

# 쉽게(?) 계산해 보는 화천댐 유입량의 변동성

Water  
for future  
학술/기술 기사  
01



**김상욱**  
강원대학교  
건축토목환경공학부 교수  
sukim70@kangwon.ac.kr

## 1. 들어가며

물순환에 영향을 미치는 원인과 결과를 분석하는 기존의 연구들은 대부분 강우-유출모형을 사용하고 있어 모형의 구축 및 매개변수의 보정과 검증에 많은 노력이 필요하다. 본 기사에서는 수문기상자료만을 이용하여 유량의 변동성분을 정량화할 수 있는 수문학적 민감도 분석 기법을 화천댐 상류유역에 적용하고 화천댐 유입량에 대한 1967년~2017년 동안의 변동량을 자연적 요인과 인위적 요인으로 분리하여 제시하였다. 다만, 본 기사는 2018년 한국수자원학회 논문집에 게재된 ‘경향성 분석과 수문학적 민감도 기법을 이용한 화천댐 유입량의 연별 변동량 규명(김상욱과 이철웅, 2018)’을 간략히 요약하여 제시한 것으로 추가적인 분석을 별도로 수행하지 않았다.

## 2. 대상유역의 선정

수문학적 민감도 분석이라는 기법을 활용하여 유량의 변동량을 자연적 요인과 인위적 요인으로 정량화하기 위한 대상유역은 화천댐 상류유역(그림 1)이다. 화천댐 상류유역은 3개의 중권역인 금강산댐 중

권역(1008, 2384.68 km<sup>2</sup>), 평화의댐 중권역(1009, 940.45 km<sup>2</sup>) 및 춘천댐 일부 중권역(1010, 759.79 km<sup>2</sup>)으로 구성되며 전체 유역면적은 4084.92 km<sup>2</sup>이다. 화천댐 상류유역 북한지역에는 임남댐이 1997년 착공되어 2000년부터 본격적으로 담수를 시작하였으며, 임남댐 직하류에는 평화의 댐이 1987년 건설된 바 있다. 임남댐은 높이 121.5 m, 폭 710 m으로, 약 26억 m<sup>3</sup>의 저수용량을 가지고 있는 것으로 추정되고 있다. 북한은 임남댐을 건설하여 일정 수량을 동해안 안변천으로 도수함으로써 수력발전을 시행하고 있으나, 정확한 도수 수량을 통보하지 않고 있다. 2002년 1월 북한은 사전 방류통보 없이 3억 5천만 m<sup>3</sup>를 방류한 바 있으며, 같은 해 6월에는 사전 방류통보를 남한에 공지하고 3억 3천만 m<sup>3</sup>를 방류한 바 있다. 이후 2004년과 2013년에도 적은 방류량이긴 하지만 간헐적

인 방류가 시행되고 있는 상황이다. 한편, 임남댐의 하류에 위치하고 있는 평화의 댐은 2005년 완공된 2단계 증축공사를 통해 높이 125 m, 폭 601 m로 26억 3천만 m<sup>3</sup>의 저수용량을 가지고 있으나, 평상시에는 담수를 하지 않고 유입량 전체를 하류로 방류하고 있어 화천댐 유입량에 미치는 조절효과는 미미하다.

대상 유역(춘천댐 중권역의 경우는 유역전체를 대상)에 대한 인구변화를 살펴보면 1985년 71,722명이었으나 2005년까지 45,855명으로 감소되었으며, 2014년을 기준으로 53,935명이 거주하고 있는 것으로 나타났다. 또한 화천군의 주거지역 변동은 1985년 10.89 km<sup>2</sup>였으며 2014년 기준으로 13.00 km<sup>2</sup>로 미미한 증가가 있었던 것으로 나타났다. 특히 이 지역은 군사분계선과 인접된 지역으로 특정 개발사업의 진행이 어려워 물순환에 영향을 미칠

