

저수지 운영에서의 엘니뇨/라니냐 정보의 효용성 고찰

이 현 석*, 김 영 오**

1. 서 론

최근 세계적으로 발생하고 있는 이상기후의 일부 원인으로 엘니뇨/라니냐(El Niño/La Niña)현상이 제기되었다. 이러한 이유로 최근 엘니뇨의 영향에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 동안의 연구결과를 살펴보면 엘니뇨 기간에 호주의 북부, 아프리카의 남동부, 브라질의 북동부, 인도의 일부 지역과 중앙 아메리카 등에서는 가뭄이 발생되고, 페루, 에콰도르, 적도부근의 동태평양 및 중태평양 지역에서는 홍수가 발생하는 것으로 밝혀지고 있다. 또한 엘니뇨는 미국의 동부해안에서 발생하는 태풍의 위치에도 영향을 주고 있다고 알려졌다. (Glantz, 1996).

앞서 언급한 바와 같이 엘니뇨/라니냐는 세계 각 지역의 가뭄 또는 홍수에 영향을 끼치고 있다고 말할 수 있다. 엘니뇨는 그것이 발생한 시점에서 어느 정도의 지체시간을 가지고 수문현상에 영향을 끼치는 것으로 파악되고 있으며, 엘니뇨 자체도 적어도 1년 전에는 예측이 가능하다(Latif et al., 1994). 따라서, 엘니뇨/라니냐에 대한 정보를 적절히 이용한다면 이는 오히려 가뭄과 홍수의 예측에 새로운 실마리를 제공할 수 있는 요소가 될 수 있으며, 효율적 수자원 관리를 위해 정책결정자 및 실무자들이 반드시 인지하고 있어야 할 사항이 될 것이다.

본 연구는 먼저 엘니뇨/라니냐 현상이 한국의 유출량에 미치는 영향을 규명하는 것을 그 첫 번째 목적으로 한다. 이를 위하여 엘니뇨/라니냐 현상을 나타내주는 지표와 충주댐 유입량과의 상관관계를 복합분석을 통하여 밝혀보았다. 다음으로는 엘니뇨/라니냐 정보를 사용한 저수지 운영을 동적계획법(dynamic programming)을 사용하여 개발함으로써 저수지 운영에 있어 엘니뇨/라니냐 정보의 효용성을 밝혀보았다.

엘니뇨란 열대 태평양 적도부근의 남미 페루연안의 해수면 온도가 3~6년을 주기로 지속적으로 상승하는 현상을 말하며, 이와 반대의 현상을 라니냐(La Niña)라고 한다. 남방진동이란 적도부근 남태평양 Tahiti 섬과 오스트레일리아 북부 Darwin 지역에서 발생하는 기압의 시소 현상으로 Tahiti의 기압이 올라가면 Darwin의 기압이 낮아지고, 반대로 Tahiti의 기압이 낮아지면 Darwin의 기압이 올라가는 현상을 말한다. Bjerknes(1966)는 엘

* 서울대학교 지구환경시스템 박사과정

** 서울대학교 지구환경시스템공학부 전임강사

니노와 남방진동의 두 현상을 전세계 규모의 하나의 해양-대기 복합시스템으로 간주할 수 있다고 밝혔다. 따라서 해수면 온도의 관점에서 본 엘니뇨/라니냐 현상과 대기압의 관점에서 본 남방진동을 하나의 통합된 현상으로 생각하여 ENSO(엘니뇨-남방진동, El Niño Southern Oscillation)라고 한다.

유출과 함께 수문현상의 가장 중요한 부분인 강우의 경우 ENSO와의 상관관계에 관한 연구는 이미 상당히 진행되어있다. Ropelewski와 Halpert(1987), Schonher와 Nicolls와 Chu(1995)등에 의해 태평양 주변 여러 지점에서의 강우량과 ENSO와의 상관관계에 대한 연구가 수행되었으며, 국내의 경우 허창희(1988), 김미정(1992), 강인식과 허창희(1992), 최정부(1993), 신현석 등(1999), 이동률(1998) 등에 의해서 ENSO와 우리나라의 기온 및 강수량과의 상관관계가 연구되었다.

