

미계측 유역의 장기 물수지 분석에 관한 연구

A Long-Term Water Budget Analysis for an Ungaged River Baisn

유금환* · 김태균** · 윤용남***

Yoo, Keum Hwan · Kim, Tae Kyun · Yoon, Yong Nam

Abstract

In the present study, a methodology has been established for water budget analysis of a river basin for which monthly rainfall and evaporation data are the only available hydrologic data.

The monthly rainfall data were first converted into monthly runoff data by an empirical formula from which long-term runoff data were generated by a stochastic generation method. Thomas-Fiering model. Based on the generated long-term data low flow frequency analysis was made for each of the observed and generated data set, the low flow series of each data set being taken as the water supply for budget analysis. The water demands for various water utilization were projected according to the standard method and the net water consumption computed there of. With the runoff series of the driest year of each generated data set as an input water budget computation was made through the composite reservoirs comprised of small reservoirs existing in the basin by deficit-supply method. The water deficit computed through the reservoir operation study showed that the deficit radically increases as the return period of low flow becomes large. This indicates that the long-term runoff data generated by stochastic model are a necessity for a reliable water shortage forecasting to cope with the long-term water resource planning of a river basin. F.E.M. program (ADINA) is also presented herein.

요 지

본 연구에서는 월 강우량과 월 증발량 자료만 있는 하천유역에 대하여 장기 물수지 분석을 실시하는 방법론을 제시하고자 하였다. 단기간의 월 강우량 자료를 경험공식에 의해 월 유출량 자료로 변환시킨 후 추계학적 모의발생 모형을 사용하여 이들 단기 유출자료로부터 일군의 장기 유출자료계열을 발생시켰고, 자료계열별로 갈수빈도해석에 의해 최대 갈수기간 및 월 강수량계열을 작성하였다. 계획년도별 각종 용수수요를 표준절차에 의해 추정하였으며 순 물소모량도 계산하였다. 유역내의 기존 저수지를 총괄하는 합성저수지를 통해 Deficit-Supply 방법으로 물 수지분석을 실시한 결과 물 부족량은 갈수 재현기간이 커짐에 따라 급격하게 커지는 것으로 나타났다. 이는 하천 유역의 장기 물 수지분석을 통해

* 정희원 · 고려대학교 대학원 석사

** 정희원 · 고려대학교 대학원 박사과정

*** 정희원 · 고려대학교 공과대학 토목공학과 교수

신뢰성있는 물 부족량을 계산하기 위해서는 추계학적 모의발생모형에 의한 장기간 유출량의 발생이 필수적이며 수자원 시스템의 적정 갈수재현기간의 선정이 대단히 중요함을 시사해 주는 것이다.

1. 서론

최근 우리나라 서해안에 대규모 간척사업이 계획되고 있고 이에 따라 대상유역의 수자원 개발연구가 진행되고 있다. 그러나 수자원 개발연구시 필수적인 장기간의 강우, 유출자료의 보유가 거의 전무하여 통상적인 장기 물수지분석방법의 사용시 그 결과의 신뢰성이 문제가 되고 있다. 단기간 자료를 사용한 물수지분석에서는 갈수재현기간이 매우 작은 갈수량을 최대갈수량으로 산정하게 되어 유역의 물부족이 과소하게 추정되는 결과를 초래하게 될 것으로 생각된다. 본 연구에서는 선정된 대상유역에 믿을 수 있는 단기간의 유출자료마저 없으므로 사용가능한 강우자료를 유출자료로 전환할 수 있는 경험공식을 사용하여 단기간의 유출자료를 획득한 후 이를 추계학적 모의발생 모형에 의해 장기간의 유출자료로 모의발생시켜 여러가지 크기의 갈수빈도에 따른 최대갈수량을 산정하여 물수지분석을 실시함으로써 갈수빈도에 따른 물 부족량의 크기변화 성향을 평가하고자 하였다.

2. 대상유역의 선정

본 연구에서는 서해안에 계획되고 있는 새만금지구 간척사업과 관련하여 용수수급계획이 필요한 만경강, 동진강유역중 그림 1에 표시된 바와 같이 고부천유역을 대상유역으로 선정하였다(농어촌진흥공사, 1990).

