

남한지역내 수문기상학적 기후변화 추세의 공간분석



강 부 식 |

단국대학교 토목환경공학과 조교수
bskang@dankook.ac.kr

1. 서론

2007년 발표된 IPCC 4차 평가보고서에서는 1906년 이후 100년간 전지구 평균기온은 0.74도 상승하였으며, 최근 12년중 11년이 최고기온을 기록하여 지구온난화 경향을 밝혀내었다. 이러한 온도의 증가경향과는 다르게 강수량의 경우 뚜렷한 증가의 경향을 나타내고 있지는 않지만, 20세기초에 비하여 장기적으로 증가하는 경향을 보이고 있다(권원태, 2007). 이러한 기온과 강수의 변화 경향을 살펴보기 위하여, 한반도 지역의 과거 관측자료를 이용하여 지역별 변화경향을 분석하였다. 지역은 수계별(한강, 금강, 낙동강, 섬진/영산/동진강)로 구분하여 분석을 실시하였다. 이러한 수계별 분석을 통하여 한반도전역의 기후변화경향과 비교하였다.

분석에 사용된 자료는 기상청(KMA)에서 제공되는 지상관측자료를 이용하였으며, 일강수량(mm/day), 일평균기온(°C), 일최고기온(°C), 일최저기온(°C)을 이용하였다. 분석기간은 1973~2007(35개년)이며, 분석에 사용된 지상관측소는 전국적인 분포를 고려하여 총 60개소의 자료를 사용하였다. 최근 이러한 기후변화에 대한 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있으며, 권원태 등(2007)은 한반도 지역의 최근

10년(1996~2005) 기후특성에 대한 연구를 통해 한반도 지역의 평균기온 상승과, 최근 10년 강수량의 증가를 확인하였다. 또한 최영은(2004)는 한국의 극한 기온 및 강수 사상의 변화 경향에 관한 연구를 하였으며, Herath 등(2004)은 관측자료를 이용하여 강수변화 경향에 대한 연구를 하였다.

한편 국내에서 진행된 기후변화 연구보고서(권원태, 2007; 한화진 등, 2005)에서 지난 수십년간의 강수 및 온도등의 주요 수문기상변수에 대한 기후변화 추세를 제시하였는데 기온에 있어서는 증가추세에 대한 일관된 분석결과를 제시하고 있으나, 강수에 대해서는 추세이탈여부를 보는 관점에 있어서 논란의 여지를 남기고 있다. 본 연구에서는 최근(2007년)까지의 비교적 충분한 관측년수가 확보되는 전국의 관측소자료를 이용하여 1990년대 이후 최근의 추세변화를 보다 면밀하게 조사하고자 하였으며, 남한지역의 평균적 추세뿐 아니라 공간적 변화특성에 대하여 살펴보고자 하였다.

2. 자료 및 분석

분석에 이용한 자료는 기상청에서 제공되는 지상 관측자료인 일강수량, 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온 자료를 이용하여 1973~2007(35개년)에 대하여 분석을 실시하였다. 또한 분석을 위하여 전국적인 분포를 나타내는 총 60개의 관측자료를 사용하였으며, 수계별 분석의 경우 한강(10개소), 금강(6개소), 낙동강(11개소), 섬진/영산/동진강(5개소)의 자료를 이용하였다(표 1).

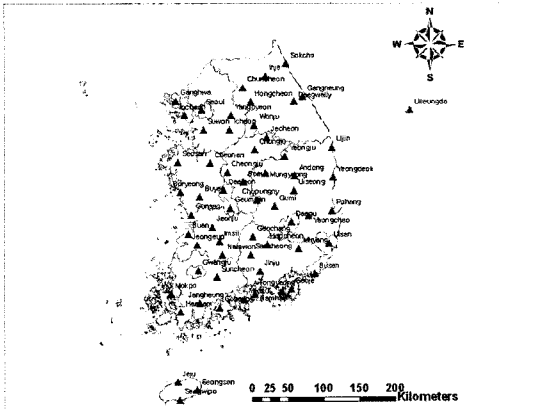


그림 1. 분석에 사용된 관측소 분포현황(60개소)