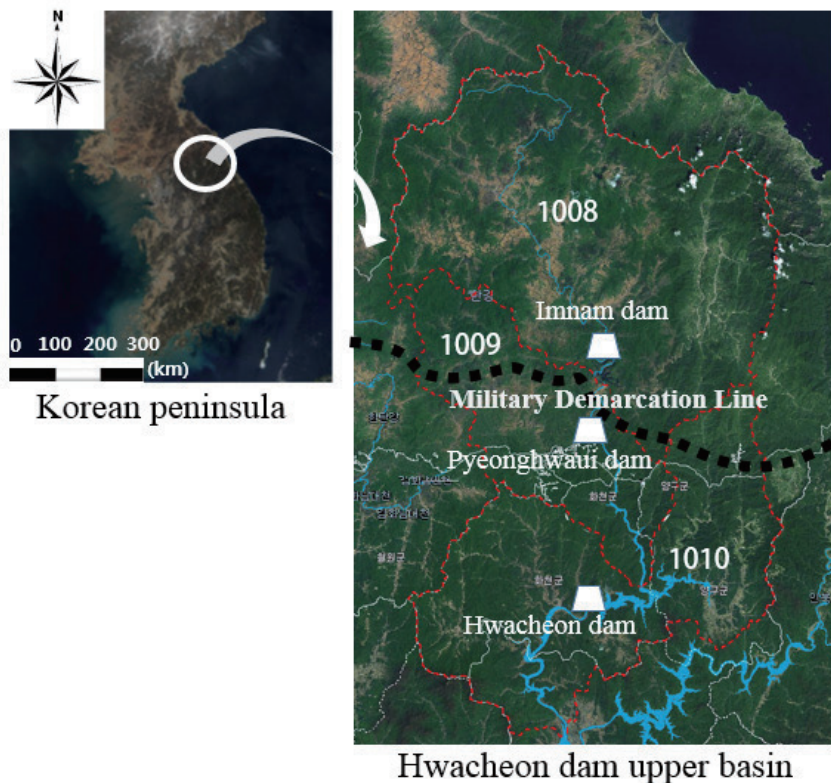


그림 1. 화천댐 상류유역의 구성

수 있는 불투수지역의 증가는 무시될 수 있어 유량변동의 원인을 댐의 조절로 인한 인위적 요인과 자연적 요인으로 구분이 가능함을 알 수 있다.

### 3. 자료의 선정

본 연구의 대상유역 내 북한 측 강우자료는 수집이 불가능하므로 화천댐 인근에 위치한 화천군청(환경부)와 다목초교(환경부)에서 측정된 1967년~2017년(51개년)동안의 연평균강우자료를 활용하였으며, 화천군청 강우관측소에서 결측된 강우자료는 다목초교 강우관측소 자료로 보완하였다. 또한 화천댐 연평균유입량은 강우자료와 동일한 기간에 대해 수집하고 강우자료와 일치된 단위를 사용하기 위하여 화천댐 상류유역 면적(4084.92 km<sup>2</sup>)으로 나누어 연평균유입고(annual average inflow depth, mm)로 환산하여 사용하였다.

[그림 2]는 수집된 51개년에 대한 연평균강우량과 연평균유입고를 도시한 그래프이며, 두 자료에 대한 개략적인 자료의 변동을 알아보기 위하여 10년-이동평균을 산정하여 함께 도시하였다. 연평균

강우자료의 경우 1997년까지는 점진적 감소가 진행되었으나, 가뭄이 극심했던 2014년~2016년을 제외하면 1998년이후 증가 추세가 뚜렷하게 나타난 것으로 판단된다. 연평균유입고는 1998년 이후 강우의 증가에도 불구하고 지속적으로 감소되고 있는 것으로 판단되어 1997년부터 시작된 임남댐 건설에 의한 영향이 연평균유입고에 큰 영향을 준 것으로 추정할 수 있었다. 한편, 연평균강우량에 대한 10년-이동평균 결과는 1998년 정도에서 급진적 변동이 발생된 것으로 추정될 수 있으나, 연평균유입고의 10년-이동평균 결과만으로는 뚜렷한 급진적 변동의 여부를 알기 어려웠다. 다만, 연평균유입고에 대한 개개의 자료 변동을 정성적으로 살펴보면 2000년 정도를 중심으로 급격한 감소가 발생된 것을 알 수 있었다.

