엘리뇨/라니냐 영향 지수 기법의 개발 및 한반도 수자원에의 영향 분석

Analysis of El Nino/ La Nina Impact on Korean Water Resources Using El Nino/ La Nina Influence Index.

신 현 석* / 정 상 만 **

요지

최근 세계 각지에서는 엘리뇨 및 라니냐에 의한 기상 변동에 의하여 막대한 인적, 경제적인 직간접적인 피해를 경험하여 왔다. 우리나라의 기상에도 엘리뇨/라니냐의 영향이 시공간적으로 유의함이 최근 밝혀지고 있으며, 그에 따르는 엘리뇨/라니냐에 의한 영향의 정량적인 고려가 전국적인 수자원 장기 정책 및 관리에 필요함이 인식되어 왔다.

기상 이변 형상은 이미 실존의 현실이며, 이 중 엘리뇨/라니냐의 영향 또한 그렇하다고 할 수 있다. 특히, 21 세기는 물부족 및 물에 의한 재해의 가능성이 점차 증가 될 것이라는 막연한 추측속에서 우리는 살고 있지 실제적인 대책 및 연구에의 투자는 인색한 형편이다. 막상 닥쳤을 때만의 , 당장의 아우성 보다는 기초적인 바탕에서 부터의 성실하고 결실을 맺을 수 있는 지속적인 연구가 수행되어야 한다. 왜냐하면, 미래는 현재의 연속이기 때문이다. 또한, 이의 연구는 기상, 수문, 수자원, 농업, 경제를 비롯한 여러 분야에서 다각적이고 연계적으로 이루어져야지 일방의 짧은 지식만으로 이루어 질수는 없다.

본 연구에서는 엘리뇨/라니냐 영향 지수 산정 기법을 개발하고, 이를 이용하여 우리나라에의 수자원에의 영향을 시공간적으로 정의하는 데, 그 목적이 있다. 엘리뇨/라니냐 영향을 정의하기 위한 기법은 물리적인 기법과 통계적인 기법으로 크게 나뉠 수 있으나, 본 연구에서는 간략한 통계적인 기법을 이용하여 지수를 개발하였다. 이 지수는 엘리뇨/라니냐의 발생 강도 뿐만아니라 빈도를 동시에 고려할 수 있도록 하였다. 개발된 엘리뇨/라니냐의 영향 지수를 우선 우리나라 전역의 강수 기상 관측망 자료에 적용하였으며, 산정된 지수들을 공간적으로 Kriging 기법을 사용하여 공간 분포도 (영향 지수도)를 작성하여 지역적인 영향 정도를 가시적으로 정의하였다.

1. 서론

세계 각지에서는 금세기 최악의 이상 기후로 알려진 엘리뇨 및 라니냐 현상에 의해 기상 및 기후의 이상 변동이 유발되었고 그에 따르는 자연 재해의 영향으로 막대한 경제적, 인적 피해를 경험하여 왔다. 엘리뇨란 지구 기상 이변 현상의 하나로 일반적으로 적도부근의 동태평양(페루주변 지역)의 해수 온도가 평년 기온 보다 높아지면서(약 +0.5°C 이상이 6개월 이상 지속) 발생하는 기상/해양 현상의 이변를 의미하며, 이는 적도부근 동태평양으로부터 서태평양 지역으로의 무역풍의 약화에 기인한다고 알려졌다. 반면에, 라니냐 현상은 엘리뇨 현상과는 정반대의 현상으로 태평양 적도역 동태평양의 해수 온도가 평년 보다 낮아지는 현상을 의미한다.