표 1. 수계별 분석에 사용된 관측소

수계별(개소)	관측소명
한 강(10)	대관령, 춘천, 서울, 원주, 수원 충주, 강화, 양평, 이천, 인제
낙동강(6)	청주, 대전, 추풍령, 보은, 부여, 금산
낙동강(11)	대구, 진주, 영주, 문경, 의성, 구미, 영천 거창, 합천, 밀양, 산청
섬진/영산강(5)	광주, 부안, 임실, 정읍, 남원

강수의 경우 한반도지역 60개소의 일강수량 자료를 이용하여 다음 항목에 대한 변화경향 분석을 실시하였다. 또한 여름철에 년강수량의 2/3가 집중되는 한반도 지역의 대륙적 특성을 고려하여 강수량이 많은 홍수기(6~9월)와 상대적으로 적은 비홍수기(1~5월/10~12월)로 구분지어 변화경향을 살펴보았으며, 년강수량에 있어 홍수기와 비홍수기의 영향을 분석하였다. 이러한 전국적인 분석과 더불어 지역적인 변화 특성을 살펴보기 위하여 수계별(한강, 낙동강, 금강, 섬진/영산/동진강)구분에 의한 분석을 실시하였으며, 한반도의 전반적인 변화 경향과 비교하여 보았다.

- 년강수량 변화
- 관측소별강수량의 변화
- 일최고강수량 변화
- 무강수일수 변화
- 강수일수 및 강수일수당 평균강수량 변화

• 집중호우빈도 변화

온도의 경우 관측자료를 이용하여 한반도 지역의 평균기온변화, 일최고기온변화, 일최저기온변화, 일교차변화 경향을 분석하였으며, 세부적인 변화경향을 살펴보기 위하여 월별(1~12월) 및 계절적 분석을 실시하였다. 계절적 분석에서는 봄(3~5월), 여름(6~9월), 가을(10~11월), 겨울(12~2월)로 구분지어 분석하였다.

3. 분석결과

3.1 강수량 분석결과

60개 관측소의 자료를 이용하여 한반도지역의 년강수량을 분석한 결과 강수량의 변동폭은 다소 크지만 증가경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 1970년대(그림 2(a,b))에 비하여 2000년대(그림 2(f,g))의 년평균강수량 분포가 상대적으로 많은 양을 나타내는 것을 확인하였다.

이러한 년평균강수량의 변화경향에 있어서, 1995년 이후의 변화경향은 1995년 이전에 비해 상대적으로 큰 증가경향을 나타내고 있다.(그림 3(a)). 동일기간에 대하여 홍수기와 비홍수기의 강수량을 분석한 결과, 홍수기의 경우는 년강수량의 변화경향과 유사하게 나타났지만, 비홍수기에는 뚜렷한 경향을 발견하지 못하였다. 이는 홍수기의 강수변화 경향이 비홍수기에 비하여 년강수량 변화에 상대적으로 큰 영향을 미치는 것으로 판단되어진다. 더불어 지역적인 수계별 분석에 있어서도 모든수계의 년강수량 증가경향을 확인할 수 있었다(그림 4).

년강수량 분석을 통해 1995년을 기점으로, 1995 이후 변화경향이 이전 변화경향보다 좀더 강한 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 이러한 변화경향을 관측소별로 살펴보기 위하여 각각의 관측소에 대하여 1973~1994년의 년평균강수량과 1995~2007년 년

