

## B2 기후변화시나리오와 극한지수를 이용한 기후변화가 극한 강우 발생에 미치는 영향분석

### Analysis of Impact Climate Change on Extreme Rainfall Using B2 Climate Change Scenario and Extreme Indices

김보경\* · 김병식\*\*

Kim, Bo Kyung · Kim, Byung Sik

#### Abstract

Climate change, abnormal weather, and unprecedented extreme weather events have appeared globally. Interest in their size, frequency, and changes in spatial distribution has been heightened. However, the events do not display regional or regular patterns or cycles. Therefore, it is difficult to carry out quantified evaluation of their frequency and tendency. For more objective evaluation of extreme weather events, this study proposed a rainfall extreme weather index (STARDEX, 2005). To compare the present and future spatio-temporal distribution of extreme weather events, each index was calculated from the past data collected from 66 observation points nationwide operated by Korea Meteorological Administration (KMA). Tendencies up to now have been analyzed. Then, using SRES B2 scenario and 2045s (2031-2050) data from YONU CGCM simulation were used to compute differences among each of future extreme weather event indices and their tendencies were spatially expressed. The results shows increased rainfall tendency in the East-West inland direction during the summer. In autumn, rainfall tendency increased in some parts of Gangwon-do and the south coast. In the meanwhile, the analysis of the duration of prolonged dry period, which can be contrasted with the occurrence of rainfall or its concentration, showed that the dryness tendency was more pronounced in autumn rather than summer. Geographically, the tendency was more remarkable in Jeju-do and areas near coastal areas.

Keywords : climate change, YONU CGCM, extreme indices, trend analysis

#### 요 지

전 세계적으로 기후변화, 이상기후와 과거에는 경험하지 못했던 극한 사상이 미래에는 어떠한 크기와 출현빈도를 가지고 공간적 분포가 변화하게 될지 관심이 높아지고 있다. 그러나 이들 사상은 일정한 지역 또는 규칙적인 패턴이나 주기를 따르지 않아 그 빈도와 경향성을 정량적으로 평가하기에는 무리가 있다. 본 연구에서는 극한 사상을 보다 객관적으로 평가하기 위하여 강우 관련 극한 지수(STARDEX, 2005)를 제시하였다. 현재와 미래 극한 사상의 시공간적 분포를 비교하기 위하여 우리나라 전역에 위치한 기상청 산하 66개 관측소의 과거 자료로부터 각 지수들을 산정하여 현재까지의 경향성을 분석하고, SRES B2시나리오와 YONU CGCM으로부터 모의된 2045s(2031-2050)자료를 이용하여 미래의 극한 사상의 각 지수별 차이를 산정한 후 그 경향성을 공간적으로 나타내었다. 그 결과 여름철에는 동서 방향으로 내륙 전반에 걸쳐 강우량 증가 경향성을 보였으며 가을철에는 강원도 일부 지역과 남해안 지역을 중심으로 경향성이 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 강우 발생이나 집중 시기와 대별되는 건조 지속기간 분석 결과에서는 여름철보다 가을철 상승 경향성이 더 큰 것으로 나타났으며, 제주도와 해안부근에서 증가 경향성이 뚜렷하였다.

핵심용어 : 기후변화, YONU CGCM, 극한지수, 경향성 분석

#### 1. 서 론

시기상으로 장마철 이후 발생하였던 작년 8월 집중호우, 제주도에 큰 피해를 주었던 태풍 나리에 이어 올해는 태풍 갈매기까지 대기불안정으로 인한 강우(폭우)가 빈번하게 발생하고 있다. 그리고 이러한 현상에 힘입어 최근에는 물폭탄

이라는 용어가 등장하기도 하였다. 기간적인 측면에서 살펴 보면, 작년 여름 기상청은 우리나라 6대 도시(서울, 강릉, 광주, 부산, 전주, 대구)의 과거 여름철(6월~8월) 평균강수량이 1980년을 기점으로 7월보다 8월 강수량이 많아졌고 집중호우 일수가 늘어나는 등 기후변화로 우리나라 여름철 강우패턴이 변하고 있다고 하였다(세계일보, 2007). 그리고 이러한

\*정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 (E-mail : winnerbk@kict.re.kr)

\*\*정회원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원 (E-mail : hydrokbs@kict.re.kr)

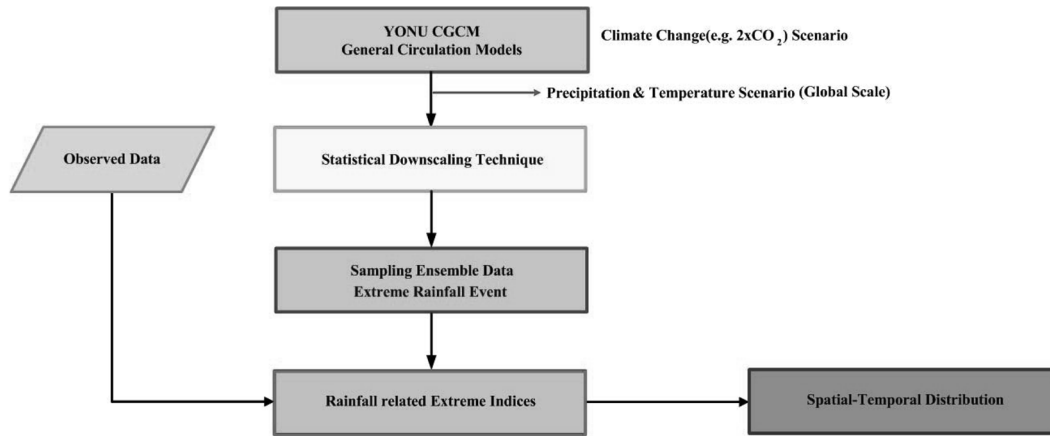


그림 1. 연구흐름도

현상이 지속되어 올해 장마는 6월 하순을 시작으로 특히, 장마철 이후 국지성 호우 특성을 보일 것으로 예측한 바 있다(뉴스와이어, 2008). 양적인 측면에서 보면, 매년 발생하는 자연재해는 평균값보다 극값 크기에 더 민감한데 우리나라의 일강수량 극값은 지난 37년간 평균 100 mm가 증가하였으며(뉴스한국, 2007) 이와 같은 내용은 한반도 기후변화 특징으로 기상 사상의 극값 증가를 언급한 기상청 의견과 일치하였다(국정브리핑, 2007). 이렇듯 기후변화가 점차 현실로 나타나면서 특히, 과거에는 발생하지 않았던 고강도의 집중 호우의 출현빈도 증가와 같은 극한 사상에 대한 우려가 커지고 있어 이에 대한 연구와 대응방안 제시가 요구된다. 그러나 이들은 규칙적인 패턴이나 일정한 주기에 따라 발생하지 않아 판단기준이나 경향성을 객관화 또는 정량화하기에는 무리가 따른다. 극한 기후의 특성과 정의는 지역에 따라, 나라에 따라 차이를 보이는데 이는 같은 크기의 강우가 발생하더라도 과거 경험 여부와 피해 또는 지역이나 유역의 사회적 기반시설 구축과 같은 심리적인 요인으로 인하여 느끼는 위험도나 취약성이 상대적으로 다르기 때문이다. 이에 따라 기존 방법인 연자료의 평균값 변동성에 관한 분석에서 일(daily)자료를 이용한 장기간의 발생빈도, 지속기간과 변화 양상을 파악할 수 있는 연구가 요구되고 있다. Karl 등(1996)은 최고 및 최저 온도 극한 사상, 극한 강우량과 발생일수, Palmer기뭇지수로부터 미국에 적합한 지수를 제시하였으며 뒤이어 Haylock과 Nicholls(2000)은 호주 과거 강우 자료를 이용하여 강우강도, 발생빈도와 비율에 대한 지수를 산정하였다. Monton 등(2000)은 극한지수를 이용하여 아시아 남동부와 태평양에 대한 일 강우와 온도 자료를 분석하였으며, Michna와 Schuebach(2003)은 기온 극한 지수로부터 스위스 온도 상승 경향과 계절별 변화 양상을 연구하였다. 국내에서는 김정희 등(2002)이 기상관측소 기온자료로부터 특이 발생 빈도와 강수량 특성을 분석하였으며, 이상복 등(2004)은 연최대강수량과 연강수량자료로부터 변동과 경향성을 분석하였고, 이후 권원태 등(2007)이 최근 10년간 우리나라 기후 특성에 대한 연구를 진행하였다. 이후 최의수 등(2008)이 태풍의 영향으로 한반도의 강수와 풍속 강도가 변화하고 있음을 과거 자료를 이용하여 분석하였다. 극한 사상에 대한 경각심 고조와 함께 이들 특성과 경향성 변화 양상에 관한 여러 연구가 국내외로 진행되고

있으나 국내의 경우, 연자료를 이용한 평균값의 변동성에 관한 분석이 대부분이다.