### 4. 통계적 동질성 및 급진적 경향성의 분석

임남댐의 본격적인 담수가 시작된 2000년을 중심으로 건설 전후의 연평균강수량과 연평균유입고에 대한 모집단의 특성이 동일한지의 여부를 보

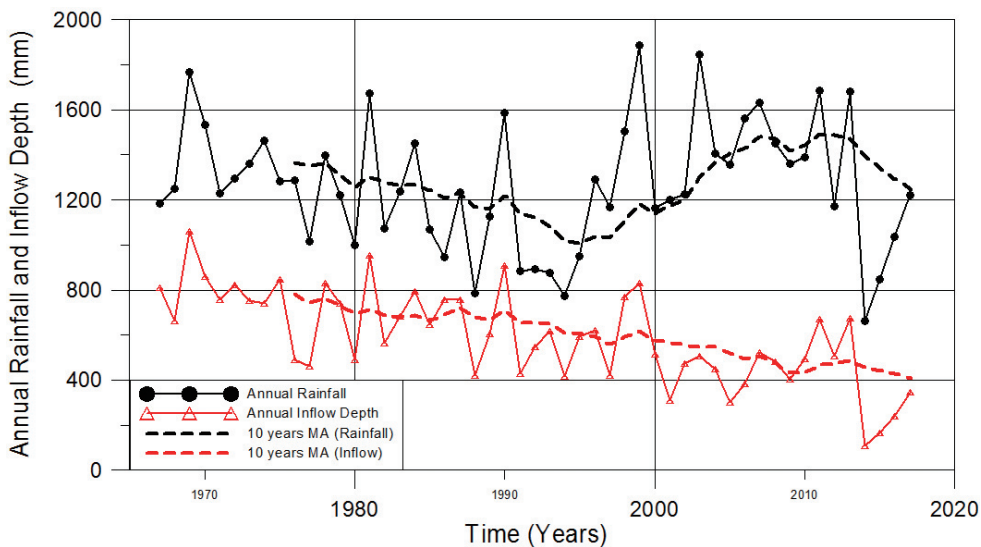


그림 2. 화천댐의 강수량 및 유입량 시계열

다 객관적으로 분석하기 two sample t-test를 수행하였다. 연평균강수량은 귀무가설이 채택되어 2000년 전후 표본집단의 평균에 차이가 없는 것으로 결정되었으나, 연평균유입고는 귀무가설이 기각되어 2000년 전후 표본집단의 평균에 차이가 있어 두 모집단의 성질이 다른 것으로 결정되었다.

한편, 수문학적 민감도 분석기법을 적용하여 특성 성분의 변동을 정량화하기 위해서는 반드시 특정 시기를 전·후로 자료의 성질이 다르게 판정되어야 한다. 이러한 변동을 확인하기 위해서는 수문학에 소개되는 ‘Double mass curve’를 사용할 수 있다. 이 방법은 주로 누가우량의 변동성 분석에 사용되지만, 사실상 어떤 자료라도 변동지점을 찾기 유용한 방법이다. 다만, 그림으로 그려진 지점들을 주관적으로 판단해야 한다는 단점

이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 보다 이론적인 방법인 베이지안 변동성 분석(Bayesian change point analysis)를 수행할 수 있다. 그림 3]은 Double mass curve의 결과이고, [표 1]은 베이지안 변동점 분석 결과이다.

여기서는, 두 가지 방법을 모두 적용하여 변동지점을 분석하였다. [그림 3]에서는 대략적으로 1997년-2000년 사이에 두 자료의 기울기가 변화하고 있는 것을 알 수 있었으며, [표 1]에 제시된 베이지안 변동점 분석 결과에서는 1999년이 변동점으로 선정되었다. 북한의 임남댐은 1997년 공사가 시작되어 2000년부터 본격적인 담수가 시작된 것으로 보도되고 있어, 이로부터 임남댐의 담수가 1997년을 전·후로 화천댐의 유입량에 영향을 주고 있음이 통계적으로도 유의함을 알 수 있었다.

