

외부공급을 공간적으로 고려한 물수지 분석

A Water Budget Analysis with Inter-basin Water Transfer
Taken Spatially into Considerations

윤용남* · 김태균**

Yoon, Yong Nam · Kim, Tae Guen

Abstract

The conventional water budget analysis methods for major water works do not take the spatial variation of available water resources into account. There has also been a tendency of over-estimation of water supply capacity when a significant inter-basin water transfer is involved.

Therefore, a revised water budget analysis methodology is proposed which can take care of the spatial variation of the water resources available within the basin and with the inter-basin transferable water. For the purpose of present study, the Saemangeum project area is taken for the analysis, which includes both the Dongjin and the Mangyungs River basin, one of the regions with the most complex water utilization.

요 지

수자원시설물의 설계에 이용되는 기존의 물수지분석은 수자원의 공간적 분포를 고려하지 못하는 단점이 있다. 특히 많은 수자원의 외부공급량이 있고, 공급 대상지역이 중복될 경우 기존의 물수지분석을 적용할 경우 설계치가 과대 산정될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수자원의 공간적 분포를 고려한 물수지분석 방법을 제시하고, 수자원이용이 대단히 복잡한 동진강, 만경강유역을 포함하는 새만금사업 지역을 대상으로 새로운 방법을 적용하였다.

1. 서 론

1960년대 이후 우리나라에서는 수자원의 효율적인 이용을 위하여 각종 댐, 하구둑 및 방조제가 건설되었다. 또한 최근 도시화와 산업화에 따른 생활용수 및 갈수시 관개용수의 수요에 대응하여 광역용수공급시설을 확충하고 있다. 이러한 수자원개발의 시설규모 결정은 유역 물수지분석을 통하여 이

루어지므로, 물수지 분석방법의 선택은 수자원 개발에 중대한 영향을 미친다. 기존의 물수지 분석 방법은 각종 용수를 추정하고, 유역의 수자원 부족량을 산정한 후 수요량과 공급량을 단순 비교하거나, 저수지가 있는 경우 저수지 조작(Reservoir Operation)을 통하여 물수지 분석을 실시하고 있다. 따라서 외부공급원이 하나, 또는 여러 개 있고, 또 공급대상지역이 중복되는 경우, 수자원의 공간적 분포를 고려하지 못하므로 적절한 물수지 분석을 하지 못한다.

* 정희원 · 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

** 정희원 · 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정

본 연구에서는 수자원의 공간적 분포를 고려하고, 또 여러 개의 공급원이 있는 경우, 공급원별 공급량을 결정하기 위한 물수지 분석 방법을 제시하고자 하며, 그 부산물로 외부 공급시설의 추가설치에 대한 타당성을 판정하는 물수지 분석 방법을 제시하고자 한다.

2. 대상구역

본 연구의 대상구역은 새만금간척사업이 진행중인 만경강, 동진강구역으로 농업을 주요산업으로 하고 있으며, 서해안 시대를 맞이하여 새로운 공업단지가 계획중이다. 대상구역내에는 그림 1에서와 같이 많은 농업용 저수지가 있을 뿐 아니라, 농업용수의 공급을 위한 농업용 수로, 보 등이 잘 발달되어 있고, 기존 하천은 홍수시를 제외하고는 본래의 기능을 상실하였다. 또한 엄청난 농업용수와 공업단지의 조성 등에 따른 생·공용수의 부족으로 인하여 많은 양의 생·공용수 및 농업용수를 구역외부로 부터 공급 받고 있다(경제 기획원 1987, 건설부 1988. 건설부 1987).

2.1 소유역의 분할

위에서 설명한 바와 같이 본 대상구역은 정상적인 하천의 개념에 따른 소유역 분할은 무의미하므로 이수측면에 따라 그림 1과 같이 6개의 소유역으로 분할하였으며, 각 소유역별 특성이 표 1에 나타나 있다.