한편, 현실로 다가오는 기후변화에 대한 적절한 대응 방안을 마련하기 위하여 세계 각국은 미래 기후에 대한 보다 정확한 정보를 얻기 위하여 IPCC 권장 시나리오인 SRES (Special Report on Emission Scenarios)기반의 GCM(General Circulation Model)과 RCM(Regional Circulation Model)을 이용하고 있다(권현한 등, 2008). 단, 이들 자료와 관련한 국내의 연구사례는 본 연구에서 생략하고자 하며 김병식 등(2004)과 권현한 등(2008)을 참고할 수 있다. 현재 국외에서는 각 기후변화 시나리오로부터 획득한 자료의 극한 사상 크기, 성향과 빈도를 평가하기 위하여 지수화를 적용하고 있다. 유럽 연합은 지구 온난화로 인하여 21세기 말 극한 기후 사상이 얼마나 자주, 어떠한 크기의 강도로 발생하게 될지 그 변화를 파악하기 위하여 강우와 온도에 관련한 극한 기상 지수를 총 10개 항목으로 구성하였다(STARDEX, 2005). 이후 Wetterhall 등(2006)과 Goodess 등(2007)이 통계학적 축소기법을 적용하여 기후변화 영향을 고려하였으며 모형 적정성과 타당성을 평가하기 위하여 STARDEX 극한 지수를 이용하였다. 국내의 경우 GCM 자료를 이용하여 기후변화 영향을 평가한 연구는 현재 진행되고 있으나, 기후변화 시나리오로부터 획득한 극한 사상에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 기후변화 시나리오에 기반한 극한 강우 사상에 대한 정량적인 분석을 실시하여 그 결과에 따라 계절 및 공간적 분포 양상을 파악하였다. 이 때, 현재와 기후변화 상태 변화를 고려하기 위하여 STARDEX(2005)에서 제시한 10개 항목 중 강우와 관련한 6개 지수를 이용하였으며 현재와 미래 각각의 지수별 차이를 산정하여 그 경향성을 공간적으로 나타내었다. 그림 1은 본 연구의 분석 과정을 나타낸 것이다.

## 2. 기후변화 모의 자료 구성

본 연구에서는 SRES B2 온난화가스 시나리오를 기반으로 한 YONU CGCM모형을 이용하여 기후변화 모의 실험을 실시하였다. YONU CGCM은 해상도 300 km×300 km로 위도 0.0°N~50°N와 경도 70°E~150°E내에 위치하여 한반도

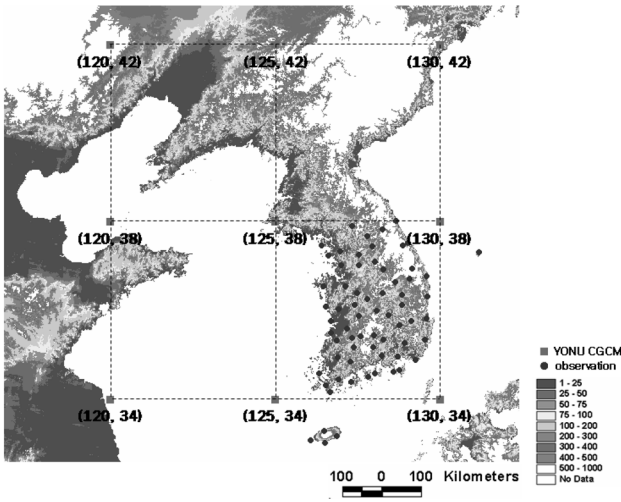


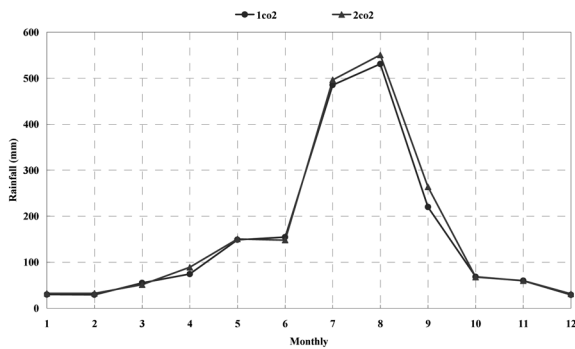
그림 2. YONU CGCM 및 관측소 위치

주변에 9개 격자로 구성되며 YONU CGCM 격자, 기상청 산하 66개 관측소의 위치와 관측소 목록을 각각 그림 2와 표 1에 나타내었다.

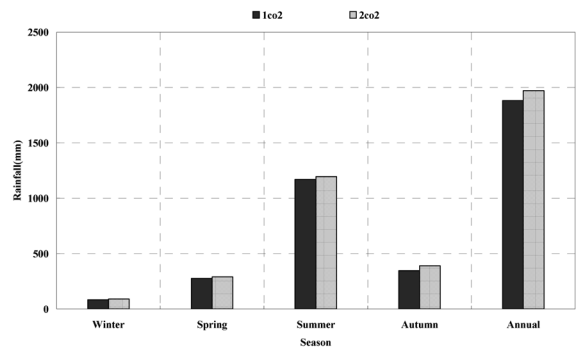
한편, Bardossy와 Plate(1992)와 김병식(2005)은 GCM 자료를 이용하여 기후변화 시나리오를 작성하는 경우 강수량과 증발량에서 계절적 특성을 잘 반영하지 못하는 단점이 있어 축소 기법의 필요성을 제시하였다. 이에 따라 본 연구에서는 먼저 역거리법과 통계학적 축소기법(Statistical Downscaling Technoqe)인 전이함수(Transfer Function)기법을 적용하여 YONU CGCM의 기상변수를 일 시계열 자료의 형태로 추출하였다. 이 때, 본 연구에서는 다변량 회귀분석 방법을 적용하였으며 일 강수사상, 일 강수량과 일 최고 및 최저 온도를 모의하였다. 일 강수사상의 경우, 특정 일에 대한 강수 발생확률을 추정하기 위하여 회귀식과 정규분포 난수 발생

표 1. 기상청 산하 66개 관측소 목록

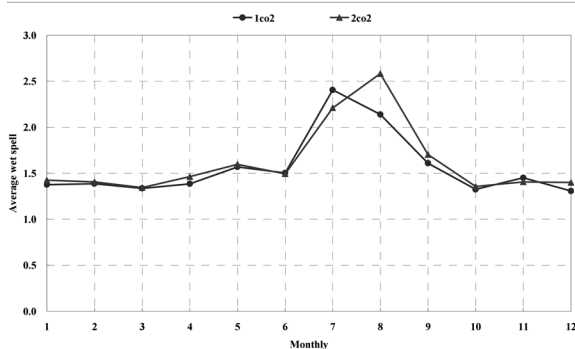
No.	관측소	No.	관측소	No.	관측소	No.	관측소	No.	관측소	No.	관측소
1	속초	12	울진	23	광주	34	양평	45	부안	56	영주
2	철원	13	청주	24	부산	35	이천	46	임실	57	문경
3	대관령	14	대전	25	통영	36	인제	47	정읍	58	영덕
4	춘천	15	추풍령	26	목포	37	홍천	48	남원	59	의성
5	강릉	16	안동	27	여수	38	태백	49	장수	60	구미
6	서울	17	포항	28	완도	39	제천	50	순천	61	영천
7	인천	18	군산	29	제주	40	보은	51	장흥	62	거창
8	원주	19	대구	30	고산	41	천안	52	해남	63	합천
9	울릉도	20	전주	31	서귀포	42	보령	53	고흥	64	산청
10	수원	21	울산	32	진주	43	부여	54	성산포	65	거제
11	서산	22	마산	33	강화	44	금산	55	봉화	66	남해



