학술기사

엘니뇨와 대책상황

문 영 일 (서울시립대학교 토목공학과 조교수)

1. 서론

금세기 최악의 이상기후인 엘니뇨(El Niño: 스페인어로 아기예수, 또는 소문자로 사용하면 사내아이를 의미)현상은 세계 각국의 기상이변과 재해를 유발하여 1998년의 경우 집계된 세계 기상재해의 피해액이 약 $920억에 이르고 있다. 작년의 경우 인도네시아의 연무현상, 양쯔강의 범람, 일본의 홍수와 우리나라에서 발생한 전국적인 호우 또한 엘니뇨로 인한 영향으로 평가되어 우리나라를 포함한 동북아 역시 엘니뇨의 영향권 내에 속해 있음을 알 수 있다. '97/'98년의 엘니뇨에 의한 관측 결과 날짜 변경선부터 페루 연안까지 약 1만 km의 지역이 강한 엘니뇨의 영향권내에 있었으며, 위성촬영의 결과 역시 지구상의 1/3이 그 영향권임을 확인된 바 있다. 현재 엘니뇨의 영향권에 있는 여러나라에서는 정부 주관 또는 주정부 주관의 엘니뇨 감시/예측 기관들이 엘니뇨 사상을 예의 주시하고 있으며, 그 사상에 따른 연구들이 연구소 및 학술단체를 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 우리나라 또한 엘니뇨의 영향을 받는다는 점을 감안한다면 엘니뇨 사상에 대한 연구는 중요하며, 이에 따른 종합적인 대책이 매우 필요한 실정이다. 따라서 본 글에서는 엘니뇨에 대한 정의를 간단히 알아보고, 우리나라와 미국을 중심으로 엘니뇨에 대한 대책상황과 활동에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 엘니뇨 현상

근래 들어 세인들의 관심을 끌기 시작한 엘니뇨 현상은 Cane(1983)에 의하면 남미에서는 이미 1726년부터 관찰되고 기록되어진 현상이다. 엘니뇨는 국지적인 의미로는 동태평양 페루연안의 이상적인 해수면 온도 상승현상을 말하며, 포괄적인 의미로는 열대 태평양 적도 부근에서 남미 해안 중 태평양에 이르는 넓은 범위에서 일어나는 해수면 온도의 지속적인 상승현상을 말한다. 이 현상은 그 주기가 매우 불규칙하나 통상 2-8 년의 주기를 나타내고 있으며, 일반적으로 9월에 발생하여 다음 해의 3월까지 지속되는 특징을 가지고 있다. 현재까지 엘니뇨 현상의 근본적인 원인은 밝혀진 바가 없으나, 많은 과학자들에 의해 인정되는 추정원인은 다음과 같다. 열대 태평양의 해수면온도는 일반적으로 서태평양쪽이 고온이고, 동태평양 남미연안에서는 남쪽으로부터의 페루 한류의 영향으로 저온이다. 또한 남미연안에서는 심해에 있는 찬 해수가 지구자전에 따른 동풍으로 바닷물이 밀려나가면서 바다밑바닥 찬물이 위로 올라오는 용승현상으로 해수면으로 용출함에 따라 동태평양 페루연안에서는 찬 해수가 늘 유지된다. 대기의 순환은 이러한 해수면 온도분포를 유지하는데 중요한 역할을 하며 적도 지역에서 서쪽으로 부는 무역풍은 서태평양의 더운 해수와 동태평양의 찬 해수분포를 유지하는 역할을 한다. 이 때 무역풍은 해수면이 따뜻한 물을 태평양 서쪽으로 운반하기 때문에 따듯한 해수층의 두께는 서쪽에서 두껍고 동쪽에서 얇아지며, 해면수위는 동쪽보다 서쪽이 40cm정도 높아진다(그림 1. 참조). 무역풍이 약해지면 서쪽의 따듯한 해수층은 보통 때보다 얇아지고 동쪽의 따듯한 해수층은 두꺼워진다. 이 때문에 용승효과가 약화되