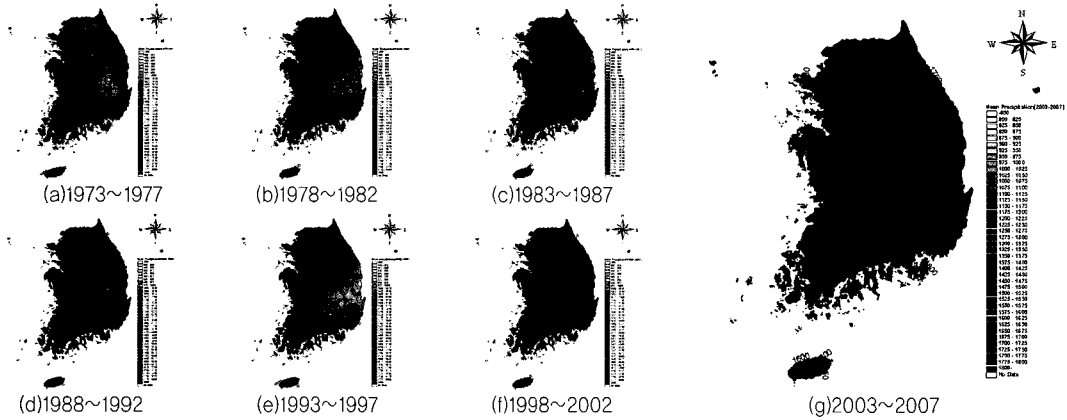


그림 2. 한반도 년평균강수량 분포

평균강수량을 산출하여 변화율을 분석하였다. 분석결과 1995년 이후의 년평균강수량은 모든 관측소에서 증가하는 것으로 분석되었다(그림 5). 또한 홍수기와 비홍수기로 나누어 분석을 실시한 결과, 홍수기의 경우 모든관측소에서 평균 17.82%의 증가를 나타내었으며, 비홍수기의 경우는 12개의 관측소에서만 증가하였다(그림 6). 이는 홍수기가 비홍수기에 보다 한반도 강수변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이러한 관측소별 분석을 수계별로 분석한 결과, 한강의 경우 13.84%, 금강 13.62%, 낙동강 14.41%, 섬진/영산/동진강 10.86%의 증가를 확인하였다(그림 7).

$$\text{강수량변화율} = \frac{\text{1995년 이후 년평균강수량}}{\text{1995년 이전 년평균강수량}}$$

최근 발생하는 국지성호우 및 돌발홍수는 일최고강수량 및 집중호우빈도와 관련이 있다고 판단되어

진다. 이러한 관련성 분석을 위하여, 일최고강수량과 집중호우발생빈도를 각각 분석하였으며, 집중호우빈도 분석의 경우 일강수량이 80mm, 90mm, 100mm이상 관측된 날을 기준으로 각각 산출하였다. 일최고강수량 분석결과 한반도 전역에서 증가경향을 띄고 있으며, 지역적인 분석에서는 섬진강수계의 경우가 다른수계에 비하여 완만한 변화경향을 나타내고 있었다. 2002년의 경우 강릉지점의 일최고강수량은 870.5mm로서 년강수량의 약 42%에 해당하는 양이었다. 이러한 증가경향은 그림 12에서도 확인할 수 있듯이, 최근 10년(1998~2007)의 일최고강수량 분포가 과거 기간에 비하여 상대적으로 진하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 집중호우빈도 분석결과 역시 한반도전역에서 증가경향을 나타내고 있으며, 지역별 분석결과 역시 모든수계에서 증가하는 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 한반도 전역에 대한 분석

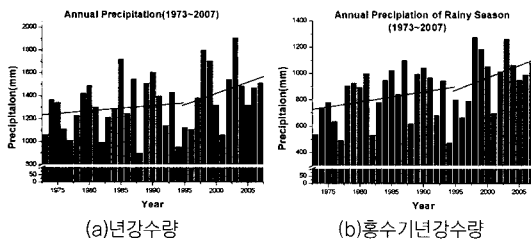


그림 3. 한반도 년강수량

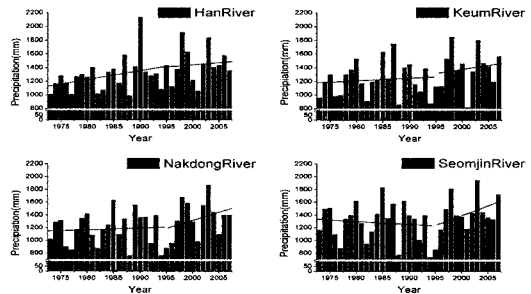


그림 4. 수계별 년강수량

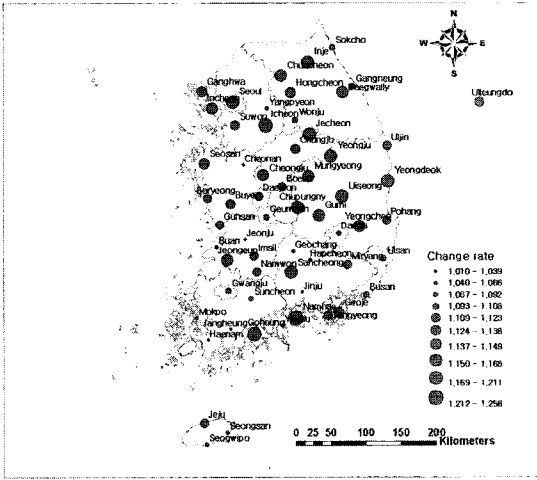


그림 5. 관측소별 강수량변화를 분포(1973~2007)