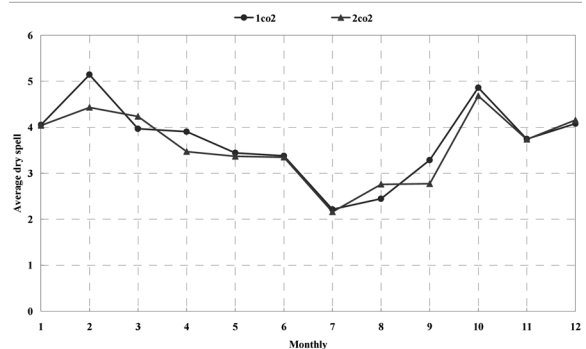
(a) 월 평균 강수량



(b) 계절별 평균 강수량

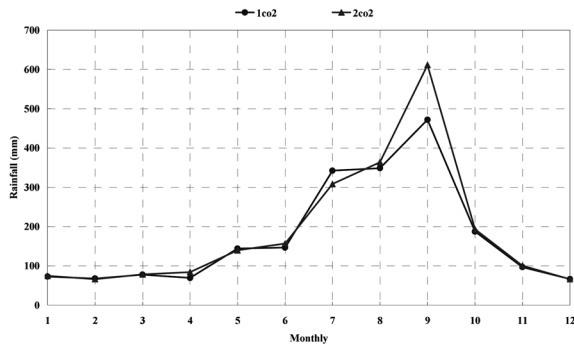


(c) 월 평균 습윤 지속기간

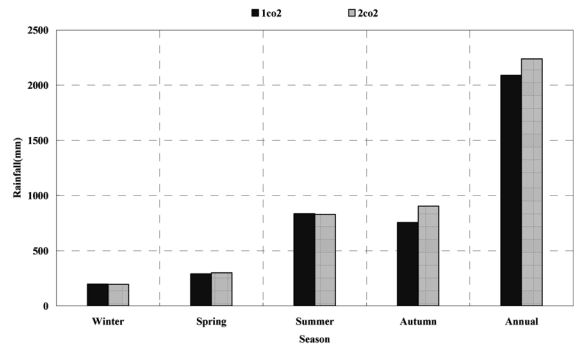


(d) 월 평균 건조 지속기간

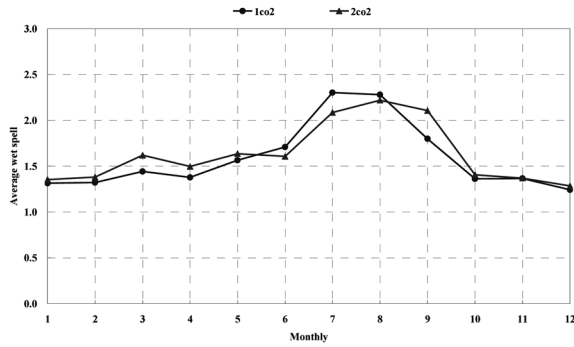
그림 3. 기후변화 시나리오에 의한 현재와 미래의 강수 특성 및 변화(서울)



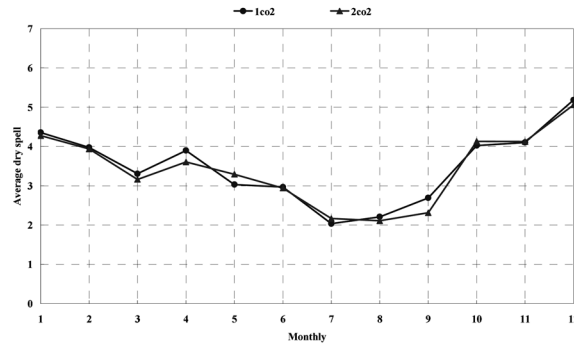
(a) 월 평균 강수량



(b) 계절별 평균 강수량



(c) 월 평균 습윤 지속기간



(d) 월 평균 건조 지속기간

그림 4. 기후변화 시나리오에 의한 현재와 미래의 강수 특성 및 변화(강릉)

으로부터 매개변수를 추정하며 이후, 강수가 발생한다고 판단되면 지역 강수량과의 관계로부터 일 강수량을 모의하게 된다. 한편, 일 최고 및 최저 온도의 경우 비습도, 평균해면 기압과 500 hpa의 고도자료의 3가지 GCM 격자별 기상변수와의 관계로부터 일 온도 시계열을 작성할 수 있다. 이에 대한 자세한 내용은 Kim 등(2007)을 참고할 수 있다.

우리나라 기상청 산하 66개 관측소에 대한 일(daily) 단위 기후변화 시나리오를 작성하였으며(Kim 등, 2007) 시나리오 기간은 2031년부터 2050년까지 20년으로 구성된다.

축소기법으로 작성된 각 관측소별 강우 시나리오에 대하여 현재와 미래의 강수 특성과 그 변화를 평가하기 위하여 월 평균 및 계절별 평균 강수량, 월 평균 습윤 및 건조 지속기간을 분석하고 전체 66개 관측소 중에서 서울, 강릉, 대구와 대전 관측소 결과를 그림 3~그림 6에 나타내었다. 각 그림에서 1CO<sub>2</sub>는 현재(1987~2006)이며 2CO<sub>2</sub>는 미래(2031~2050, 2045's)를 의미한다. 강수 특성과 변화 분석 결과에 따르면, 이들은 공간적 특성인 관측소 위치에 따라 월 평균 강수량과 습윤 및 건조 지속기간에서 다소 차이를 보이는 것으로 나타났으나 그림 3~그림 6의 (b)계절별 평균 강수량의 경우 4개 관측소에서 모두 가을철과 연간 강수량이 증가하는 것으로 분석되었다.

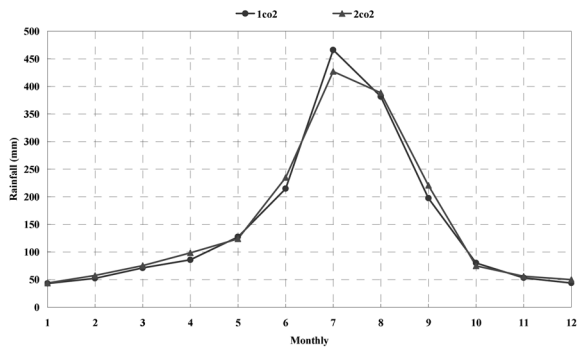
그림 3은 서울 지점의 강수 특성을 비교한 것으로 미래(2045's) 7월~9월 강수량은 현재보다 더 증가하며, 이러한 현상은 9월, 8월과 7월 순으로 크게 나타났다(그림 3(a)와 (b)). 한편, 2045's 월 평균 습윤 지속기간은 8월과 9월에 증가하고 7월에는 오히려 감소하는 것으로 나타나 강수량과 차이를 보였다. 특히, 강수량이 가장 크게 증가할 것으로 분석된 9월은 현재의 습윤 지속기간과 큰 차이를 보이지 않았으며 이에 대하여 미래에는 현재와 비슷한 습윤 발생 기간

에 더 많은 양의 강우가 발생하여 고강도의 강우가 발생할 수 있는 가능성이 잠재되어 있는 것으로 해석할 수 있다.

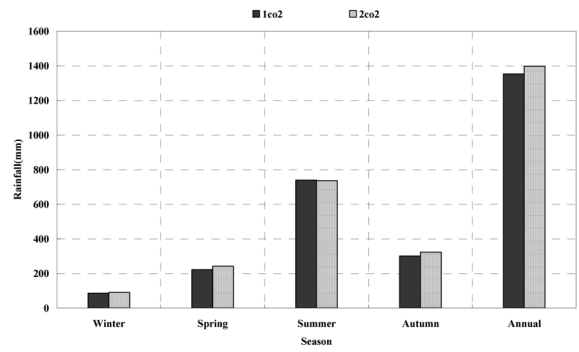
그림 4는 강릉 지점의 현재와 미래의 강수 변화를 나타낸 것으로 2045's 7월 강수량은 감소하고 8월과 9월 강수량이 증가하는 결과를 보였으며 특히, 9월 강수량 증가가 큰 것으로 나타났다. 오태석과 문영일(2008)은 과거 발생한 태풍 자료에 EST(Empirical Simulation Technique)기법을 적용하여 우리나라 일부 지역에서 태풍 사상에 의한 극한 강수량이 과거에 비해 증가하고 있다고 하였으며 영남과 호남 및 강원 지역에서 극한 강수량이 크게 산정되었다고 하였다. 또한 문일주 등(2007)은 지난 37년간 강수량 극값이 꾸준히 증가하였으며(평균적으로 10 mm 증가), 극값 발생 원인의 50%가 태풍에 기인한다고 하였다. 2000년대 이후 태풍 강도의 증가는 한반도 주변 해수면 온도 상승으로 설명되며 가까운 미래에 강력한 태풍 발생 가능성이 예상되고 있다(배철민, 2007; 김호경 등, 2008). 이로 미루어 볼 때 강릉 지점의 경우 과거 큰 피해를 유발하였던 태풍 루사나 매미와 같은 태풍 발생 가능성과 직·간접 영향이 잠재되어 있는 것으로 해석할 수 있다.

