

# 한강-낙동강 물이동 분석

이재용

## 1. 서론

국민 생활수준의 향상으로 용수수요는 지속적으로 증가할 것으로 전망되나 용수공급은 이에 미치지 못하고 있는 실정이어서 한강, 낙동강 유역 모두 2000년대 초부터 물부족이 예상되고 있다. 특히 낙동강 유역은 94년, 95년 가뭄으로 심각한 물부족을 경험하였고, 용수 개발 가능량이 타 유역에 비하여 비교적 작기 때문에 새로운 해결방안을 적극적으로 모색하기에 이르렀다. 그 방안중의 대표적인 것이 한강과 낙동강의 수계간 연계를 통하여 한강의 수량을 낙동강으로 도수하자는 방안이다. 그러나 수도권의 용수공급을 담당하고 있는 한강의 중요성을 감안할 때, 이 방안은 국토의 균형발전 및 종합적인 수자원 개발이라는 측면에서 기술적, 경제적, 사회적, 환경적 타당성에 대하여 다각적인 검토가 필요하고 물이동 이외의 대안에 대한 비교도 필요하다. 본 연구에서는 한강-낙동강 물이동 타당성 검토를 위하여 낙동강 유역의 용수부족량과 한강 유역의 용수공급 가능량을 검토하였고, 물이동 이외의 대안을 찾기 위하여 낙동강 유역 상류에 수자원장기 종합계획내의 계획댐 중 일부를 조기착공하여 동일한 수량을 공급하는 안을 경제적 측면에서 비교·검토하였다.

## 2. 유역간 물이동

유역간 물이동(interbasin water transfer)이란 한 유역에서 발생하는 용수수급 불균형, 하천의 수질악화 등을 해소하기 위한 하나의 방법으로서 양 유역을 연결하여 수량측면에서 여유가 있는 유역에서 부족한 유역으로 도수로 또는 관수로를 통하여 여유수량을 도수하는 것이다. 유역간 물이동은 국내·외적으로 자체 수계내 수원이 부족하거나 아예 존재하지 않아 다른 대안이 없는 경우에 이루어지는 것이 대부분으로 국내에서는 광역상수도를 이용한 생·공용수의 공급, 섬진강(주암댐)-영산강 연결, 낙동강(영천댐)-형산강 연결로 인한 물이동 예가 있으며, 국외에서는 중국의 북부지역, 미국의 서부지역, 리비아의

대수로를 통한 물이동 등 수자원 확보 대안이 없는 지역에서 주로 이루어지고 있다.

본 연구에서 한강과 낙동강의 물이동 분석을 위한 기본 전제조건은 다음과 같다.

첫째, 신규 수자원 개발없이 2000년대 초부터 당장 용수부족이 발생할 것으로 예측되므로 한강과 낙동강 유역 모두 계획대로 신규 수자원 개발계획이 이루어진다는 가정하에서 용수공급능력을 평가하였다. 한강과 낙동강 유역에서의 장래 용수수요와 신규 수자원 개발계획은 수자원 장기종합계획상의 계획을 수용하였다.

둘째, 한강과 낙동강의 물이동 타당성 검토를 위하여 낙동강 유역의 용수부족량과 한강 유역의 용수공급 가능량을 검토하였다. 이를 위하여 각 유역내 중·소규모 댐에 대하여 모의·운영하고 다목적 댐에 대해서는 최적화 모형을 사용하여 분석하였다. 30년간의 월간 자료를 사용하여 각 유역내의 용수수요를 95% 만족시키도록 운영하였다. 특히, 한강 유역에서는 용수공급 능력이 큰 화천댐과 2000년대 초 완공예정인 북한의 금강산 댐에 의한 영향을 고려하였다.

셋째, 한강과 낙동강의 물이동 이외의 대안을 찾기 위하여 낙동강 유역 상류에 수자원 장기종합계획내의 계획댐 중 일부댐을 조기착공하여 동일한 양을 공급하는 안을 경제적인 측면에서 비교·검토하였다. 이것은 원래 제안되었던 한강-낙동강 물이동 안이 낙동강의 신규 수자원 개발계획과는 별도로 제안된 안이라 경제적 측면에서 두 안을 비교한 것이다.