유출량과 ENSO와의 관계 분석 연구는 외국의 경우 어느 정도 연구성과가 있었지만, 국내의 경우에는 아직 수행된 연구가 없다. Kahya와 Dracup(1993)은 미국의 5개 지역에서 유출량과 ENSO가 상당한 상관관계를 보임을 밝혔다. Guetter와 Georgakakos(1996)는 미국 Iowa 강에서 SOI와 유출량과의 관계를 조사하였으며, 이외에도 Australia, New Zealand, 미국 서부 등지의 유출량과 ENSO와의 상관관계가 주목할 만함은 밝혀졌다.

2. 상관관계분석

본 연구에서는 먼저 엘니뇨/라니냐 현상이 한국의 유출량에 미치는 영향을 규명하였다. 본 연구에서 사용된 자료는 한강 수계의 충주댐의 1956년부터 1997년까지 총42년간의 월유입량 자료이다. ENSO현상을 나타내는 지표로써 SOI(southern oscillation index)와 SST(sea surface temperature) 등이 많이 사용된다. SOI는 남태평양 타히티(Tahiti)와 오스트레일리아 북부 다윈(Darwin) 지역사이의 해면기압의 차를 월별로 표준화한 값을 주로 사용한다. 엘니뇨/라니냐현상의 발생 연도는 Ropelewski와 Jones(1987), Guetter와 Georgakakos(1996), Trenberth(1997) 등이 여러 가지 방법으로 제시를 하였다. 본 연구에서는 Ropelewski와 Jones(1987)에 의해 제시된 자료를 사용하였다. 각 월의 유입량 자료는 대수정규분포로 가정하였다.

먼저, 유입량 시계열 및 SOI 시계열간의 교차상관계수(cross correlation coefficients)를 계산하였다. 교차상관계수의 분석에서는 SOI와 유입량 사이에 큰 상관관계를 추출해 내지 못하였다. 이러한 결과는 교차상관계수는 두 시계열의 전 범위를 포함한 평균적 상관관계를 나타내기 때문이며, 이에 유입량 시계열에서의 절대적 크기가 아닌 자료의 상대적 위치를 고려할 수 있는 복합분석(composite analysis)을 실시하였다.

복합분석은 유출지표(streamflow index)를 만들어서 엘니뇨/라니냐와 유입량의 상관관계를 보이는 계절을 찾아내는 것이다. 각 월별 유입량 자료는 대수정규분포로 가정할 수 있으며, 실제로 몇 개월의 소수 자료를 제외하고는 대수정규분포를 띄고 있음을 확인하였다. 우선 주어진 유입량 자료를 대수화한 다음 각 달의 평균을 빼고 표준편차로 나누어서

정규화하여 원 자료가 가지는 주기성을 제거시킨다. 이렇게 대수화, 정규화한 자료를 다시 각 월별로 백분위수로 변환한 자료를 유출지표(streamflow index)라 한다. 이 유출지표를 각 엘니뇨(또는 라니냐)발생 해의 1월을 기준으로 이전 12개월, 이후 24개월, 총 36개월의 기간 동안 나열하고 기준이 되는 1월을 제 1년 1월이라 하고 그 이전 년을 제 0년, 그리고 엘니뇨/라니냐가 발생한 해는 제 1년, 그 이후의 해는 제 2년이라고 좌표를 설정한다. 총 36개월간의 자료를 각 월별로 평균을 구하여 복합유출지표(composite stream index)를 구한다. 이렇게 구한 복합유출지표 중 충주댐에 해당하는 것을 도시하면 그림 1과 같다. 복합분석(composite analysis)에 대한 자세한 사항은 Guetter와 Georgakakos(1996), 이동률(1998), 이현석과 김영오(1999)의 연구성과를 참고하기 바란다. 그림 1을 통한 결과를 보면 엘니뇨의 경우 제 1년 9월부터 제 2년 2월까지 평균유출지표가 음인 구간이 지속되었다. 라니냐의 경우 역시 같은 구간에서 복합유출지표가 양의 값으로 지속되는 현상을 발견할 수 있었다. 이는 엘니뇨나 라니냐가 발생한 해의 가을부터 겨울까지 이 지역에서의 유출량이 엘니뇨/라니냐의 영향을 받는다는 것을 알 수 있게 해 준다. 즉 엘니뇨가 발생한 해에는 이 기간의 유출량이 중앙값보다 적으며, 라니냐가 발생한 해에는 중앙값보다 많다는 것을 알 수 있다.

