이상기후 (엘니뇨, 라니냐) 기간의 유역별 건조지수, 강수효율, 유출량의 영향성 평가

Evaluation the Climatic Influence during El Nino and La Nina Periods of Aridity Index, Precipitation Effectiveness and Runoff in Basins

이준원* · 김광섭**,*

Lee, Junwon · Kim, Gwangseob

ABSTRACT

The comparison between the spatial and temporal variability of aridity index, precipitation effectiveness and runoff during El-Nino and La-Nina periods and that of the normal period was conducted to evaluate the regional impacts of El-Nino, La-Nina in hydrologic variables. Aridity index and precipitation effectiveness were estimated using 59 nationwide weather stations data and runoff data of WAMIS were used. The ratio of the difference between El-Nino, La-Nina year value and that of normal year was analyzed. Temporal variation demonstrated that aridity index, precipitation effectiveness and run-off discharge increase in March, April, August, November, December and decrease in February, June, September, October according to El-Nino effect. Aridity index, precipitation effectiveness and run-off discharge increase in March, May, September and decrease in June, August, November, December according to La-Nina effect. The spatial variation of those variables analyzed for different basins showed that impacts in the Han river basin relatively higher than that of other basins.

Keywords: El Nino; La Nina; Aridity Index; Precipitation Effectiveness Ratio; Runoff

1. 서 론

현재 전 세계적으로 이상고온, 이상저온, 집중호우, 폭설 및 가뭄 등의 이상기후현상이 빈번히 발생하며, 대기 중 CO₂ 농도의 증가로 인한 지구 온난화 현상이 지속되고 있다. 1988년에 설립된 기후변화에 관한 정부간협의체 (International Panel in Climate Change, IPCC)의 2007년 4차 보고서에 의하면 온실가스의 농도가 계속 증가할 경우 2100년경에는 지구의 평균기온이 1.8 °C ~ 4.0 °C 정도 증가할 것으로 예상하고 있다. 또한, 기상청의 2010 이상기후 특별보고서에 의하면, 지난해 전지구 1~10월의 평균기온이 14.73 °C로 20세기 (1901~2000) 평균보다 0.63 °C 증가한 반면, 서울에는 1973년 관측 이래 25.8 cm의 최심신적설을 기록하는 등 장기간의 한파가 계속되었다. 이러한 이상기후현상의 분석을 위하여 전지구의 기후 변화특성에 따른 지역적 영

향에 대한 분석이 필수적이다. 이상기후와 관련한 가장 뚜렷한 현상으로 열대 태평양의 고 수온과 저 수온 현상을 나타내는 엘니뇨 (El Niño)와 라니냐 (La Niña)가 있으며 전지구적 기후변화와 밀접한 관련을 가지고 있고 (Horel and Wallace, 1981), Bjerknes (1966)에 의하여 처음으로 엘니뇨가 기후변화의 일환으로 해석되어졌다. 우리나라 기상청에서 2009년 12월 이후의 한파의 원인을 동태평양이 아닌 중태평양의 수온이 높아지는 변형 엘니뇨 (모도키)의 영향으로 평가하고 있으며, 2010년 9월의 급격한 온도편차의 원인을 6월 해수면의 음의 온도편차인 라니냐의 영향으로 설명하는 것과 같이 우리나라의 지역적 이상기후를 전지구의 이상기후인 엘니뇨와 라니냐의 영향으로 보는 것 또한 기후변화의 원인중 하나라고 이해하는 것이 타당하다 하겠다.

엘니뇨와 라니냐에 대한 전지구 기후변화에 대한 관심과 연구는 전 세계적으로 계속 되어 왔다. 과거 우리나라의 이상기후에 대한 인식이 다소 부족했던 1980년대 Gray (1984)는 북대서양 지역의 허리케인과 엘니뇨의 상관관계를 연구하였으며, Ropelewski and Halpert (1987)는 전지구 및 지역규모의 강수량의 패턴을 엘니뇨와의 관계로 분석한바 있다. 최근 들어 Weihong and Haoran (2006)은 열대 태평양의 수온약층과 엘니뇨, 라니냐의 이동성 및 방향성에 대해서 분석하였으며, Vecchi 등 (2008)은 지구온난화를 엘니뇨와 라니냐의 관계로 기술한바 있다. 또한, An (2009)은

* 경북대학교 건축토목공학부 석사과정

** 경북대학교 건축토목공학부 부교수

† Corresponding author Tel.: +82-53-950-5614

Fax: +82-53-950-6564

E-mail: kims@knu.ac.kr

2012년 4월 24일 투고

2012년 7월 4일 심사완료

2012년 7월 4일 게재확정

10년의 남방진동과 엘니뇨현상을 비선형적인 관계로 해석하였으며, 이와 더불어 Kug 등 (2010)은 지구 온난화에 기인하는 엘니뇨와 라니냐의 이동성에 대해 평가하였으며, Yu 등 (2011)은 수면 아래의 온도를 통해 중앙태평양과 동태평양의 엘니뇨 라니냐 타입을 구분하여 그 변동성을 파악하였다.