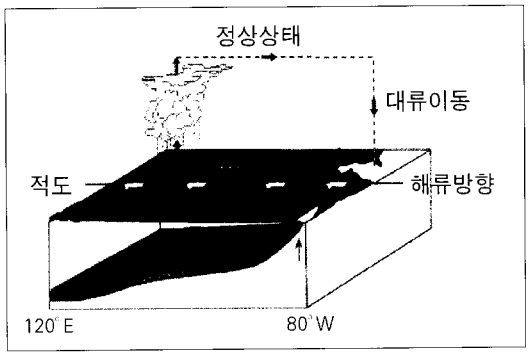

그림 1. 평년일 때의 해류의 이동과 대류현상

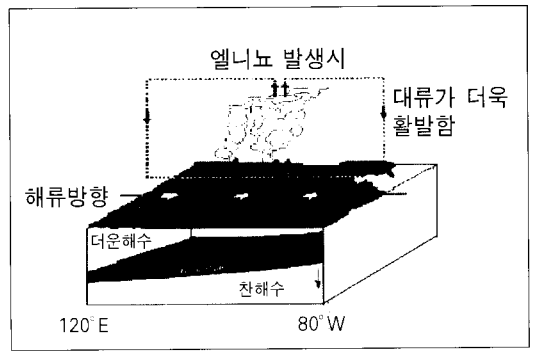

그림 2. 엘니뇨현상 일 때의 해류의 이동과 대류현상

고 더운 해수가 동쪽으로 이동함에 따라 중부와 동부 적도 태평양의 해수면온도는 점차 상승하게 된다(그림 2.).

이와 같은 열대 태평양의 해수면온도는 열대 지역의 강수와 뇌우 활동에 매우 중요한 역할을 한다. 정상상태에서는 일반적으로 인도네시아와 열대 태평양 서쪽 지역에서 강수가 많고, 적도 태평양 동쪽에서는 강수가 적지만, 해수면 온도가 변화함에 따라 기상과 강우 패턴의 변화가 발생되는 것이다. 이러한 적도 무역풍의 약화로 인해 기압 또한 변화를 받게 되는데 이는 즉, 열대 태평양 동부 지역의 기압은 보통보다 낮아지며, 인도네시아와 호주 북부의 기압은 보통 때보다 높아지게 되는 것이다. 엘니뇨의 발달은 이와 같이 적도 무역풍의 약화 때문으로 설명되며, 그밖에 동쪽으로 이동하는 해양파에 의한 에너지 전달 등도 중요한 발생 원인으로 꼽히고 있다. 동부적도 태평양의 해면수온이 높은 상태는 무역풍을 더욱 약화시키는 작용을 하여 같은 상태가 안정적으로 지속된다. 이와 같은 해양과 대기의 상호작용 과정이 1년 이상 지속되는 엘니뇨 현상의 발생과 원인에 대한 그 상세한 원인은 아직도 명확히 밝혀지지 않은 상태이다.