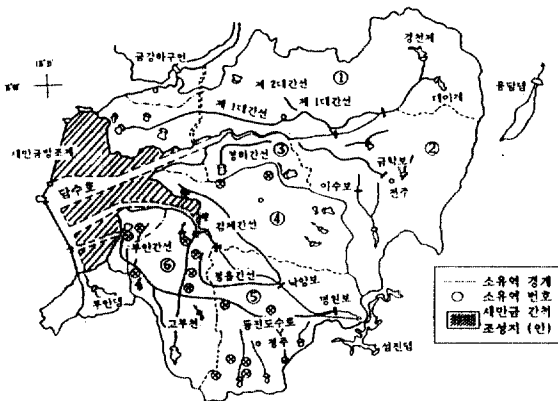


그림 1. 대상구역도

표 1. 대상구역의 소유역 분할

소유역		소유역 구성내용	구역면적
만경강	1	전북농조 관할 지역	921.8 km ²
	2	전주농조 관할 지역	543.3 km ²
	3	만경강하류(동진농조)	117.6 km ²
동진강	4	원평천 유역(동진농조)	410.3 km ²
	5	동진강 본류(동진농조)	510.3 km ²
	6	고부천 유역(동진농조)	394.5 km ²

2.2 대상구역에 대한 구역의 공급원

새만금 구역에는 큰 하천이 없을 뿐만 아니라, 관개농업이 발달함에 따라 구역내 수자원이 부족하다. 이 부족량을 해소하기 위하여 구역외부로 부터 각종 용수를 공급받거나, 공급계획 중에 있다. 본 대상구역에 대한 각종 외부공급원의 소유역별 공급량 및 공급계획년도가 표 2에 나타나 있다. 새만금담수호의 공급량은 공급가능지역의 수요량을 전량공급한다고 가정하였다.

3. 구역외 공급을 고려한 물수지 분석

구역외 공급을 고려한 물수지 분석에 있어 가장 중요한 것은 구역내 부존량과 구역외의 공급량 또는 외부 공급원이 여러개 중복될 경우 외부 공급원간의 수자원 이용에 있어서의 우선순위이다. 또한 여러 개의 용수공급원을 고려하기 위하여서는 몇가지가정이 필요하며, 이들 가정과 각종 용수 공급원별 우선순위는 다음과 같이 정한다.

1) 생·공용수의 경우 구역외의 공급원에 의한 공급량이 구역외의 부존량보다 우선적으로 사용되며, 외부공급량이 구역내 수요량을 초과할 경우 수요량만큼만 공급한다.

2) 농업용수의 경우 구역내 부존량(합성저수지 제외)을 먼저 사용하고, 부족량에 대하여 외부공급원이 중복 공급될 경우, 기설 공급원에 의한 공급량을 먼저 사용하고, 다음으로 개발계획중인 시설중 공급능력이 큰 것부터 우선적으로 공급한다.

3) 구역내 합성저수지로 부터의 공급은 부족한 생·공용수를 우선 공급하고 농업용수, 하천유지용수 순으로 공급한다. 농업용수의 공급은 외부공급량으

표 2. 외부공급원별 공급지역, 공급개시년도, 공급능력 및 분석을 위한 공급우선순위

종류	공 급 원	공급지역(소유역)	공급년도	공급량(m ³ /sec)	우선순위
생·공·농업용수	금강광역상수도	1,2	기 설	1.8	
	섬진강 광역상수도 ⁽¹⁵⁾	3,4,5,6	2001	1.1	
	용담댐 광역상수도 ⁽¹⁸⁾	1,2,3	2006	11.3	
농업용수	섬진강댐 ⁽²⁾	3,4,5,6	기 설	54.4	1
	금강 지구 사업* ⁽¹⁹⁾	1,2,3,4	2006	44.6	3
	새만금담수호	1,3,4,5,6	2006	-	2

* : 금강 II지구 사업은 금강하구호로부터 관개용수 공급

로 수요량을 만족 하지 못할 경우에 공급한다.

4) 하천유지용수의 경우 생·공·농업용수의 회귀수와 유역내 부존량중 잉여수로 충당하고 필요에 따라 저수지로 부터 공급하는 것으로 한다.