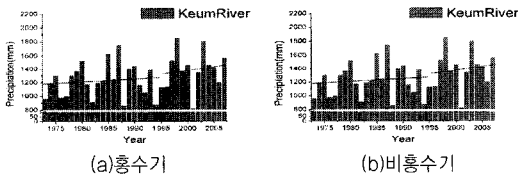


그림 6. 관측소별 강수변화(한반도)

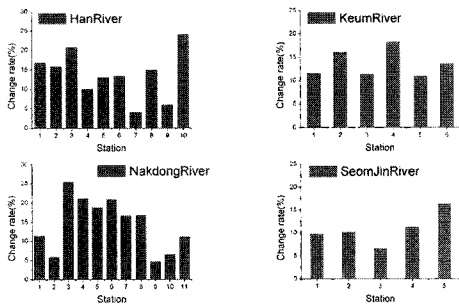


그림 7. 관측소별 강수변화(수계별)

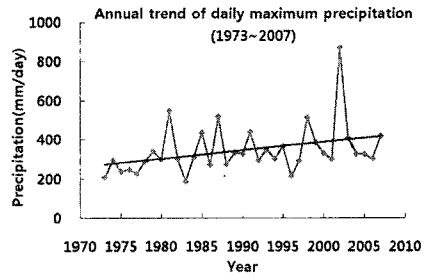


그림 8. 한반도 일최고강수량변화

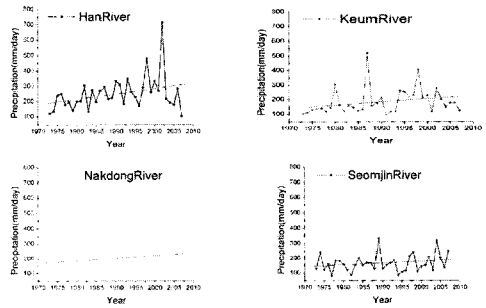


그림 9. 수계별 일최고강수량변화

결과는 표 2에 요약되어 있다.

이러한 강수량의 분석과 더불어 무강수일수 분석을 실시하였으며, 분석되어진 무강수일수를 이용하여 강수일수를 계산하였다. 분석결과 한반도 전역에서 무강수일수가 다소 증가경향을 나타내는 것을 확인하였다. 이는 강수일수는 감소경향을 나타낸다고 표현할 수 있겠다. 더불어 년강수량을 강수발생일로 나누어, 강수발생일당 평균강수량의 변화경향을 살펴보았다. 분석결과 한반도지역의 강수일수당 평균강수량은 증가경향을 나타내는것을 확인하였으며, 수계별로 나

표 2. 한반도 일최고강수량 및 집중호우빈도 변화(1973~2007)

	1973~1977	1978~1982	1983~1987	1988~1992	1993~1997	1998~2002	2003~2007
년평균강수량(mm)	1177.1	1286.1	1401.6	1309.2	1198.3	1485.1	1538.2
일최고강수량(mm)	297.0	547.4	517.6	439.0	365.5	870.5	420.0
집중호우 80mm/day이상	7.40	10.38	12.10	10.47	11.02	15.07	14.48
발생횟수 90mm/day이상	5.10	7.97	9.25	7.62	8.03	11.63	10.92
(회) 100mm/day이상	3.50	6.15	7.13	5.47	6.05	9.25	8.23

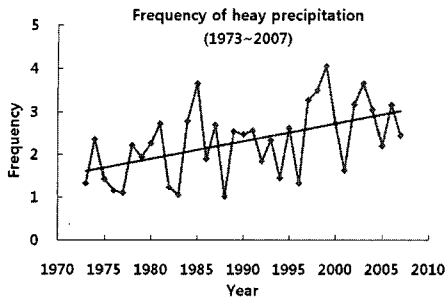


그림 10. 한반도 집중호우빈도변화(80mm이상)

