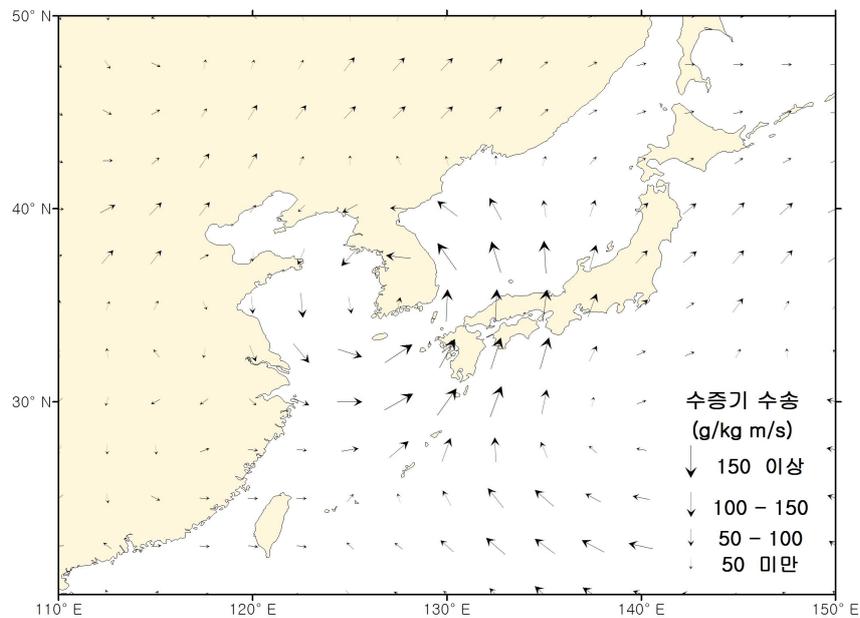


그림 46. 최근 10년간(2002~2011년) 한반도 남부지역 상륙형 태풍 내습 시(5개, 11일) 상층 850hPa면의 평균 수증기 수송장

3) 동해 북상형

한반도 남부지역 상륙형 태풍은 지난 10년간(2002~2011년)발생한 2003년 5월 린파(LINFA), 2003년 6월 사우델로르(SOUDELOR), 2004년 8월 남테운(NAMTHEUN), 2004년 8월 메기(MEGI), 2004년 9월 송다(SONGDA), 2005년

9월 나비(NABI), 2006년 8월 우쿵(WUKONG), 2006년 9월 산산(SHANSHAN), 2007년 8월 우사기(USAGI), 2010년 9월 말로(MALOU)의 총 10개이며 태풍의 영향기간은 20일로 태풍의 이동경로 중 가장 많은 사례를 보인다.

동해 북상형 태풍의 내습 시 극한강수 발생 빈도를 살펴보면 일 강수량 80mm 이상 극한강수일은 동해안 일대에 위치한 지점에서 3~6일 이상의 빈도가 집중적으로 나타난다(그림 47좌). 특히 울산 지역의 극한강수일은 7일 이상으로 나타난다. 95퍼센타일 이상 극한강수일 역시 일 강수량 80mm 이상 극한강수일의 발생 빈도 분포와 유사한 패턴을 보인다(그림 47우).

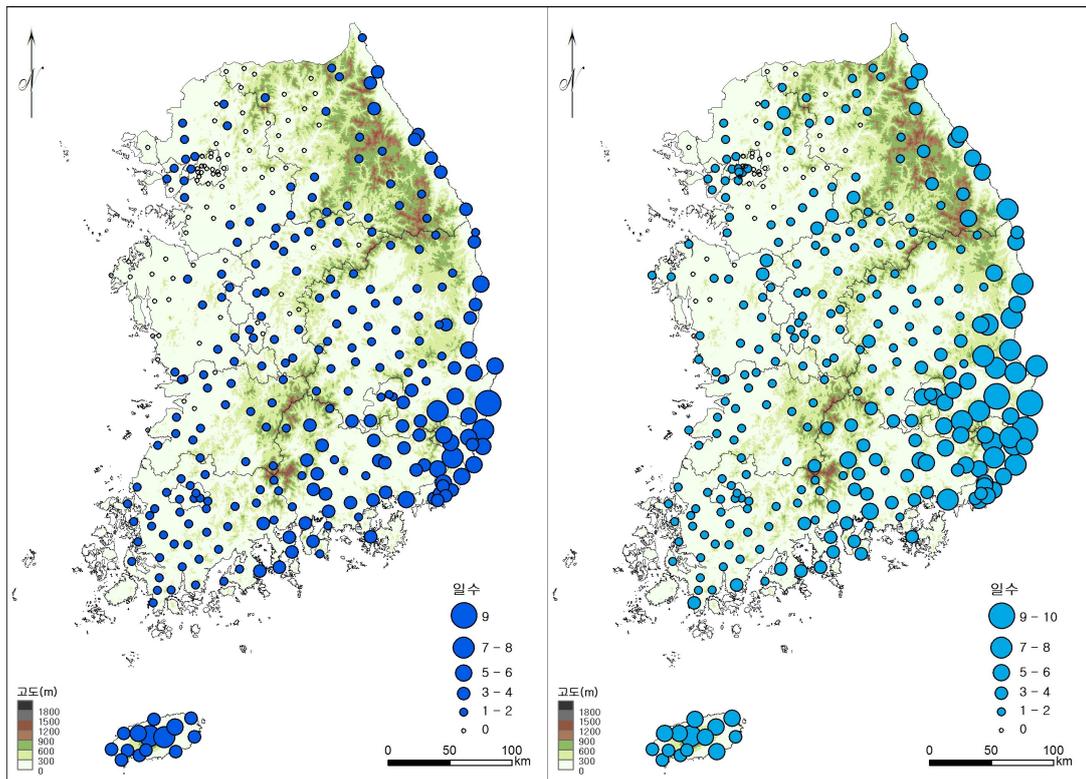


그림 47. 최근 10년간(2002~2011년) 동해 북상형 태풍 내습 시(10개, 21일) 일 강수량 80mm 이상 극한강수 발생 빈도(좌), 95퍼센타일 이상 극한강수 발생 빈도(우)

동해 북상형 태풍의 기후적인 상층중관패턴을 보기위해 태풍이 북위 약 34°에 위치하였을 때 850hPa면의 평균 수증기 수송량을 나타냈다(그림 48).