3.1 유역내 합성저수지의 작성

소유역별로 중소규모의 농업용저수지가 많이 있는 경우, 이들 저수지에 의한 저류효과를 무시할 수 없다. 따라서 이들 저수지의 영향을 고려하기 위하여 여러개의 저수지를 하나의 합성저수지로 대표하여 물수지 분석에 이용하였다(농업진흥공사, 199 0).

3.2 유역내 수자원 부존량의 추정 및 최대 갈수년의 결정

새만금유역은 인공수로 및 보가 잘 발 달되어 있으며, 80여년 전부터 농지개량조합의 설립으로 하천수의 전이 및 타 유역으로 부터의 농업용수 공급이 계속되었다. 본 대상유역내에는 만경강의 대천수위표와 동진강의 신태인 수위표의 자료가 있으나, 저수시 Rating Curve의 신뢰도가 없어 연평균 유출고가 4005.4mm와 2162.7mm로 나타났으며, 이를 이용하여 유역내 부존량을 산정할 수 없으므로, 가지야마 월유출고 경험공식을 이용하여 소유역별 부존량을 산정하였고, 12개월 유량계열을 작성하여 갈수빈도분석을 실시한 결과가 표 3.에서와 같이 만경강, 동진강유역 공히 1967.8 - 1968.7이 최대갈수기간으로 나타났다 (농어촌진흥공사, 1990). 본 연구에서는 농업용수의 수요특성과 저수지의 Carry-over를 고려하여 1966.10 - 1968.9의 2년간의 자료를 이용하여 물수지 분석에 이용하였다.

3.3 각종 용수의 수요 추정

각종 용수의 수요추정은 1991년을 기준으로 5년 단위로 5개년 목표년도를 설정하여 소유역별로 추정하였으며, 만경강 및 동진강의 용수종류별, 목표년도별 추정치는 표 4와 같다. 하천유지용수는 만경강 유역의 경우 한국 수자원 공사의 1989년 추정치(한국수자원공사 1989)를, 동진강유역은 건설부의 1988년 추정치(건설부 1988)를 채택하여 소유역별 면적비에 따라 배분하였다.

3.4 복수 공급원으로 부터의 용수공급 방법

본 대상유역은 농업용수의 경우 3개의 외부공급원이 있으며, 유역부존량과 합성저수지 공급을 합하면 총 4개의 공급원이 있는 셈인데, 이들 공급지역의 상당부분이 서로 중복된다(그림 2).

본 연구에서는 농업용수 공급가능량의 공간적 분포를 고려하기 위하여 4개 공급원에 따라 아래의 그림 3과 같이 공급지역에 대한 모식도를 작성하여 물수지 분석에 이용하였다.

즉 대상유역의 농경지 면적 및 개개 공급 대상 지역의 농경지 면적을 파악하여 그림 3과 같은 공급대상지역도를 작성한 후 각 공급지역 요소의 농업용수 수요량은 다음과 같이 계산한다.

$$DD_{ij} = AOE_i \times UD_j \quad (1)$$

또한 각 공급원별 공급량은

$$SS_{ijk} = AOE_i \times US_k \times SA_{jk} \quad (2)$$

각 요소별 물 부족량은

표 3. 12개월 갈수량 및 발생 기간 (단위:10⁶m³)

순 위	1		2	
	갈 수 량	기 간	갈 수 량	기 간
1	302.4(0.328)	67.8 - 68.7	307.1(0.333)	77.6 - 78.5
2	164.6(0.303)	77.6 - 78.5	192.2(0.358)	67.8 - 68.7
3	30.9(0.263)	67.8 - 68.7	32.7(0.278)	77.6 - 78.5
만경강	497.9(0.315)	67.8 - 68.7	532.0(0.336)	77.6 - 78.5
4	107.8(0.263)	67.8 - 68.7	109.7(0.267)	77.6 - 78.5
5	139.4(0.273)	67.8 - 68.7	176.6(0.346)	77.6 - 78.5
6	110.0(0.279)	67.8 - 68.7	113.9(0.289)	77.6 - 78.5
동진강	357.2(0.272)	67.8 - 68.7	400.3(0.304)	77.6 - 78.5