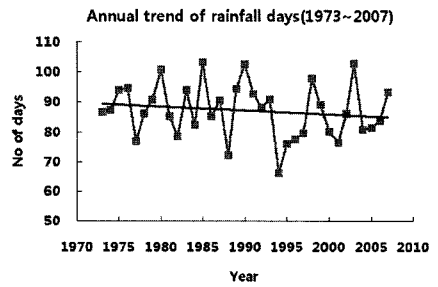


그림 13. 한반도 강수일수변화

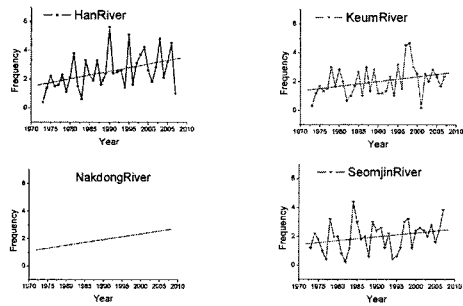


그림 11. 수계별 집중호우빈도변화(80mm이상)

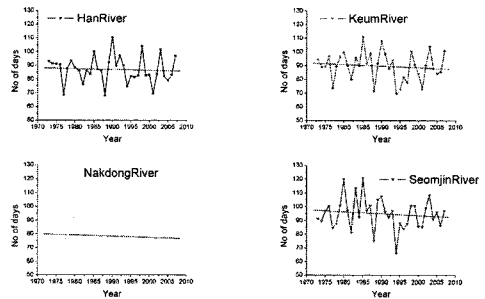


그림 14. 수계별 강수일수변화

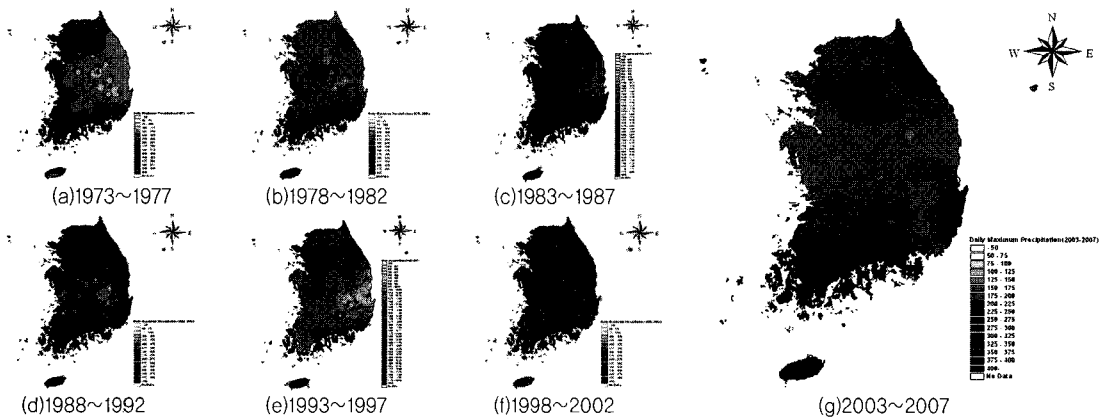


그림 12. 한반도 일최고강수량 분포

누어 실시한 지역별 분석에서 모두 증가경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다(그림 16).

3.2 기온분석결과

기온의 경우 60개 관측소의 자료를 이용하여 일평

균기온, 일최고기온, 일최저기온, 일교차에 대해서 분석을 실시하였다. IPCC 4차 평가보고서에서는 언급되었듯이 1906년 이후 100년간 전지구 평균기온은 0.74도 상승하였다. 한반도지역의 경우에도 이러한 증가경향을 나타내는 것을 이번 분석을 통해 확인할 수 있었다. 분석결과 평균기온의 경우는 증가하는 경

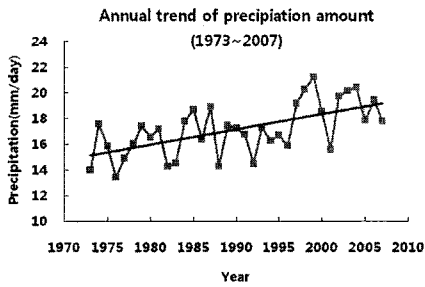
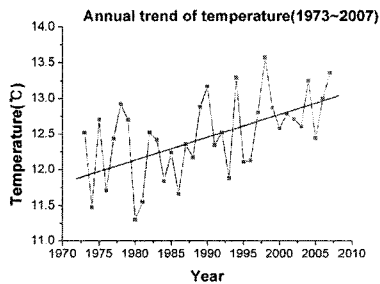
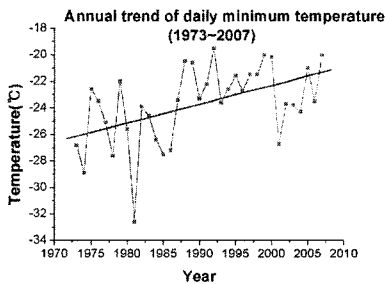