3. 미계측 유역의 자연유출량 산정

대상유역의 계획년도별 물수지분석에 의한 용수수급상태의 평가를 위해서는 하천유역의 자연유출량 결정이 필수적이다. 우리나라 대부분의 유역이 그렇듯이 본 연구의 대상유역도 믿을 수 있는 유출자료가 전무하여 연속형 강우-유출모형에 의한 유출계산이 불가능할 뿐 아니라 인접 유량관측점도 없어 유출전이도 불가능하다. 따라서 유역의 자연

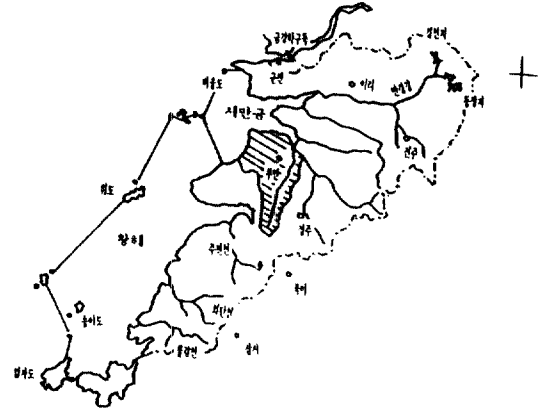


그림 1. 대상유역의 위치도

유출량은 유역출구지점에서의 실측 유량에 유역의 순 물소모량을 합한 것으로 정의되나 본 대상유역의 경우는 실측 유출자료나 순 물소모량자료가 없어 가지야마 월유출고 공식(조선총독부, 1929)에 의해 월강우량으로부터 월유출량을 산정하기로 하였다. 가지야마공식은 1920년대에 만들어져 지금까지 월유출량 산정공식으로 사용되어 왔으며 당시의 유역 순 물소모량은 거의 무시할 수 있다고 보아 자연유출량으로 보아도 무방할 것으로 생각된다.

가지야마공식을 본 연구의 대상유역과 고부천유역에 적용시키기 위해 고부 및 부안 유량관측점의 1965~1988년의 월 강우량을 사용하여 유역평균강우량을 산정하였으며 대상유역의 유출특성계수 f 는 0.8을 적용하여 24년간의 월유출량자료를 획득하였다.

4. 월 유출량 자료의 추계학적 모의발생 및 최대갈수량 산정

위에서 얻은 24년간의 자연유출량 자료의 빈도 해석으로 최대갈수년을 선정하여 추후의 장기 물수지분석을 실시할 경우 짧은 기간의 유출자료의 사용으로 물부족량이 과소하게 책정될 우려가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 추계학적 모의발

표 1. Kolmogorov-Smirnov 검정(유의수준 5%)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D _m	0.079	0.066	0.081	0.074	0.122	0.091	0.153	0.143	0.070	0.097	0.053	0.086

한계치 : D_{α_n} = 0.28

표 2. 12개월 갈수량 및 발생기간

자 료	단 위	갈수량(10 ⁶ m ³)	갈수기간	재현기간(년)
실제 24년치	1	120.56	1967. 8~1968. 7	24
	2	125.85	1977. 6~1978. 5	12
	3	139.38	1981. 11~1982. 10	8
100년 발생치	1	108.14	1980. 11~1981. 10	100
	2	111.59	1980. 9. 08~10. 07	50
	3	115.28	1993. 08~1994. 07	33
300년 발생치	1	101.82	220.12~221.11	300
	2	102.39	242.05~243.04	150
	3	107.47	167.07~168.06	100
500년 발생치	1	100.56	379.09~380.08	500
	2	101.82	220.12~220.11	250
	3	102.39	242.06~243.05	167
700년 발생치	1	90.16	544.11~545.10	700
	2	98.13	621.09~622.08	350
	3	99.62	673.07~674.06	233
1000년 발생치	1	79.39	874.08~875.07	1000
	2	90.16	544.11~545.10	500
	3	92.53	909.08~910.07	333

생모형중 자료계열이 수문학적 지속성을 가지며 계절적 특성을 나타낼 수 있는 주기성 자기회귀모형을 100, 300, 500, 700년 및 1000년치의 유출자료를 발생시켜 각각의 자료계열로부터 최대갈수량을 산정하여 추후의 물수지분석을 실시키로 하였다.