() : 갈수깊이(갈수량/유역면적), 단위 m

표 4. 유역별 용수수요 추정치(단위 : 10⁶m³)

소유역명	용 수 명	1991	1996	2001	2006	2011
만경강 단위역	생 활 용 수	106.6	132.5	159.9	176.1	190.1
	공 업 용 수	27.3	41.3	47.3	58.5	67.8
	농 업 용 수	369.2	371.1	371.6	371.6	371.7
	하 천 유 지 용 수	158.0	189.0	189.0	221.0	221.0
	계	661.1	733.9	767.8	827.2	852.6
동진강 단위역	생 활 용 수	23.6	25.2	26.7	25.4	26.6
	공 업 용 수	5.1	7.0	12.0	15.6	19.4
	농 업 용 수	497.1	499.2	499.6	499.7	499.7
	하 천 유 지 용 수	63.0	95.0	126.0	126.0	126.0
	계	588.8	626.4	664.3	666.7	671.7

$$DF_{ij} = DD_{ij} - \sum_{k=1}^4 SS_{ijk}$$

(if, $DF < 0$: $DF = 0$) (3)

따라서 총 물부족량은

$$TDF_i = \sum_{j=1}^8 DF_{ij}$$

(4)

여기서 DD_{ij} : j지역 i기간의 수요량
 AOE_j : j지역의 면적
 UD_i : i기간의 단위면적당 수요량
 SS_{ijk} : j지역의 i기간에 k공급원으로 부터
 의 공급가능량

US_k : k공급원으로 부터의 단위 면적당
 공급가능량

SA_{jk} : j지역에 대한 k공급원의 공급여부
 (공급할 경우 "1" 공급하지 않을
 경우 "0")

DF_{ij} : i기간동안에 j지역의 물부족량
 TDF_i : i기간동안의 총 물 부족량

생·공용수의 경우 3개의 외부 공급원이 광역
 상수도 공급계획에 따라 각기 다른 지역에 대하여
 중복없이 공급하므로, 농업용수와 달리 각 소유역별
 추정된 수요량에서 공급량을 감하여 물수지 분석을
 하였다.

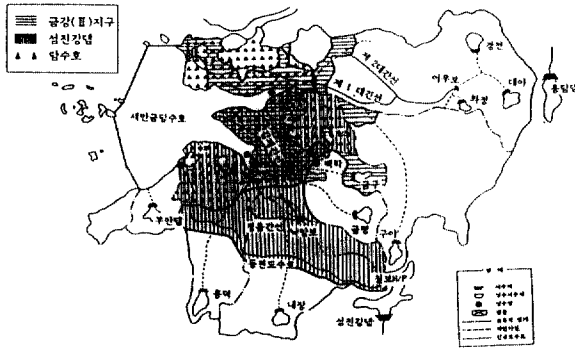


그림 2. 농업용수 공급원별 공급대상지도

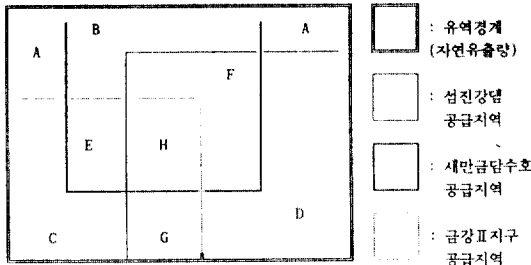


그림 3. 농업용수 공급원별 공급지역 분할도

4. 물수지 분석 방법의 적용 및 비교

4.1 공급대안별 물수지 분석

앞에서 제시한 방법을 대상유역에 적용하면서, 농업용수원에 대한 몇가지 대안을 고려하였다. 또한 대부분의 공급원은 이용할 수 있는 수자원이 풍부하므로 공급가능량을 전량 공급할 수 있으나, 섬진강댐의 공급량은 댐 저수량에 영향을 받으므로, 경우에 따라 전량 공급하지 못한다. 본 연구에서는 섬진강댐의 공급능력을 100% 와 50% 두가지 경우로 하고, 나머지 2개 외부공급원을 공급하는 경우와 공급하지 않는 경우로 조합하여 8개 대안을 표 5와 같이 작성하고 각 대안별로 그림 4.의 흐름도에 따라 물수지 분석을 실시하였으며, 그 결과가 표 6에 나타나있다.

