

# 고산천 수계의 물수지분석

이재형\*, ○김민환\*\*, 조기태\*\*\*

## 1. 서 론

고산천 수계의 상류에 동상저수지, 대아저수지, 경천저수지 등이 있다. 이들 저수지는 본래 농업용수 공급용이었으나 하류지역의 급속한 도시화와 산업화로 생공용수가 급증하여 이로 전환하여 사용하고 있다. 고산천 수계에서 공급될 가용 수자원은 한정되어 있기 때문에 수요와 공급 간의 불균형이 심화되고 있으며 최근에 계속된 한발로 자연유량이 수요를 감당하지 못하고 있는 실정이다.

하천의 상류에 댐이 축조되어 있고 하류에서 취수시설을 이용하여 용수를 취수하는 경우에 댐 사용권자와 하천에서 취수하는 者 사이에 자연유량인가 댐용수인가의 갈등의 문제가 제기된다. 이를 구분하기 위해 고산천 수계의 상하류간 용수사용량과 자연유량을 평가하고 하천의 물분배질서를 명확히 구분하는데 필요한 기초자료를 제공하기 위해 물수지분석을 수행하였다.

## 2. 유출과 용수수요

### 2-1. 수문분석

본 연구의 대상유역은 만경강유역의 일부로서 용암취수장 상류이다. 이 지점의 유역 면적은 339.67km<sup>2</sup>으로 만경강유역의 21%이다. 상류에 동상, 대아, 경천, 수선, 화정저수지와 여러 개의 보 등이 있는데 이 유역면적은 227.48km<sup>2</sup>으로 전체면적의 67.0%이고 저류시설이 없는 잔여유역은 112.19km<sup>2</sup>으로 33.0%를 차지하고 있다. 대상 유역의 유역면적과 유역분할도를 표 2-1과 그림 2-1에 나타냈다. 수위관측소는 만경강 중류부에 대천지점과 용암지점의 상류에 대아, 동상, 경천, 어우수위관측소가 설치되어 운영되고 있으나 용암유출구 지점은 수위관측소가 없기 때문에 실측유량을 얻을 수 없다. 그리고 대천수위표 지점의 실측유량자료는 상류에서 유역외의 용수유입으로 이 유역의 고유유량이 아니다. 따라서 본 연구 대상유역의 물수지분석을 위한 실측유량자료는 없다. 부분적으로 동상, 대아, 경천 등의 5개 저수지의 수위관측기록을 활용할 수 있다. 대상유역에 5개의 저수지가 있는데 동상저수지는 대아저수지에, 용복보는 경천저수지에 연계되어 있으며 이들은 합류된 후, 어우보 등을 거쳐 용암취수장에 이른다.

물수지분석은 물부족량을 산출하는 작업이기 때문에 우선 공급량을 추정하기 위해 수문분석이 필요하다. 물부족량은 계획년도에 예상되는 여러 용수수요량인 순물소모량에서 공급가능량인 자연유출량을 제하여 구한다. 유역으로부터 기대되는 자연유출량이 최소가 되는 기간동안의 물부족량이 최대가 되기 때문에 물부족이 발생되지 않도록 수자원개발계획을 수립해야 하며 수리권의 허가도 최악의 상황에서 기득수리권을 충족하고 잉여의 유량이 있어야 가능하다. 이를 위해 자료의 획득이 가능한 전주기상대의 관측자료를 이용하였으며 고산천 수계의 주요 한발은 1939년 등 11개년이다. 전주기상대는 1919년부터 관측을 개시하였는데 평균강우량은 1267mm이고 1919년 이후에 강수량이 제일 적은 순으로 한발사상을 나타내면 표 2-2와 같다. 평균강우량에 비해 적게 강우가 발생하면 과우상태라고 한다. 과우상태는 기상학적인 가뭄지표이다. 물리적인 의미의 과우량은 토양수분의 포화도인데 작물의 성장에 도움이 될 수 있는 정도면 가뭄이 종료되었다고 볼