과거 엘리뇨/라니냐는 적도 태평양역의 일부의 해양 및 기상에만 영향을 주는 것으로 알려져 왔으나, 최근 엘리뇨/라니냐가 기상/해양/수문에의 영향이 태평양 적도 부근뿐만 아니라 범지구적인 원격상관(Teleconnection)에 의해 세계 곳곳에 직간접적으로 영향을 끼치고 있음이 다양한 연구를 통하여 밝혀졌다. 특히, 1982 - 1983년 동안에는 인도네시아, 인도 및 중앙 아메리카 등지의 극심한 가뭄 및 산불, 북미 및 유럽 지역 등지에서의 홍수 등의 전세계 피해액이 무려 130억 달러에 달하였다. 또한 최근 1997 - 1998 봄 까지의 엘리뇨, 그리고 연속적인 1999년 봄까지의 라니냐에 의해 세계는 다시 한번 막대한 기상 및 재해에의 영향을 경험하였는 데, 특히 적도역 중부 태평양 지역의 지속적인 강수 및 인도네시아, 호주, 인도, 아프리카의 심한 가뭄으로 인해 97년도에는 세계적으로 극심한 농수산물 생산의 감소가 있었다. 또한, 우리나라에서는 '97년 9 -10월의 전국적인 가뭄, '97 - '98 북한 지역의 최악의 가뭄, 태풍 올리와의 이상 진로 내습 및 '98년에 연이은 라니냐로 인한 중, 남부 지역의 극심한 홍수 등 이상 기후 현상이 엘리뇨 및 라니냐와 밀접한 관련이 있을 것이라고 추측되고 있다.

우리나라에서는 이러한 엘리뇨/라니냐의 우리나라의 기상 또는 해양에의 영향은 소수의 몇몇 논문 및 발표를 통하여 보고된 바가 있으나 아직도 과학적이고 정량적인 원인 및 영향 분석 실적은

* 부산 대학교 토목 공학과 조교수
** 공주 대학교 토목 공학과 교수

미흡하다고 할 수 있다. 최근 정부에서는 1997년 11월 '엘리뇨 종합 대책 실무위원회'를 구성하여 엘리뇨/라니냐에 의한 기상 이변에 대한 대책 수립을 위한 틀이 마련되었으나 엘리뇨/라니냐의 기상/수문 및 재해에의 영향에 대한 인식의 부족과 적합한 분석 및 평가 방법의 부재로 인하여 적절한 대책의 수립은 아직 소원하다고 할 수 있다. 그러므로, 다양한 엘리뇨/라니냐 관련자료 및 기상/부문 관련 자료의 수집 및 분석을 통한 엘리뇨/라니냐의 영향의 분석을 시도하는 것은 가치가 있는 연구가 될 수 있을 것이다. 특히, 자연 재해중 가장 발생 빈도가 높고 피해가 막대한 홍수 및 가뭄에의 엘리뇨/라니냐의 영향 분석은 범국가적인 장기 수자원 관리 및 개발을 위해 필수적일 것이다.

본 연구는 이러한 엘리뇨 및 라니냐가 우리나라의 기상 및 수문 현상에 얼마나 시간적이고 공간적으로 영향을 미치는 지에 대한 정량적이고 통계적인 영향 분석을 수행하며, 또한 이러한 기상/수문에의 영향 분석을 토대로 홍수 및 가뭄에의 영향을 분석하여 장기적인 수자원 관리 및 계획의 수립을 위한 기초 자료를 구축하는 데 목적이 있다.

2. 엘리뇨/라나냐 영향 평가 기법 개발

엘리뇨/라니냐의 국지적인 기상/수문에의 영향 평가는 방법적으로 물리적인 방법과 통계적인 방법으로 나뉠 수 있다. 물리적인 방법은 주로 엘리뇨/라니냐의 원인 규명 및 예측 위하여 사용되었으며, 기후 변화에 따른 장기 영향의 분석을 위하여 GCM(Genral Circulation Model) 계통의 다양한 시공간적인 모의가 시도되어 왔다. 그러나, 물리적인 모형의 사용은 기상-해양-수문의 현상의 복잡한 모형화 및 사용의 곤란성 등의 어려움으로 인하여 그 사용은 제한될 수밖에 없다.

그러나, 기본적으로 기상-수문 기초 자료의 시공간적인 유의성 및 다양성이 확보된다면, 먼저 기상 및 수문 자료와 엘리뇨 현상을 대표하는 ENSO 지수와의 상관 관계를 분석하기 위하여 CCA(Canonical Correlation Analysis), PCA(Principle Component Analysis) 및 FA(Factor Analysis) 등의 다양한 통계적인 기법을 적용하여 그 영향의 유의성을 살펴보는 것이 일반적이다.

기존의 통계 기법의 적용은 일반적으로 시간적인 또는 공간적인 SOI등의 엘리뇨/라니냐 지수와 특정 기상/수문 변수 (주로 평년과의 편차)와의 통계적의 상관을 살펴보는 것으로, 이는 엘리뇨가 대상 변수의 강도(intensity)에 미치는 영향을 살펴보는 것이었다. 그러나, 일반적으로 엘리뇨/라니냐가 기상/수문에 끼치는 영향을 정량적으로 분석하기 위해서는 다음과 같은 두 가지 요소가 동시에 고려되어야 한다.