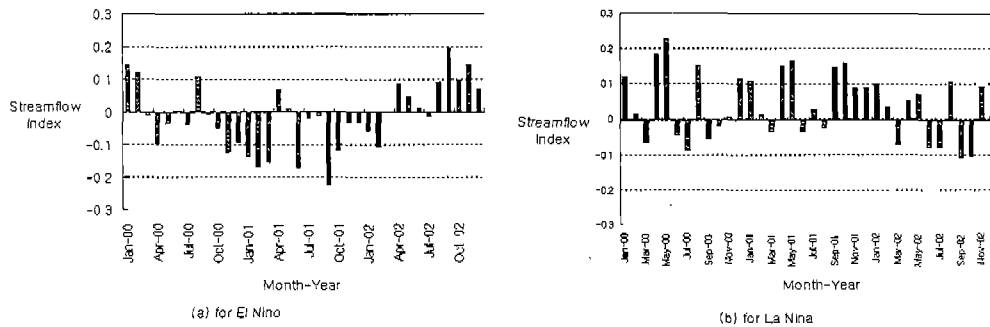


그림 1. 충주댐 유출량에 대한 월별 복합분석

3. 저수지 최적운영을 개발을 통한 엘니뇨/라니냐 정보의 효용성 개발

앞서 언급한 본 연구의 목적인 저수지 운영에 있어서 엘니뇨/라니냐의 정보의 효용성을 검토하기 위하여 위의 결과를 충주댐에서의 저수지 운영을 산정에 적용하였다. 저수지 최적운영의 기법으로는 동적계획법을 사용하였다. 확정론적 동적계획법의 모형에서는 결정된 하나의 유입량 시계열을 필요로 한다. 대개의 경우 이 유입량 시계열에 유입량 예측치를 사용한다. 본 연구에서는 충주댐에서의 . 먼저 전(全)기간을 통해 계산한 평균 유입량 시계열만을 사용한 일반적인 동적계획법을 적용하였다. 다음으로, 앞서의 결과 중 보다 뚜렷한 상관성을 보인 엘니뇨의 경우에만 국한하여, 엘니뇨가 발생한 해의 평균 유입량 시계열과 엘니뇨가 발생하지 않은 해의 평균 유입량 시계열을 사용하여 충주댐 최적운영을 산정하였다. 이와 같이 전기간의 평균 유입량 시계열과 엘니뇨/라니냐를 고려

한 평균 유입량 시계열을 사용하여 산출한 최적운영을 비교, 검토하였다.

그림 2는 9월의 경우 최적 방류량을 각 Case에 대해 비교한 것이다. 전체적으로 엘니뇨가 발생하지 않은 해의 월평균 유입량을 사용하여 구한 최적 방류량(Case D3)이 가장 큰 값을 가지며, 엘니뇨 해의 월평균 유입량을 사용하여 구한 최적 방류량(Case D2)이 가장 적은 값을 가졌다.

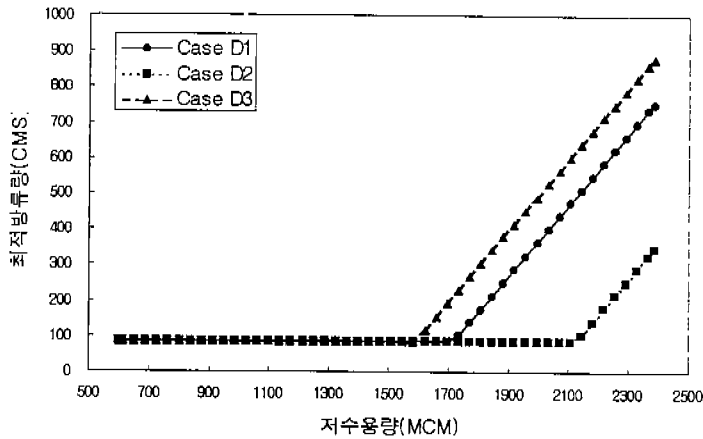


그림 2. 최적방류량 비교(9월의 경우)