\*전북대학교 토목환경공학과 교수 \*\*호남대학교 토목공학과 부교수 \*\*\*전북대학교 대학원 박사과정

수 있다. 박성우는 그 양을 60mm로 평가하였으나 일강우량을 누가하여 60mm가 될 때까지의 일수로 정의된다. 한밭의 정도는 강우량의 규모에 따라 순위를 부여할 수 있지만 저류시설의 규모에 따라 체감이 다르다. 본 연구에서는 과우년의 강우를 유역의 입력으로 하여 유출분석을 실시하므로서 유출규모에 따른 물수지분석을 수행하였다. 물수지분석을 위해서 저수지의 수면증발과 유역의 증발산량의 평가는 필수적이다. 본 연구에서는 많은 기상자료가 요구되지 않는 Thornthwaite 방법을 이용하여 잠재증발산을 산정하였으며 강우-유출해석에서 유역의 잠재증발산은 Pan증발량과 Thornthwaite 방법에 의해 계산된 잠재증발산의 관계를 비례하는 것으로 단순화하여 추정하였다. 전주지역에서 이 관계는 그림 2-2와 같다.

물부족량을 저류시설을 통해 물을 공급하는 경우에 하류지점의 순물소모량에 댐조작 손실에 의한 손실수량을 추가로 공급해야 한다. 총공급수량은 하류지점의 물부족량에 댐조작 손실계수를 곱하여 산정하는데 NEDECO에서 추천하는 계수는 5-9월에 1.25, 10-4월에 1.10이다. 그리고 도별로 통합된 물수지 입력자료에서 전북지역의 경우에 수로손실은 19.5%, 삼투량은 5.1mm/day이다.

용암유출 구역내에 있는 동상-대아, 경천저수지의 용수공급능력을 평가하기 위해 Ripple이 제안한 방법을 택하였다. 이 방법은 댐지점의 유량 누가곡선을 작성하여 저수지 공급량에 따른 필요저수량의 관계를 분석하거나 일정한 저수용량일 때 공급가능수량을 평가하는 것이다. 저수지의 월별 유입량을 구하기 위해 전주축후소의 자료를 사용하여 우리나라의 수문실무에서 미계측지점의 월유출고를 산정하는 가지야마공식을 이용하여 구하였다. 월별 유입량을 누가하여 Ripple곡선을 그린 후, 구해진 최대공급량은 동상-대아저수지에서 18.6만<sup>3</sup>/일(그림 2-3)이고 경천저수지에서 12.0만<sup>3</sup>/일이다. 생공용수는 년중 거의 일정한 율로 공급되지만 관계용수는 영농기에 집중된다. 도별 통합 물수지분석 입력 자료로는 유효저수량을 6,100<sup>3</sup>/ha로 하고 있는데 만경강에 인접한 옥정호에서 94년 한밭 때에 8,100<sup>3</sup>/ha이었다. 고산천 수계의 저수지들이 농업 전용댐인 점을 감안한다면 1ha당 6100-8100<sup>3</sup>를 3월말에 확보해야 한다.

## 2-2. 유출분석

물수지분석은 자연상태의 유량관측 자료가 필요하다. 그러나 본 대상지역 하천에는 유량관측소가 없다. 그러므로 미관측지점에 대한 유량 자료를 얻기 위해 강우량으로부터 유출모형을 이용하여야 한다. 유역의 유출특성만 파악된다면 강우량을 유량으로 전환할 수 있다. 일별 강우-유

표 2-1 유역면적

		유역면적(km <sup>2</sup> )
동	상	89.84
대	아	120.00
경	천	97.65
용	북	33.65
수	선	2.48
화	정	7.35
소	계	227.48(67%)
전	여	112.19(33%)
용	암	339.67
대	천	844.5
만	경	1601.7