가설이 받아들여 졌으므로 표본유량자료들의 대수치를 취하여 모의발생식에 의하여 자료를 발생시킨 후 역대수변환으로 합성유량자료계열을 획득하였다. 본 연구에서 발생시킨 자료집단은 100, 300, 500, 700년 및 1000년간의 월 유량자료계열이다.

4.1 추계학적 모의발생

월별 혹은 계절별로 상이한 유량의 특성을 반영하면서 유량을 모의발생하기 위해서 주기성 자기회귀모형(periodic autoregressive model)에 속하는 다계절 1차 Markov모형인 Thomas-Fiering 모형(Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.L., 1980)을 사용키로 하였다.

본 연구에서 경험공식에 의한 24년치의 유량자료는 Kolmogorov-Smirnov검정을 실시한 결과 표 1과 같이 유의수준 5%에서 2변수 대수정규분포의

4.2 지속기간별 갈수량계열의 구성 및 최대 갈수기간의 결정

갈수량계열을 구성하기 위해서는 우선 어떤 계열을 대표하는 지속기간을 선택하여 가용한 전유량기록으로부터 해당 지속기간을 가진 갈수량을 결정하게 된다(윤용남, 1972, 1986). 본 연구를 위해 선택된 지속기간은 추후의 물수지분석에 의한 물부족량이 1년 단위로 반복되는 특성을 가지므로 12개월의 지속기간에 대해 저유량계열을 작성하였다. 본 연구에서는 갈수량만이 주관심사이므로 부분기간치계

열을 작성하기 위한 특정기준치로서 실제 강우에 의한 24년 자료, 100, 300, 500, 700년 및 1000년치 발생자료들 각각의 12개월 유출량의 평균치를 사용하였으며 산정된 12개월 갈수량의 재현기간을 결정하기 위해서는 부분기간치계열의 평균재현기간 결정에 통상 쓰이는 California 공식(Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.L., 1980)을 사용하였다. 이와 같은 방법으로 각 자료계열별로 가장 작은 갈수량을 최대 갈수량으로 결정하였으며 각 자료계열별 갈수량 빈도분석 결과는 표 2와 같다. 이 결과에서 알 수 있듯이 짧은 기간의 자료만으로 최대갈수량을 결정할 경우 자료기간이 길 경우보다 기준 최대갈수량을 과소하게 산정하는 결과를 초래하게 될 것임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 추계학적 모형으로 발생시킨 유출자료들로부터 얻은 각각의 최대 갈수량을 추후의 물 수지분석에 사용하고자 한다.

5. 대상구역의 각종 순 물소모량 추정

5.1 생, 공용수 순 물소모량 추정

생활용수 수요량은 도시상수도에 의한 급수지역과 계곡수, 우물 등에 의한 비급수지역으로 구분하고 계획년도별(1991~2011, 5년단위)로 급수인구와 비급수인구를 추정하여, 이에 계획년도별로 추정된 1인 1일 평균급수량을 곱하여 구하였다(건설부, 1988; 건설부, 1990).

공업용수 수요량은 상수도 원단위 산정연구에 제시된 제조업종별(28개 업종) 공장부지면적당 원단위를 사용하여 계획년도별로 추정하였다(건설부, 1988). 위와 같이 추정된 생, 공용수 수요량은 하천으로 상당부분이 회귀하게 되므로 NEDECO(Ministry of Construction/NEDECO, 1976)에서 제시한 65%의 회귀율을 적용하여 결국 순 물소모량은 용수 수요량의 35%를 취하였으며 이 때 생활용수는 년중 변동계수를 적용하였고 공업용수는 년중 수요가 균일한 것으로 가정하였다.

5.2 농업용수 순 물소모량 추정

농업용수 순 물소모량은 농경지 이전의 초원상태를 자연식생 상태로 가정하여 농경지 물소모량에서 초원의 물소모량을 감하여 구한다. 농경지의 순 물소

표 3. 대상구역의 순 물소모량 (단위 : 10⁶ m³)

계 획 년 도	1990	1996	2001	2006	2011
생 활 용 수	1.9	1.8	1.8	0.8	0.8
공 업 용 수	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7
농 업 용 수	120.3	120.7	120.8	121.0	121.2
한천유지용수	18.9	28.5	37.8	37.8	37.8