앞서 동적계획법으로 산출된 세 가지 경우의 최적 방류량을 이용하여 충주댐에서의 실제 유입량 자료를 기반으로 1956년부터 1997년까지 총 42개년에 대하여 모의운명을 실시하였다. 모의운명은 두 가지 경우에 있어서 수행하였다. 전 기간의 평균 유입량 시계열로부터 얻어지는 최적 방류량만을 이용한 모의운영(Case E1)과 엘니뇨 해에는 엘니뇨 해의 평균 유입량 시계열을 통한 최적운영을 적용하고 엘니뇨가 발생하지 않은 해에는 엘니뇨가 발생하지 않은 해의 평균 유입량 시계열로부터 얻은 최적 방류량을 적용한 모의운영(Case E2)을 실시하였다. 각각의 모의운영 결과에 대하여 발전량, 월류량, 부족량 등을 비교하였다.

모의운영 결과 발전량의 경우 Case E2에서 Case E1보다 총 발전량이 0.36% 감소함을 보였다. 이는 엘니뇨/라니냐 정보를 사용하여 최적 운영을 생성할 경우 예상되어지는 적은 유입량이 고려되기 때문에 최적 방류량이 평년의 경우에서 보다 적기 때문에 나타나는 현상으로 해석된다. 그림 3은 모의운영 결과로 나온 월평균 발전량을 비교한 것이다.

월류량의 경우 발전량과는 반대로 엘니뇨/라니냐 정보를 사용했을 때, 월류량이 감소하는 결과를 얻었다. Case E1과 Case E2의 비교에서 엘니뇨/라니냐 정보를 사용했을 때 월류량이 2.55% 감소하였다. 그러나 앞서 나온 엘니뇨/라니냐의 영향이 그 해 가을과 겨울에 미친다고 하는 결과를 고려해 가을부터 겨울까지의 월류량만을 비교하면 엘니뇨/라니냐 정보를 사용한

모의운영에서 월류량이 11.37% 감소함을 보였다. 아울러, 총 42년 중 월류한 횟수에 있어서도, Case E1은 89회, Case E2가 84회로 엘니뇨/라니냐 정보를 사용하였을 경우 월류 횟수가 줄어들었다. 그림 4는 각 월별 총 월류량을 도시한 것이다.

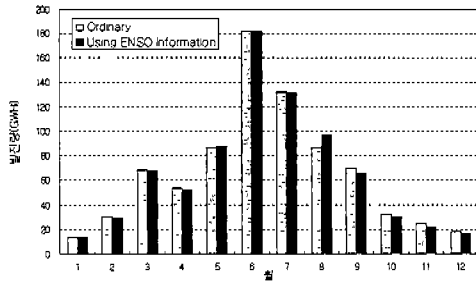


그림 3. 월평균 발전량의 비교

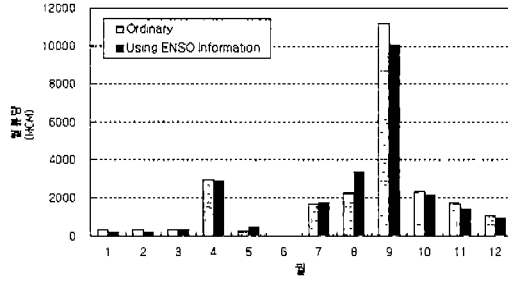


그림 4. 월별 총 월류량의 비교

4. 결론 및 토의

앞서 살펴본 바에 의하면, 한국의 유출량은 충주댐의 경우 엘니뇨/라니냐 현상과 어느 정도 상관관계를 가진다고 말할 수 있다. 이는 한국의 수문현상에 대한 엘니뇨/라니냐의 영향을 보다 면밀히 연구할 필요성을 제기하여 주며, 엘니뇨/라니냐의 영향에 대한 정량적인 연구가 수행된다면 앞으로의 수자원관리에 보다 많은 정보를 제공해 줄 수 있음을 시사한다.