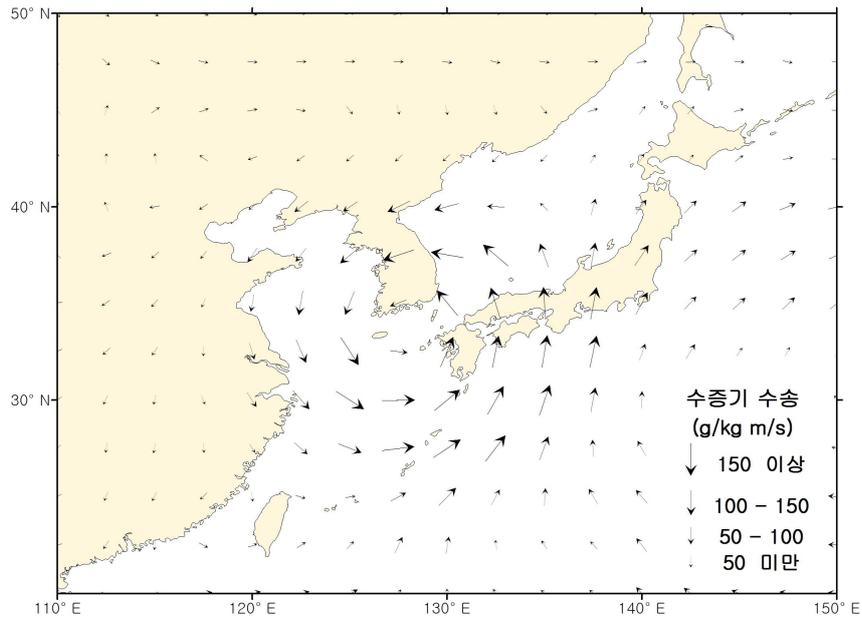


그림 48. 최근 10년간(2002~2011년) 동해 북상형 태풍 내습 시(6개, 16일) 상층 850hPa면의 평균 수증기 수송장

한반도는 태풍의 가항방면에 위치하고 황해 북상형과 한반도 남부지역 상륙형의 태풍에 비해 상대적으로 태풍과의 거리도 멀기에 전반적으로 동해안 일대에 극한강수현상이 집중되며 내륙방면으로 갈수록 극한강수일의 빈도가 뚜렷하게 감소하는 경향이 나타난다. 반면 경기도의 경우 태풍이 동해로 북상하며 태풍 중심과의 거리가 더욱 멀어지고 태백산맥의 지형장벽으로 인해 영동지역에서만 극한강수일이 3일 이상으로 나타난다.

IV. 결 론

이 논문에서는 최근 10년간(2002~2011년) 종관기상관측장비(ASOS) 64개 지점과 방재기상관측장비 271개 지점을 포함한 총 355개 지점의 강수량 자료를 사용하여 해발고도, 해안인접성 등의 지리적인 요소와 850hPa면 수증기 수송과 종관기후 상태를 고려하여 극한강수의 시·공간적 발생 패턴을 파악하였다. 주요한 연구 결과들을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 고정 임계치인 일 강수량 80mm 이상 극한강수일과 상대적 임계치인 95퍼센타일 이상 극한강수일을 중첩하여 극한강수의 지역성을 살펴본 결과 해양에서 공급된 수증기가 해안일대의 지형을 만나 상승하여 일 강수량 80mm 이상 극한강수일의 빈도가 높은 다우 극한강수 지역이 제주도와 남해안 일대, 서울과 경기 지역 및 영동지역을 중심으로 형성된다. 다우 극한강수 지역보다 내륙에 위치한 산지에서는 지형효과로 인해 강수현상이 강화되어 일 강수량 80mm 이상 극한강수일과 95퍼센타일 이상 극한강수일이 높음 집중 극한강수 지역을 형성한다. 일 강수량 80mm 이상 극한강수일의 발생빈도가 낮은 내륙지역에도 지역의 기후평균 강수량을 넘어서는 상대적인 극한강수 현상이 충청도와 경상북도, 전라남도의 북서쪽 일대 해안과 소규모 산지 주변에 분포한다.

둘째, 해발고도 상승에 따른 고정 임계치 기준 극한강수현상의 변화패턴을 분석한 결과, 일반적인 강수현상(일 강수량 80mm 이하)은 일부 구간을 제외하고 해발고도 증가에 따라 강수일과 강수량이 증가하는 경향이 나타난다. 반면 극한강수현상의 발생은, 특정 해발고도대 이상 위치한 지점에서 집중되며 상대적으로 큰 변동을 보인다. 극한강수강도의 경우 650m 이상의 해발고도대에서 극한강수 일수는 감소하나 강도는 더 높아지는 경향을 보였다. 반면 일반적인 강수현상의 경우 강수일수는 증가하나 강도는 낮아지는 경향을 보인다. 연구기간 극한강수현상의 기여도는 극한강수 일수의 변화패턴과 유사하다.

셋째, 연구기간 고정임계치 이상 극한강수현상의 +2 표준편차가 넘는 극한값이 나타나는 지점을 살펴보았다. 그 결과 극한강수현상의 일수와 기여도의 극한지점은 산지 혹은 산지 주변에 위치하며 관측지점 5km 반경의 평균 해발고도는 약 300m 이상을 보인다. 반면 극한강수강도는 해발고도가 낮은 해안 주변에서도 높은 강도가 나타난다.

넷째, 95퍼센타일을 초과하는 극한강수 현상 일수는 전라도의 소백산맥과 노령산맥을 중심으로 높은 값이 나타난다. 고정 임계치 이상의 극한강수 일수는 낮은 값을 보이지만, 지역의 평균적 강수량을 넘는 극한강수현상의 발생 빈도는 높은 것을 의미한다.

다섯째, 99퍼센타일을 초과하는 극한강수 현상의 경우 190mm 이상의 높은 강수강도 값을 가진 지점이 서울을 중심으로 집중된 경향을 보인다. 연별 1~2회 정도의 일부 사례이지만 인구와 기반시설이 밀집된 서울 도심의 극한강수 현상은 그 피해가 극대화 될 가능성이 있기에 중요하다.

여섯째, 장마 이전 기간의 극한강수 현상은 해양과의 거리가 주요한 지형요소로 작용한다. 극한강수 현상은 북태평양 고기압의 강화로 남서기류를 타고 풍부한 수증기 유입이 일어날 때 발생한다. 하지만 위도 증가에 따라 수증기수송의 급격한 감소가 나타나며 극한강수 현상은 제주도와 남해안 일대에 한정되어 나타난다.

일곱째, 장마 기간은 아열대기단과 북태평양 고기압에서 공급되는 풍부한 수증기 수송과 대상형태의 장마전선으로 인해 내륙지역에까지 극한강수 일수의 증가가 나타난다. 고정 임계치 이상의 극한강수 일수는 태백산맥 서사면의 영서지방에까지 높은 값이 나타난다. 대표적 고산지대인 설악산과 지리산, 한라산 일대에서도 극한강수 일수의 증가현상이 나타난다. 상대적 임계치 이상의 극한강수 현상은 같은 위도대임에도 불구하고 태백산맥과 소백산맥의 서사면 일대에 높은 극한강수일수가 나타나는 것을 볼 때, 장마 기간 극한강수 현상은 해발고도와 사

면향의 영향이 주요한 지형요소로 작용한다.

여덟째, 장마휴지기와 늦장마, 초가을 기간의 극한강수현상은 전반적으로 낮은 발생 빈도를 보인다. 고정 임계치 이상의 극한강수 일수의 공간분포는 서울과 경기 지역 및 영동지역, 제주도 일대에 집중된 경향이 나타난다. 여름철에서 가을철로 갈수록 바람장과 수증기 수송장이 전반적으로 약해지는 경향이 나타나며 이에 따라 극한강수의 일수가 감소하고 집중구역이 해안지역으로 이동하는 경향을 확인할 수 있었다.