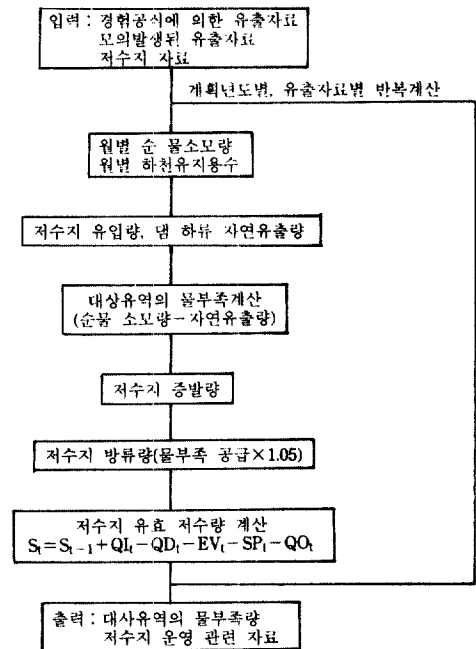


그림 2. 유역 물 수지 계산 흐름도

모량은 수리안전답과 불안전답 및 관개전으로 구분하여 구하였고 초원상태의 물소모량은 토양수분평형법을 사용하여 구하였으며 구체적인 방법은 『서해안 수자원의 개발과 이용에 관한 연구』(농어촌진흥공사, 1990; 농업진흥공사, 1986; 농업진흥공사, 1988)에 제시되어 있다.

5.3 하천유지용수량의 산정

하천유지용수란 하천의 정상적인 기능과 상태를 유지하기 위한 유량으로 정의될 수 있고 최근 하천의 급격한 오염으로 인하여 점점 중요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 수자원공사의 연구결과를 채택하였다(한국수자원공사, 1989). 이상과 같은 절차에 따라 산정한 고부천구역의 계획년도별 순 물소모량은 표 3과 같다.

6. 대상유역의 계획년도별 물수급상태의 추정

유역의 물수지분석은 자연유출량과 순 물소모량을 비교하는 것으로 유역 물부족량은 댐 하류지역의 총 순 물소모량으로부터 유역의 자연유출량에서 저수지 유입량을 감한 수정 자연유출량을 뺀 후 하천 유자유량을 더함으로써 계산된다.

본 연구에서는 물부족량의 시간적 분포를 파악할 수 있는 저수지 운영조작법(Ministry of Construction/NEDECO, 1976)을 채택하였다. 물수지분석의 기간단위는 농업용수를 고려하여 순별로 실시하는 것이 통상적이나 유출량을 추계학적 모형에 의해 순별로 발생시키기에 어려움이 있으므로 본 연구에서는 월단위를 채택하여 물 수지분석을 실시하였으며 물수지계산 흐름도는 그림 2와 같다.

본 연구에서의 물수지분석을 위해 전제된 일반조건은 다음과 같다.

1) 물수지분석은 월단위로 자연유출량중 이용가능량과 하천유자유량을 포함한 순 물 소모량을 비교하여 유역의 물 부족량을 계산하였다. NEDECO (Ministry of Construction/NEDECO, 1976)에서는 이용가능한 자연유출량을 전체의 85%로 추천하고 있으나 본 대상유역의 경우는 관개용수와 양수 저수지 등으로 물 이용율이 높다고 판단되어 자연유출량의 90%로 가정하였다.

2) 실측자료계열에 대한 물수지분석을 위한 기준년은 갈수빈도 해석결과 기왕의 최대갈수기간으로 밝혀진 1966. 10~1968. 9월로 하였으며 장래 계획년도에도 이때의 기상상태다 재현된다고 가정하였다.

3) 추계학적 모의발생모형에 의해 발생한 자료계열에 대해서도 각각의 최갈수년의 전년도 10월에서 최갈수년의 9월까지를 물수지분석의 기준년으로 하였다.

4) 본 연구의 물수지분석에서는 외부로부터의 물 공급은 일체없는 것으로 가정하였다.

위와 같은 전제하에서 댐 하류의 물부족분만큼 유역 저수지로부터 용수를 공급하는 Deficit-Supply 방법을 택하여 대상유역의 물부족량을 자료계열별, 계획년도별로 계산한 결과를 Weibull 확률지에 표시한 것이 그림 3이며 물부족량의 시간적 분포는

그림 4, 그림 7과 같이 표시된다.