(1) 엘리뇨/라니냐가 대상 현상에 어떤 크기로 영향을 끼치는가 ?
(How much does the El Nino/ La Nina affect to a proposed phenomenon ?)

(2) 엘리뇨/라니냐가 대상 현상에 얼마나 자주 영향을 끼치는가 ?
(How frequent does the El Nino/ La Nina affect to a proposed phenomenon ?)

이들 두 요소는 각각 엘리뇨/라니냐 영향 강도 (Influence Intensity)와 영향빈도(Influence Frequency)로 정의되어 질 수 있으며, 결과적으로 엘리뇨/라니냐 영향 정도를 대표하기 위한 영향 지수(Influence Index)는 이들 두 요소를 모두 고려하여야 한다는 점이다. 본 연구에서는 이러한 기본적인 개념을 가지고 각 기상 및 수문 변수에 대한 엘리뇨/라니냐의 영향을 평가하기 위한 엘리뇨/라니냐 영향 지수 (El-Nino/La-Nina Influence Index)를 기초 통계 기법을 사용하여 개발하고 정의하였다. 본 연구의 궁극적인 목적은 개발된 영향지수를 이용하여 엘리뇨/라니냐의 홍수/가뭄에의 영향을 살펴보는 것으로서, 시간적으로는 엘리뇨/라니냐가 발생한 당해 및 다음해에의 계절 영향을, 그리고 공간적으로는 우리 나라(남한지역) 전역의 영향 정도를 파악하는 데 있었다.

우선 시간적으로 계절을 봄 (3월 - 5월: MAM), 여름(6월-8월:JJA), 가을(9월-11월:SON), 그리고 겨울(12월 - 2월 :DJF)로 구분하였다. 또한 공간적으로는 각 관련된 기상 및 수문 자료를 남한 전역에 골고루 분포할 수 있도록 관측 지점들을 선정하였으며, 이때 장기간의 자료를 획득할 수 있는 지점을 선택하였다. 본 연구의 엘리뇨/라니냐 영향 분석을 위한 연구 대상 자료 및 적용 범위를 정리하여 보면 다음과 같다.

- 분석 대상 : 기상 (강우, 강우빈도, 강우강도, 기온)
  수문 (댐유입량, 하천 유량)
- 공간적 범위 : 기상 (전국 관측망)
  수문 (한강/금강/낙동강/섬진강/영산강으로 수계별)
- 시간적 범위 : 엘리뇨/라니냐 당년 및 익년의 계절 [봄 (3월 - 5월: MAM), 여름(6월-8월:JJA), 가을(9월-11월:SON), 그리고 겨울(12월 - 2월 :DJF)]별 영향 분석

분석 절차는 [그림 1]과 같다. 우선 대상 변수의 과거 월 및 계절 자료에 대한 통계적인 분석을 수행한

후 계절 자료의 정규 표준화 (normalization - standardization)를 수행한다. 이를 통하여 모든 지점의 계절 자료는 시간적으로 표준 정규 분포를 가지게 되며, 공간적으로 상대적인 크기를 비교할 수 있게 된다.

다음은, 정의된 엘리뇨가 발생한 해 및 다음해와 일치하는 표준 정규화된 대상 자료를 뽑아내는 과정으로 이를 합성 과정(Composite Process)이라고 한다. 이를 통하여 엘리뇨 및 라니냐가 발생하지 않은 해의 상관성을 제거하고 발생한 해 및 다음해의 직접적인 영향을 분석할 수 있다.

다음 엘리뇨가 변수에 작용하는 엘리뇨 크기(magnitude) 또는 강도 (El-nino intensity)는 합성 분석된 표준 정규 자료의 평균값을 통하여 결정된다. 또한 엘리뇨가 발생하였을 때 변수에 얼마나 자주 영향을 미치는 가를 알아보기 위한 엘리뇨 영향 빈도 (El-nino frequency)는 전체 엘리뇨 발생 연수에 대한 엘리뇨해 및 다음 해에 표준화 변수가 음수가 되는 연수비로 정의된다. 각각 엘리뇨 영향강도 및 영향 빈도는 통계적으로 5개의 계급 (극심 감소, 보통 감소, 영향 무시, 보통 증가, 극심 증가)으로 분류되어 엘리뇨 강도 지수 (intensity index) 및 빈도 지수 (frequency index)로 정의된다. 여기서 엘리뇨 강도 및 빈도는 전체 엘리뇨 영향에 동일한 비중 갖는다는 가정 하에 엘리뇨 영향 지수 (El-nino Influence Index)가 정의되며, 이는 각각 -1 에서 1 까지의 지수화된 수로 나타내어져 엘리뇨의 대상 변수에의 정량적인 영향을 척도할 수 있다.