아홉째, 태풍의 이동경로를 3가지 유형으로 구분하여 극한강수 분포 특성을 파악한 결과 북태평양 고기압의 한반도 방향 장출과 후퇴에 따른 태풍 이동경로의 변동에 따라 우리나라 극한강수의 집중 지역이 다르게 나타남을 파악할 수 있었다. 황해 북상형 태풍의 경우 남부지역과 서울 경기지역에 극한강수 현상이 집중되었다. 한반도 남부지역 상륙형 태풍의 경우 태백산맥과 소백산맥의 동사면을 경계로 극한강수현상이 집중되어 나타났다. 동해 북상형 태풍의 경우 동해안 지역을 따라 극한강수 현상이 집중된다. 모든 경우에서 해발고도와 사면의 향, 해양과의 거리는 극한강수 분포 패턴의 중요한 영향을 주는 것으로 나타났다. 지난 10년간(2002~2011년) 남한에 극한강수 현상을 야기한 태풍은 총 21개이며 영향기간은 47일로 5~10월 극한강수일에 낮은 비중을 차지하지만 강한 극한강수 현상이 나타나 개별태풍의 강도와 거리, 전면 수렴대의 위치에 따라 극한강수일의 분포패턴에 주요한 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

이상과 같이 우리나라 지형성 극한강수의 시·공간적 패턴을 파악해 보았다. 본 연구는 극한강수의 시·공간적 발생 패턴에 대한 학술적인 기초자료 제공하여 극한강수현상을 강화시키는 지형과 지리적요소를 고려한 방재기준 설정 시 유용하게 사용될 수 있다. 이를 통해 극한강수현상 발생으로 인한 재난 예방 및 피해 최소화를 위한 사전 대책을 수립하는데 도움이 될 것으로 사료된다. 한국의 세부적인 공간범위에서 지형성 극한강수현상을 파악하기위해 지역의 사례별 지형성 극한강수 현상에 대한 상세한 메커니즘 파악과 지형 및 지리적 요소에 대한 정

량적인 분석이 이루어질 필요가 있다. 최근 급격하게 발달하는 위성과 레이더영상 등 다양한 강수 관측방법들과의 상호 비교도 필요하다.

참고문헌

- 김광섭, 김종필, 2011, 지역특성에 따른 여름철 극한강수 변화특성 분석, 대한토목학회논문집, 31(2), 129-146.
- 김기옥, 2003, 한강유역 강수의 산지효과 추정, 성균관대학교 석사학위논문.
- 김동균, 전해영, 1999, 집중호우와 연관된 산악 효과에 대한 수치적 연구, 한국기상학회지, 36(3), 441-451.
- 김미진, 1994, 기상유형별 호우에 따른 한국의 평균 강수분포특성, 경희대학교 석사학위논문.
- 김보경, 김병식, 2009, B2 기후변화시나리오와 극한지수를 이용한 기후변화가 극한 강우 발생에 미치는 영향분석, 대한토목학회논문집, 29(1), 23-33.
- 김보경, 김병식, 김형수, 2008, 극한지수를 이용한 극한 기상사상의 변화 분석, 대한토목학회논문집 B, 28(1), 41-53.
- 김유진, 최영은, 2010, 제주도 극한기후사상의 특성 및 변화, 기후연구, 5(3), 202-218.
- 김은경, 허인혜, 이승호, 2011, 우리나라 유역별 극한강수의 변화에 관한 연구, 대한지리학회 학술대회논문집, 2011(5), 39-43.
- 박노옥, 장동호, 2008, 수치표고모델과 다변량 크리깅을 이용한 기온 및 강수 분포도 작성, 대한지리학회지, 43(6), 1002-1015.
- 박종철, 김만규, 2009, 공동 크리깅을 이용한 강수 분포도 작성에서 지형 사면방향 변수 사용에 대한 연구: 제주도를 사례지역으로, 한국지형학회지, 16(3), 59-66.
- 박창용, 문자연, 차은정, 윤원태, 최영은, 2008, 최근 한반도 여름철 강수특성의 변화, 대한지리학회지, 43(3), 324-336.
- 백승균, 장동호, 2011, 고해상도 기온 및 강수 분포도 작성을 위한 공동크리깅 적용성 평가, 6(3), 242-253.
- 서경환, 이동규, 1996, 한반도 중부 지방의 지형성 강수 분석과 수치 시뮬레이션

- 연구, 한국기상학회지, 32(4), 511-522.
- 신성철, 김맹기, 서명석, 나득균, 장동호, 김찬수, 이우섭, 김연희, 2008, GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 강수량 추정, 대기, 18(1), 71-81.
- 양진석, 1999, 한국의 초가을 강수분포의 종관기후학적 특성, 한국지역지리학회지, 5(1), 151-162.
- 오탈석, 문영일, 2008, 태풍으로 인한 극한강수 특성 분석, 대한토목학회논문집, 28(5B), 459-473.
- 유철상, 윤정수, 2008, 경험적직교함수를 통한 한반도 여름철 강수 특성의 변화 분석, 대한토목학회.
- 유철상, 전경수, 김기욱, 2004a, 한강유역 강수의 산지효과 추정 : 1. 회귀분석, 대한토목학회논문집, 24(1B), 33-39.
- 유철상, 전경수, 김기욱, 2004b, 한강유역 강수의 산지효과 추정 : 2. EOF분석, 대한토목학회논문집, 24(1B), 41-46.
- 윤혜선, 2009, 제주도 강우의 지형학적 요인 분석, 연세대학교 석사학위논문.
- 이경미, 백희정, 조천호, 2012, 분위회귀분석방법을 이용한 서울의 극한강수 변화 분석, 기후연구, 7(3), 199-209.
- 이승호, 1999, 제주도 지역의 강수 분포 특성, 대한지리학회지, 34(2), 123-136.
- 이장렬, 1993, 대관령 동·서 산지 사면의 고도에 따른 강수량 분포, 한국교원대학교 대학원 박사학위논문.
- 조창현, 이승호, 장동호, 2012, 극한기후 지수 설정에 대한고찰, 기후연구, 7(2), 136-145.
- 차은정, 고성원, 양경조, 원성희, 임명순, 2009, 태풍 진로 유형과 한반도 강수량 분포에 관한 연구, 한국방재학회지, 9(3), 64-67.
- 최광용, 권원태, 2008, 현재와 미래 우리나라 겨울철 강수형태 변화, 대한지리학회지, 43(1), 1-19.
- 최광용, 권원태, 부경은, 차유미, 2008, 최근 우리나라 기온 및 강수 평균과 극한 사상의 시·공간적 변화, 대한지리학회지, 43(5), 681-700.
- 최기상, 2008, 제주도 지형효과에 의한 국지 악기상 발생 메커니즘 수치 모의, 2008년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 282-283.