표 6을 살펴보면 만경강유역의 경우 계획년도별로, 농업용수 외부공급원(금강 지구사업, 새만금 담수호)의 영향이 거의 없음을 볼 수 있다. 이는 생·공용수의 경우 외부공급량으로 거의 충당할 수 있고,

표 5. 농업용수 공급대안

공급 대안	섬진강 댐	금강 지구	새만금 담수호
1	0	0	0
2	0	0	X
3	0	X	0
4	0	X	X
5	C	0	0
6	C	0	X
7	C	X	0
8	C	X	X

0 : 공급(가능량의 100%), X : 공급하지 않음, C : 공급 가능량의 50%에 한하여 공급

표 6. 계획년도별 물부족량(단위 : 10⁶m³)

유역	대안	1991	1996	2001	2006	2011
만경강	1	1.126	0.992	1.071	1.153	1.227
	2	1.126	0.992	1.071	1.153	1.227
	3	1.126	0.992	1.071	1.153	1.227
	4	1.126	0.992	1.071	1.153	1.227
	5	1.126	0.992	1.071	1.153	1.227
	6	1.126	0.992	1.071	1.153	1.227
	7	1.126	0.992	1.071	1.153	1.227
	8	1.126	0.992	1.071	1.153	1.227
동진강	1	85.244	89.900	92.244	91.588	95.088
	2	85.244	89.900	92.244	94.994	98.506
	3	85.244	89.900	92.244	91.588	95.088
	4	85.244	89.900	92.244	95.224	98.737
	5	94.428	99.119	101.519	94.470	98.023
	6	94.428	99.119	101.519	104.323	107.998
	7	94.428	99.119	101.519	94.470	98.023
	8	94.428	99.119	101.519	104.553	108.229

농업용수는 유역내 농업용저수지인 경천, 대아, 동상, 구이 등 대규모 농업용 저수지에서 공급할 수 있음을 알려준다. 만경강유역의 물부족량은 #3 소유역의 비농조지역에서 발생하며, 이 지역은 만경강하구의 산지로 섬진강댐에서 공급하지 못하는 지역이다. 동진강유역의 경우는 농업용수의 물부족이 대부분을 차지하며, 이는 외부공급원이 농업용수를 공급하지