그림 15. 한반도 강수발생일당 평균강수량

향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다<그림 17(a)>. 분석기간인 1973~2007년중 1980년에 11.3℃로 최저평균기온을 나타내었으며, 1998년에 13.57℃로 최고평균기온을 나타내었다. 그림 18에서도 확인할 수 있듯이 1970년대의 평균온도 보다 2000년대의 평균 온도 분포가 더 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 평균기온의 증가를 좀더 세부적으로 분석하기 위하여 월별분석을 실시하였으며, 분석결과 7, 8월을 제외한 모든 기간에서 증가경향을 나타내는 것



(a)평균기온변화



(c)최저기온변화

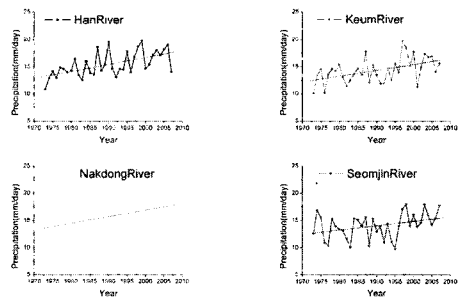
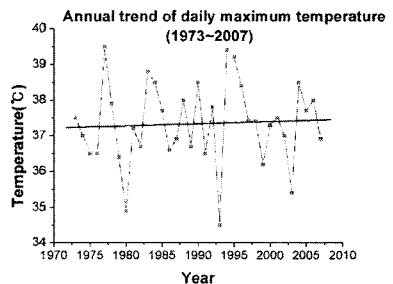
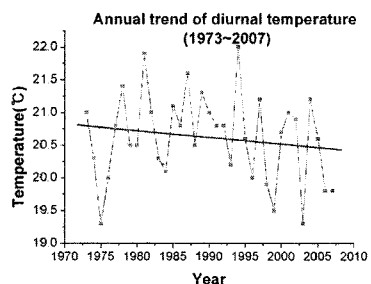


그림 16. 수계별 강수발생일당 평균강수량

을 확인할 수 있었다. 이러한 증가경향은 최저온도 분석결과에서도 확인할 수 있었다<그림 17(c)>. 최저 온도 분석결과 최저온도는 -32.6~-19.5℃의 분포를 나타내었으며, 1981년 -32.6℃로서 가장 낮은값을, 1991년 -19.5℃로 가장 높은값을 나타내었다. 최저온도역시 월별분석을 실시한 결과, 최저온도의 경우는 모든 월에서 증가하는 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 반면 최고온도에 대한 분석을 실시한 결과 변동성은 나타나지만 뚜렷한 경향성을 발견하지 못하



(b)최고기온변화



(d)일교차변화

그림 17. 한반도지역 기온변화 (1973~2007)

표 3. 한반도지역 기온분석결과 (1973~2007)

	1973~1977	1978~1982	1983~1987	1988~1992	1993~1997	1998~2002	2003~2007
평균기온	12.17	12.20	12.10	12.62	12.44	12.90	12.93
최고기온	34.55	34.23	34.85	34.66	34.91	34.20	34.65
최저기온	14.60	14.17	14.56	12.55	12.69	12.59	12.70
일교차	20.27	21.07	20.78	20.88	20.79	20.41	20.14

였다(그림 17(b)). 하지만 최고온도에 대한 월별분석을 실시한 결과 4, 9, 11월의 일부 월의 경우는 증가하는 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 최고온도와 최저온도의 차이를 이용하여 일교차분석을 실시한 결과, 일교차는 감소되는 경향을 나타내는 것을 확인하였다(그림 17(d)). 이는 한반도지역의 경우 최고온도의 경우 큰 변동경향을 나타내지는 않지만, 최저온도의 경우 증가하는 경향을 나타내고 있기 때문이라 판단되어 진다. 더불어 일교차에 대한 월별분석결과 역시 2, 3월을 제외한 모든 기간에 대해서는 일교차가 감소하는 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 모든 변수에 대한 분석결과 한반도지역의 기온 변화 추세는 IPCC 4차보고서에 언급되어진 전지구적인 기온 증가경향을 반영한다고 판단되어 진다. 분석한 결과값은 5년간격으로 재분석하여 표 3에 요약되어 있다.