그림 3을 보면 갈수재현기간이 커짐에 따라 물 부족량은 점차 증가하고 있음을 알 수 있으며 특히 재현기간이 100년 이상이 되면 급격한 증가를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 미계측 유역의 단기간 유출자료로부터 기왕의 최대 갈수기의 갈수량을 기준으로 장기 물 수지분석을 실시하는 현재의 관행은 예상치 못한 갈수가 장기간 계속될 경우 심각한 용수부족현상을 야기시킬 것으로 생각되는 바

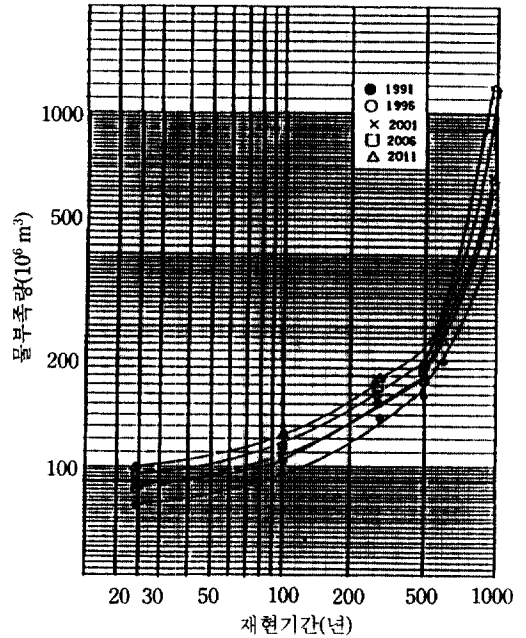


그림 3. 계획년도별 갈수재현기간별 물부족량

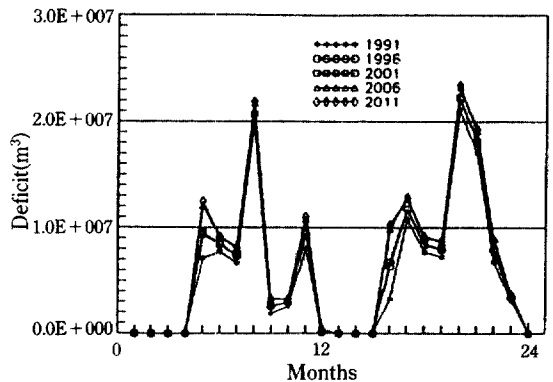


그림 4. 물부족량 변화곡선 (24년 갈수시)

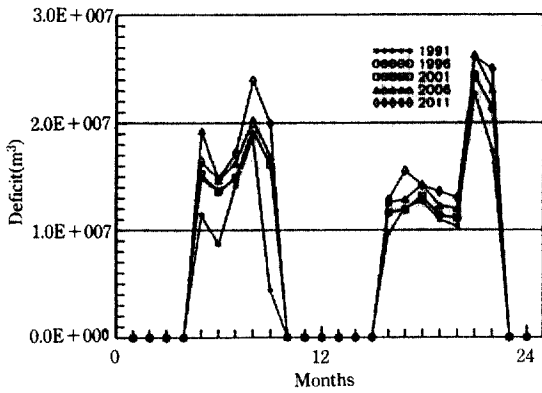


그림 5. 물부족량 변화곡선 (100년 갈수시)

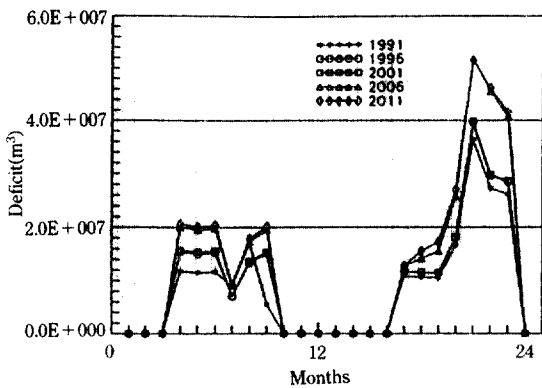


그림 6. 물부족량 변화곡선 (300년 갈수시)