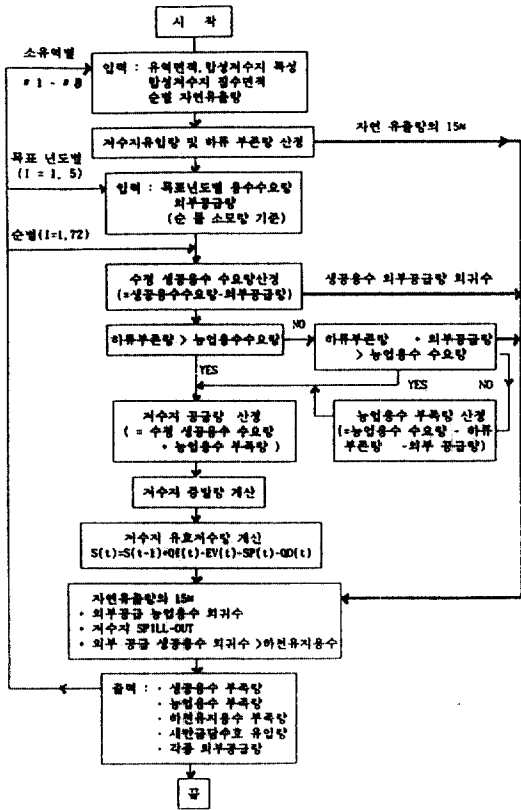


그림 4. 복수 외부공급원을 고려한 물수지 분석

못하는 지역에서 발생한다. 또한 섬진강댐에서 제한적으로 공급(공급량의 50%)할 경우 전량 공급시보다 물 부족이 약간 더 생기나, 공급량의 감소에 비하여 그리 대단한 것은 아니다. 이는 섬진강댐에서 공급되는 농업용수의 전량이 이용되지 못하고, 많은 부분이 서해로 유입되기 때문인 것으로 판단된다.

새만금담수호와 금강II지구 사업이 완공되는 2006년 이후의 대안 4(8)와 대안 1,2,3(5,6,7)을 비교하면 물부족량의 변화가 이들 두 공급원에 의하여 별차이가 없음을 보여주는데, 이는 두 공급원의 기여도가 섬진강댐보다 작음을 알려준다. 또한 대안 2(6)과 대안 3(7)을 비교하면 새만금 담수호의 기여도가 금강II지구 사업보다 크다는 것을 각각 알 수 있다. 즉 새만금담수호가 조성될 경우 금강 지구 사업을 통한 농업용수공급은 불필요한 것으로 나타났다.

4.2 물부족 해소 방안의 모색 및 공급원별 기여도

4.1절에서 살펴본 바와 같이 유역의 물부족은 대부분 섬진강댐으로 부터의 공급이 없는 지역에서 발생하고, 섬진강댐의 공급량중 많은 부분이 이용되지 못하고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 물부족이 생기는 지역에 섬진강댐의 수자원을 공급하기 위한 시설을 하는 것으로 하여 대안 7,8에 대하여 다시 물수지분석을 실시하였다. 즉 기존 공급지역에 농업용수를 공급하고 남은 잉여수를 물부족이 생기는 지역에 공급하는 것으로 섬진강댐으로 부터의 추가공급대상지역은 소유역 #4의 102.8km², 소유역 #5의 72.8km², 소유역 #6의 62.1km²이다. 표 7은 섬진강댐의 잉여수를 이들 공급 대상지역에 추가 공급할 경우에 대한 물수지분석에 의해 계산된 물 부족량으로서 대안 7-1은 새만금 담수호의 공급과 섬진강 댐 공급능력의 60%만으로 공급할 경우이고, 대안 8-1은 섬진강댐 공급능력의 60%만 공급하는 경우이다.

표 7을 살펴보면 담수호 공급이 개시되는 2006년에는 2001년에 비해 동진강유역의 물부족이 대폭 감소하였음을 알 수 있다. 또한 대안 7-1의 경우에 대하여, 공급원별 수자원 이용량을 표 8에 나타내었다.

표 8을 살펴보면, 만경강 및 동진강유역 내 합성 저수지에 의한 공급량이 2006년(새만금담수호 완공) 후에는 대폭 감소함을 할 수 있는데, 이는 새만금 담수호의 수자원으로 만경강 및 동진강 하류의 농경지에 대하여 농업용수를 공급해 주기 때문이다.

5. 결 론

새만금 간척지의 조성으로 인한 새만금 유역의

표 7. 섬진강댐의 잉여수 이용시 물 부족량 산정(단위 : 10⁶m³)

유역	대안	1991	1996	2001	2006	2011
만경강	7-1	1.126	0.992	1.071	0.000	0.000
	8-1	1.126	0.992	1.071	0.000	0.000
	8	1.126	0.992	1.071	1.153	1.227
동진강	7-1	94.428	99.119	101.519	5.105	5.237
	8-1	94.428	99.119	101.519	18.608	19.294
강	8	94.428	99.119	101.519	104.533	108.229

표 8. 공급원별 수자원 이용량(단위 : 10⁶m³)