위와 같은 엘니뇨 사상을 관측하는 기준은 대기성분인 SLP(Sea Level Pressure)를 측정하는 방법과 해양성분인 SST(Sea Surface Temperature)를 측정하는 두 방법이 있다. 첫번째 방법인 SLP는 1923년 영국의 기상학자인 워커가 발견하였으며, 그는 인도의 몬순 기후를 연구하던 중 동태평양과 서태평양 사이의 기압의 시소(seesaw)현상을 파악하게 되었다. 즉, 서태평양의 기압이 상승하면 동태평양의 기압은 하강하게 되고, 반대로 동태평양의 기압이 상승하면 서태평양의 기압은 하강하게 되는 SO (Southern Oscillation)현상을 찾아낸 것이다. 이 현상은 워커의 발견이후 수십 년이 지나 Bjerknes (1966)에 의해 남방진동이 엘니뇨와 밀접한 관계가 있음이 처음으로 밝혀졌다. 현재 엘니뇨 현상을 나타내는데 가장 빈번하게 사용되는 남방진동지수 (Southern Oscillation Index)는 이러한 기압의 변화에 근거한 것으로 동태평양의 Tahiti(150° W, 17.5° S)의 SLP와 호주 북부 Darwin(131° W, 12.5° S)의 SLP간의 차이 값이다. Kiladis와 Diaz (1989)는 SOI의 값이 3개월 이상 -1.0 이하일 때를 엘니뇨 현상으로 구분하고 있다. 이러한 SOI 값이 강한 음수의 값을 나타낼수록 엘니뇨가 강하게 나타나며, 강한 양수의 값을 나타낼 때는 엘니뇨의 반대 현상인 라니냐가 강하게 나타나는 연관성이 있다. 두 번째 방법은 해양성분인 SST를 측정하는 방법이다. 현재 해수면 온도를 측정하고 있는 곳은 Niño1+2, Niño3, Niño4, Niño3.5, Ship track1, 그리고 Ship track6의 6개 지역인데 이 지역 중 엘니뇨 현상과 가장 강한 상관성을 보이는 곳은 Niño3.5 지역으로 Trenberth(1997)에 의하면 Niño3.5 지역에서 관측된 SST 값의 5 개월 이동평균이 6 개월 이상 0.4℃를 초과할 때를 엘니뇨 현상으로 구분하고 있다.

3. 엘니뇨 영향에 의한 피해상황

엘니뇨현상이 발생되면 지역적으로 홍수와 가뭄이 세계 곳곳에서 발생되었다. '97/'98년 엘니뇨로 인하여 인도네시아와 아마존강 유역에서는 삼림화재가 원인이 되어 주변국까지 피해를 주었으며, 필리핀에는 강우량 감소로 인하여 농작물 수확에 큰 피해가 있었고, 파나마 운하에서는 수위가 25% 저하됨에 따라 선박 운항에 차질을 빚었다. 엘니뇨가 발생되면 일반적으로 인도네시아, 필리핀, 호주, 브라질, 중앙

표 1. 1998년 지구촌의 기상이변

날짜	지역	내용	피해현황
2.22~23	미국 플로리다주	토네이도	39명 사망, 250명 부상
2.26	페루	홍수	15개주 비상사태
3.5	파키스탄 남서부	홍수	100명 사망,1200명부상
3.9	아프가니스탄	눈사태	70여명 사망
3.21	페루	폭우	200명 사망
3.25	인도네시아 브라질 아마존 유역	산불(연무)	13만 ha(2억 2천만 달러) 61만 ha
3.27	인도 동부지역	사이클론	145명 사망, 5백 여명 실종
4.6	필리핀 남부	가뭄	식량부족 상태
4.6~4.8	이란 9개주	호우	사망 84명, $9,700만불 재산피해
4.11	프랑스	우박, 강풍, 폭설	7명 사망,1만여 가구 단전
4.22~4.29	타지키스탄 남서부	집중호우	사망 및 실종 150명
5.4~5,6	이탈리아 남부	집중호우, 산사태	사망 및 실종 174명, 이재민 2000명
5.31	미국	토네이도	6명 사망,150여명 부상
5.25	터키 북서부	폭우	27명 사망, 이재민 속출
5월-6월	인도	폭염	2300명 사망, 가축들 때죽음
6.15	인도서부 쿠자트라주	태풍	1040명 사망
6.20	모스크바	폭염	75명 사망
6.30	미 중서부, 북동부	폭우 및 낙뢰	17명 사망, 2명 실종
6월~8월	방글라데시	폭우	100여명 사망
7.6	그리스	폭염	200여건의 화재, 7명 사망
7.7	미국 플로리다주	약 두 달간의 산불	300여 가옥 파손, 100여명 화상
6월~8월	파푸아뉴기니	해일	8000여명 사망
6월~8월	동유럽	폭우	400여명 사망, 70여명 실종
6월~8월	인도 북동부	홍수	122명 사망, 이재민 600만명
6.9	인도 서부	강풍과 사이클론	1천여명 사망, 이재민 4만 5천명
6월~8월	키프로스~터키	혹서	100여명 사망
6.27 -8.20	중국	양쯔강유역	3천명 사망, 1억 4천만 이재민, 3백억불 재산피해
7.31 - 8.18	한국	집중호우 이재민 25,000명 1조 3천억원 재산피해	324명 사망
8월	일본	폭우	60여명 사망 및 실종