- 최영은, 2002, 남부지방의 강수강도와 극값의 변화경향에 관한 연구, 환경영향평가, 11(3), 189-203.
- 최영은, 2004, 한국의 극한 기온 및 강수 사상의 변화 경향에 관한 연구, 대한지리학회지, 39(5), 711-721.
- 최의수, 문일주, 2008, 56년간 한반도 강수 및 풍속의 극값 변화, 대기, 18(4), 397-416.
- 기상청, 1999~2011, 기상연감.
- 기상청, 2011, 장마백서.
- 기상청, 2012, 최근 20년 사례에서 배우다-집중호우 Top 10.
- 소방방재청, 2011, 재해연보.
- Aguilar, E., T. C. Peterson, P. R. Obando, R. Frutos, J. A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. G. García, R. M. Araujo, A. R. Santos, V. E. Valle, M. Brunet, L. Aguilar, L. Álvarez, M. Bautista, C. Castañón, L. Herrera, E. Ruano, J. J. Sinay, E. Sánchez, G. I. H. Oviedo, F. Obed, J. E. Salgado, J. L. Vázquez, M. Baca, M. Gutiérrez, C. Centella, J. Espinosa, D. Martínez, B. Olmedo, C. E. O. Espinoza, R. Núñez, M. Haylock, H. Benavides, and R. Mayorga, 2005, Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D23), - D23107.
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., and Vazquez-Aguirre, J. L., 2006, Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Aristotle, C., 340 B.C., *Meteorologica*, Transl. Lee, H. D. P., 1987, Loeb

- Classical Library, ed. GP Goold, Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 432.
- Basist, A., Bell, G. D., and Meentemeyer, V., 1994, Statistical relationships between topography and precipitation patterns, *Journal of Climate*, 7, 1305-1315.
- Batima, P., L. Natsagdorj, P. Gombluudev, and B. Erdenetsetseg, 2005, Observed climate change in Mongolia, New York: AIACC Working Paper, 12.
- Bleasdale, A., and Y. K. Chan, 1972, Orographic influences on the distribution of precipitation. Proc. Distribution of Precipitation in Mountainous Areas, Geilo, Norway, *World Meteorological Organization*, 326(II), 322-333.
- Blumer, F., 1994, Altitudinal dependence of precipitation in the Alps, *Swiss Federal Institute of Technology*, ETH Zurich, Diss, 10784, 242.
- Bolton, D., 1980, The computation of equivalent potential temperature. *Monthly Weather Review*, 108, 1046-1053.
- Charles, H. L., 1911, Precipitation and altitude in the sierra, *Monthly Weather Review*, 39(7), 1092-1099.
- Choi, G., Collins, D., Ren, G., Trewin, B., Baldi, M., Fukuda, Y., Afzaal, M., Pianmana, T., Gomboluudev, P., Huong, P. T. T., Lias, N., Kwon, W.-T., Boo, K.-O., Cha, Y.-M. and Zhou, Y., 2009, Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955-2007. *International Journal of Climatology*, 29(13), 1906-1925.
- Choi, G., Kwon, W. T., Boo, K. O., and Cha, Y. M., 2008, Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the Republic of Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(5), 681-700.

- Choi, Y. E., 2002, Trends in daily precipitation events and their extremes in the southern region of Korea, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 11(3), 189-203.
- Clyde, G. D., 1931, Relationship between precipitation in valleys and on adjoining mountains in northern Utah, *Monthly Weather Review*, 59, 113-117.
- Daly, C., Nielson, R. P., and Philips, D. L., 1994, A statistical-topographic model for distributed precipitation over mountainous terrain, *Journal of Applied Meteorology*, 33, 140-158.
- Frei, C., and Schär, C., 1998, A precipitation climatology of the Alps from high resolution rain-gauge observations, *International Journal of Climatology*, 18, 873-900.
- Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Tank, A.M.G.K., and Peterson, T., 2002, Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Climate Research*, 19, 193-212.
- Goubanova, K. and L. Li, 2007, Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations, *Global Planet Change*, 57(1-2), 27-42.
- Gouvas, M., N. Sakellariou, and F. Xystrakis, 2009, The relationship between altitude of meteorological stations and average monthly and annual precipitation, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 53(4), 557-570.
- Gregory, S., 1968, The Orographic Component in rainfall distribution patterns, *Melanges Tulippe*, 1.
- Haylock, M. R., Peterson, T. C., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Anunciao, Y. M. T., Baez, J., Barros, V. R., Berlato, M. A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V. , Garcia, V. J., Grimm, A. M., Karoly, D., Marengo, J. A., Marino, M. B., Moncunill, D. F., Nechet, D.,

- Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J. L., Trebejo, I. and Vincentu, L. A., 2006, Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature, *Journal of Climate*, 19, 1490-1512.
- Hevesi, J. A., Flint, A. L., and Istok, J. D., 1992, Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: structural analysis, *Journal of Applied Meteorology*, 31, 661-676.
- Houghton, J. G., 1979, A model for orographic precipitation in the north-central Great Basin, *Monthly Weather Review*, 107(11), 1462-1475.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D. Manning, M. Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H.L.(eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2012, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582.
- Jung, I., D. Bae, and G. Kim, 2011, Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea, *International Journal of Climatology*, 31(3), 359-370.
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S. K., Hnilo, J. J., Fiorino, M., & Potter, G. L., 2002, NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2),

- Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(11), 1631-1644.
- Kitchen, M., and Blackall, R. M., 1992, Representativeness errors in comparisons between radar and gage measurements of rainfall, *Journal of Hydrology*, 134, 13-33.
- Konrad, C. E., 1996, Relationships between precipitation event types and topography in the Southern Blue Ridge mountains of the Southeastern USA, *International Journal of Climatology*, 16, 49-62.
- Lee Byong-Sul, 1976, Weather-Climatological Study of Changma and Kaul Changma in Korea in relation to two Rainy Seasons of East Asia, *SNU Journal of Education Research*, 14, 185-218.
- Lee, B., 1974, A synoptic study of the early summer and autumn rainy season in korea and in east asia, *Geographical reports of Tokyo Metropolitan University*, 9, 79-96.
- Lee, L. G., and Goodge, G. W., 1984, Meteorological analysis of an intense "east slope" rainstorm in the southern Appalachians, Tenth Conference on Weather Forecasting and Analysis, Boston, American Meteorological Society.
- Moberg, A. and P. D. Jones, 2005, Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901-99, *International Journal of Climatology*, 25(9), 1149-1171.
- Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., and Plummer, N., 2001, Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs, 1998-2001, World Meteorological Organization.
- Roe, G. H., 2005, Orographic precipitation, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 645-671.
- Sevruk, B., 1997, Regional dependency of precipitation-altitude relationship in the Swiss Alps, *Climatic Change*, 36, 355-369.

- Smith, R. B., 2003, A linear upslope-time-delay model for orographic precipitation, *Journal of Hydrology*, 282(1-4), 2-9.
- Sokol, Z., 2003, The use of radar and gauge measurements to estimate areal precipitation for several Czech river basins, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 47, 587-604.
- Sokol, Z., and Bližňák V., 2009, Areal distribution and precipitation-altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year, *Atmospheric Research*, 94, 652-662.
- Spreen, W. C., 1947, A Determination of the effect of topography upon precipitation, *Transactions, American Geophysical Union*, 28, 285-290.
- Stephenson, D. B., 2008, Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events, Cambridge University Press: New York.
- Varney, B. M., 1920, Monthly variations of the precipitation-altitude relation in the central Sierra Nevada of California, *Monthly Weather Review*, 48(11), 648-680.
- Vincent, L. A. and É. Mekis, 2006, Changes in Daily and Extreme Temperature and Precipitation Indices for Canada over the Twentieth Century, *Atmosphere-Ocean*, 44(2), 177-193.
- Vincent, L. A., Peterson, T. C., Barros, V. R., Marino, M. B., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Berlato, M. A., Grimm, M., Marengo, J. A., Molion, L., Moncunill, D. F., Rebello, E., Quintana, Y. M. T. Anuncio J., Santos, J. L., Baez, J., Coronel, G., Garcia, J., Trebejo, I., Bidegain, M., Haylock, M. R. and Karolyv, D., 2005, Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000, *American Meteorological Society*, 5011-5023.