한편, 9월의 습윤 지속기간은 증가하는 반면 건조 지속기간은 감소하여 많은 양의 강우가 오랜 기간 지속될 수 있는 것으로 나타났으며 7월과 8월 습윤 지속기간은 줄어드는 결과를 보였다(그림 4(c)와 (d)).

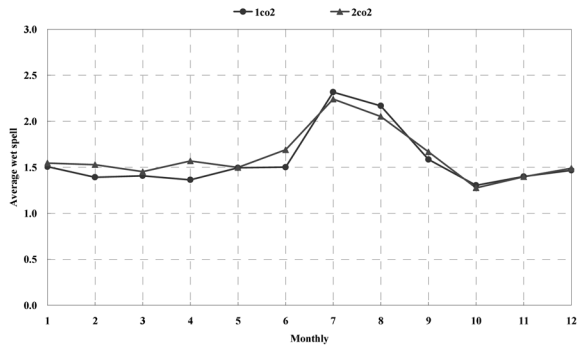
그림 5는 대구 지점의 분석 결과를 나타낸 것으로 (a) 월 평균 강수량에 따르면 2045's 7월 강수량은 현재보다 크게 감소하였으며 8월과 9월 강수량은 증가하는 것으로 나타났다. 현재 우리나라 여름철 강우패턴이 변하면서 강우 집중시기가 7월에서 8월과 9월로 이동하고 있다(조선닷컴, 2005). 이러한 현상은 지역별로는 차이가 있으나 앞서 살펴본 서울



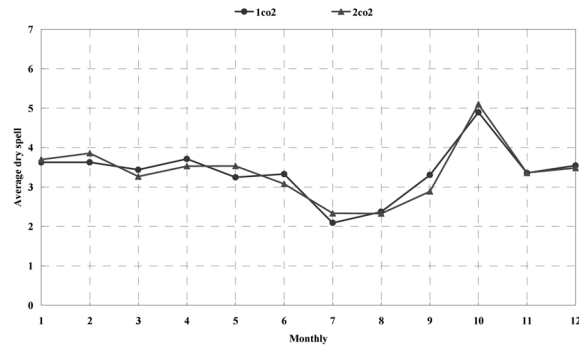
(a) 월 평균 강수량



(b) 계절별 평균 강수량

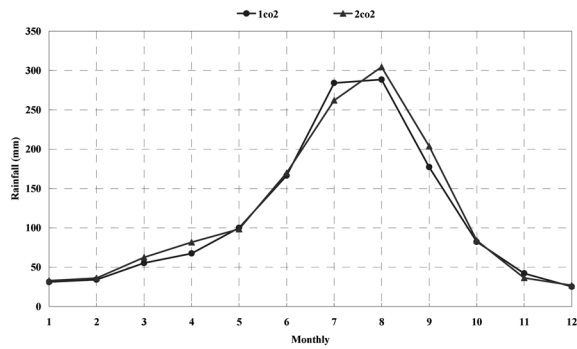


(c) 월 평균 습윤 지속기간

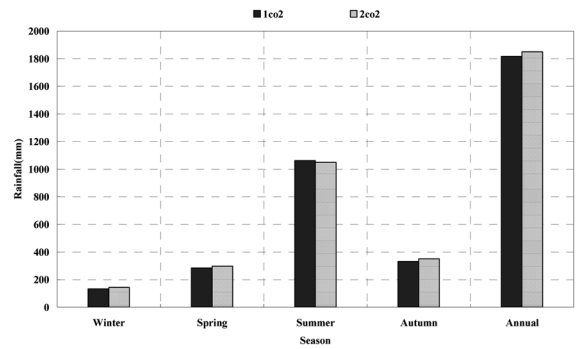


(d) 월 평균 건조 지속기간

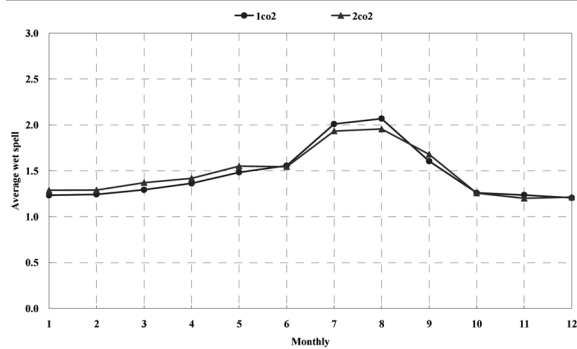
그림 5. 기후변화 시나리오에 의한 현재와 미래의 강수 특성 및 변화(대구)



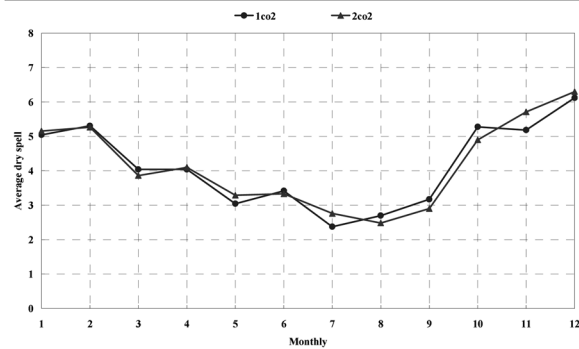
(a) 월 평균 강수량



(b) 계절별 평균 강수량



(c) 월 평균 습윤 지속기간



(d) 월 평균 건조 지속기간

그림 6. 기후변화 시나리오에 의한 현재와 미래의 강수 특성 및 변화(대전)

(그림 3)과 강릉(그림 4)의 월 평균 강수량 결과에서도 동일하게 나타나고 있다. 한편, 그림 5(c)와 (d)에 나타난 월 평균 습윤 및 건조 지속기간에서 보면 7월과 8월 모두 대체적으로 감소하였으며 9월에는 습윤 지속기간은 증가하고 건조 지속기간은 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 7월과는 달리 8월의 경우 강수량은 다소 증가하였으나 습윤 및 건조

지속기간이 감소하는 것으로 미루어보아 미래에는 현재보다 강도가 높은 강우가 발생할 가능성이 있는 것으로 해석할 수 있다.

그림 6은 대전 지점의 현재와 미래의 강수 특성 및 변화를 비교한 것으로 미래 (a) 월 평균 강수량은 8월과 9월에 증가하였으며 7월에는 감소하는 것으로 나타나 관측소별 위

표 2. 강우 관련 극한 지수(STARDEX, 2005)

Name	Description of Index
집중호우 한계점	90th percentile of rainy day amounts(mm/day)
지속기간 5일 최대 강수량	Greatest 5-day total rainfall (mm) max rainfall of 5-day duration
강우강도	Simple daily intensity(rainfall intensity of a rainy day)
최대 건조 지속 기간	Maximum number of consecutive dry days
집중호우 한계점 이상 강우량 비율	% of total rainfall from events>long-term 90th percentile
집중호우 한계점 이상 발생빈도	Number of events>long-term 90th percentile of raindays

치에 따른 차이는 있으나, 앞서 살펴본 서울(그림 3), 강릉(그림 4)과 대구(그림 5) 지점 결과와 일치하였다. 한편, 그림 6(c)월 평균 습윤 지속기간은 7월과 8월에 감소하고 9월에 증가하였으며 (d)월 평균 건조 지속기간에서는 7월에는 증가하고 8월과 9월에는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 것과 같이 7월 강수량과 습윤 지속기간은 감소하지만 건조 지속기간이 증가하여 사실상 강우 집중 시기와 패턴이 변화하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

YONU CGCM으로부터 작성한 서울, 강릉, 대구와 대전 지점의 기후변화 시나리오에 따르면 연간 강수량은 증가하였다. 월별로 살펴보면 지점별로 차이는 있으나 대체적으로 8월과 9월 강수량이 증가하였으며 특히, 태풍의 영향을 받는 9월 강수량 증가가 가장 두드러지고 7월 강수량은 감소하여 강우 집중 시기가 변화하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 이러한 현상은 7월 습윤 및 건조 지속기간이 감소하고 9월은 모두 증가함으로써 강우 패턴이 점차 7월에서 8월과 9월로 변화하고 있음을 확인할 수 있었다.