아메리카 등지에서는 가뭄이 발생되며, 중국의 화남 및 일본 남부 등 아열대 지역과 케냐 등의 동부 아프리카, 적도 태평양 중부, 멕시코 북부와 미국 남부, 페루 및 에콰도르 등의 남미 대륙 중부에서는 홍수가 발생된다. 또한 알래스카 및 캐나다 서부와 미국 남동부에서는 고온과 저온이 각각 발생하는 경향이 있다. 따라서, 엘니뇨현상이 발생하면 태평양 상공에서의 에너지 분포가 바뀌고 대기의 흐름을 변화시켜 페루 등 남미지역과 태평양을 둘러싼 열대, 아열대 지역인 인도네시아, 필리핀, 호주 등지에 기상이변을 일으키는 등 전세계적으로 많은 대기흐름의 변화를 초래한다. 세계 기상기구에 의하면 1997 년은 세계 평균기온이 평년보다 0.44℃ 높아 1950 년이래 기온이 가장 높았던 해로 기록되어 엘니뇨가 기온상승에 영향을 주고 있음을 보여 주었다. 가장 최근에 발생된 '97/98년 엘니뇨 발생에 따라 세계적으로 기상이변에 따른 피해상황을 요약하면 표 1.과 같다.

4. 엘니뇨에 대한 대책

세계적으로 기상이변을 일으키는 엘니뇨현상에 대하여 관측과 분석 및 예측을 통하여 그 피해를 최소화하려는 노력이 각국의 정부 주도하에 실시되었다. 즉, 재해 대책 기구나 엘니뇨 전문 대책기관을 설치하여 엘니뇨 재해에 대한 대비를 함과 동시에 분석을 통한 예측 활동에 주력하는 것이다. 이와 같은 분석을 통하여 닥쳐 올 엘니뇨의 크기와 영향을 미리 예측하여 가뭄과 홍수에 대비하고, 또한 기상특성에 맞는 작물을 재배함으로써 그 피해를 최소화하는 것을 목표로 하고 있다. 닥쳐 올 기상 재해를 피해갈 수는 없겠지만 받게될 피해를 최소한도로 줄여가자는 것이 현재의 당면과제로 선택되었다. 우리나라의 경우에는 1997 년 11 월에 열린 기상청 워크숍에서 '엘니뇨 종합대책 실무위원회'가 결성되어 활동을 시작하였고, 엘니뇨 대책의 선구적 역할을 담당해 온 미국의 경우에는 이미 인공위성까지 확보한 기상망으로 세계 각국과의 정보 교환, 대학 및 연구기관과의 공조 연구체제, 그리고 관측 및 연구단체를 통한 감시체계를 통하여 조직적인 관리단계에 이르렀으며, 이를 통한 예측과 예방활동에 주력을 쏟고 있다.

4.1 우리나라의 대책 상황

1997 년 11 월에 열렸던 기상청 워크숍에서 기상전문가들은 우리나라 역시 엘니뇨의 영향권에서 크게 벗어나지 않아 강우와 기상 패턴에 영향을 받는다는 점을 인식하였고, 이제는 다른 나라에서 일어나는 기상 변화현상으로만 국한되어서는 안될 현상이라는 것에 뜻을 같이 하였다. 이와 같은 인식아래 대책기구 및 정부조직으로 1997 년 11 월에 '엘니뇨 종합대책 실무위원회'를 구성, 활동에 들어갔다. 이 위원회는 내무부 방재국장을 위원장으로 하며 위원에는 재정경제원, 국방부, 농림부, 기상청 등 13 개 중앙부처 및 정부기관 관계자와 학계 전문가 등으로 구성되었다. 구성된 '엘니뇨 종합대책 실무위원회'의 조직상황은 그림 3.과 같다.