마지막으로 남한 전역의 지역적인 엘리뇨 영향 정도를 살펴보기 위하여 각 지점에서 계산된 엘리뇨 영향 지수값을 전국에 공간 분포시킨다. 이때, 통계적인 공간 분석 기법 중의 하나인 Kriging 법을 사용한다. 이와 같이 생성된 엘리뇨 영향 지수도(El-nino Influence Index Map)는 엘리뇨 당년에 각 계절별로 4엽, 그리고 다음해 4엽이 만들어져 계절별, 지역별 엘리뇨의 영향 정도를 시각적으로 판단할 수 있게 한다. 위의 절차는 엘리뇨와 마찬가지로 라니냐에도 동등하게 적용되어 라니냐 영향 지수 및 8엽의 영향 지수도를 생성하게 된다.

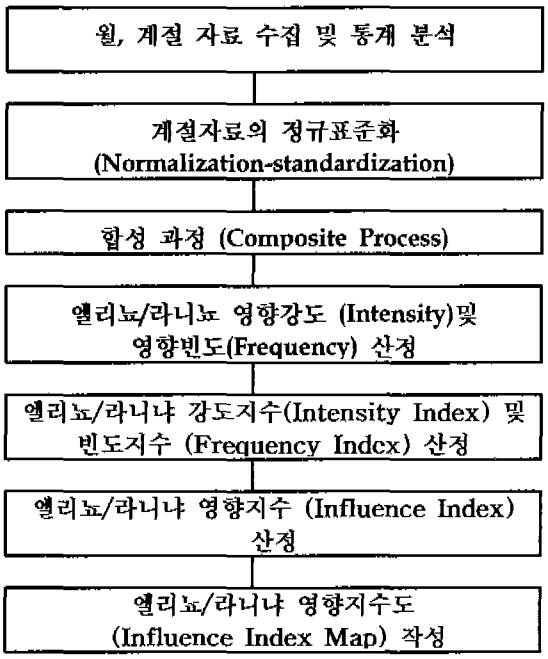

그림 1. 엘리뇨/라니냐 영향 분석 절차도

3. 분석 결과

본 연구에서는 위의 영향 분석 기법을 계절 강우량, 강우빈도, 강우 강도, 계절 기온, 댐 및 하천 유량에 적용하였으며, 우리나라 전역을 4개의 구역 (중동부, 중서부, 남동부, 남서부)로 나누어 엘리뇨/라니냐의 시공간적인 영향을 분석하였으며, 그 결과를 IHP 보고서 (2000)에 상세히 수록하였다. 그 예로서 그림 2와 3에는 엘리뇨 및 라니냐의 계절 강수량에의 영향 지수를 도시하고 있으며, 그림 4와 5에는 엘리뇨 및 라니냐의 계절 기온에의 영향 지수를 도시하고 있다.

우리나라 홍수 및 가뭄에의 영향 분석 결과를 정리하여 보면 다음과 같다. 가장 유의적이라고 할 수 있는 엘리뇨의 홍수 및 가뭄에의 영향을 지역별로 정의하면 다음과 같으며, 그림 6에 도시하여 보았다.