### 3. 강우 관련 극한지수(Extreme Indices)

비정상적인 기후가 원인이 되는 극한 기상 사상은 과거에 경험하지 않아 예측되지 않는 이례적인 현상으로 설명한다. IPCC 3차 보고서(Third Assessment Report, TAR, 2001)에서는 특정기간을 벗어나 발생한 사상들의 평균 자체를 극한이라고 표현하였으며, Ganguly(2007)은 특정 장소 통계적 특성 분포에서 거의 발생하지 않은(rare)사상으로 보통 10th 나 90th 퍼센타일, 그 보다 더 발생하지 않는 경우로도 정의하여 기간과 양적인 측면으로 구분하였다. 이는 과거 강우 발생 및 지속기간을 벗어나거나 과거보다 더 많은 양의 강우가 집중되는 것이 아니라 이 두 가지 요인을 함께 고려할 필요가 있는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 극한 기상 사상은 일정한 주기와 패턴을 보이지 않으며 특히, 기후변화를 반영한 시나리오에 대하여 현재까지 수문분야에 적용되고 있는 연평균 강수량에서 기후변화 특성과 요인을 분석하기에는 다소 무리가 있다. 이에 본 연구에서는 앞서 설명한 것과 같이 미래 발생할 수 있는 기후변화 시나리오를 작성하고 이들로부터 극한 사상 추출과 통계학적 분석을 통하여 그 경향성을 분석하고자 하였다. 이를 위하여 지구 온난화가 극한 기후 사상 변화에 미치는 영향을 분석한 국외 연구(STARDEX, 2005)를 참고하였다. 이 연구는 2001년 2004년까지 약 4년에 걸쳐 수행되었으며 강우와 온도에 대하여 10개의 극한 지수를 제시하였다. 강우 관련 극한 지수는 집

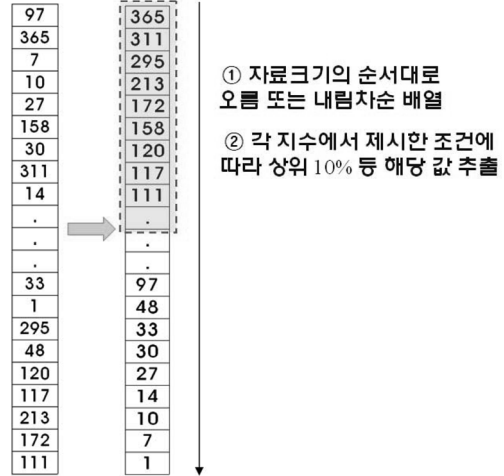


그림 7. 극한 지수 개념

중호우 한계점, 지속기간 5일 최대 강수량과 강우강도를 포함하여 6개로 구성되며(표 2) 이들은 각 정의에 따라 백분율(%)을 적용하여 상대적인 규모, 빈도와 지속성에 대한 평가가 가능하다.

집중호우 한계점은 강우일의 강수량 중 90%에 해당하는 강수량으로 강수량이 큰 순서대로 배열하였을 때 90%까지 포함되는 양으로 설명할 수 있다. 이 지수는 특정 퍼센타일(percentile)에 해당하는 값을 산출하는 방법으로 그림 7에 나타낸 것과 같이 먼저, 분석하고자 하는 대상 지역 매년(365일 또는 366일) 일자료를 크기에 따라 내림차순으로 정렬한 후 각 지수에서 제시한 조건에 따라 상위 몇 번째까지에 해당하는 값을 취하게 된다(건설교통부, 2008).

지속기간 5일 최대 강수량( $R_{xN_j}$ )은 연속 강우일수가 5일 지속되었을 때 발생한 강수량 중 최대 강수량을 의미하며 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.  $j$ 기간 동안  $k$ 간격으로  $N$ 날(day)에 발생한 총 강수량이  $R_{kj}$ 라고 하고, 이  $R_{kj}$ 값에 최대를 취함으로써  $j$ 기간 동안  $N$ 날 발생한 최대강수량을 획득하게 된다.

$$R_{xN_j} = \max(R_{kj}) \quad (1)$$

강우강도( $SDII_j$ )는 기간 동안 습윤일  $w$ ( $R < wd\_cutoff$ )에 대한 일강우량을  $R_{wj}$ 라고 할 때, 습윤일  $w$ 에 대한 평균 총 강우량은 식 (2)와 같다. 단,  $wd\_cutoff$ 는 규정변수로 일정 강우 이상이 발생하였을 때를 습윤일  $w$ 로 정의한다.

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w R_{wj}}{W} \quad (2)$$

최대 건조 지속기간은  $j$ 기간의  $i$ 날(day)에 대한 일 총강우량을  $R_{ij}$ 라고 할 때, 일정 강우 이하로 발생하는 일수 (number of days)로 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$R_{ij} \leq wd\_cutoff \quad (3)$$

집중호우 한계점 이상 강우량 비율은  $j$ 기간 동안 습윤일  $w(R > wd\_cutoff)$ 에 발생한 일강우량을  $R_{wj}$ 가 특정 기간 동안 습윤일에서 강우량의 90<sup>th</sup> 퍼센타일에 해당하는 값을  $R_{wn}$  90보다 큰 경우로 정의하며 식 (4)와 같다.

$$R_{wj} > R_{wn} 90 \quad (4)$$

한편,  $j$ 기간 동안 발생한 총 강우량을  $R_j$ ,  $j$ 기간 동안 습윤일  $w(R > wd\_cutoff)$ 에 발생한 일강우량을  $R_{wj}$ , 특정 기간

동안 습윤일에서 강우량의 90<sup>th</sup> 퍼센타일에 해당하는 값을  $R_{wn}$  90으로 하면 집중호우 한계점 이상 발생빈도는 식 (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$R90T_j = \frac{\sum_{w=1}^w R_{wj}, \text{ where } R_{wj} > R_{wn} 90}{R_j} \quad (5)$$

#### 4. 분석 결과

##### 4.1 통계적 분석

본 연구에서는 기후변화에 따른 우리나라의 극한 기상 사상의 경향성과 공간적 분포 양상을 파악하기 위하여 일 강우 자료 분석에 선형회귀분석법을 적용하였다. 경향성 분석

표 3. 강우 관련 극한 지수 유의확률(p)