엘니뇨의 영향은 그 발생한 해의 가을과 겨울에 국한되어 있지만, 본 연구에서는 엘니뇨가 발생한 해에 관해서 1년 전체에 걸쳐 엘니뇨의 영향이 존재한다고 설정하고 동적계획법 및 모의운영을 수행하였다. 확정론적 동적계획법에서는 엘니뇨가 영향을 미치는 가을과 겨울만을 따로 고려하여 최적 운영의 산정 및 이를 이용한 모의운영을 하기는 어려우며, 이 문제를 해결하기 위해서는 추계학적 동적계획법 등을 사용하는 추후 연구가 필요하다 하겠다.

5. 참고문헌

- 강인식, 허창희 (1992). "한반도 여름철 강수량의 장기예측." 한국기상학회지, Vol. 28, No. 3, pp. 283-292.
- 김미정 (1992). 엘니뇨 현상과 한국의 강수량. 석사학위논문, 건국대학교.
- 신현석, 안재현, 윤용남 (1999). "엘리뇨와 우리 나라 강수량의 시·공간적 상관관계 분석", 대한토목학회논문집, Vol. 19, no. II-1, pp. 1-12.
- 이동률 (1998). "엘니뇨 및 라니냐와 한국의 기온 및 강수량 관계", 한국수자원학회논문집, vol. 31, no. 6, pp. 807-819.

- 이현석, 김영오 (1999). "엘니뇨-남방진동(ENSO)과 한국의 유출량의 관계분석", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 343-346.
- 최정부 (1993). 통계적 방법을 이용한 장기에보 기법 개발 연구(1). 연구보고서, 기상연구소.
- 허창희 (1988). 한국지역 강수의 변동성에 관한 연구. 석사학위논문, 서울대학교.
- Bjerknes, J. (1966). "Survey of El Niño 1957-58 in its relation to tropical Pacific meteorology." *Bull. Int. American Tropical Tuna Commission*, Vol. 12, pp. 3-62.
- Chu, P.S. (1995). "Hawaii rainfall anomalies and El Niño." *Journal of Climate*, Vol. 8, No. 6, pp.1697-1703.
- Glantz, M.H. (1996). *Currents of Change: El Niño's impact on climate and society*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Guetter A.K. and Georgakakos, K.P. (1996). "Are the El Nino and La Nina Predictors of the Iowa River Seasonal Flow?", *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 35, No. 5, pp. 690-705.
- Kahya, E. and Dracup, J.A. (1993). "U.S. Streamflow Patterns in Relation to the El-Nino/Southern Oscillation", *Water Resources Research*, vol. 29, no. 8, pp. 2491-2503.
- Latif, M., Barnett, T.P., Cane, M.A., Flugel, M., Graham, N.E., H von Storch, Xu, J.S., and Zebiak, S.E. (1994). "A Review of ENSO prediction studies", *Climate Dynamics*, Vol. 9, pp. 167-179.
- Nicholls, N. and Wong, K.K. (1990). "Dependence of rainfall variability on mean rainfall, latitude and southern Oscillation." *Journal of Climate*, Vol. 3, No. 5, pp. 163-170.
- Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S. (1987). "The Relationship between California rainfall and ENSO event." *Journal of Climate*, Vol. 2, pp. 1258-1269.
- Ropelewski, C. F., and Jones, P. D. (1987), "An extension of the Tahiti-Darwin Sourthern Oscillation Index", *Mon. Wea. Rev.*, vol. 113, pp. 1101-1106.
- Schonher, T. and Nicholson, S.E. (1989). "The Relationship between California rainfall and ENSO event." *Journal of Climate*, Vol. 2, pp. 1258-1269.
- Trenberth, K.E. (1997). "The Definition of El Nino", *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78, no. 12, pp. 2771-2777.