(1) 중동부 :

- 당년 가을의 강우량의 극심한 감소, 강우 빈도의 약한 감소, 및 하천

유량의 극심한 감소로 인한 가뭄 발생 확률의 증가이다.
(엘리뇨 당년 가을 가뭄)
- 당년 겨울에 이은 다음해 봄 기온의 증가가 유의적임을 알 수 있다.
(엘리뇨 당년 겨울 및 익년 봄의 고온)

(2) 중서부 :
- 당년 가을의 강한 강우량 및 강우빈도의 감소, 그리고 그에 따른 유출량의 극심한 감소로서, 이는 가뭄 발생이 유의적임을 의미한다.
(엘리뇨 당년 가을 가뭄)
- 익년 여름 강수량은 약한 감소를 보이나, 강우빈도 및 유출량은 강한 감소 경향이 있으므로 가뭄 발생이 유의적일 수 있다. (엘리뇨 익년 여름 가뭄)
- 당년 겨울의 강한 기온 증가 및 지속적인 봄의 기온 증가가 유의적이다.
(엘리뇨 당년 겨울 및 익년 봄의 고온)

(3) 남동부 :
- 당년 여름의 강우량의 극심한 증가, 강우빈도의 강한 증가, 그리고 강우강도의 약한 증가를 통하여 홍수의 가능성이 높은 시기이다.
(엘리뇨 당년 여름 홍수)
- 당년 가을의 강우량, 강우빈도 및 유량의 강한 감소로 인한 가뭄에의 영향이 유의적이다. (엘리뇨 당년 가을 가뭄)
- 익년 여름 강우량, 강우빈도, 강우강도의 강한 감소 및 유량의 극심한 감소로 인하여 가뭄 발생 확률이 높다. (엘리뇨 익년 여름 가뭄)
- 당년 봄 및 여름의 기온 감소가 상당히 유의적이며, 반면에 당년 겨울부터 봄까지의 기온의 증가가 상당히 유의적이다.
(엘리뇨 당년 봄, 여름의 저온) (엘리뇨 당년 겨울 및 익년 봄의 고온)

(4) 남서부 :
- 당년 가을에는 강우량 및 강우빈도가 감소하는 경향이 강하고, 유량은 극심하게 감소하여 가뭄 발생이 유의적임을 알 수 있다.
(엘리뇨 당년 가을 가뭄)
- 익년 여름에는 강우량, 강우빈도, 강우강도 및 유량이 모두 극심하게 감소하여 물부족으로 인한 가뭄의 영향이 상당히 클 수 있다.
(엘리뇨 익년 여름 가뭄)
- 당년 봄 및 여름의 기온 감소가 상당히 유의적이며, 반면에 당년 겨울부터 봄까지의 기온의 증가가 상당히 유의적이다.
(엘리뇨 당년 봄, 여름의 저온) (엘리뇨 당년 겨울 및 익년 봄의 고온)

전반적으로, 엘리뇨 당년 여름에는 남부 영호남 지역의 강수의 증가 경향이 뚜렷하여 홍수의 가능성이 크고, 가을에는 반대로 전국적으로 강수 및 유량의 감소로 인한 가뭄 발생의 영향이 유의적이다. 이러한 가을 가뭄은 겨울까지 지속될 수 있다. 익년 여름에는 남부 지역의 강수 및 유량의 감소가 상당히 유의적이므로 가뭄의 영향을 받기 쉽고, 가뭄은 어느 정도 가을 및 겨울까지 지속될 수 있다.

기온 측면에서 가장 특이할 만한 것은 엘리뇨 발생 당년 봄 및 여름철의 남부지역 기온의 극심한 감소 경향이며, 또한 당년 겨울 및 계속되는 봄의 기온의 증가 경향이 전국적이라는 점이다.

4. 결 론

본 연구에서는 통계적인 기법을 통하여 엘리뇨/라니냐의 우리나라 기상 및 수자원에의 영향을 분석하기 위한 기법을 제안하였다. 이는 간략화된 기법으로 복잡한 물리적인 현상의 규명 이전에 이루어져야할 필수적인 것이었다.

결론적으로, 오차 한계의 범위를 가지고 그 영향을 분석 및 예측하였으며, 이 결과는 차후 수자원의 장기 대책 및 관련 재해 예비를 위하여 긴요한 자료가 되었으면 한다. 물론, 좀더 정량적이고 기법적인 개선을 위한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것임에는 추론의 여지가 없다.

참조 : 본 연구는 건교부 지원의 IHP '99 사업의 일환으로 진행되었으며 이에 감사 드립니다.