공급원	소유역	1991	1996	2001	2006	2011
섬진강 댐 공급량	만경강	15.798	16.246	16.387	1.253	1.318
	동진강	119.005	108.403	108.465	150.128	150.394
	계	134.803	124.649	124.852	151.381	151.712
	%	23.8	22.0	22.0	22.8	22.8
새만금 담수호 공급량	만경강	0.000	0.000	0.000	68.935	68.885
	동진강	0.000	0.000	0.000	72.988	73.032
	계	0.000	0.000	0.000	141.923	141.917
	%	0.0	0.0	0.0	21.4	21.3
합성 저수지 공급량	만경강	144.828	147.452	148.361	96.325	97.041
	동진강	39.437	48.591	47.242	26.662	26.836
	계	184.265	195.043	195.603	122.987	125.987
	%	32.5	34.5	34.5	18.6	18.9
자연 유출량 공급량	만경강	115.624	115.109	115.110	115.194	115.277
	동진강	132.093	131.486	131.399	131.455	131.513
	계	247.717	246.595	247.109	246.649	246.790
	%	43.7	43.5	43.5	37.2	37.0
총 농업용수공급량		566.785	566.287	567.564	662.940	666.295

수자원 이용 및 물 부족량을 앞에서 살펴 보았다. 본 연구의 경우, 기존의 물수지 분석방법을 발전시켜, 용수공급원별로 그 대상지역을 세분화하여 물수지 분석을 실시한 결과

i) 본 연구에서 이용한 물수지분석 방법은 외부공급원과 그 수자원의 공간적 분포를 고려하여 물수지 분석에 정확을 기하는 데 효과적이며,

ii) 그 결과 총량개념의 물수지분석에서 알 수 없는 물 부족량과 물 부족지역을 파악 할 수 있었고

iii) 대상유역에 대한 각 외부공급원의 수자원 이용량과 잉여수까지 알 수 있다.

iv) 또한 본 대상유역에 대하여 새만금담수호로부터 용수를 공급할 경우, 금강 지구 사업은 유역의 물부족 해소에 큰 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 농림수산부와 농어촌진흥공사에서 진행중인 새만금간척 사업을 연구의 일환으로 농어촌진흥공사의 연구비로 수행하였으며, 연구에 협조를 아끼지 않은 농어촌진흥공사 한상욱 본부장, 임병호부장, 김현영부장, 서영재과장께 감사드리며, 동진농조 문병권씨께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 경제기획원, 광공업통계조사보고서, 1987.
2. 동진농지개량조합, '90년 183일 총력 급배수 계획, 1990.
3. 건설부, 동진강 유역조사 보고서, 1988.
4. 건설부, 동진강 하천정비 기본계획 조사보고서, 1979. 12.

5. 건설부, 상수도 원단위 산정 및 장기종합개발 계획 수립에 관한 연구, 1988. 12.
6. 농림수산부, 농업용수안전공급계획, 1983.
7. 농어촌진흥공사, 새만금수문조사 보고서, 988. 12.
8. 농어촌 진흥공사, 새만금지구 간척종합개발계획 기본계획서, 1989. 12.
9. 윤용남, 공업수문학, 청문각, 1986.
10. 경제기획원, 최근 인구 동태현황 및 신인구 추계 결과, 1987. 11.
11. 전주농지개발조합, 1989현황, 1989.
12. 농어촌 진흥공사, 서해안 수자원의 개발과 이용에 관한 연구, 1990, 1991.
13. 한국수자원공사, 하천유지용수 공급에 관한 연구, 1989. 12.
14. Ministry of Construction/NEDECO, *Nak-dong River Basin Delta Study, Water management/ Water Balance Computation*, 1976.
15. 건설부, 동진강수계 광역상수도사업 시설계획 보고서, 1989. 9.
16. 건설부, 부안댐 타당성조사보고서, 1987.
17. 건설부, 수자원관리기법개발연구조사보고서, -홍수 수문자료집-, 1991. 12.
18. 건설부, 용담다목적댐 타당성조사보고서, 1990. 8.
19. 농업진흥공사, 대단위 농업종합개발사업 금강(II)지구 사업계획서, 1989. 6.

(接受 : 1992. 8. 19)