4. 결론

한반도 지역의 기후변화 경향 분석을 위하여 강수 및 기온자료를 이용하여 추세 분석을 실시한 결과 아래와 같은 경향을 확인할 수 있었다.

- 년강수량의 경우 변동폭은 크지만 증가경향을 확인할 수 있었으며, 1995년 이후 강수량의 변화경향은 1995년 이전에 비해 상대적으로 크게 나타나는 것을 확인하였다. 수계별 년강수량 분석결과역시 모든 수계에서 증가경향을 나타내는 것을 확인하였다.

- 관측소별 강수변화를 분석한 결과 모든 관측소에서 증가경향을 나타내는 것을 확인하였으며(평균 17.82%), 수계별 관측소 강수변화 분석결과 한강의 경우 평균 13.84%, 금강 13.62%, 낙동강 14.41%, 섬진강 10.86% 증가하는 것을 확인하였다.

- 년강수량과 관측소별 강수변화 부분에 있어서 홍수기와 비홍수기로 나누어 분석한 결과 홍수기가 비홍수기에 비하여 한반도강수량에 더 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이는 년강수량의 2/3가 여름철에 집중되는 한반도 지역의 특성을 반영한 것으로 판단되어 진다.

- 일최고강수량 분석결과 증가경향을 확인하였으며, 수계별 분석결과 모든 수계에서 증가경향을 나타내었다. 집중호우빈도 분석결과역시 증가하는 경향을 나타내었으며, 이는 최근 발생하는 국지성호우 및 돌발홍수와 관련성이 있다고 판단되어 진다.

- 강수일수 분석결과 감소하는 경향을 나타내는 것을 확인하였으며, 년평균강수량을 강수일수로 나눈 강수일수당 평균강수량은 증가하는 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 수계별 분석결과 모든 수계에서 한반도지역과 같은 변화경향을 나타내는 것을 확인하였다.

- 평균기온 분석결과 증가하는 경향을 확인하였으며, 월별 평균기온 분석에서는 7, 8월을 제외한 모든 기간에서 증가하는 경향을 확인하였다.

- 최고기온 분석결과 변동성은 확인하였지만 뚜렷한 변화경향을 나타내지는 않았다. 하지만 월별 최고기온 분석에서는 4, 9, 11월의 경우 증가경향을 나타내는 것을 확인하였다.