Weisse, A., Kieffer, Ph Bois, 2001, Topographic effects on statistical characteristics of heavy rainfall and mapping in the french alps, *Journal of Applied Meteorology*, 40, 720-740.

Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T. H., Albert, P., Semawi, M, Ali, M. K., Al-Shabibi, M. H. S, Al-Oulan, Z., Zadari, T, Khelet, I. A. D., Hamoud, S., Sagir, M., Demircan, M., Eken, M., Adiguze, M., Alexander, L., Peterson, T. C. and Wallis, T., 2005, Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *Journal of Geophysical Research*, 110.

기상청 기상백과: <http://web.kma.go.kr/communication/encyclopedia/list.jsp>

BIZ-GIS, <http://www.biz-gis.com>

NCEP-DOE Reanalysis II, <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>

ETCCDMI, <http://etccdi.pacificclimate.org/>

Regional Specialized Meteorological Center, RSMC, <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>

Statistical and Regional dynamical Downscaling of EXtremes for European regions. STARDEX, 2005, <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>

< 부 록 >

표 1. 종관기상관측장비(ASOS) 일람표(2002~2011년)

지점 번호	지점명	관할기관	주소	위도	경도	노장 해발고 도(m)	2002~2011년 기준			최종 분석에 사용된 지점
							일 강수량 80mm 이상 일수	95퍼센 타일 임계치	99퍼센 타일 임계치	
90	속초	속초기상대	강원도 고성군 토성면 봉포리	38.25085	128.56472	18.1	31	53.5	99.3	○
95	철원	철원기상대	강원도 철원군 갈말읍 군탄리	38.14788	127.3042	153.7	35	56.8	105.4	○
98	동두천	동두천기상대	경기도 동두천시 생연동	37.90186	127.06069	109.1	37	60.1	110.7	○
99	문산	문산기상대	경기도 파주시 문산을 운천리	37.88588	126.76649	29.4	34	62.0	107.2	○
100	대관령	대관령기상대	(산간)강원도 평창군 대관령면 횡계리	37.67713	128.71833	772.6	33	47.0	109.8	×
101	춘천	춘천기상대	강원도 춘천시 우두동	37.90256	127.7357	77.7	31	55.5	116.5	○
102	백령도	백령도기상대	인천광역시 옹진군 백령면 연화리	37.96611	124.63046	144.9	15	40.7	73.8	×
105	강릉	강원지방기상청	강원도 강릉시 용강동	37.75147	128.89098	26.0	31	52.9	108.4	○
106	동해	동해기상대	강원도 동해시 용정동	37.50708	129.12433	39.9	30	52.7	109.3	○
108	서울	인천기상대	서울특별시 종로구 송월동	37.57141	126.96579	85.8	39	61.2	130.3	○
112	인천	인천기상대	인천광역시 중구 전동	37.47759	126.62436	68.2	32	53.8	114.9	○
114	원주	원주기상대	강원도 원주시 명륜동	37.33756	127.9466	148.6	31	53.4	101.0	○
115	울릉도	울릉도기상대	경상북도 울릉군 울릉읍 도동리	37.48129	130.89864	222.8	26	45.4	85.8	×
119	수원	수원기상대	경기도 수원시 권선구 서둔동	37.2723	126.9853	34.1	32	54.0	113.5	○
121	영월	영월기상대	강원도 영월군 영월읍 하송리	37.18126	128.45743	240.6	21	47.5	97.7	○
127	충주	충주기상대	충청북도 충주시 안림동	36.97038	127.95266	115.1	24	48.6	96.5	○
129	서산	서산기상대	충청남도 서산시 수석동	36.77661	126.49391	28.9	35	55.1	97.3	○
130	울진	울진기상대	경상북도 울진군 울진읍 연지리	36.99176	129.41278	50.0	21	48.0	78.6	○
131	청주	청주기상대	충청북도 청주시흥덕구 복대동	36.63924	127.44066	57.2	18	47.7	88.1	○
133	대전	대전지방기상청	대전광역시 유성구 구성동	36.372	127.37212	68.9	28	53.1	98.1	○
135	추풍령	추풍령기상대	충청북도 영동군 추풍령면 관리	36.22023	127.99457	244.7	18	45.6	84.3	○
136	안동	안동기상대	경상북도 안동시 운안동	36.57293	128.70732	140.1	12	45.2	73.7	○
137	상주	상주기상대	경상북도 상주시 낙양동	36.40838	128.15743	96.2	15	45.9	77.0	○
138	포항	포항기상대	경상북도 포항시남구 송도동	36.03259	129.37963	2.3	18	49.8	90.4	○
140	군산	군산기상대	전라북도 군산시 내흥동	36.0053	126.76135	23.2	22	48.8	94.2	○
143	대구	대구기상대	대구광역시 동구 신암동	35.88515	128.61903	64.1	17	46.2	83.4	○
146	전주	전주기상대	전라북도	35.8215	127.15496	53.4	22	46.6	90.1	○