우리나라의 경우 90년대 말에 들어 본격적으로 기후변화에 대한 인식이 증가하기 시작하였으며 이와 더불어 엘니뇨, 라니냐와 기후변화의 관계 해석에 관심을 가지게 되었다. Kang (1998)은 엘니뇨의 변동과 한반도의 기온 및 강수량의 계절특성 및 주기특성에 관하여 연구하였다. 추가적으로 Cha, Jhun and Chung (1999)은 엘니뇨와 더불어 라니냐의 영향에 따른 우리나라 기온, 강수량, 일조시간, 운량 등의 각종 기후변수와의 관계를 규명하고자 하였다. 최근 Kim and Hwangbo (2005)는 엘니뇨와 라니냐의 경향성 및 우리나라 기온과 강수량의 상관관계를 분석하였으며, Yoon and Yeh (2009)는 표층수온과 고도장, 바람장 그리고 강수량을 이용하여 엘니뇨와 라니냐의 발생빈도, 표층수온의 특성 및 원인에 대하여 분석하였다.

기후를 정확하게 나타내기 위해서는 단순한 기후 요소의 수치뿐만 아니라 관련된 여러 가지의 기후요소가 종합적으로 다루어져야 한다 (Oh, 1973). 그중 상이한 지역의 기후를 비교적 간단하게 분류할 수 있는 대표적인 방법은 건조지수와 강수효율로, 본 연구에서는 엘니뇨와 라니냐기간에 따른 우리나라의 건조지수와 강수효율의 변동성을 분석함으로써 기존의 각종 기후변수 및 기후특성과의 비교 연구와 더불어 이상기후에 대한 우리나라의 영향성을 좀 더 구체적으로 평가하고자 한다. 건조지수와 강수효율은 식생의 분포와 생육에 밀접한 관련이 있으며 다양한 분야에서 고려되는 지수로, 이상기후와의 비교 분석을 통하여 우리나라의 식생변화를 분석하는데 효과적으로 적용될 수 있을 것이다. 또한 우리나라 대권역별 유출량의 분석을 통해 직·간접적인 이상기후의 영향을 분석하고자 한다. CPC (Climate Prediction Center)가 제공하는 엘니뇨, 라니냐 정보를 이용하여 엘니뇨, 라니냐의 발생기간 중의 우리나라 기후요소의 변동성을 이해하고자 한다. 기상청 지상관측지점의 관측 자료 및 WAMIS (Water Management Information System)의 장기유출 자료와 비교를 통해 장기간의 엘니뇨 라니냐의 변동특성을 우리나라 전역의 공간분포로 나타내었으며, 이상기후로 인한 유역별 강수효율, 건조지수 및 유출량의 변동성을 분석하였다.

II. 자료구축

1. 지상관측자료

기상청은 현재 전국 76개 지점의 기상관측소를 운영 중이며 이를 통해 강수, 기온, 습도 등의 다양한 정보를 획득 및 제공하고

있다. 1904년부터 2011년까지의 76개 관측지점의 기온과 강수량 자료를 획득하였으나 1972년까지의 관측 자료는 28개로 우리나라 전역을 표시하는데 미흡하다. 따라서 전국 59개 관측지점이 골고루 분포한 1973년부터 2011년까지 (38년간)의 자료를 분석기간 및 분석지점으로 사용하였다.

2. 건조지수

건조지수는 한지역의 건조의 정도를 나타내는 수치로 인간의 생활, 동식물의 생육 등과 관련하여 종합적 표현하는 지수로, 그 지역의 기온과 강수량에 의해서 건조지수가 결정된다. 일반적으로 기온이 높은 상태에서 강수량이 적으면 건조한 사막지역, 강수량이 많으면 열대 우림으로 볼 수 있으며, 기온이 낮고 강수량이 많으면 아한대 다우 기후를 형성한다. 많은 학자들이 건조지수의 산출방식을 고안하였으나, 식생과 토지 이용에도 대응할 수 있는 De Martonne (1926)의 건조지수 (Aridity Index)가 가장 널리 이용되고 있다. Aridity Index는 일 년 강수량의 합계를 연평균 기온에 10을 더한 것으로 나누는 형태를 취하고 있으며, 본 연구에서는 De Martonne의 건조지수 생성과정에서 월 단위 자료를 이용하여 월별 건조지수를 생성하였다 (eq. 1).

$$Ai = \frac{P}{t+10} \quad (1)$$

여기서, P는 월 강수량 합계 (mm), t는 월 평균기온 (°C)이다. 건조지수의 분석을 통해 인간의 생활뿐만 아니라 동·식물의 생육을 종합적인 영향을 평가해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

3. 강수효율

증발의 강도 또한 다른 기후변수들 못지않게 동·식물의 생활에 중요한 요소이다. 기온과 풍속, 습도 등에 의해 증발의 강도가 좌우되며 강수량은 증발이 일어나는 원천이라고 할 수 있다. 이처럼 기후의 특성을 파악하는데 있어서 증발이 고려된 기후학적 요소들이 기온 및 강수등과 같은 일반적인 기후요소에 비하여 좀 더 효율적이며 합리적이라 할 수 있겠다 (Oh, 1999). 이러한 특성을 착안하여 Thornthwaite (1931)는 증발량의 중요성을 고려한 강수효율 (Precipitation Effectiveness Ratio)을 도입하였다. 강수효율은 흔히 P-E비라 하며 이는 월 강수량을 월 증발량으로 나눈 것으로 가장 대표적인 강수효율로 여러 분야에서 사용되고 있다. 강수효율은 일반적으로 실제 사용에서 증발량의 측정치를 획득하는 데에 불편함으로 인해 증발량 대신 기온을 사용한다. 기온은 증발량의 함수로서 오차가 적어 타당하다 할 수 있겠다 (eq. 2).

$$P-E \text{ ratio} = \frac{P}{E} = 1.9422 \left(\frac{P}{T-10} \right)^{10/9} \quad (2)$$

여기서, P , E , T 는 각각 강수량의 합계 (mm), 증발량 (mm) 그리고 평균기온 ($^{\circ}\text{C}$)을 나타내며 본 연구에서는 월 자료를 사용하여 월 강수량의 합계, 월 증발량, 월 평균기온을 사용하였다 (Shahid and Khairulmaini, 2009). 식물의 분포와 밀접한 관련이 있는 강수효율을 통해 이상기후에 따른 우리나라 식생의 영향을 추정해 볼 수 있을 것이다.