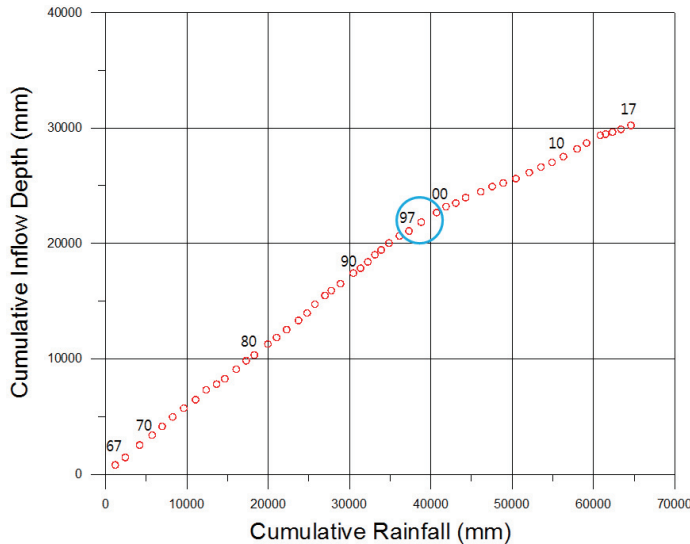


그림 3. Double mass curve로 찾은 변동점

표 1. 베이지안 변동점 분석으로 찾은 변동점

| Data                        | p-value               | Change point | Year |
|-----------------------------|-----------------------|--------------|------|
| Annual average rainfall     | 0.403                 | No           | No   |
| Annual average inflow depth | $1.12 \times 10^{-8}$ | Yes          | 1999 |



## 5. 유량의 변동성분의 구분 및 수문학적 민감도 분석 이론

유량의 변동은 크게 수문기상학적 요인에 의한 자연적인 요인(natural factor, N)과 토지이용, 취수, 댐의 건설 등의 인위적인 요인(anthropogenic factor, A)로 구분된다고 가정될 수 있다. 다만, 여기서 두 요인은 통계적으로 ‘mutually exclusive’하고 ‘collectively exhaustive’한 것으로 가정되어야 계산이 가능하다. [그림 4]는 이와 같은 가정하에 특정 변동지점을 전후로 유량의 총 변동성분을 자연적 요인에 의한 변동성분과 인위적 요인에 의한 변동성분으로 구분하고자 하는 모식도를 나타낸 것이고, 그 아래에는 분리절차를 단계적으로 서술한 것이다. 여기서는 분리과정을 요약하였으므로, 세부적인 사항은 원문논문을 참조하기 바란다. [Step 1] 변동점 탐색기법을 이용하여 변동점을 결정하고 기간을 분리한다.

[Step 2] 강우-유출모형이나 수문학적 민감도기법을 이용하여  $\Delta Q_N$ 을 산정한다.

[Step 3]  $\Delta Q = \Delta Q_A - \Delta Q_N$ 로부터  $\Delta Q_A$ 를 산정한다.

변동점 이후의 유량변동 성분  $\Delta Q_N$ 을 산정하기 위해서는 변동점 이후의 자연적 요인만 고려된 유량을 생성해야 한다. 따라서 여기에는 다양한 강우-유출모형이 사용될 수 있다. 그러나, 강우-유출모형의 산정은 모형의 구축과 함께 매개변수의 보정에 따른 복잡성이 존재하고 있어 쉬운 작업은 아니다. 여기서는 장기적인 수문변동성분을 모의에 있어 강우-유출모형의 구축보다는 훨씬 간단하게 유출변동성분을 산정할 수 있는 수문학적 민감도 기법을 적용하였다. 이 기법은 실제증발산량과 강수량의 관계를 나타내는 Budyko 곡선을 이용하여 진행되는 경우가 많으나, Budyko(1948) 이외에도 Schreiber(1904), Ol'dekop(1911),