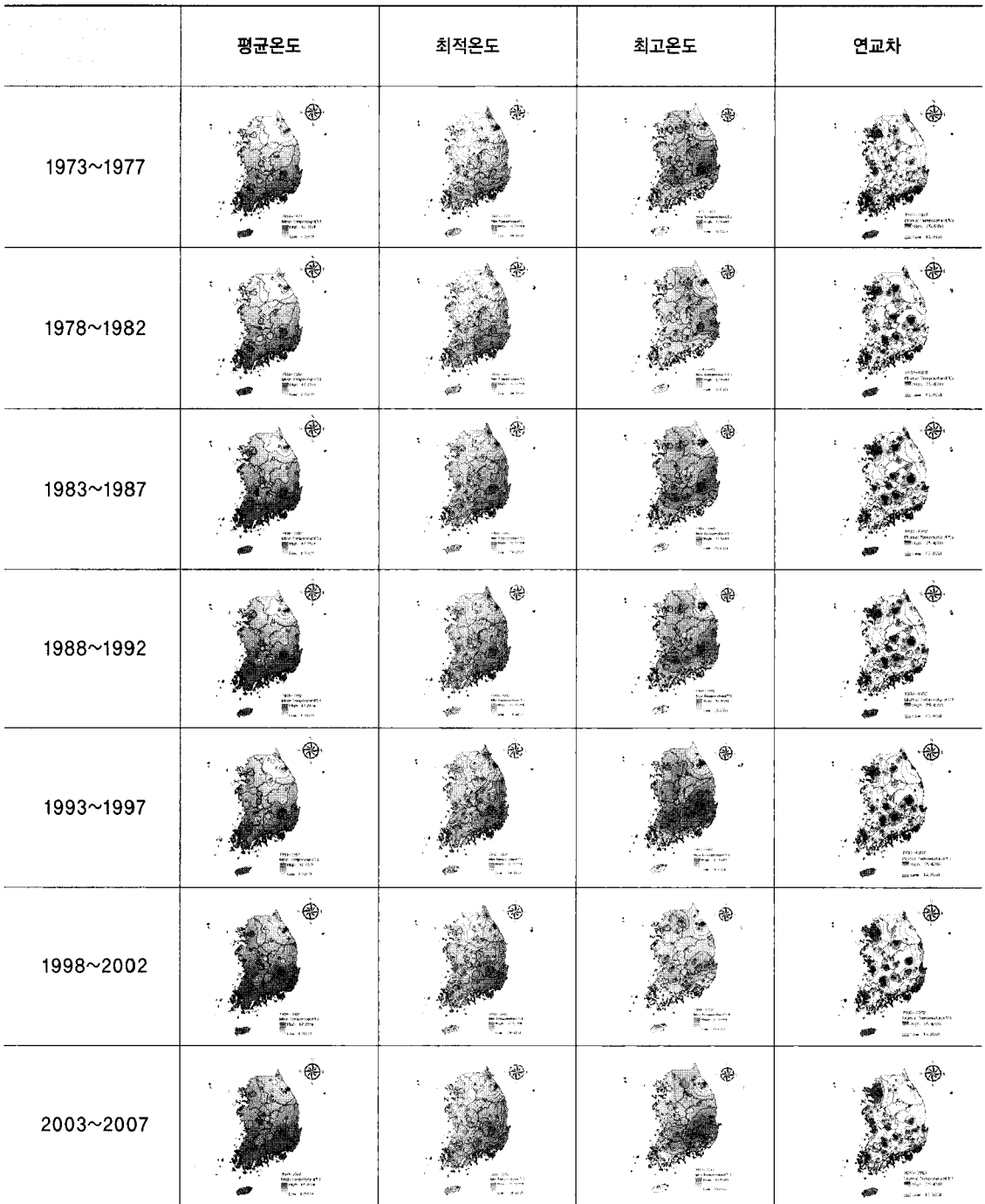


그림 18. 한반도지역 기온분포현황 1973~2007)

• 최저기온 분석결과 증가하는 경향을 확인하였으며, 월별 최저기온 분석에서는 모든기간에서 증가하는 경향을 확인하였다.

• 최고기온과 최저기온의 차이인 일교차 분석결과 과거에 비해 일교차는 감소하는 경향을 나타내는 것을 확인하였으며, 이는 최고온도의 경우 변화경향은 없지만, 최저온도의 경우 증가하는 경향을 나타내어 일교차가 감소한 것으로 판단되어 진다.

참고문헌

1. 권원태, 부경은, 허인혜(2007), 한반도 최근 10년 기후특성, 한국수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집, pp. 278~280
2. 백희정, 권원태(2004), 한강 및 낙동강 유역평균 월강수량의 기후 특성 분석, 한국수자원학회 2004년도 학술발표회 논문집, pp. 1223~1227
3. 유철상, 이동률(2000), 기후변화에 따른 강수일수 및 강수강도의 변화연구, 대한토목학회논문집, 제 20권, 제4-B호, pp. 535~544
4. 정용승, 윤마병(1999), 한국의 최근 기후변화와 관련된 요소들, 한국기상학회지, 제 35권, 제 3호, pp. 309~318
5. 최영은(2004), 한국의 극한 기온 및 강수 사상의 변화 경향에 관한 연구, 대한지리학회지, 제 39권, 제 5호, pp. 711~721
6. 한화진, 안소은, 최은진, 한기주, 이정택, 김해동, 손요환, 박용하, 조광우, 윤정호, 이은애, 김승만(2005). 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축, 한국환경정책평가연구원
7. Srikantha Herath(2007), Monitoring rainfall trends to predict adverse impacts—a case study form Sri Lanka, GlobalEnvironmental Chnage A, Vol. 14, pp. 71~79