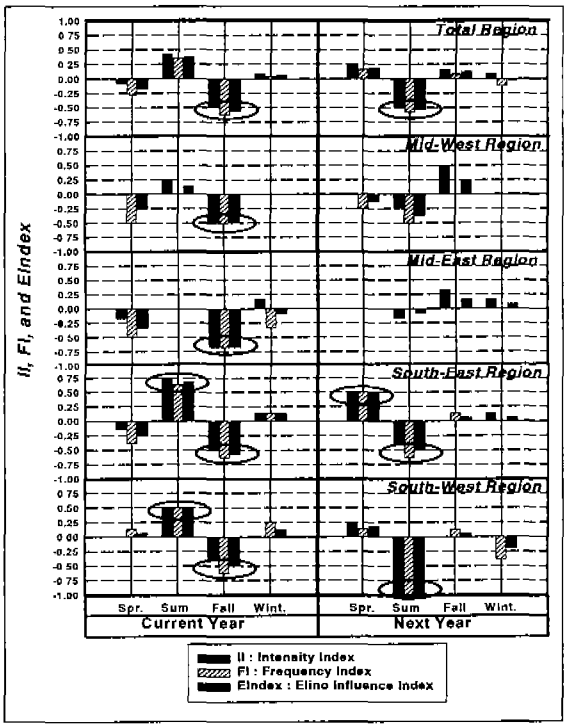

그림 2. 엘리뇨 당년 및 익년의
계절 강우량에의 영향 분석 결과

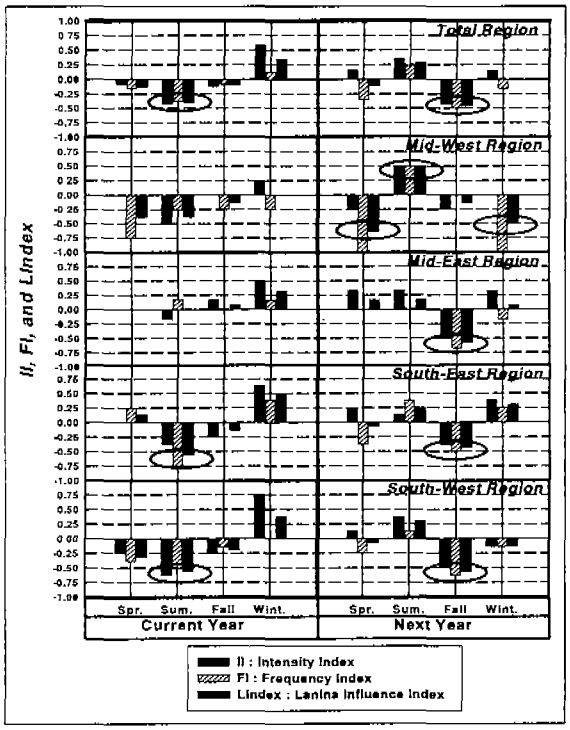

그림 3. 라니냐 당년 및 익년의
계절 강우량에의 영향 분석 결과

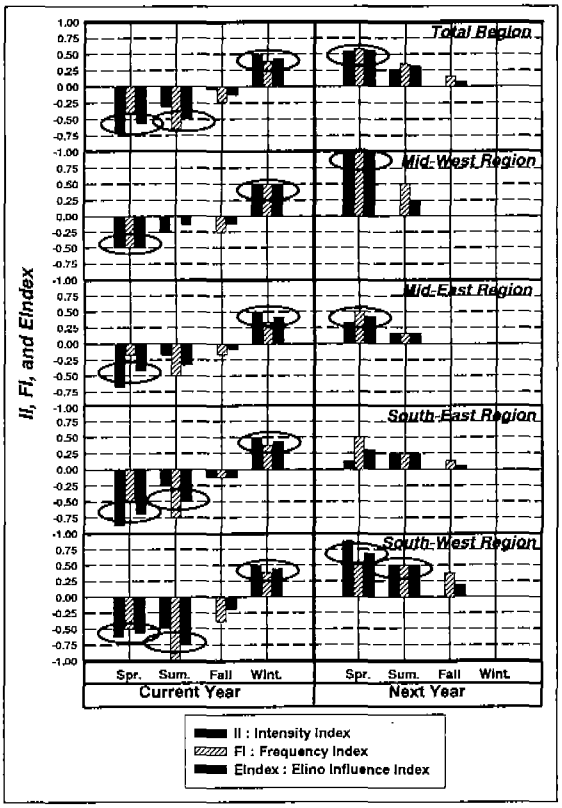