### 3. 용수수급 전망 및 대책

'93년 현재 한강 유역에는 약 10억톤의 용수공급 여유가 있으나 용수수요는 지속적으로 증가하여 '93년 현재 약 107억톤에서 2001년에는 123억톤, 2011년에는 132억톤에 이를 것으로 전망된다. 더구나 영종도, 평택, 송탄 등 신도시 개발계획과 시화 II단계, 아산공단, 중원화학 등 공업단지 개발계획 등으로 인해 2000년대 초부터는 표 1과 같이 물부족이 발생할 것으로 예상된다. 이를 위해 한강유역에 2011년까지 신규댐 건설을 통하여 연간 30억 $m^3$ 의 추가 용수공급을 계획하고 있다.

낙동강 유역은 '93년 현재 약 6억 $m^3$ 의 용수공급 여유가 있으나 용수수요가 지속적으로 증가하여 '93년 현재 약 84억 $m^3$ 에서 2011년에는 106억 $m^3$ , 2021년에는 108억 $m^3$ 에 이를 것으로 전망된다. 낙동강 유역에도 2000년대 초부터 표 2와 같은 물부족이 발생할 것으로 전망되어 2011년까지 신규댐 건설을 통하여 연간 14억 $m^3$ 의 추가 용수공급을 계획하고 있다.

### 4. 한강-낙동강의 용수공급능력 평가

#### 4.1 낙동강의 용수부족량 검토

낙동강 유역에는 현재 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐 등 4개의 다목적댐이 건설되어

표 1. 한강 유역의 용수수급 전망

구 분	1993	2001	2011	2021
총 용 수 수 요	10,749	12,266	13,177	13,333
- 생 공 용 수	4,559	5,636	6,300	6,560
- 농 업 용 수	2,863	2,798	2,698	2,594
- 하천 유지수	3,327	3,832	4,179	4,179
공 급 가 능 량	11,798	12,009	12,057	12,046
- 하 천 수	5,754	5,556	5,480	5,374
- 지 하 수	1,039	1,336	1,460	1,555
- 댐 공 급 량	5,005	5,117	5,117	5,117
· 기 존 댐	5,005	5,005	5,005	5,005
· 건 설 중	-	112	112	112
과 △ 부 족	1,049	△257	△1,120	△1,287

자료 : 수자원장기종합계획, 1996, 건설교통부

표 2. 낙동강 유역의 용수수급 전망

구 분	1993	2001	2011	2021
총 용 수 수 요	8,369	9,496	10,562	10,825
- 생 공 용 수	2,357	3,281	3,736	3,999
- 농 업 용 수	4,479	4,493	4,505	4,505
- 하천 유지수	1,533	1,722	2,321	2,321
공 급 가 능 량	9,004	9,500	9,535	9,554
- 하 천 수	5,159	4,940	4,921	4,915
- 지 하 수	512	652	706	731
- 댐 공 급 량	3,333	3,908	3,908	3,908
· 기 존 댐	3,333	3,333	3,333	3,333
· 건 설 중	-	575	575	575
과 △ 부 족	635	4	△1,027	△1,271

자료 : 수자원장기종합계획, 1996, 건설교통부

운영되고 있는데 이 중 안동 및 임하댐은 낙동강 본류의 최상류부에 위치하여 상·중류의 용수원 역할을 담당하고 있다. 합천 및 남강댐은 지리적 여건상 하류부의 용수공급에 기여하고 있으며, 이 중 남강댐은 치수효과를 증대시키기 위하여 보강중에 있다. 그밖에 용수전용댐이라고 할 수 있는 영천댐과 운문댐이 있으며, 밀양댐이 건설중에 있고 장래 수자원 개발계획에 의하여 2011년까지 약 14억㎡의 용수개발계획이 제시되고 있다.

낙동강 유역의 용수부족량 검토를 위하여 비교적 저수용량이 적어 유역에 미치는 영향이 크지 않은 중·소규모댐에 대하여는 모의기법을 이용 각 소유역의 유량으로 처리하고 최종적으로 4개 다목적댐을 대상으로 최적화 모형을 구성하여 전 유역을 대상으로 용수수요-공급관계를 분석하였다. 낙동강 유역을 24개 소유역으로 구분하였으며, 각 소유역은 자체유역의 유량과 용수수요를 각각 가지고 있다. 유역 외로의 도수량이 존재할 경우