4. 유출량

국가 수자원관리종합정보 시스템 (Water Management Information System, WAMIS)에서는 전국유역조사사업을 통해 생성

Table 1 KMA 59 Observation Sites and Korea Big Basins

Basin	Code	Site name	Basin	Code	Site name
Han River Basin	90	Sokcho	Nakdong River Basin	288	Miryang
	100	Daegwallyeong		289	Sancheong
	101	Chuncheon		294	Geoje
	105	Gangneung		295	Namhae
	108	Seoul		129	Seosan
	112	Incheon		131	Cheongju
	114	Wonju	Geum River Basin	133	Daejeon
	119	Suwon		135	Chupungryeong
	127	Chungju		140	Gunsan
	201	Ganghwa		146	Jeonju
	202	Yangpyeong		226	Boeun
	203	Icheon		232	Cheonan
	211	Inje		235	Boryeong
	221	Jecheon		236	Buyeo
Nakdong River Basin	115	Ulleung-do		238	Geumsan
	130	Ulsan		243	Buan
	138	Pohang		245	Jeongeup
	143	Daegu	Sumjin River Basin	168	Yeosu
	152	Ulsan		170	Wan-do
	159	Busan		244	Imsil
	162	Tongyeong		256	Suncheon
	192	Jinju		262	Goheung
	272	Yeongju	Yeongsan River Basin	156	Gwangju
	273	Mungyeong		165	Mokpo
	277	Yeongdeok		260	Jangheung
	278	Uiseong		261	Haenam
	279	Gumi	Jeju-do	184	Jeju
	281	Yeongcheon		188	Seongsan
	284	Geochang		189	Seogwipo
	285	Hapcheon

Fig. 1 KMA 59 Observation Sites and Korea Big Basins - Figure

된 정보를 바탕으로 장기 유출자료를 생산 및 제공하고 있으며, 생성된 장기 유출자료는 PRMS모형을 이용하여 계산된 값이다. PRMS (Precipitation Runoff Modeling System)는 미국 지질조사국 (U. S. Geological Survey, USGS)에서 최초 개발된 준 분포형 장기 강우-유출모형으로 다양한 강우, 기후 토지이용조건에 따른 유역의 영향을 평가할 수 있다. 본 연구에서는 WAMIS에서 제공하는 1966부터 2007년 (전체 자료제공 기간)까지의 PRMS 모형을 이용해 생성된 장기유출 자료 중 본 연구와 유사한 기간인 1973년부터 2007년까지 기간을 선정하였으며, 대권역 단위로 유출량정보를 수집하였다. Table 1과 Fig. 1에 각 지점에 해당하는 유역의 구분을 나타내었다.

III. 엘니뇨 (El Niño)/라니냐 (La Niña)

엘니뇨와 라니냐 기간 한반도의 기온과 강수량의 변화 경향에 대한 분석과 연구는 지속적으로 수행되어 왔다. 엘니뇨 영향 하에서 여름철의 저온과 겨울철의 고온 경향이 나타나며, 엘니뇨 기간에 여름철 장마기간의 시작과 종료시기가 늦어지는 현상을 나타내었다 (Cha et. al., 1999). 라니냐의 경우 겨울철의 기온이

약간 감소하는 경향을 보인다 (Kim and Hwangbo, 2005). 본 연구에서는 CPC (Climate Prediction Center)에서 제공하는 1950년부터 2011년까지의 엘니뇨와 라니냐 발생정보를 획득하여 우리나라의 기후특성과 변동성분석을 위하여 지상관측지점이 골고루 분포한 1973년부터 2011년 (39년)의 자료를 분석하였다. CPC에서 제공하는 정보는 ONI (Ocean Nino Index)가 0.5°C 이상 높은 상태가 5개월 이상 지속될 경우 엘니뇨로 판단하며 반대로 -0.5°C 이하 낮은 상태로 5개월 이상 지속될 때 라니냐라고 판단한다. 여기서 ONI는 1971년부터 2000년까지 Nino 3.4 (East Central Tropical Pacific SST, $5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$, $120^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{W}$) 지역에서의 해수면온도 (Sea Surface Temperature, SST)를 3개월 이동 평균한 값으로 정의된다.