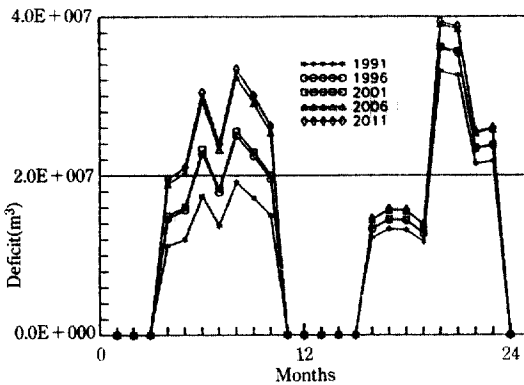


그림 7. 물부족량 변화곡선 (500년 갈수시)

단기간 유량자료로부터 모의발생식에 의해 안정성이 높은 물 수지분석이 바람직한 것으로 생각된다. 또한 그림 4~7은 갈수재현기간별로 계획년도별 물 부족량의 월별 변화를 보이고 있는 것으로 관계가

농업용수 수요로 인해 주로 4~9월에 심각한 물부족현상을 나타내고 있다.

7. 결 론

유출 자료가 전혀 없는 하천 유역에 대해 장기 물수지 분석으로 용수 공급 계획을 수립코저 할 경우 여러가지 어려움에 직면하게 되나 다음과 같은 절차에 따라 신뢰성 있는 수자원 시스템의 설계가 가능하다.

1) 대상유역의 단기간 월우량 자료를 강우-유출 관계 경험 공식 혹은 수문 모형에 입력하여 월 유출량 자료를 획득한다.

2) 단기간 월 유출량 자료의 통계학적 특성을 고려하여 추계학적 모의 모형에 의해 장기간 유출 자료를 획득한 후 이들 합성 유출 자료 계열의 갈수빈도 해석으로 기간별, 재현기간별 최대 갈수량의 발생기간과 월별 갈수량의 크기를 결정한다.

3) 계획 년도별 각종 용수 수요를 추정한 후 용수별 순 물 소모량을 결정한다.

이상과 같은 절차에 의해 유역의 장기 물 수지 분석을 실시할 경우 가용 유출자료의 자료기간에 따른 갈수 재현기간의 크기가 물 부족량의 산정에 지대한 영향을 미침이 본 연구결과 들어났다. 따라서, 짧은 기간의 자료중 기왕 최대 갈수년의 자료를 사용하는 현재의 물수지 분석 관행은 신뢰도 면에서 문제가 있다고 생각되므로 추계학적 모의 발생 자료를 사용하여 장기간 유출자료를 확보하여 분석하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 또한, 용수 공급 시스템의 설계를 위한 적정 갈수빈도(재현기간)의 선택은 유역의 수자원 경제성 및 기타 각종 여건을 고려하여 결정되어야 할 것으로 믿어진다.

감사의 글

본 연구는 농어촌진흥공사의 새만금 사업 학술연구 용역의 일환으로 1990~1991년에 수행된 "서해안 수자원의 개발과 이용에 관한 연구"성과의 일부임을 밝히며 연구비를 지원해주신 농어촌진흥공사에 감사하는 바이다.

참 고 문 헌

1. Ministry of Construction/NEDECO, Nakdong River Basin Delta Study, Water Management/Water Balance Computation, 1976.
2. Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, Y. and Lane, W.L., Applied Modelling of Hydrologic Time Series, 1980
3. 건설부, 상수도 원단위 산정 및 장기종합개발계획 수립에 관한 연구, 1988. 12
4. 농어촌진흥공사, 서해안 수자원의 개발과 이용에 관한 연구, 1990. 12
4. 농업진흥공사, 작물소비수량 산정방법의 정립, 1986, 11
5. 농업진흥공사, 소비수량 산정방법 실용화 연구, 1989.
6. 윤용남, 급수용 저수지 설계를 위한 저유하량의 통계학적 해석에 관한 연구, 대한토목학회지 20권 1호, 1972. 3
7. 윤용남, 공업수문학, 청문각, 1986.
8. 조선총독부, 조선하천 조사서, 1929.
9. 한국수자원공사, 서해안개발에 따른 용수수급방안 조사 보고서, 1989. 12
10. 한국수자원공사, 수자원장기종합계획(1991~2011) 보고서, 1990. 5

(接受 : 1991. 10. 31)