			전주시완산구 남노송동								
152	울산	울산기상대	울산광역시 중구 북정동	35.56014	129.32026	34.6	25	52.2	97.0	○	
155	창원	창원기상대	경상남도 창원시 마산합포구 가포동	35.1702	128.57285	37.2	35	69.1	111.5	○	
156	광주	광주지방기상청	광주광역시 북구 운암동	35.17294	126.89158	72.4	28	53.4	92.9	○	
159	부산	부산지방기상청	부산광역시 중구 대청동1가	35.10468	129.03203	69.6	33	60.6	119.4	○	
162	통영	통영기상대	경상남도 통영시 정량동	34.84546	128.4356	32.7	27	58.5	96.6	○	
165	목포	목포기상대	전라남도 목포시 연산동	34.81689	126.38121	38.0	16	43.4	82.0	○	
168	여수	여수기상대	전라남도 여수시 중앙동	34.73929	127.74064	64.6	25	56.4	103.7	○	
169	흑산도	흑산도기상대	전라남도 신안군 흑산면 예리	34.68719	125.45103	76.5	11	40.9	81.7	×	
170	완도	완도기상대	전라남도 완도군 군외면 불목리	34.39587	126.70184	35.2	36	62.2	105.7	×	
175	진도	진도기상대	전라남도 진도군 의신면 사천리	34.47212	126.32379	476.5	27	45.5	90.8	×	
184	제주	제주지방기상청	제주특별자치도 제주시 건입동	33.51411	126.52968	20.5	27	44.3	102.8	○	
185	고산	고산기상대	제주특별자치도 제주시 한경면 고산리	33.29382	126.16283	74.3	10	40.1	76.5	○	
188	성산	성산기상대	제주특별자치도 서귀포시 성산읍 신산리	33.38678	126.88021	17.8	40	59.6	114.7	○	
189	서귀포	서귀포기상대	제주특별자치도 서귀포시 서귀동	33.24613	126.56534	49.0	29	62.0	113.3	×	
192	진주	진주기상대	경상남도 진주시 평거동	35.16379	128.04002	30.2	35	64.8	121.9	○	
201	강화	인천기상대	인천광역시 강화군 불은면 삼성리	37.70739	126.44634	47.0	29	60.1	110.4	○	
202	양평	이천기상대	경기도 양평군 양평읍 양근리	37.48857	127.49447	48.0	38	61.6	124.7	○	
203	이천	이천기상대	경기도 이천시 부발읍 신하리	37.26398	127.4842	78.0	28	52.5	102.1	○	
211	인제	춘천기상대	강원도 인제군 인제읍 남북리	38.05987	128.16713	200.2	30	48.7	110.7	×	
212	홍천	춘천기상대	강원도 홍천군 홍천읍 연봉리	37.6836	127.88042	140.9	32	59.9	124.7	○	
216	태백	동해기상대	(산간)강원도 태백시 황지동	37.17031	128.98928	712.8	22	45.7	96.2	○	
221	제천	충주기상대	충청북도 제천시 신월동	37.15927	128.19431	263.6	33	56.7	112.9	○	
226	보은	청주기상대	충청북도 보은군 보은읍 성주리	36.48759	127.73412	175.0	16	51.2	87.2	○	
232	천안	천안기상대	충청남도 천안시 신방동	36.77962166	127.1212681	21.3	20	47.0	86.0	○	
235	보령	보령기상대	충청남도 보령시 요암동	36.32721	126.55741	15.5	18	42.9	81.1	○	
236	부여	보령기상대	충청남도 부여군 부여읍 가탑리	36.27236	126.92081	11.3	23	52.8	96.0	○	
238	금산	추풍령기상대	충청남도 금산군 금산읍 아인리	36.10562	127.48175	170.4	25	50.1	93.8	○	
243	부안	군산기상대	전라북도 부안군 행안면 역리	35.72954	126.71655	12.0	21	50.4	93.6	○	
244	임실	정읍기상대	전라북도 임실군 임실읍 이도리	35.61227	127.28556	247.9	23	48.0	93.9	×	
245	정읍	정읍기상대	전라북도 정읍시 상동	35.56317	126.86611	44.6	24	46.9	90.5	○	
247	남원	남원기상대	전라북도 남원시 대산면 수덕리	35.40536	127.33303	90.3	27	51.7	98.0	○	
248	장수	전주기상대	전라북도 장수군	35.65695	127.52029	406.5	29	51.7	98.7	○	

			장수읍 선창리								
256	주암	순천기상대	전라남도 순천시 주암면 구산리	35.075	127.23911	74.6	32	56.8	113.4	○	
260	장흥	완도기상대	전라남도 장흥군 장흥읍 축내리	34.68875	126.91949	45.0	31	60.1	124.8	○	
261	해남	목포기상대	전라남도 해남군 해남읍 남천리	34.55359	126.56897	13.0	26	52.1	107.2	○	
262	고흥	여수기상대	전라남도 고흥군 고흥읍 행정리	34.61824	127.27571	53.1	29	58.7	115.7	○	
271	봉화	울진기상대	경상북도 봉화군 춘양면 의양리	36.94355	128.91454	319.9	20	47.5	93.1	○	
272	영주	안동기상대	경상북도 영주시 풍기읍 성내리	36.87188	128.51696	210.8	30	56.0	103.1	×	
273	문경	상주기상대	경상북도 문경시 유곡동	36.62727	128.14877	170.6	26	56.5	93.1	○	
277	영덕	포항기상대	경상북도 영덕군 영해면 성내리	36.53331	129.40936	42.1	13	48.9	77.8	○	
278	의성	구미기상대	경상북도 의성군 의성읍 원당리	36.35611	128.68863	81.8	14	48.8	79.6	○	
279	구미	구미기상대	경상북도 구미시 남통동	36.13055	128.32054	48.9	20	48.1	79.7	○	
281	영천	대구기상대	경상북도 영천시 망정동	35.97743	128.95141	93.6	10	44.0	70.5	○	
284	거창	거창기상대	경상남도 거창군 거창읍 정장리	35.6674	127.909	226.0	31	54.0	102.9	○	
285	합천	창원기상대	경상남도 합천군 합천읍 합천리	35.56503	128.16986	33.1	29	53.4	102.6	×	
288	밀양	울산기상대	경상남도 밀양시 내이동	35.49148	128.7441	11.2	19	52.4	88.5	○	
289	산청	거창기상대	경상남도 산청군 산청읍 지리	35.41299	127.8791	138.1	42	63.8	129.9	○	
294	거제	통영기상대	경상남도 거제시 신현읍 장평리	34.88818	128.60453	46.3	46	75.1	115.8	×	
295	남해	진주기상대	경상남도 남해군 이동면 다정리	34.81663	127.92641	45.0	40	72.2	124.8	○	

표 2. 방재기상관측장비(AWS) 일람표(2002~2011년)

지점 번호	지점명	관할기관	주소	위도	경도	노장 해발고도(m)	2002~2011년 기준			최종 분석에 사용된 지점
							일 강수량 80mm 이상 일수	95퍼센 타일 임계치	99퍼센 타일 임계치	
116	관악(레)	수원기상대	경기도 과천시 중앙동	37.44525	126.96401	622.4	29	43.9	98.9	×
144	군산(레)	군산기상대	전라북도 군산시 성덕리	36.01228	126.7834	198.6	19	51.4	92.9	○
160	부산(레)	부산지방기상청	부산광역시 서구 서대신동3가	35.11881	128.99996	518.5	26	56.5	106.7	○
300	말도	군산기상대	전라북도 군산시 옥도면 말도리	35.85837	126.31534	48.5	12	40.5	79.3	×
301	임자도	목포기상대	전라남도 신안군 임자면 진리	35.08412	126.11119	15.4	19	44.9	91.0	×
302	장산도	목포기상대	전라남도 신안군 장산면 도창리	34.64317	126.14908	18.9	15	41.6	84.9	×
303	가거도	흑산도기상대	전라남도 신안군 흑산면 가거도리	34.0522	125.1264	22.0	22	45.0	113.4	×
304	신지도	완도기상대	전라남도 완도군 신지면 대곡리	34.33473	126.82727	21.4	23	53.6	92.0	×
305	여서도	완도기상대	전라남도 완도군 청산면 여서리	33.98622	126.92009	35.4	19	49.2	97.5	×
306	소리도	여수기상대	전라남도 여수시 남면 연도리	34.43225	127.8009	5.1	16	53.5	98.6	×