본 연구에서 선정한 기간인 1973년부터 2011년 까지 엘니뇨, 라니냐의 발생의 상대적인 평가를 시행하였다. 전반적인 발생 형태는 Fig. 2와 같다. 1973년부터 약 3년에 걸쳐 장기간의 라니냐 현상과 1976년과 1977년의 봄, 가을, 겨울철의 엘니뇨현상을 확인할 수 있다. 이후 한동안의 평년기간을 지난 후 1982년부터 대략 2년을 주기로 엘니뇨 혹은 라니냐의 발생이 반복되고 있다. 표면적인 형태는 4월이 다른 달에 비해 엘니뇨 혹은 라니냐의 발생이 비교적 작은 형태를 보여주고 있다. 엘니뇨, 라니냐의 발생 형태를 월별, 계절별로 확인하기위하여 매월의 엘니뇨와 라니냐 그리고 평년의 발생횟수를 표현하였다 (Fig. 3). 1973년부터 2011년까지 총 39년으로 각 월의 발생 빈도 (39개월)중 평년이 전반적으로 각 월당 15회 이상을 상회하며 가장 높은 빈도수를 나타내며, 엘니뇨와 라니냐는 다른 계절보다 겨울철에 더 발생함을 알 수 있다. 전체적인 이상 기후의 발생빈도 분석을 위해 평년과 엘니뇨와 라니냐의 발생 합계를 비교하면 초봄에서 가을까지는 어느 정도 평년의 수온을 유지하지만 겨울철에는 오히려 엘니뇨와 라니냐의 발생이 평년보다 많음을 알 수 있다. 전체적인 비율은 평월인 기간이 48 %, 엘니뇨인 기간이 27 %, 라니냐인 기간이 25 %로 엘니뇨와 라니냐의 합이 평월보다 많은 것을 알 수 있다. 다시 말해 1973년부터 2011년까지 평월일 경우보다 이상 기후일 경우가 더 많은 형태를 보여주므로 엘니뇨와 라니냐 기간의 수문변수의 지역적 영향에 대한 분석이 필수적이라 하겠다. 또한 대상기간 동안 년 단위의 발생빈도 분석결과, 엘니뇨의 발생월수가 증가의 경향을 보는 반면, 라니냐의 발생 월수는 감소의 경향을 보였으며, 본 연구에서 선정한 39년의 연구기간 중 5년을 제외하고 나머지 34년 동안 적어도 1개월 이상의 이상기후를 나타냄을 알 수 있다 (Fig. 4). 엘니뇨, 라니냐와 평년의 상대적인 분석결과 전반적으로 엘니뇨와 라니냐의 발생 빈도가 평년 못지않게 동일한 빈도를 보이거나 오히려 평년보다 높은 빈도를 보여주었다.

Fig. 2 Event of El Niño and La Niña

Fig. 3 Monthly event of El Niño and La Niña

Fig. 4 Yearly event of El Niño and La Niña

IV. 엘니뇨와 라니냐의 영향 분석

본 연구에서는 엘니뇨 또는 라니냐가 발생한 월별 건조지수, 강수효율 및 유출량 각각의 평균을 산정한 후 이를 평월의 평균과의 차를 통해 비율로 나타냄으로서 건조지수, 강수효율 그리고 유출량의 변화정도를 유역별로 나타내었다.

Fig. 5 Changing of Aridity Index for El Niño period

Fig. 6 Changing of Aridity Index for La Niña period

Fig. 7 Changing of Precipitation Effectiveness for El Niño period

1. 건조지수

엘니뇨가 발생하였을 때 우리나라는 건조지수가 전반적으로 낮아지는 것을 알 수 있다. 월별로 특성을 보면 엘니뇨의 영향으로 여름철 전후인 6월과 9월에 매우 낮은 건조지수를 보이며, 초겨울인 11월과 12월에 건조지수가 높아지는 것으로 나타났다. 공간적인 특성으로는 5월에 중부지방이 높은 건조지수, 남부지방은 낮은 건조지수를 보이며 반대로 7월과 8월에는 5월과는 반대로 중부지방이 낮고 남부지방이 높아지는 것을 알 수 있다. 특히, 3월에 경우는 3월의 경우는 동, 서로 상반되는 수치를 보이기도 한다. 엘니뇨의 영향으로 우리나라 건조지수의 수치는 낮아지는 형태를 보이고 있으며, 중부지방 중 특히 강원도 지방과 서울 및 수도권 지역 그리고 서해안 지역에서 두드러진다 (Fig. 5). 건조지수에 대한 라니냐의 영향은 지역적으로 남부지방과 중부지방이 뚜렷한 차이를 보인다. 우선 계절적인 특성은 엘니뇨와 반대로 초겨울인 11월과 12월에 낮은 수치를, 3월과 9월에 높은 수치를 보여준다. 지역적으로는 특히 1월에 남부지방이 높은 경향을, 중부지방은 낮은 경향이 드러나며 전반적인 경향 또한 남부지방과 중부지방의 차이가 드러난다. 1년 기준으로 보았을 때 라니냐의 영향으로 남부지방이 평년에 비해 습윤한 상태를 보이며, 중부지방은 비교적 건조한 상태를 형성한다 (Fig. 6). 이상기

후에 대한 건조지수의 영향을 요약하자면 엘니뇨의 영향으로 우리나라는 평년에 비해 건조한 형태를 보이며, 라니냐의 영향으로 중부지방은 건조한 상태를 남부지방은 비교적 습윤한 상태를 형성한다. 일반적으로 모내기를 하는 시기는 음력 5월로 양력으로 5월말에서 6월 중순까지라고 할 수 있다. 하지만 엘니뇨와 라니냐의 영향으로 5월에 습윤했던 지역이 6월이 되면서 급격히 건조해 지면서 모내기를 위한 농업용수 공급에 문제를 야기할 수 있다고 판단된다.