에는 각 댐에서 도수되는 양과 본류구간에서 취수되는 양으로 구분하여 해당 소유역의 수요에 배분하여 고려하였다. 모의기법으로는 HEC-5를 사용하였고, 최적화 기법은 4개 다목적댐을 하나의 시스템으로 구성하여 동적계획법(dynamic programming)을 사용, 용수부족을 최소화하는 목적으로 적용하였다. 입력자료로는 30년간('64~'93) 각 저수지의 월간 유입량 자료를 사용하였다. 동적계획법 문제의 목적함수와 제약조건은 다음과 같은 형태를 가지고 있다.

$$F = \min \sum_{t=1}^T \sum_{w=1}^W (S_{wt})^2 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t.} \quad & S_{wt} = T_{wt} - U_t \\ & S_{wt} = 0.0 \quad \text{if } S_{wt} \leq 0.0 \\ & X_{t+1} = X_t + I_t - U_t - D_t \quad \text{for } t = 1, \dots, T \\ & X_{t, \min} \leq X_t \leq X_{t, \max} \quad \text{for } t = 1, \dots, T+1 \\ & U_{t, \min} \leq U_t \leq U_{t, \max} \quad \text{for } t = 1, \dots, T \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 F는 용수공급 부족의 최소화를 위한 목적함수,  $S_{wt}$ 는 소유역 w에서 기간 t일 때의 용수공급 부족량,  $T_{wt}$ 는 소유역 w에서 기간 t일 때의 용수수요량,  $U_t$ 는 기간 t일 때의 저수지로부터의 방류량,  $X_t$ 는 기간 t일 때의 저수지의 말기 저류량,  $D_t$ 는 기간 t일 때의 저수지로부터의 직접 도수량이다. 평가기준은 각 목표년도의 수요량을 기준으로 용수예비율을 전혀 고려하지 않는 경우와 5, 10, 15%를 고려하는 방법에 대하여 각각 검토하였다.

검토결과, 목표년도 2011년에는 5%의 용수예비율에서 용수부족이 발생하지 않았으나, 10% 및 15%의 용수예비율을 고려할 경우 30년중 4개년에서 용수부족이 발생하였는데 최대 부족량은 각각 58MCM 및 175MCM으로 분석되었다. 2021년에서도 역시 용수예비율 10% 및 15%에서 부족량이 발생하고 있는데 이 때는 30년중 2개년에 걸쳐 발생하고 그 양도 10MCM 및 94MCM으로 분석되었다. 2021년이 2011년에 비하여 용수부족량이 적게 나타난 이유는 2011년까지 신규댐 건설을 통하여 발생하는 연간 14억 $m^3$ 의 추가 용수공급량을 고려하였기 때문이다. 따라서 낙동강 유역에서는 신규댐이 계획대로 건설될 경우 2021년까지 10% 가까운 용수예비율 확보가 가능할 것으로 보인다.

## 4.2 한강의 용수공급 가능량 검토

한강 유역의 용수공급 가능량도 동일한 방법을 사용하여 검토하였다. 먼저 한강 유역의 용수공급 가능량을 보다 정확하게 파악하기 위하여 한강 유역을 15개 소유역으로 구분하였다. 한강 유역에는 용수공급능력이 큰 소양강댐, 충주댐, 화천댐의 3개 저수지가 있고 남한강 유역에 영월댐이 건설중에 있으며, 이밖에도 한전에서 수력발전용으로 운영하고 있는 댐이 북한강 본류에 4개 있다. 적은 규모의 다목적댐인 횡성댐이 원주 및 횡성

일원에 용수공급을 위하여 건설되고 있고 수도권 및 장래 용수수요 증가에 대비하여 2011년까지 신규댐 개발을 통하여 약 30억 $m^3$ 의 추가 용수공급을 계획하고 있다. 또한 한강 유역의 수자원 공급에 큰 영향을 미칠 북한의 금강산댐(유역면적 2,394 $km^2$ )에 의한 영향을 고려해야 할 것이다. 평화의 댐(유역면적 3,227 $km^2$ ) 건설사업(1단계) 기본설계 보고서에 따르면 화천댐(유역면적 4,092 $km^2$ )의 년평균 유입량 약 32억 $m^3$ 에 유역면적비를 적용하여 계산한 결과, 금강산댐 건설로 인한 유입량의 감소량은 홍수기를 포함하여 약 18.6억 $m^3$ 인 것으로 전망되었다. 낙동강 유역에서의 검토방법과 마찬가지로 용수공급 능력이 크지 않은 중·소규모 댐에 대해서는 모의기법을 이용하였고, 소양강댐, 충주댐, 화천댐에 대해서는 유역의 용수수요를 만족시키는 목적으로 최적화 모형을 구성하였다. 모형의 형태는 식 (1), (2)와 동일하다.