관측소	집중호우 한계점		지속기간 5일 최대강수량		강우강도		최대건조 지속기간		집중호우한계점 이상 발생빈도	
	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)
속초	0.270	0.604	0.516	0.516	0.697	0.330	0.633	0.765	0.885	0.858
철원	0.972	0.972	0.559	0.650	0.382	0.600	0.289	0.841	0.599	0.659
대관령	0.604	0.243	0.948	0.119	0.364	0.060	0.554	0.065	0.467	0.058
춘천	0.604	0.364	0.218	0.897	0.604	0.111	0.171	0.892	0.663	0.484
강릉	0.650	0.299	0.559	0.697	0.475	0.153	0.682	0.620	0.275	0.743
서울	0.650	0.008	0.746	0.018	0.795	0.002	0.973	0.532	0.857	0.006
인천	0.697	0.700	0.364	0.746	0.746	0.897	0.588	0.566	0.088	0.638
원주	0.559	0.559	0.270	0.243	0.153	0.650	0.065	0.273	0.517	0.677
울릉도	0.516	0.330	0.270	0.974	0.194	0.399	0.585	0.710	0.332	0.309
수원	0.194	0.330	0.270	0.846	0.243	0.194	0.689	0.025	0.338	0.313
서산	0.697	0.080	0.516	0.948	0.846	0.270	0.272	0.692	0.971	0.162
울진	0.746	0.807	0.516	0.243	0.218	1.000	0.841	0.530	0.541	0.860
청주	0.044	0.795	0.009	0.697	0.027	0.604	0.229	0.692	0.212	0.648
대전	0.399	0.064	0.604	0.004	0.650	0.020	0.946	0.450	0.800	0.111
추풍령	0.746	0.559	0.173	0.270	0.516	1.000	0.166	0.974	0.703	0.583
안동	0.346	0.032	0.697	0.014	0.436	0.069	0.211	0.594	0.456	0.055
포항	0.559	0.650	0.475	0.361	0.795	0.243	0.639	0.813	0.332	0.522
군산	0.364	0.032	0.454	0.044	0.746	0.069	0.273	0.087	0.725	0.886
대구	0.454	0.272	0.194	0.136	0.846	0.153	0.398	0.895	0.325	0.046
전주	0.364	0.243	0.650	0.105	0.270	0.604	0.834	0.622	0.442	0.086
울산	0.364	0.861	0.795	0.948	0.218	0.559	0.343	0.185	0.396	0.824
마산	0.559	0.463	0.364	1.000	0.948	0.475	0.434	0.010	0.775	0.583
광주	0.516	0.948	0.604	0.218	0.330	0.060	0.080	0.842	0.625	0.535
부산	0.069	0.172	1.000	0.330	0.364	0.604	0.330	0.096	0.053	0.594
통영	0.746	0.032	0.270	0.009	0.795	0.044	0.890	0.974	0.490	0.035
목포	0.299	0.897	0.194	0.516	0.746	0.746	0.739	0.921	0.889	0.299
여수	0.948	0.869	0.559	0.105	0.795	0.153	0.815	0.819	0.861	0.942
완도	0.032	0.248	0.846	0.697	0.060	0.052	0.664	0.666	0.005	0.442
제주도	1.000	0.795	0.795	0.559	0.604	0.299	0.337	0.791	0.641	0.533
고산	0.506	0.970	0.559	0.897	0.506	0.753	0.106	0.332	0.423	0.492
서귀포	0.173	0.045	0.795	0.299	0.364	0.436	0.478	0.015	0.118	0.049
진주	0.948	0.604	0.559	0.948	0.364	0.650	0.406	0.087	0.825	0.940

표 3. 계속

관측소	집중호우 한계점		지속기간 5일 최대강수량		강우강도		최대건조 지속기간		집중호우한계점 이상 발생빈도	
	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)	여름철 (6~8월)	가을철 (9~11월)
강화	0.697	0.284	0.846	0.897	0.650	0.746	0.351	0.197	0.833	0.230
양평	0.604	0.211	0.399	0.092	0.364	0.119	0.182	0.488	0.651	0.070
이천	0.559	0.270	1.000	0.697	0.475	0.436	0.219	0.424	0.834	0.939
인제	0.604	0.248	0.697	0.153	0.436	0.399	0.689	0.369	0.131	0.687
홍천	0.069	0.140	0.697	0.001	0.060	0.194	0.065	0.197	0.399	0.003
태백	0.948	0.194	0.948	0.004	0.650	0.069	0.420	0.233	0.655	0.435
제천	0.475	0.038	0.672	0.153	0.897	0.092	0.270	0.947	1.000	0.381
보은	0.516	0.426	0.746	0.119	0.559	0.016	0.733	0.921	0.576	0.168
천안	0.795	0.700	0.795	0.650	0.795	0.243	0.369	0.792	0.742	0.073
보령	0.897	0.972	0.092	0.475	0.436	0.746	0.283	0.843	0.834	0.632
부여	0.218	0.153	0.299	0.143	0.119	0.948	0.786	0.618	0.751	0.575
금산	0.674	0.426	0.897	0.364	0.916	0.753	0.155	0.578	0.860	0.230
부안	0.922	0.173	0.650	0.270	0.399	0.194	0.351	0.574	0.972	0.585
임실	0.069	0.559	0.299	0.846	0.069	0.795	0.185	0.292	0.127	0.100
정읍	0.897	0.972	0.092	0.475	0.436	0.746	0.283	0.843	0.834	0.632
남원	0.559	0.463	0.697	0.948	0.399	0.697	0.892	0.816	0.352	1.000
장수	0.674	0.426	0.897	0.364	0.916	0.753	0.155	0.578	0.860	0.230
순천	0.948	0.100	0.270	0.173	0.270	0.060	0.833	0.338	0.437	0.184
장흥	0.047	0.506	0.299	0.330	0.194	0.475	1.000	0.391	0.252	1.000
해남	0.436	0.064	0.399	0.153	0.299	0.194	0.359	0.426	0.329	0.264
고흥	0.846	0.787	0.697	0.746	0.897	0.697	0.478	0.247	0.341	0.447
성산포	0.604	0.133	0.604	0.005	0.399	0.119	0.203	0.546	0.434	0.285
봉화	0.278	0.700	0.475	0.364	0.152	0.421	0.892	0.238	1.000	0.783
영주	0.218	0.746	0.516	0.364	0.746	0.746	0.092	0.411	0.358	0.770
문경	0.746	0.861	1.000	0.194	0.330	0.948	0.249	0.468	0.803	0.508
영덕	0.162	0.861	0.436	0.218	0.080	0.795	0.764	0.488	0.211	0.687
의성	0.119	0.463	0.218	0.846	0.330	0.559	0.612	0.250	0.102	0.687
구미	0.243	0.529	0.870	0.746	0.330	0.650	0.475	0.598	0.698	0.471
영천	0.897	0.970	0.795	0.009	0.330	0.027	0.205	0.974	0.381	0.447
거창	0.436	0.103	0.604	0.218	0.897	0.136	0.919	0.157	0.428	0.078
합천	0.697	0.067	0.820	0.820	0.604	0.194	0.920	0.311	0.864	0.033
산청	0.697	0.322	0.846	0.153	0.948	0.399	0.590	0.819	0.663	0.821
거제	0.270	0.002	0.270	0.299	0.897	0.005	0.791	0.490	0.585	0.012
남해	0.270	0.934	0.218	0.650	0.475	0.897	0.666	0.868	0.197	0.558

과 자료 발생 가능성을 판단하기 위하여 최소제곱선회귀귀법(Wilks, 1995; Press 등, 1986)을 이용하고 유의수준 검사(significant test)를 위하여 Kendall-Tau방법(Press 등, 1986)을 적용하였다.

최소 제곱선회귀귀법은 자료 구성이 발생할 수 있는 우도 함수를 최대화시키는 최우정치로 설명하며 각 자료가 표준 편차  $\sigma$ 를 갖는 선형 모형에서 독립적으로 무작위하고 정규 분포를 하는 측정오차를 갖는다는 가정 하에 분석한다. 한편, Kendall-Tau방법은 상대적 순위를 사용하는 Spearman 순위 상관계수와 달리 각 자료에 순위를 부여하는 방식으로 자체 순위 비교와 계산이 가능하여 이산형 데이터 평가에 더 적

합하다. 본 연구에서는 이들 각각의 통계적 분석 과정에 대한 자세한 설명을 생략하고자 하며 Press 등(1986)과 STARDEX(2005)를 참고할 수 있다(Haylock, 2003).

표 3은 신뢰구간 95%에서 검증된 결과를 정리한 것으로 지면관계상 집중호우한계점, 지속기간 5일 최대강수량, 강우 강도, 최대건조 지속기간과 집중호우 한계점 이상 발생빈도를 나타내었다. 기후변화 시나리오에 의한 강우 자료의 통계적 분석을 실시한 결과(표 3), 계절에 따라 집중호우 한계점과 지속기간 5일 최대강수량 지수의 일부 지점(전체 660개 자료 중 23개로, 약 3.5%)을 제외한 96.5% 이상이 신뢰구간 95%에 대하여 대체적으로 유의한 것을 확인할 수 있었다.