4.2 미국의 대책상황

미국의 경우는 국가기후계획법이 1978 년에 제정되어 국가기후프로그램(National Climate Program)이 실행중이며 엘니뇨에 대한 대책기구는 중앙정부와 지방정부 사이에 조직적으로 구성되어 있다. 중앙정부기관으로는 FEMA(Federal Emergency Management Agency), 농업국, 도로국, 도시개발국, 미공병단 등이 있고, 각 지방정부 기관으로는 주정부 산하에 모든 피해에 대비한 기구들

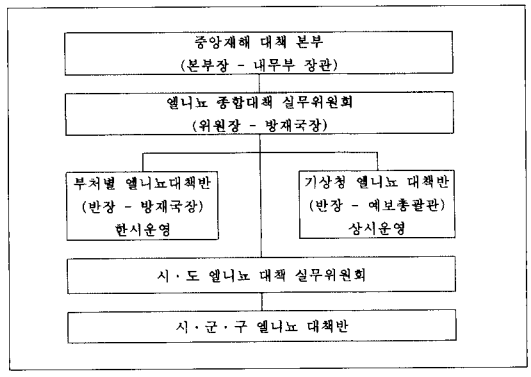

그림 3. 우리나라 엘니뇨 대책기관의 구성

이 갖춰져 있다. 특히 FEMA는 1979 년에 발족 되여 대통령에게 직접 재해 상황을 보고하는 독립적인 대책 및 대처 기관으로 미국 재해 대책기구의 중심역할을 하고 있다. 또한 미국 내에서 발생하는 모든 재해에 대하여 각지방 주정부와 중앙정부를 연결하는 중추적인 역할을 하는 곳이다. 그 기능으로서는 피해예방, 피해 감소 프로그램의 개발, 피해 발생후의 즉각적인 대응, 그리고 복구 후에는 피해상황에 대한 접수부터 피해지방에 대한 재정지원까지 모든 것을 담당한다. 그리고 FEMA의 산하 기관에 El nino Loss Reduction Center를 두어 엘니뇨사상의 발생시 재난 완화 조치와 준비태세에서 피해를 최소화하는 방법 그리고 재난시 행동에 대한 유용한 정보들을 인터넷상으로 제공하고 있다. 특히 동태평양에 연한 캘리포니아 지역에는 많은 기관이 밀집되어 동태평양 연안의 해수면 온도 및 대기압에 대한 관찰 등 엘니뇨에 대한 연구가 면밀히 이루어지고 있다.

우리나라 기상연구소(오재호, 1997)에서 발표된 미국의 국가기후 추진 체계를 살펴보면 그림 4.와 같다.