2. 강수효율

강수효율의 변화 정도는 건조지수의 변화양상과 비슷한 형태를 보인다. 단지 1월의 경우 중부지방에서 지역적으로 다른 양상을 나타낸다. 엘니뇨의 영향으로 6월과 9월에 매우 낮은 강수효율을 나타내며 11월과 12월에는 비교적 높은 강수효율을 나타낸다 (Fig. 7). 라니냐의 경우 6월, 11월, 12월에 낮은 강수효율을 보이며 3월에 높은 강수효율을 보인다 (Fig. 8). 5월, 7월, 8월은 엘니뇨와 라니냐 모두 남부지방과 중부지방의 상반된 강수효율을 보여주고 있다. 엘니뇨의 영향으로 년 단위의 강수효율이 낮은 수치를 가지며 건조한 상태를 유발하며, 라니냐의 영향으로 중부지방은 평년에 비해 건조한 상태를, 남부지방은 평년에 비해

Fig. 8 Changing of Precipitation Effectiveness for La Niña period

습윤한 상태를 유발한다. 건조지수와 마찬가지로 강수효율 또한 모내기 기간인 5월에서부터 6월까지 급격한 변화를 확인할 수 있다. 여름 우기가 다가오면서 지속적으로 증가될 것으로 예상되는 강수효율이 6월의 급격한 변화로 농업용수 공급문제로 야기될 수 있을 것이다. 엘니뇨와 라니냐에 따른 건조지수와 강수효율의 변동이 유사한 것은 본 연구에서 사용한 건조지수와 강수효율이 강수와 기온의 함수로 산정된 값으로 각각의 특성이 유사하게 나타나기 때문이라 판단된다.

3. 유출량

엘니뇨와 라니냐의 영향에 따른 우리나라 대권역별 유출량의 변화는 년 단위로 볼 때 낮아지는 형태를 가지고 있다. 낙동강 유역의 변화는 다른 유역에 비해 비교적 적으며, 한강유역이 상대적으로 높은 영향을 받는다. 늦은 봄에서 초여름으로 변하는 6월에 엘니뇨와 라니냐모두로부터 극심한 유출량의 감소영향을 받으며, 7월까지 한강 및 서해안부근의 유역까지 영향을 미치고 있다. 엘니뇨의 영향으로부터 12월 1월에는 평년에 비하여 많은 유출량을 보이며 6월, 7월, 9월, 10월은 낮은 유출량의 형태를 보인다 (Fig. 9). 1월과 12월은 엘니뇨의 영향으로 높은 유출량을 보이는 반면 라니냐의 영향으로부터 부분적으로 낮은 유출량

을 보이는 반대의 성향을 가지며, 이는 건조지수와 강수효율과 비슷한 형태를 보여주고 있다. 라니냐의 영향으로부터 유출량은 중부지방과 남부지방의 차이를 뚜렷하게 보여준다 (Fig. 10). 1월, 4월, 5월, 7월~10월이 낙동강 혹은 영산강유역의 유출량이 많고 한강유역의 유출량이 낮은 형태를 보여주고 있으며, 4월의 남부지방의 유역과 9월의 한강유역은 건조지수와 강수효율의 해당지역과 차이를 나타낸다. 엘니뇨와 라니냐의 영향으로 6월부터 여름철 내내 전반적인 유출량 감소의 성향을 보이며 여름철의 유출량 감소는 우리나라 연간 수자원 공급계획에 문제를 야기시킬 수 있을 것이다.

4. 비교분석

우리나라 전역의 59개 관측지점을 Table 1의 구분에 의하여 대권역의 지점으로 선정 후 권역별 평균을 통해 Table 2와 Table 3에 나타내었다. 전반적으로 불균형한 증감의 경향성 가운데 엘니뇨해의 경우 유출, 건조지수, 강수효율 모두 2, 6, 9, 10월에 뚜렷한 감소의 형태를 확인할 수 있다. 그중 6월과 9월의 감소의 형태가 뚜렷하고 30~50 % 정도인 감소를 보인다. 반면에 4, 11, 12월은 전반적으로 평년에 비하여 유출, 건조지수, 강수효율이 증가하는 형태를 보이나 유출의 경우에서 유역별로 감소하는

Fig. 9 Changing of Runoff for El Niño period

Fig. 10 Changing of Runoff for La Niña period

Table 2 Basin average of the 100*(El Niño-Normal)/Normal (%)