그림 4. 엘리뇨 당년 및 익년의그림
계절 기온에의 영향

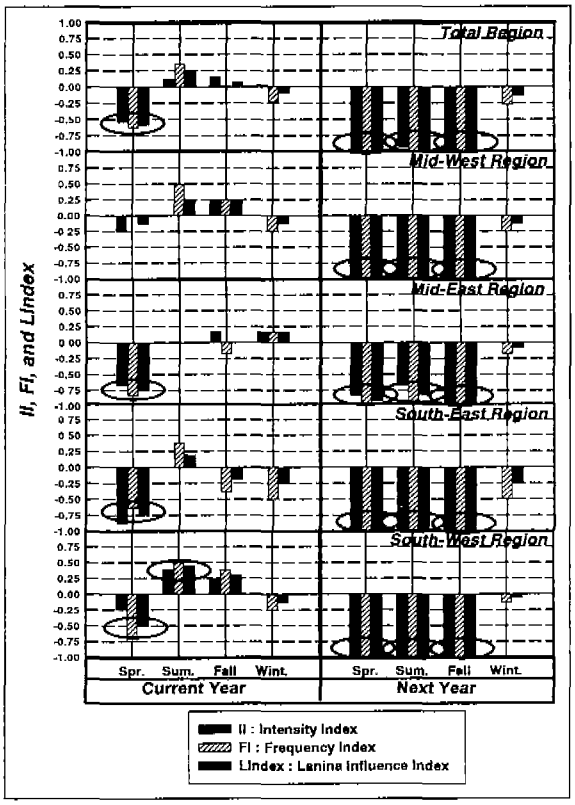

그림 5. 라니냐 당년 및 익년의
계절 기온에의 영향

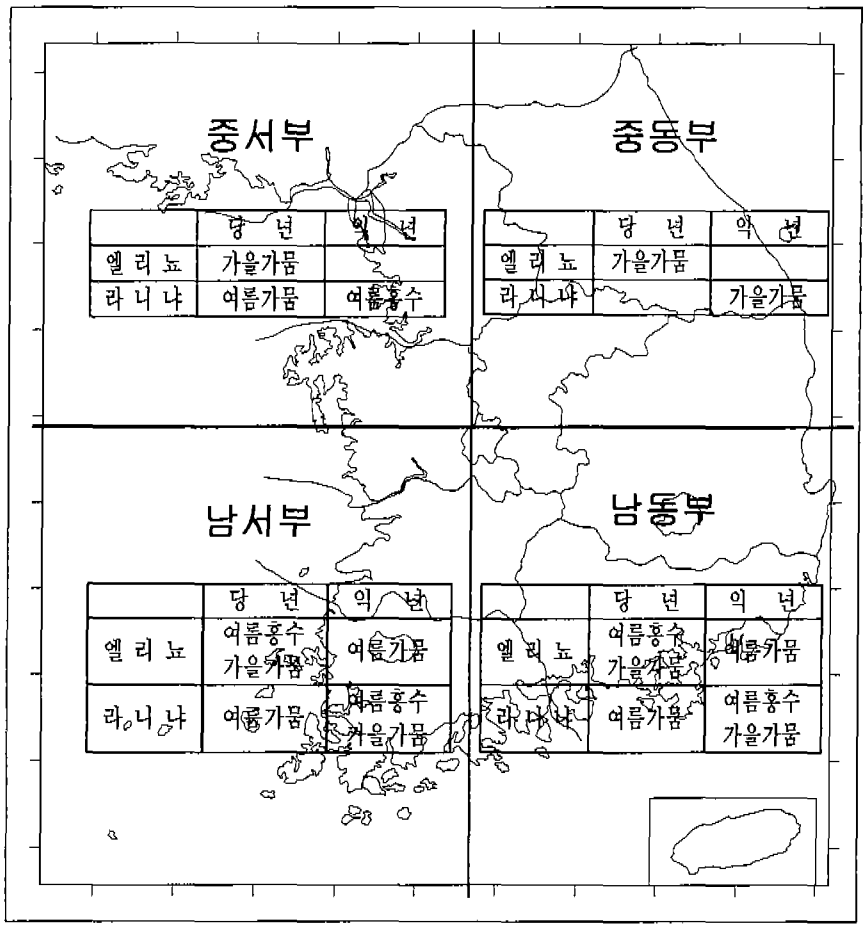

그림 6. 엘리뇨/라니냐의 계절별/지역별 홍수/가뭄에의 영향