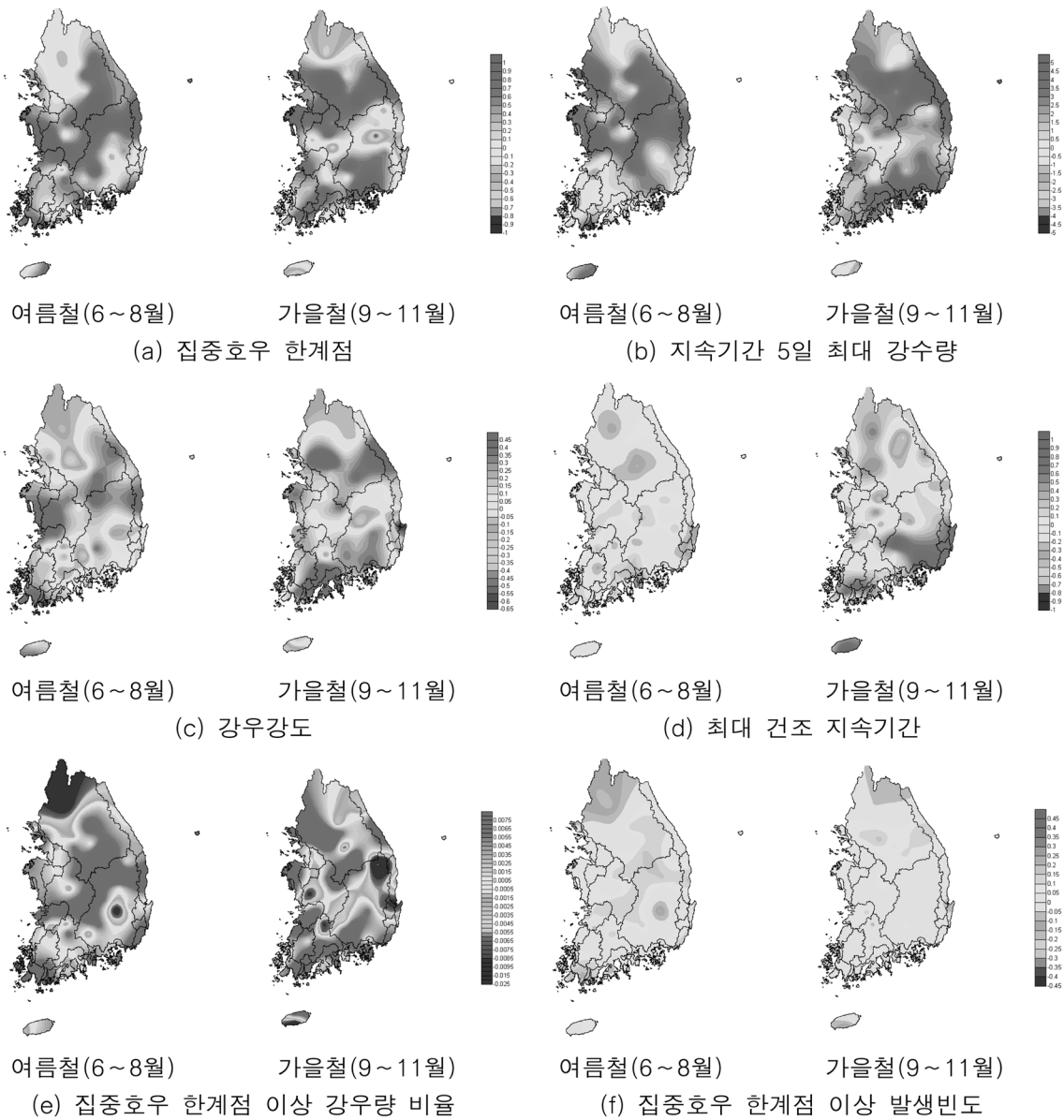


그림 8. 강우 극한지수의 계절적 비교

#### 4.2 기후변화가 한반도의 극한 강우의 시공간적 분포에 미치는 영향

본 연구에서는 YONU CGCM자료를 이용하여 기후변화가 우리나라 강우에 미치는 시공간적 변화를 평가하고 현재와 기후변화 시나리오에 대한 변화 정도를 고려하기 위하여 현재와 미래 각각의 강우 관련 극한 지수별 차이를 산정하였다. 단, 온대성 기후 지역에 위치하는 우리나라의 지리적 위치에 따라 6월과 9월 사이에 호우가 집중되는 특성(김경수 등, 2006)에 근거하여 특히, 강우가 집중되는 여름철(6~8월)과 가을철(9~11월)을 비교하였다. 이 때, 기후변화 시나리오에 의한 극한 사상을 정량적으로 분석하기 보다는 미래의 경우 현재 극한 사상을 기준으로 지역과 계절에 따라 얼마만큼 증감하는지를 분석하여 상대적으로 평가하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 2CO<sub>2</sub>(2031~2050)와 1CO<sub>2</sub>(1987~2006)에 강우 관련 극한 지수 분석을 실시하고 이들 각 지수 결과의 차를 구함으로써 현재와 미래의 상대적 비교와 공간적 분포를 파악하였다. 그림 8은 표 2에 나타난 강우 관련 극한 지수인 집중호우 한계점, 지속기간 5일 최대 강수량, 강우강

도, 최대 건조 지속 기간, 집중호우 한계점이상 강수량 비율과 발생빈도로 각 정의에 따라 현재 대비 미래 지수 결과를 나타낸 것이다.

그림 8(a)와 (b)는 각각 강우가 발생한 날에서 90%에 해당하는 양을 표현한 집중호우 한계점과 강우가 5일 이상 지속되었을 때의 강수량을 의미하는 지속기간 5일 최대 강수량으로 각 계절에 따른 공간분포가 대체적으로 비슷한 것으로 나타났다. 여름철의 경우 남북방향으로는 인제, 홍천, 함천 지점을 중심으로, 동서방향으로는 안동과 전주지점을 중심으로 내륙전반에 걸쳐 강우가 집중되는 경향을 보였으며 가을철에는 특히 철원과 춘천에서 속초와 강릉 지점까지 집중호우 한계점이 높아지는 경향을 보였다. 그러나 여름철에는 대체적으로 한강 유역과 낙동강 유역 상류부에서 강우 집중과 지속 현상을 보이는데 반하여 가을철에는 한강 유역의 경우 상·하류 전반에 걸쳐, 낙동강 유역은 하류 부근에서 이러한 현상이 두드러져 계절적인 차이를 보였다. 한편, 여름철과 가을철 모두 해남, 남해 지점 등 대체적으로 남해안 부근에서 경향성이 증가하는 것으로 분석되었는데 이와

같은 현상은 기존 연구 결과와 같이 지구온난화로 인한 온도 상승, 더 직접적으로는 해수면 온도 상승의 영향인 것으로 추측할 수 있다.

그림 8(c)는 강우 발생일의 강우강도로 여름철과 가을철의 상승 경향성이 대체적으로 비슷한 분포를 보였다. 그러나 여름철에는 중부내륙에서, 가을철에는 남해안과 강원도 일대에서 더 집중되는 것으로 나타나 (a)집중호우 한계점과 (b)지속기간 5일 최대 강수량의 계절적 결과와 다소 일치하였다. 한편, 그림 8(d)최대 건조 지속 기간은 여름철보다 가을철 상승 경향성이 더 큰 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 공간적 분포를 살펴본 결과 전반적으로는 제주도를 포함한 내륙 일부와 해안 부근에서 뚜렷하였다.

그림 8(e)와 (f)는 집중호우 한계점 이상 강수량 비율과 발생빈도로 앞서 살펴본 지수들의 결과와 마찬가지로 계절에 따라 공간적인 분포를 달리하였다. 특히, 집중호우 한계점 이상 발생빈도의 경우 가을철보다는 여름철에 상승 경향성이 더 증가하였으며 중부내륙을 중심으로 분포하는 것으로 나타났다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 기상이변을 경험하고 있는 현재, 기후변화 관점에서 우리나라의 극한 강우 발생 특성이 시·공간적으로 어떻게 변화하고 있는지를 분석하고자 하였다. 현재 국내 외에서는 보다 타당하고 신뢰할 수 있는 대응 방안을 마련하기 위하여 GCM자료를 이용하고 있으며, 본 연구에서는 SRES B2시나리오 기반의 YONU CGCM으로부터 미래 강수 특성을 모의하였다.