검토결과, 한강 유역에서 2011년의 경우 15%의 용수예비율을 만족시키고, 2021년의 경우 10%의 예비율에서 용수부족이 생기지 않으나 15%의 용수예비율에서 4개년에 걸쳐 최대 약 8MCM의 물부족이 발생하였다.

## 5. 대안 검토

낙동강 본류에 대한 수원확보 방안으로는 한강-낙동강 물이동 이외에 신규 수자원 개발을 생각할 수 있으므로 현재 일부 기관에서 제기하고 있는 320백만 $m^3$ 을 물이동을 통하여 상시 공급한다는 방안과 동일한 양을 신규수자원 개발계획을 통하여 공급하는 방안을 경제적 측면에서 비교하였다.

한강-낙동강 물이동 방안과 낙동강 상류의 3개 신규댐 개발방안에 대한 경제성 비교는 수원확보 이외의 홍수조절편익, 발전편익, 기타편익의 차이는 미미하다고 가정하고 생·공용수 공급편익 및 관개편익은 동일하다는 가정하에 초기투자 사업비로 비교·검토하였다.

검토 결과, 한강-낙동강 물이동 방안보다 낙동강 유역의 신규수자원 개발방안이 다소 유리한 것으로 나타났다. 검토결과는 표 3에 정리하였다.

## 6. 결론

우리나라는 수자원의 부족과 개발 가능지역이 편재되어 있고 수요지가 일부 지역에 집중되어 있기 때문에 총량적으로는 수자원의 여유가 있으나 수자원 개발여지가 없는 지역에서는 물부족이 발생되고 있다. 본 연구에서는 낙동강 유역의 물부족을 해소하기 위한 방법으로 한강 유역으로부터의 물이동을 통한 용수공급 가능성을 검토하였다.

검토결과, 신규댐들을 계획대로 건설한다면 낙동강 유역의 경우 2011년, 2021년 약 10%의 용수 예비율을 확보할 수 있고, 한강 유역의 경우 2011년 15%, 2021년 10%의 예비율을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 낙동강 유역의 경우 수자원 개발 잠재력이 아직 많이 남아 있으므로 유역내 자체 수자원 개발 등 자구책을 우선 강구해야 할 것이

표 3. 대안 비교

구분	1안 (신규댐 개발 방안)	2안 (한강-낙동강 물이동 방안)
용수공급조건	상시 공급	상시 도수
용수공급량	320백만m <sup>3</sup>	320백만m <sup>3</sup>
시설계획	3개댐 개발 (총저수용량 : 393백만m <sup>3</sup> )	터널길이 : 31km(D=6m) 조절지댐 : 3개소 (총저수용량 : 125백만m <sup>3</sup> ) 취수탑 및 출구시설 1식
수몰면적	17.8km <sup>2</sup>	7.4km <sup>2</sup>
저수용량	315백만m <sup>3</sup>	125백만m <sup>3</sup>
사업비	1조 1,200억원	1조 2,500억원

다. 계획대로 신규 수자원 개발이 이루어지지 않을 경우 낙동강 유역은 2006년부터 물부족이 발생할 것으로 예상되나 한강 유역은 그보다 일찍 2001년부터 물부족이 발생할 것으로 전망되어, 한강 유역의 수자원 확보가 더 시급한 실정에서 낙동강 유역으로의 도수는 어려울 것으로 판단된다. 또한 경제적 측면에서 동일한 양을 공급하기 위한 물이동안과 자체 유역내 신규 수자원 개발안을 비교한 결과도 신규 수자원 개발안이 유리할 것으로 예상된다. 결론적으로 유역간 물이동이 지역적 특성에 따라 적합한 경우도 있으나, 현재로서는 사회·경제·기술적 측면에서 유리한 낙동강 유역내 자체 수자원 시설의 효율적 운영 및 수요관리와 부족분에 대한 신규 수자원 개발을 통하여 용수문제를 해결하고, 장래 용수원 확보가 한계에 이르고 유역 개발이 충분히 이루어진 후에도 유역간 물이동을 검토하는 것이 바람직하다고 판단된다.

## 7. 참고 문헌

1. 건설교통부, 수자원장기종합계획, 1996