307	평도	여수기상대	전라남도 여수시 삼산면 손죽리	34.24365	127.44957	38.5	17	50.0	94.7	×
311	가야산	거창기상대	경상남도 합천군 가야면 치인리	35.78919	128.0867	595.7	35	59.6	110.5	○
312	주왕산	안동기상대	경상북도 청송군 부동면 상의리	36.3908	129.14177	261.0	13	45.5	75.2	○
313	양지암	통영기상대	경상남도 거제시 능포동	34.89335	128.75139	54.7	14	50.2	89.7	×
314	덕유봉	추풍령기상대	전라북도 무주군 설천면 심곡리	35.86621	127.74312	1518.3	27	48.8	99.5	×
315	성삼재	남원기상대	전라남도 구례군 산동면 좌사리	35.30673	127.51079	1088.9	41	62.5	123.5	×
316	무등봉	광주지방기상청	광주광역시 동구 용연동	35.11437	126.99743	911.8	25	50.2	93.9	○
317	모악산	전주기상대	전라북도 완주군 구이면 원기리	35.7295	127.1142	101.3	24	50.0	97.4	×
318	용평	대관령기상대	(산간)강원도 평창군 대관령면 용산리	37.6434	128.6704	770.0	26	48.9	90.3	×
319	천부	울릉도기상대	경상북도 울릉군 북면 천부리	37.54075	130.87461	30.4	32	54.7	106.1	×
320	향로봉	속초기상대	(산간)강원도 인제군 북면 용대리	38.33101	128.31372	1262.6	41	59.3	109.9	×
321	원통	춘천기상대	(산간)강원도 인제군 북면 원통리	38.11468	128.19631	253.7	27	48.5	105.2	×
322	상서	철원기상대	강원도 화천군 상서면 산양리	38.21552	127.66984	263.8	33	57.4	104.4	×
323	마현	철원기상대	강원도 철원군 근남면 마현리	38.27469	127.553	291.4	28	57.7	99.4	×
324	송계	충주기상대	충청북도 제천시 한수면 탄지리	36.9101	128.0745	141.0	19	46.3	92.3	×
325	백운	충주기상대	충청북도 제천시 백운면 평동리	37.1445	128.0253	230.0	31	51.3	110.0	○
326	용문산	이천기상대	경기도 양평군 용문면 신절리	37.54531	127.58304	197.3	52	67.7	137.2	○
327	우암산	청주기상대	충청북도 청주시 상당구 명암동	36.65026	127.51199	127.5	23	46.0	93.8	○
328	중문	서귀포기상대	제주특별자치도 서귀포시 색달동	33.24945	126.40608	60.9	26	57.9	109.9	○
329	아라	제주지방기상청	제주특별자치도 제주시 아라일동	33.44711	126.56521	374.7	52	65.4	167.5	×
330	하원	서귀포기상대	제주특별자치도 서귀포시 하원동	33.2886	126.46159	407.2	48	77.4	139.5	○
400	강남	인천기상대	서울특별시 강남구 삼성동	37.5134	127.04699	59.6	34	57.5	126.1	○
401	서초	인천기상대	서울특별시 서초구 서초동	37.48891	127.01562	35.5	32	60.2	124.3	×
402	강동	인천기상대	서울특별시 강동구 고덕동	37.55551	127.14498	56.9	38	59.1	129.6	○
403	송파	인천기상대	서울특별시 송파구 잠실동	37.51151	127.0967	53.6	34	57.5	118.6	○
404	강서	인천기상대	서울특별시 강서구 화곡동	37.54992	126.84253	79.1	38	60.1	125.5	○
405	양천	인천기상대	서울특별시 양천구 목동	37.52961	126.87819	9.7	36	56.8	125.9	×
406	도봉	인천기상대	서울특별시 도봉구 방학동	37.66612	127.02946	55.5	40	65.8	131.4	○
407	노원	인천기상대	서울특별시 노원구 공릉동	37.62101	127.09683	52.1	37	53.1	129.8	○
408	동대문	인천기상대	서울특별시 동대문구 전농동	37.58463	127.06036	49.4	40	56.1	133.0	×
409	중랑	인천기상대	서울특별시 중랑구 면목동	37.5855	127.08682	40.2	39	55.7	132.7	×
410	기상청	인천기상대	서울특별시 동작구 신대방동	37.49371	126.91809	33.8	39	58.5	119.8	○
411	마포	인천기상대	서울특별시 마포구 망원동	37.55174	126.90277	25.5	38	64.7	129.7	○

412	서대문	인천기상대	서울특별시 서대문구 신촌동	37.57046	126.94076	100.6	35	59.2	127.1	○
413	광진	인천기상대	서울특별시 광진구 자양동	37.531	127.0875	38.0	35	60.3	129.9	○
414	성북	인천기상대	서울특별시 성북구 정릉동	37.61172	126.99943	125.9	37	61.8	128.6	×
415	용산	인천기상대	서울특별시 용산구 이촌동	37.52037	126.97609	32.6	33	55.7	118.1	×
416	은평	인천기상대	서울특별시 은평구 진관내동	37.6444	126.9453	70.0	33	57.8	126.9	○
417	금천	인천기상대	서울특별시 금천구 독산동	37.46551	126.90015	41.5	39	58.1	117.9	○
418	한강	인천기상대	서울특별시 영등포구 여의도동	37.5249	126.93906	10.7	32	50.3	119.9	○
419	중구	인천기상대	서울특별시 중구 예장동	37.55237	126.98736	266.4	29	50.6	102.0	○
421	성동	인천기상대	서울특별시 성동구 성수동1가	37.5472	127.03884	33.7	35	54.8	118.2	○
423	구로	인천기상대	서울특별시 구로구 궁동	37.49418	126.8265	53.5	38	64.4	121.3	×
424	강북	인천기상대	서울특별시 강북구 수유동	37.6397	127.02572	55.7	39	63.6	139.3	○
499	중면	동두천기상대	경기도 연천군 중면 삼곶리	38.13586	127.0191	54.7	31	58.5	101.3	×
500	양도	인천기상대	인천광역시 강화군 양도면 도장리	37.6317	126.4201	29.0	34	66.3	113.7	×
501	대연평	인천기상대	인천광역시 옹진군 연평면 연평리	37.66439	125.70228	13.0	30	57.2	120.9	×
502	교동	인천기상대	인천광역시 강화군 교동면 대룡리	37.78436	126.28289	41.9	26	59.9	108.3	×
503	도라산	문산기상대	경기도 파주시 장단면 도라산리	37.912	126.7116	17.3	28	64.0	105.0	×
504	포천	동두천기상대	경기도 포천시 자작동	37.86572	127.17636	102.1	39	61.5	135.1	○
505	하면	춘천기상대	경기도 가평군 하면 현리	37.82435	127.34543	168.5	40	61.8	129.6	○
506	금촌	문산기상대	경기도 파주시 아동동	37.7657	126.7841	56.0	33	59.0	122.3	○
507	창수	동두천기상대	경기도 포천시 창수면 고소성리	38.025	127.1433	80.0	37	61.1	123.6	○
509	관악	인천기상대	서울특별시 관악구 신림동	37.45284	126.95014	145.1	34	59.2	119.1	×
510	영등포	인천기상대	서울특별시 영등포구 당산동	37.52706	126.90705	24.4	37	61.6	125.7	○
511	공촌동	인천기상대	인천광역시 서구 공촌동	37.55497	126.69047	45.2	33	59.0	126.0	○
512	남동공단	인천기상대	인천광역시 연수구 동춘동	37.39684	126.66207	9.1	29	52.9	109.3	○
513	덕적도	인천기상대	인천광역시 옹진군 덕적면 진리	37.2167	126.15	203.0	21	44.4	91.5	×
514	대부도	인천기상대	경기도 안산시 대부북동	37.24551	126.58063	32.8	21	51.0	110.5	×
515	우정	수원기상대	경기도 화성시 우정읍 조암리	37.081856	126.800705	19.0	24	47.7	96.0	○
516	안성	수원기상대	경기도 안성시 석정동	37.01304	127.26509	45.2	24	53.4	94.6	○
517	간성	속초기상대	강원도 고성군 간성읍 신안리	38.38537	128.47449	5.3	36	57.1	111.0	×
518	해안	춘천기상대	강원도 양양군 해안면 현리	38.2847	128.1397	448.0	39	67.4	115.7	○
519	사내	철원기상대	강원도 화천군 사내면 사창리	38.07024	127.52351	283.1	43	57.9	122.3	○
520	설악동	속초기상대	(산간)강원도 속초시 설악동	38.17207	128.49327	189.5	57	77.5	139.8	○
521	강현	속초기상대	강원도 양양군 강현면 장산리	38.14377	128.60261	13.4	36	59.4	117.6	×