1. 한반도 주변 9개 격자점에 위치한 YONU CGCM자료로부터 우리나라 기상청 산하 66개 관측소별 일(daily) 단위 기후변화 시나리오를 작성하기 위하여 역거리법과 통계학적 축소기법인 전이함수 기법을 적용하였다. YONU CGCM의 기상변수를 일 시계열 자료의 형태로 추출하고 이들로부터 2031년부터 2050년까지 20년의 일 단위 시나리오를 작성하였다.
2. 현재와 비교하였을 때 미래 강우가 시공간적으로 어떠한 특성으로 얼마만큼 변화할 것인가를 평가하기 위하여 객관적이고 일관성 있는 값으로 표현할 필요가 있으며 이에 대하여 본 연구에서는 강우 관련 극한 지수 6개를 제시하였다. 강우 관련 극한 지수는 집중호우 한계점, 지속기간 5일 최대 강수량, 강우강도, 최대 건조 지속기간, 집중호우 한계점 이상 강수량 비율과 발생빈도로 구성된다. 이 지수들은 특정 백분위수(percentile)에 해당하는 값을 산출하는 방식으로 자료의 변동성을 상대적으로 평가할 수 있다. 이 지수들로부터 기후변화 시나리오에 의한 극한 사상을 분석하기 위하여 미래가 현재 극한 사상을 기준으로 지역과 계절에 따라 얼마만큼 증감하는지를 분석하여 상대적으로 평가하였다.
3. 본 연구에서는 기후변화 시나리오에 의한 극한 사상을 분석하기 위하여 미래가 현재 극한 사상을 기준으로 지역과 계절에 따라 상대적으로 얼마만큼 증감하는지를 분석하여 상대적으로 평가하였다. 집중호우 한계점, 지속기간 5일

최대 강수량, 강우강도와 집중호우 한계점 이상 강수량비율과 발생빈도는 여름철에는 대체적으로 동서 방향으로 내륙 전반에 걸쳐 증가하는 경향을 보였으며 가을철에는 강원도 일부 지역과 남해안 지역을 중심으로 경향성이 증가하는 것으로 나타났다. 계절에 따른 이러한 공간적 분포 양상은 태풍과 해수면 온도 상승의 영향인 것으로 해석할 수 있다. 한편, 강우 발생 및 집중 시기와 대별되는 최대 건조 지속기간은 여름철보다는 가을철 상승 경향성이 더 큰 것으로 나타났으며 특히, 제주도와 해안 부근에서 뚜렷하였다.

단, 본 연구의 분석 내용은 반드시 특정 지역, 특정 기간에 이러한 현상이 발생한다는 것이 아니라 SRES B2시나리오와 YONU CGCM에 근거한 내용으로 기후변화를 고려한 여러 시나리오 중 하나에 불과함을 다시 한번 언급하고 싶다. 본 연구에서는 향후 고해상도 RCM자료를 이용하여 미래 기후변화에 의한 극한 사상의 변동성을 분석하고 과거는 물론, 본 연구결과와의 공간적 분포 양상을 비교할 계획이다.

지금 이 순간에도 기후변화는 진행되고 있으며 누구도 그 변화를 정확하게 예측할 수는 없다. 다만, 기후변화와 관련 연구는 다양한 시나리오를 분석함으로써 발생 가능성과 그 잠재성을 평가할 수 있다는 데 의미가 있을 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 건설교통부(2008) 기후변화 대비 국가 물안보 확보방안(1차년도)  
국정브리핑(2007.12.31) 서울평균최저기온 100년만에 최고/기상관측자료분석 전국 평균기온은 두 번째로 높아 <http://korea.kr/newsWeb/pages/brief/categoryNews/newsPopPrint.jsp?newsDataId=148646624>.
- 권원태, 부경은, 허인혜(2007) 한반도 최근 10년 기후특성. 한국수자원학회 07 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 278-280.
- 권현한, 김병식, 김보경(2008) 기후변화에 따른 수자원 영향 평가를 위한 Regional Climate Model강수 계열의 특성 분석. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제28권 제5호, pp. 525-533.
- 김경수, 송영석, 조용찬, 김원영, 정교철(2006) 지질조건에 따른 강우와 산사태의 특성 분석. The Journal of Engineering Geology, 대한지질공학회, Vol. 16, No. 2, pp. 201-214.
- 김병식(2005) 기후변화에 따른 유역의 수문요소 및 수자원 영향 평가. 박사학위논문, 인하대학교.
- 김병식, 김형수, 서병하(2004) 기후변화가 용담댐 유역의 유출에 미치는 영향. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권 제3호, pp. 185-193.
- 김정희, 김태훈, 오재호(2002) 한반도에서의 기후변동 특성 분석. 한국수자원학회 2002년 학술발표회 논문집(II), 한국수자원학회, pp. 1242-1245.
- 김호경, 김백조, 강주환, 이성로(2008) 한반도 내습 태풍의 기후학적 분석 및 풍해일고 고찰. 대한토목학회지, 대한토목학회, 제56권 제2호, pp. 22-28.
- 뉴스와이어(2008.05.23) 올 여름 날씨, 기온의 변동폭 크고 국지성 호우 <http://anews.icross.co.kr/anews/read.php?idx=152684&is=1216950232>.

- 문일주, 최의수, 심재철, 박광순(2007) 기후변화에 따른 한반도상륙 태풍강도 변화, 2007년 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, 한국기상학회, pp. 312-313.
- 배철민(2007) 연중기후/물로 인한 재해를 예방하자 “가까운 미래, 한반도에 찻눈北겨닝 온다” 워터저널, 통권 제35호 pp. 36-41, (주)물사랑신문사.
- 세계일보(2007.08.12/이진경) 기후변화로 여름철 강우패턴 변해... 국지성 호우 증가 <http://www.segye.com/Articles/News/Society/Article.asp?aid=20070812000105&ctg1=01&ctg2=00&subctg1=01&subctg2=00&cid=0101080100000&dataid=200708121554000101>
- 오태석, 문영(2008) 태풍으로 인한 극한강수 특성 분석. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제28권 제5B호, pp. 459-473.
- 이상복, 김경덕, 허준행(2004) 강수량자료에 대한 변동성 및 경향성 해석. 한국수자원학회 04 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 696-700.
- 최의수, 문일주, 김재호, 전상식(2008) 56년간 한반도 강수 및 풍속의 강도 변화. 한국기상학회 봄학술대회논문집, 한국기상학회, pp. 228-229.
- 조선닷컴(2005.08.27/허창희) '8월집중습격'강우패턴이 달라졌다, <http://www.chosun.com/national/news/200508/200508270117.html>
- Bardossy, A. and Plate, E.J. (1991) Modeling daily rainfall using a semi-markov representation of circulation pattern occurrence. *Journal of Hydrology*, Vol. 111, pp. 33-47.
- Ganguly, A.R. (2007) Climate extremes hydro-meteorological extremes and impacts, fall creek Falls 2007 Workshop ([www.ccs.ornl.gov](http://www.ccs.ornl.gov))
- Goodess, C.M., Anagnostopoulo, C., Bardossy, A., Frei, C., Harpham, C., Haylock, M.R., Hundecha, Y., Maheras, P., Ribalaygua, J., Schmidli, J., Schmith, T., Tolika, K., Tomozeiu, R., and Wilby, R.L. (2007) An intercomparison of statistical downscaling methods for Europe and European regions-assessing their performance with respect to extreme temperature and precipitation events. *Climatic Change*, in press.
- Haylock, M. and Nicholls, N. (2000) Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for australia, 1910-1988. *International Journal of Climatology*, Vol. 20, pp. 1533-1541.
- Haylock, M. (2003) Linear regression analysis for STARDEX. *Climatic Research Unit*.
- IPCC (2001) Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Karl, T.R., Mason, E.H., Hughes, P.Y., and Bowman, D.P. (1996) United states historical climatology network (U.S. HCN): Monthly Temperature and Precipitation Data. ORNL/CDIAC-87, NDP-019/R3, Envir. Sciences Div. Pub. No. 4500, Oak ridge National Lab, pp. 83.
- Kim, B.S., Kim, H.S., Seoh, B.H., and Kim, N.W. (2007) Impact of climate change on water resources in yongdam dam basin, korea, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment (SERRA)*, Vol. 21, No. 4, pp. 355-357.
- Manton, M.J., Della-Marta, P.M., Haylock, M.R., Hennessy, K.J., Nicholls, N., and Chambers, L.E. (2001) Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, Vol. 21, pp. 269-284.
- Michna, P. and Schuebach, E. (2003) Changes in temperature extreme indices in switzerland 1958-2000, *STARDEX Deliverable D9:Contribution from UNIBE*.
- Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., and Vetterling, W.T. (1986) Numerical recipes: The art of scientific computing. Cambridge Univ. Press, pp. 488-493.
- STARDEX, STATistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions. (2005) <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>
- Wetterhall, F., Halldin, S., and Xu, C. (2005) Statistical precipitation downscaling in central Sweden with the Analogue Method, *Journal of Hydrology*, Vol. 306, pp. 174-190.
- Wilks, D.S. (1995) Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press. pp. 160-176.

(접수일: 2008.8.28/심사일: 2008.9.29/심사완료일: 2008.11.25)