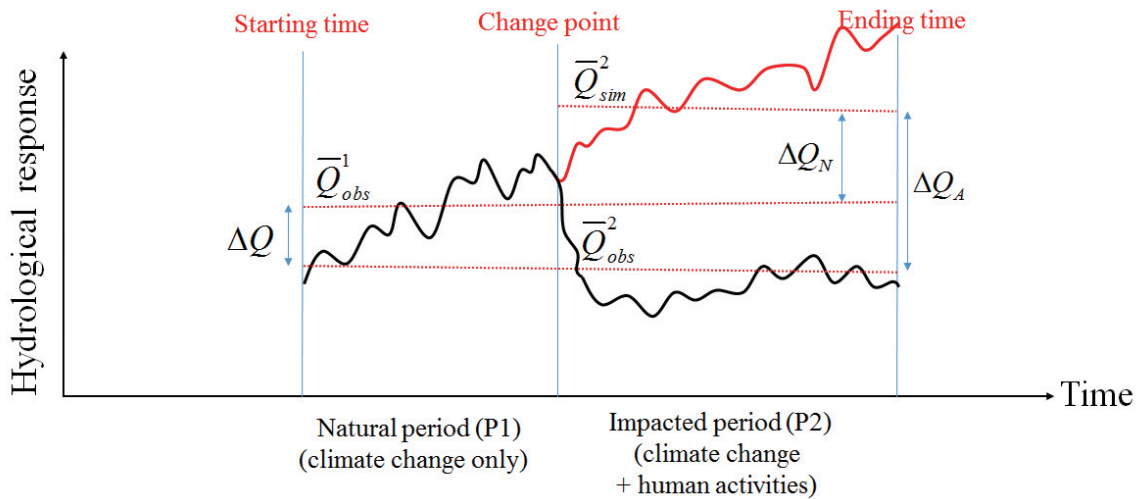


그림 4. 자연적 요인과 인위적 요인의 분리 모식도

Pike(1964), Fu(1981)와 같은 다양한 연구자들에 의해 유사한 연구가 수행된 바 있다. 이 이론을 이용한 적용식들은 학회지에서 다루기에는 조금은 복잡한 측면이 있어 생략하였다.

## 6. 산정결과 및 타 연구자들과의 비교

이 연구에서는 수문학적 민감도 분석에 의한 유량변동량의 요인별 정량적 구분을 위한 변동점을 금강산댐의 본격적 담수가 이루어지기 직전인 1999년으로 결정하고 해당 자료를 1967년~1998년과 1999년~2017년으로 구분하여 연구를 수행하였다. 수문학적 민감도 분석기법을 이용하여 자연적 요인에 의한 유량변동량( $\Delta Q_N$ ), 인위적 요인에 의한 유량변동량( $\Delta Q_A$ ) 및 총유량변동량( $\Delta Q$ )을 산정하기 위한 절차를 요약하면 다음과 같다.

[Step 1] Penman-Montheith 방법으로 대상유역의 잠재증발산량( $PET$ )을 산정하고, 강우량 자료를 이용하여 건조지수,  $\phi$ 를 산정한다.

[Step 2] 5개의 Budyko 함수식을 이용하여 5개의  $F(\phi)$ 값을 산정한다.

[Step 3] 산정된  $\phi$ 값과  $F(\phi)$ 값을 이용하여 강우량과 잠재증발산량에 대한 탄성계수  $\epsilon_P$ 와  $\epsilon_{PET}$ 를 산정한다.

[Step 4] 탐색된 변동점을 전후로 강우량과 잠재증발산량을 분리하고 기간별 평균값을 산정하여 강우 변동량( $\Delta P$ )과 잠재증발산 변동량( $\Delta PET$ )을 산정한다.

[Step 5] Step 3과 Step 4에서 산정된 값들을 이용하여 자연적 요인에 의한 유량변동량( $\Delta Q_N$ )을 산정한다.

[Step 6] 변동점을 중심으로 총유량변동량( $\Delta Q$ )을 산정하고 Step 5에서 산정된  $\Delta Q_N$ 을 이용하여 최종적으로 인위적 요인으로 인한 유량변동량( $\Delta Q_A$ )를 산정한다.

이와 같은 방법으로 산정된 화천댐 유입량의 감소량은 평균적으로 18.99 억  $m^3/y$ 으로 산정되었으며, 민감도 분석에 활용된 5개의 Budyko 함수들에 따라 17.78 억  $m^3/y$ ~21.05 억  $m^3/y$ 사이에 존재하고 있는 것으로 산정되었다. 이 방법은 강우-유출모형을 구축하지 않은 상태에서도 유량의 변동성을 정량화할 수 있다는 장점이 있으나, 장기간의 연속적인 자료에만 적용이 가능하다는 단점이 있으며, 시간적 척도를 세분화하여 월별 또는 계절별과 같은 방식의 분석에는 적용될 수 없다는 단점을 가지고 있어 사용자의 분석 목적에 따라 적용의 가능성 여부가 결정되어야 한다.