Basin		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Year
Han River	Runoff	22.22	0.87	19.05	- 2.40	57.93	- 36.72	- 9.74	1.08	- 53.76	- 12.24	- 11.34	29.96	- 12.56
	AI	- 4.53	- 0.24	8.88	6.66	53.19	- 50.60	9.34	21.08	- 51.36	- 3.05	28.86	4.68	- 2.71
	PE	- 25.48	0.79	8.60	7.00	53.08	- 50.60	9.39	21.04	- 51.38	- 3.04	29.09	9.97	- 3.22
Nakdong River	Runoff	44.62	- 9.34	59.47	53.90	3.69	- 37.43	- 3.51	86.31	- 49.16	- 38.85	8.39	29.88	4.41
	AI	1.02	- 2.98	7.03	23.87	- 13.39	- 42.95	31.33	51.24	- 41.09	- 18.26	23.69	41.63	4.57
	PE	3.23	- 2.93	7.05	24.04	- 13.42	- 42.90	31.40	51.21	- 41.11	- 18.33	23.86	43.60	4.73
Ceum River	Runoff	29.64	- 5.19	- 7.76	28.20	45.51	- 18.48	- 4.81	- 8.86	- 41.58	- 19.77	2.44	30.06	- 9.08
	AI	- 11.91	- 11.52	- 14.87	27.00	16.47	- 42.01	18.42	15.96	- 42.85	- 12.56	25.04	10.90	- 1.78
	PE	- 7.19	- 11.43	- 14.62	27.35	16.50	- 41.98	18.37	15.89	- 42.86	- 12.55	25.25	13.97	- 1.11
Sumjin River	Runoff	49.89	- 15.04	26.35	4.34	- 5.45	- 56.85	- 10.60	39.10	- 48.09	- 35.45	25.60	49.83	- 10.23
	AI	9.61	- 12.35	7.99	19.11	- 5.50	- 44.48	47.67	21.25	- 25.15	- 22.24	15.12	9.50	2.41
	PE	10.41	- 12.41	8.13	19.11	- 5.53	- 44.46	47.64	21.29	- 25.19	- 22.13	15.23	10.74	2.53
YeongSan River	Runoff	29.64	- 8.88	15.69	- 44.38	- 37.82	- 43.33	0.69	45.89	- 8.35	5.67	22.84	68.75	- 3.08
	AI	8.45	- 10.59	8.56	14.22	- 19.45	- 49.26	70.62	31.15	- 34.37	- 16.53	7.91	25.70	3.94
	PE	8.64	- 10.38	8.90	14.09	- 19.47	- 49.25	70.64	31.16	- 34.47	- 16.41	8.02	26.91	4.11
Jeju-do	Runoff	30.70	- 7.40	28.37	35.37	12.57	- 36.21	7.84	18.13	- 16.45	- 21.17	- 20.11	- 5.50	0.22
	AI	15.31	- 19.00	24.72	49.43	1.25	- 47.97	44.90	23.14	- 10.69	- 22.37	13.42	2.96	5.24
	PE	15.98	- 19.20	25.00	49.45	1.24	- 47.96	44.87	23.17	- 10.76	- 22.42	13.67	3.62	5.29

AI : Aridity Index, PE : Precipitation Effectiveness

Table 3 Basin average of the 100*(La Niña-Normal)/Normal (%)

Basin		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Year
Han River	Runoff	- 8.29	- 7.09	44.60	- 1.43	43.82	- 60.01	- 17.42	- 4.09	- 16.96	- 25.00	- 27.24	- 26.26	- 13.23
	AI	13.79	3.27	5.16	1.13	25.17	- 41.05	- 19.78	14.85	15.27	- 29.75	- 22.95	- 39.97	- 8.59
	PE	- 1.77	5.42	4.77	1.04	25.11	- 41.10	- 19.75	15.03	15.52	- 29.81	- 22.93	- 40.48	- 8.37
Nakdong River	Runoff	10.78	- 1.12	118.33	32.06	38.95	- 40.62	19.54	9.64	0.04	2.48	5.53	- 28.81	8.08
	AI	8.26	10.13	13.52	7.46	12.07	- 20.02	14.45	13.15	39.89	15.67	- 27.89	- 27.94	7.57
	PE	10.49	10.45	13.20	7.47	12.10	- 20.13	14.47	13.35	40.20	15.73	- 27.75	- 28.11	7.86
Ceum River	Runoff	12.30	2.29	45.75	23.46	51.66	- 43.57	- 16.83	- 20.03	11.35	23.39	- 10.11	- 25.81	- 5.78
	AI	- 1.26	- 0.86	0.22	9.16	12.74	- 31.41	- 3.03	15.78	55.45	- 4.84	- 27.72	- 21.33	0.71
	PE	2.48	- 0.25	- 0.21	9.15	12.64	- 31.44	- 2.99	15.95	55.78	- 4.82	- 27.70	- 22.02	1.32
Sumjin River	Runoff	17.82	14.33	69.29	7.14	85.83	- 25.23	3.71	- 1.56	15.82	56.82	- 24.79	- 30.75	8.90
	AI	18.09	10.86	- 0.68	- 1.29	29.01	3.69	22.84	4.73	53.35	10.21	- 31.04	- 19.19	10.06
	PE	18.26	10.74	- 1.00	- 1.36	28.92	3.63	22.81	4.88	53.58	10.26	- 31.03	- 20.08	10.23
YeongSan River	Runoff	- 4.71	0.65	- 0.50	- 28.43	5.59	- 43.15	- 35.30	- 15.98	55.52	42.47	- 25.55	- 18.49	- 10.61
	AI	11.12	6.58	2.48	0.54	35.75	6.15	23.93	11.42	41.05	12.94	- 28.74	1.45	12.15
	PE	11.55	6.87	2.25	0.37	35.75	6.02	23.96	11.69	41.21	13.00	- 28.55	0.49	12.43
Jeju-do	Runoff	23.49	- 0.52	22.56	- 5.26	19.61	26.71	40.32	19.39	14.39	0.47	- 27.32	- 31.19	13.99
	AI	20.22	- 2.60	- 8.13	- 3.62	23.16	- 4.21	39.47	12.50	67.92	14.12	- 14.82	- 11.39	10.80
	PE	20.92	- 2.79	- 8.24	- 3.64	23.18	- 4.28	39.43	12.67	68.11	14.27	- 14.23	- 10.73	11.14

AI : Aridity Index, PE : Precipitation Effectiveness

형태를 나타내기도 한다. 라니냐해의 유출, 건조지수, 강수효율의 경우 6, 11, 12월에 모든 지수가 뚜렷한 감소의 형태를 보인다. 반면에 3, 5, 9월은 라니냐의 영향으로 유출, 건조지수, 강수효

율이 모두 증가하는 경향을 보인다. 엘니뇨와 라니냐 모두 6, 11 월 12월에 모든 유역에 강하게 영향을 미치며 평년에 비해 여러 지수들이 감소하는 형태를 보여주는 반면, 나머지 기간은 엘니뇨