<ABSTRACT>

This study aims to reveal the characteristics of spatio-temporal patterns of orography-associated extreme precipitation in South Korea depending on the geographic factors(e.g. sea level altitude and proximity to the coast, etc) and the synoptic climate in the upper atmosphere(water vapor transportation field of 850hPa surfaces) based on the daily precipitation data obtained from about 490 sites{e.g. Automated Synoptic Observation System(ASOS) and Automatic Weather System(AWS) in Korea Meteorological Administration} for the recent 10 years(2002~2011). To this end, this study analyzes the moving spots and the values unknown at present to determine the observational data which is the subject of study, maps the spatio-temporal patterns of frequency, intensity, time of occurrence on an annual basis, and spatial extent of extreme precipitation defined as fixed threshold(daily amount of precipitation: 80mm or more) and relative threshold(precipitation: 95 percentile or more) based on the data obtained in this way, and analyzes the water vapor transportation field in the upper atmosphere by the time of precipitation.

To look at the important research findings, the intensity of extreme precipitation in the mountainous areas of South Korea can be found to be high depending on the geographic factors as sea level altitude and proximity to the coast. In Jeju Island and Sobaek Mts., the frequency and intensity of extreme precipitation of the basis of fixed and relative threshold tended to increase depending on the increased sea level altitude. In such regions, the percentile of extreme precipitation in the entire rainfall was found to be higher than in the lowlands where the sea level altitude is relatively low. These results suggest that water vapors steam upward, influenced by the topography of the mountainous regions

where vapor is actively supplied from the sea, which means that the extreme precipitation regions are intensively appeared. In Seoul, Gyeonggido, and Youngdong mountain areas depending on the increased seal level altitude was found to be relatively high at 100m or less above sea level. In such regions, the difference in the frequency and intensity of extreme precipitation phenomenon was not distinct at 100m or more above sea level, but tended to reduce when it had a raising pattern from the sea. In the southern coastal mountainous regions of South Korea where the inflow of air current is excellent, it is observed that the total precipitation tends to increase partially depending on the increased sea level altitude, but in the intensity of extreme precipitation, consistent patterns associated with geographic factors were not observed.

The spatio-temporal patterns of extreme precipitation in South Korea are found to be closely associated with synoptic climate which is related to water vapor transportation by season in the regions surrounding the Korean Peninsula as well as seal level altitude and proximity to the coast. To look at the distribution patterns of extreme precipitation by the time of precipitation, the extreme precipitation occurred from May to October occupied about 40% during the summer rainy season haring the seasonal rain front. When analyzing the water vapor transportation field of 850hPa surfaces during the summer rainy season, water vapors were sufficiently transported along the seasonal rain front especially when the north pacific high was enhanced, thus knowing that it influenced the inland area of South Korea. At this time, the extreme precipitation was enhanced by the topographical features, especially by altitude in Taebaek Mountains which is a major axis of Korean peninsula and the representative alpine regions such as Mt. Sorak, Mt. Jiri, and Mt. Halla rather than small mounds. In other words, the extreme precipitation by season was associated with the synoptic climatic characteristics and the

topographic effects, thus determining the spatial patterns of precipitation. In case of typhoon, the extreme precipitation phenomenon appeared strong and the region showing the orography-associated extreme precipitation differed depending on the typhoon track.

Key Words: extreme precipitation events, orographic effect, precipitation seasons, synoptic analysis

감사의 글

여호와를 경외하며 그의 길을 걷는 자마다 복이 있도다

네가 네 손이 수고한 대로 먹을 것이라

네가 복되고 형통하리로다. (시편 128장 1~2절)

모든 일을 계획하시고 형통케 하신 하나님 아버지 감사드립니다. 저 혼자서는 하지 못할 일들 주님의 도우심으로 이를 수 있었다는 것을 알기에 그동안의 일들을 돌아보며 항상 감사와 존경의 마음을 올려드립니다.

끝없는 고민과 걱정 속에서 시작한 대학원 석사과정이었지만 어느덧 시간이 흘러 그 결실을 맺는 단계에까지 이르게 되었습니다. 그동안 게으르고 부족한 저의 모습을 돌아보며 한편으론 아쉬움도 많은 기간이었지만, 본 논문이 나오기 까지 저에게 힘이 되어준 모든 분들을 떠올리며 감사의 글을 올립니다.

먼저 부족한 저에게 학문의 자세를 일깨워 주시고 바쁘신 와중에도 많은 가르침과 열정을 가지고 지도해주신 최광용 지도교수님께 감사드립니다. 학부과정에서부터 대학원 진학에까지 그리고 석사기간동안 어려운 상황 속에서도 잘 이겨낼 수 있도록 자신의 일처럼 관심 가져 주시고 격려와 조언을 아끼지 않으신 김태호 교수님 감사드립니다. 날카로운 시각으로 현상을 바라보게 하시고 어려움이 있을 때 찾아가면 언제나 반겨주신 권상철 교수님께도 감사를 드립니다.

아울러, 본 논문이 나오기까지 학업에 전념할 수 있도록 지원을 아끼지 않으신 김만협 조교선생님, 어렵게만 느껴졌던 논문에 대해 친절한 안내와 조언을 해주신 부혜진 선생님, 논문이 나오는 과정에서 함께 동거동락한 강승일 선생님, 자료처리와 대학원 생활에 많은 도움을 준 정근오 학우, 먼 거리에 있어도 잊지 않고 찾아주고 논문 작성에 도움을 준 김보빈형 에게도 감사의 마음을 전합니다.

그리고 자기 자식의 일처럼 물심양면으로 도와주시며 격려해주신 김미영 권사님, 내가 나태해질 때는 따끔한 지적으로, 힘들어할 때는 따뜻한 격려와 함께 늘 뒤에서 지켜봐 준 보배에게도 감사와 고마운 마음을 전합니다. 마지막으로 힘들어 할 때마다 사랑한다는 말과 함께 든든한 후원자가 되어주신 아버지와 오직 자식 잘되기만을 기도하시고 지금 이 순간에도 자식 걱정을 하시는 어머니 진심으로 감사드리며 이 결실의 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

2013년 7월

이 승 욱