임남댐 건설 이후 화천댐 유입량의 감소문제는 기존 연구자들에 의해서 다양한 방법으로 산정된

표 2. 금회 연구결과와 타 연구들의 결과 비교

| 연구자            | 감소량(기존 연구)<br>( $\times 108 m^3/y$ ) | 감소량(금회 연구)<br>( $\times 108 m^3/y$ ) |           |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
|                |                                      | 5개 함수 평균                             | 차이        |
| 선우중호(1986)     | 18.60                                | 18.99                                | 0.39      |
| 임용규(2006)      | 16.00                                |                                      | 2.99      |
| 김남원, 이정은(2009) | 18.30                                |                                      | 0.69      |
| 안중서 등(2011)    | 12.20~16.20                          |                                      | 2.79~6.29 |

바 있다. [표 2]는 임남댐으로 인한 화천댐 유입량의 감소를 연구하였던 기존 연구와의 결과를 비교한 것이다. 기존 연구자들의 경우 작게는 16 억  $m^3/y$ 부터 크게는 18.60 억  $m^3/y$ 의 연구결과가 도출되었는데, 비교적 쉬운 방법인 수문학적 민감도 분석(5개 함수의 평균) 결과는 18.99 억  $m^3/y$ 으로 그 결과가 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

## 7. 나가며

본 기사에서는 과거 게재된 논문을 요약하여 다소 쉽게 유량의 변동성분을 산정할 수 있는 수문학적 민감도 분석기법으로 화천댐의 유입량 변동을 분석해 보았다. 최근 남북간의 정치적 상황으로 보면, 남북 공유하천의 활용방안을 이야기하기

에는 매우 어려워 보인다. 그러나 한국수력원자력이 운영하고 있는 화천댐은 북한강 수계의 발전, 유량조절뿐만 아니라 수질문제에도 큰 영향을 미칠 수 있는 요소를 가지고 있다. 화천댐의 운영상황이 그 어느 때보다 중요한 지금, 소양강댐의 유효저수용량이 19억  $m^3$ 인 것을 감안하면, 금회 연구에서 분석된 화천댐 유입량 18.99 억  $m^3/y$ 의 감소는 매우 큰 감소량이다. 특히 이와 같은 감소추세는 당분간 지속될 것으로 추정되므로 화천댐으로 유입되는 유입량의 변동성에 관심을 가지고 이에 대응할 수 있는 세부적인 대책을 마련할 필요가 있다. 다소 쉬운 접근 방법을 사용하든, 어려운 방법을 사용하든, 발전부터 수질까지 그 변화를 탐색해 보는 일은 매우 가치가 높다.

### 참고문헌

- 김남원, 이정은 (2009). 화천댐 상류유역의 유출거동 특성, Vol. 42, No. 12, pp. 1069-1077.
- 김상욱, 이철응 (2018). 경향성 분석과 수문학적 민감도 기법을 이용한 화천댐 유입량의 연별 변동량 규명, 한국수자원학회논문집, Vol. 51, No. 5, pp. 425-438.
- 선우중호 (1986). 금강산댐 건설 영향에 대한 기술적 검토, 한국수문학회지, 제19권 제4호, pp. 294-302.
- 안종서, 정관수, 이광만 (2011). 남북공유하천 북한강의 물이용 문제점 및 수리권 추정(I)-임담댐 유역변경에 의한 하류 영향 분석, 한국수자원학회논문집, Vol. 44, No. 4, pp. 305-314.
- 안종서, 정관수, 이광만 (2011). 남북공유하천 북한강의 물이용 문제점 및 수리권 추정(II)-하류유역 수리권 추정, 한국수자원학회논문집, Vol. 44, No. 4, pp. 315-325.
- 임용규 (2006). SSARR 모형을 이용한 화천댐 유입량 산정 및 분석, 석사학위논문, 공주대학교.