와 라니냐의 월별 빈도와 무관하게 각각의 월별로 다른 수치를 보여준다. 또한, 유역적인 영향을 확인해 볼 때, 상대적으로 한강과 금강유역의 변위가 크게 나타났으며, 20 %~40 %를 상회하는 변화정도를 보인다. 다른 유역 또한 엘니뇨와 라니냐의 영향에 의하여 20 % 내외의 변화량을 가진다. 유역의 분류에 따른 엘니뇨와 라니냐의 영향에 비하여 전반적으로 월별 변화양상이 뚜렷하며, 공간적으로는 일부 지역을 제외하고 해당 월의 증가와 감소의 경향을 따라감을 확인할 수 있다. 엘니뇨의 경우 상대적으로 6, 9~12월에 변위가 크며 라니냐의 경우 5, 6, 9~12월에 증가 혹은 감소의 변위가 크게 나타났다. 엘니뇨와 라니냐 모두 겨울철에 특히 상대적인 변화량이 높게 나타났으며, 엘니뇨기간에는 장기유출, 건조지수, 강수효율이 9월과 10월에 감소하고 11월과 12월에 증가하는 경향을, 반면 라니냐 기간에는 9월과 10월에 증가하고 11월과 12월에 감소하는 반대의 경향을 보인다.

이중 엘니뇨와 라니냐의 영향으로 인해 6월에 건조지수, 강수효율, 유출량 모두 뚜렷한 감소의 성향을 보이며, 이는 우리나라 전체가 수자원이 부족한 시기라 판단할 수 있다. 농업적 측면에서 모내기 기간이라 할 수 있는 6월의 건조는 농업용수 공급에 있어 악영향을 초래할 수 있으며, 농업용수뿐만 아니라 다양한 용수 수급에도 문제를 야기시킬 수 있을 것이다. 유출량의 경우 5월과 6월 농업용수의 사용으로 인한 유출의 감소로 볼 수도 있으나, 평년 대비 엘니뇨 라니냐해의 유출의 감소가 전체적으로 30 % 정도이며 많게는 60 %까지 감소하게 된다. 건조지수와 강수효율의 감소의 성향과 더불어 보았을 때, 이는 엘니뇨와 라니냐의 영향으로 뚜렷한 감소의 성향임을 다시 한 번 확인할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 여름철 우기의 증가성향 또한 홍수등과 같은 수자원 치수문제를 야기할 수 있다. 상대적으로 10 %~20 % 내외로 6월의 감소 성향보다 작지만 여름철 집중호우 발생 시 그 피해규모를 무시하지 못할 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 엘니뇨와 라니냐 기간 동안 유역별 건조지수, 강수효율, 유출량의 평년 대비 변화특성을 분석하였다. 엘니뇨와 라니냐 기간은 CPC에서 제공하는 엘니뇨, 라니냐의 월별 발생 기록을 기준으로 이상기후 발생 시 유역별 건조지수, 강수효율 및 유출량을 산정하여 평년값과의 차를 산정하고 이를 비율로 나타냄으로서 이상기후 발생의 영향으로 인한 지역 기후요소의 변화를 분석하였다. 분석을 수행한 1973년에서 2010년까지 34년 동안의 엘니뇨와 라니냐 발생 월수의 합이 평월 보다 많았으며 이는 수자원계획에 있어 엘니뇨와 라니냐에 따른 지역 수문변수의 변동 특성 분석이 필수적임을 나타낸다.

엘니뇨가 발생 시 유역별 건조지수는 전반적으로 낮아지며 특

히 6월과 9월에 매우 낮은 건조지수를 보이며, 11월과 12월에 건조지수가 높아지는 것으로 나타났다. 5월은 중부지방이 높고 남부지방이 낮은 건조지수를 보이며 7월과 8월에는 중부지방이 낮고 남부지방이 높은 건조지수를 보였다. 건조지수에 대한 라니냐의 영향은 11월과 12월에 낮은 수치를, 3월과 9월에 높은 수치를 보여준다. 지역적으로는 1월에 남부지방이 높은 경향을, 중부지방은 낮은 경향을 보였고 연간 경향을 볼 때 라니냐의 영향으로 남부지방이 평년에 비해 습윤한 상태를 보이며, 중부지방은 비교적 건조한 상태를 보였다.

강수효율의 변화 특성은 건조지수의 변화 특성과 비슷한 형태를 보이며 1월의 경우 중부지방에서 지역적으로 다른 양상을 나타낸다. 엘니뇨 발생 시 6월과 9월에 매우 낮은 강수효율을 나타내며 11월과 12월에는 비교적 높은 강수효율을 보였다. 라니냐의 경우 6월, 11월, 12월에 낮은 강수효율을 보이며 3월에 높은 강수효율을 보였다. 5월, 7월, 8월은 엘니뇨와 라니냐 모두 남부지방과 중부지방의 상반된 강수효율을 보여주고 있다.

엘니뇨와 라니냐의 영향에 따른 우리나라 유역별 유출량의 6월에 엘니뇨와 라니냐모두로부터 극심한 유출량의 감소영향을 받으며, 7월까지 한강 및 서해안부근의 유역까지 영향을 미치고 있다. 엘니뇨의 영향으로부터 12월 1월에는 평년에 비하여 많은 유출량을 보이며 6월, 7월, 9월, 10월은 낮은 유출량의 형태를 보인다. 라니냐의 영향으로부터 유출량은 중부지방과 남부지방의 차이를 뚜렷하게 보였다. 1월, 4월, 5월, 7월~10월이 낙동강 혹은 영산강유역의 유출량이 많고 한강유역의 유출량이 낮은 형태를 보여주고 있다. 엘니뇨와 라니냐의 영향에 따른 우리나라 대권역별 강수효율, 건조지수 및 유출량의 변화는 한강유역에 대한 영향이 다른 유역에 비하여 상대적으로 크게 나타났다.