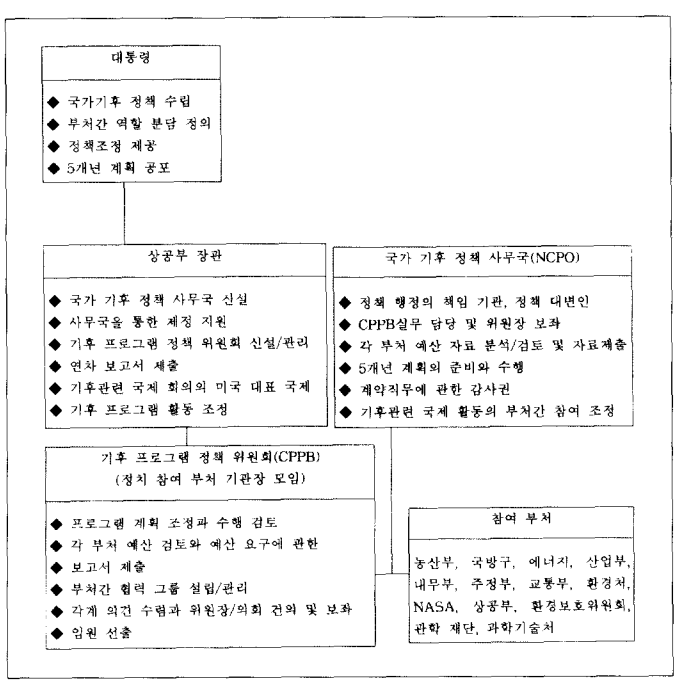

그림 4. 미국의 국가기후 추진체계 구성도

5. 맺음말

이제 엘니뇨는 일부 국지적인 피해를 일으키는 것이 아니라 세계적으로 여러 분야에서 피해를 준다. 그래서 많은 나라에서 지속적인 관측과 분석 및 연구를 통해 피해를 최소로 하기 위한 대책을 강구하고 있다. 따라서 재해대책 기구나 전문적인 엘니뇨 대책기관을 따로 설치하고 있으며, 그와 더불어 엘니뇨에 관한 연구를 함으로써 엘니뇨 현상의 분석과 예측을 하고 있다. 이런 분석과 예측을 통해 대책기관은 피해를 최소화하는 방법을 세우게 된다. 그 예로 엘니뇨가 오는 시기에는 농작물 등을 가뭄이나 홍수의 피해가 덜 받는 것으로 재배한다거나 물관리 종합대책 또는 수자원 계획에 이를 반영하기도 한다. 특히, 미국을 중심으로 여러 연구소(UWRL, NOAA, SIO, LDEO, IRI)에서 여기에 많은 관심을 같고 연구를 하고 있는 중이다. 엘니뇨와 수문변수(강우량, 하천유량 등)와의 관계에 대한 연구중의 하나가 UWRL 및 LDEO에서는 NSF 와 USGS의 지원을 받아 엘니뇨의 통계적인 예측모형LWPR(Locally Weighted Polynomial Regression; Lall et al., 1999)을 개발하여 좋은 결과를 얻은바 있다.

우리나라는 엘니뇨에 대한 피해를 구체적으로 인식하지 못하고 있던 차에 '97/'98년 엘니뇨를 맞아 심각한 인명과 재산피해를 입음에 따라 새로운 계기를 마련하게 되었으나 아직 대책기관의 활동과 정책이 미비한 실정이다. 엘니뇨는 국지적으로 발생하는 사상이 아니므로 이웃하는 나라, 또는 선진 감시체계와 예방을 잘 이루어지고 있는 여러 나라와의 연계를 통한 연구 역시 중요하다는 점을 알아야 할 것이다. 미국은 이미 체계가 구축되어 있고, 각각의 기관에서 맡은 역할이 충실히 분담되고 세분화되어 있으며, 이미 시행착오를 거쳐 수정된 체계적인 엘니뇨 감시/예

방 체제임을 고려할 때, 우리나라의 실정에 맞게 도입, 발전시켜 나가는 방향도 고려해 볼 만하다. 엘니뇨 현상에 대한 지식과 이해의 증가는 물순환의 불규칙성을 예측하는데 상당한 발전을 가져올 것이다. 우리 나라에서도 기후변화에 따른 한반도의 강우량 또는 하천유량과의 관계에 관한 연구가 실행되어서, 미래의 우리 나라 물관리 정책에 반영되어야 하겠다. 또한 조직체계의 정비, 학문적 체제의 구축, 연구기관 및 대책기관의 연계 시스템 마련 등은 엘니뇨로 인한 피해 감소에 큰 역할을 담당할 것이다.

〈참 고 문 헌〉

오재호(1997). 엘니뇨 및 기후변화에 관한 범정부적 대응방안. 한국기상연구소 보고서

Bjerknes, J.(1969). Atmospheric Teleconnections from the Equatorial Pacific, Mon. Weather Rev., 97, 163-172.

Cane, M.A.(1983). Oceanographic events during El nino, Science, 222, 1189-1195.

Kiladis, G. N. and H. F. Diaz(1989). Global Climatic Anomalies Associated with Extremes in the Southern Oscillation, Journal of Climate, 2(9), 1069-1090.

Lall, U., Young-Il Moon, and K. Bosworth(1999). Locally weighted polynomial regression: Parameter choice and application to forecasts of the Great Salt Lake, J. of Hydrologic Engineering, ASCE, in press.

Trenberth, K. E.(1997). The Definition of El niño, Bulletin of the American Meteorological Society, 78(12), 2771-2777.