본 연구에서 주목할 점은 이상기후의 영향으로 인한 6월의 건조지수, 강수효율, 유출량의 감소경향이다. 전반적인 감소의 정도가 30 % 이상으로 엘니뇨와 라니냐의 영향으로 5월과 6월의 농번기에 용수공급에 차질을 우려할 수 있다. 또한 8월의 증가경향은 여름철 우기에 습윤한 상태 및 유출과다로 인한 수자원 치수문제를 야기할 수 있다. 본 연구를 통한 확인한 대로 빈번한 이상기후는 우리나라 수자원 관리의 위험성을 경고하고 있으며 앞으로 지속적인 이상기후의 영향을 파악하여 수자원 관리계획 수립에 있어 적극적인 대처가 필요할 것이다.

전 지구적 이상기후의 분석과 그에 따른 우리나라 기후특성을 살펴봄으로서 엘니뇨, 라니냐에 따른 전반적인 우리나라 변동 특성을 분석하였다. 약 2년 주기로 반복되는 엘니뇨와 라니냐와 같은 이상기후로 인하여 우리나라는 평년과 다른 이상기후가 발생하는 것을 확인하였으며, 그에 따른 계절적인 특성 및 공간적인 특성을 확인하였다. 본 연구를 통해 앞으로 있을 기상 이변에 따른 풍수해 및 가뭄 등과 같은 재해 방지대책에 지역적, 계절적

정보를 제공할 수 있으며, 중·장기 적인 수자원 이용에 있어서 효율적인 관리를 위한 참고자료로 사용될 것으로 판단된다.

이 논문은 2012년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO. 2011-0030840).

REFERENCES

1. An, S. I., 2009. A Review of Interdecadal Changes in the Nonlinearity of the El Nino Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology* 97: 29-40.
2. Bjerknes, J., 1966. Survey of El Nino 1957-58 in its Relation to Tropical Pacific Meteorology. *Inter-American Tropical Tuna Commission Comision Interamericana Del Atun Tropical* 12(2): 3-62.
3. Cha, E. J., J. G. Jhun, and H. S. Chung, 1999. A Study on Characteristics of Climate in South Korea for El Nino/La Nina Years. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 35(1): 98-117 (in Korean).
4. De Martonne, E., 1926. Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité.. *Theoretical and Applied Climatology* 449-458.
5. Gray, W. M., 1984. Atlantic Seasonal Hurricane Frequency. Part I: El Nifio and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation Influence. *Monthly Weather Review* 112: 1649-1668.
6. Horel, J. D., and J. M. Wallace, 1981. Planetary Scale Atomospheric Phenomena Associated with the Southern Oscillation. *Department of Atmospheric Sciences* 813-829.
7. IPCC, 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. The AR4 Synthesis Report, IPCC.
8. Kang, I. S., 1998. Relationship between El-Nino and Korean Climate Variability. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 34(3): 390-396.
9. Kim, G., J. Hwangbo, 2005. Analysis of the Characteristics of Temperature and Precipitation in South Korea during El Nino/La Nina Period. *KSCE Conference & Civil Expo 2005* 1436-1439 (in Korean).
10. KMA, 2010. 2010 Report of Abnormal Climate. Korea Meteorological Administration (in Korean).
11. Kug, J. S., S. I. An, Y. G. Ham, and I. S. Kang, 2010. Changes in El Niño and La Niña teleconnections over North Pacific-America in the global warming simulations. *Theoretical and Applied Climatology* 100: 275-282.
12. Oh, J. H., 1999. *Climatology I*. Publishing Company Arche. Daewoo Scholarship Serise 428. 259-266 (in Korean).
13. Ropelewski, C. F., and M. S. Halpert, 1987. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Nino -Southern Oscillation. *Monthly Weather Review* 115: 1606-1626.
14. Shahid, S., and O. S. Khairulmaini, 2009. Spatio-temporal variability of rainfall over Bangladesh during the time period 1969-2003. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 45(3): 375-389.
15. Thorntwaite, C. W., 1931. The climate of North America according to a new classification. *Geogr. Rev* 21: 633-655.
16. Vecchi, G. A., A. Clement, and B. J. Soden, 2008. Examining the tropical Pacific's response to global warming, *Eos Trans AGU* 89(9): 81-83.
17. Weihong, QIAN., and H. U. Haoran, 2006. Interannual thermocline signals and El Niño-La Niña turnabout in the tropical Pacific Ocean. *Advances in Atmospheric Sciences* 23(6): 1003-1019.
18. Yoon, J, and S. W. Yeh, 2009. Study of the Relationship between the East Asian Marginal SST and the Two Different Types of El Niño. *Ocean and Polar Research, Korea Ocean Research & Development Institute* 31(1): 51-61 (in Korean).
19. Yu, J. Y., H. Y. Kao, T. Lee, and S. T. Kim, 2011. Subsurface ocean temperature indices for Central-Pacific and Eastern-Pacific types of El Niño and La Niña events. *Theoretical and Applied Climatology* 103: 337-344.