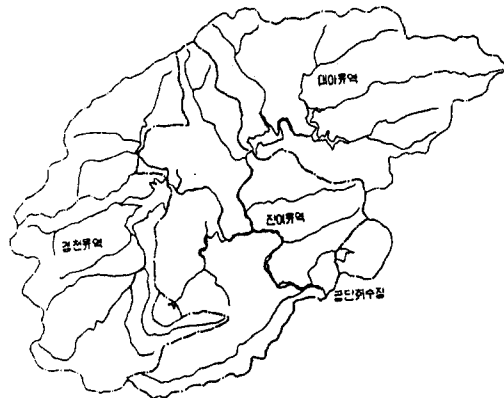


그림 2-1 유역분할도

출의 관계는 복잡한 특성을 갖고 있는데 유역의 응답특성을 수학적 관계로 표시하여 강수량으로부터 유량을 계산할 수 있는 수문모형은 많이 있다. 본 연구에서는 우리나라 하천의 일유출량 계산에 맞도록 수정된 탱크모형을 이용하여 각 저수지의 유입량을 산정하였다. 이 모형은 일별도의 발생 자료를 얻을 수 있고 입력자료의 수가 적으며 우리나라에서 많이 사용된 방법이다. 이 방법은 유역의 지표, 중간, 기저유출현상을 각 성분별로 모식화한 것이다. 즉, 지표유출은 제1단 탱크에 의해 표현되고, 지표하로 침투된 강우는 단기간에 걸쳐 지하유출을 형성하게 되며, 이 중간유출은 제2단 탱크, 기저유출은 제3단 탱크에 의해 모식화한 것이다. 각 탱크의 유출공으로부터의 유출량의 합은 하천의 총유량을 표현하고 침투공으로부터의 침투량은 하단에 유입되어 하단 탱크의 저유고를 증가시킨다. 각 탱크별 유출량 Q는 다음과 같다.

$$Q_i = A_i (S_i - H_i) \quad S_i > H_i \quad (2-1)$$

$$Q_i = 0 \quad S_i < H_i \quad (2-2)$$

여기서  $A_i$ 는  $i$ 번째의 유출공의 유량계수,  $S_i$ 는  $i$ 번째의 저수량,  $H_i$ 는  $i$ 번째 탱크의 저면에서 유출공까지의 높이이다. 탱크모형은 지표의 상태와 지층구조를 모식적으로 개념화하여 개량화한 것으로 매개변수는 지층의 저류수준, 지표상태 등이다. 각 소유역의 유출량 산정에 이용된 탱크 모형의 매개변수를 구하기 위해서 유역면적, 토지이용상태와 같은 유역특성인자가 필요한데 이는 표 2-3과 같다. 이 인자들을 이용하여 3단 탱크에서 필요한 소유역별 매개변수를 구하였다. 탱크모형을 평가하기 위해 유량기록이 비교적 온전한 섬진강댐 유역과 저수위 자료 등의 획득이 가능한 대아, 동상, 경천유역을 대상으로 방류량 모형 평가를 수행하였다. 대아, 동상, 경천의 경우에 댐유입량은 익산 농업시험장 증발기록자료에 의해 저수지 증발을 평가하고 저수지 관리기록자료를 이용하여 물수지식으로 평가하였다. 이 때 증발접시계수는 0.7로 하였으며 대아, 동상저수지는 운영이 복잡하여 증발량 평가가 어려워 경천저수지의 만수면적에 대한 비값을 이용하여 증발량을 평가하였다. 섬진강댐의 경우에 년간 댐유입량과 방수리 취수실적을 합하여 유입량으로 평가한 결과 유출율이 27.4%이었으며 동상저수지가 19.5%, 대아저수지가 61.0%, 경천저수지가 31.2%로 평가되었는데 섬진강댐 유역을 고려할 때 경천저수지의 유출율 31.2%는 합리적인 값으로 판단된다(94년한발 기준). 따라서 한발사상의 유출규모는 94년 한발시 경천저수지 유역의 유출율을 기준으로 하였으며 94년의 강수량은 820.5mm인데 이 중에 31.2%인 255.8mm가 유출된 셈이다. 탱크모형에서 매개변수는 초기의 탱크 저류 수준과 잠재 증발량계수인데 한발년 전년을 포함하여 2개년 간을 모형평가 대상으로 하였으며 잠재증발 계수는 유출율 31.2%를 한발년의 유출 기준으로 최적인 보정계수를 추정하였다. 평가된 매개변수에 의해 93년, 94년 수문사상에 대해 모의실험을 수

표 2-2 한발사상의 크기 비교

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
발생년도	39	88	35	94	77	38	43	51	24	67
강수량(mm)	673.4	701.1	732.7	820.5	823.8	826.9	864.2	935.2	950.2	952.2
백분율(%)	53.1	55.8	57.8	64.7	65.0	65.2	68.2	73.8	75.0	75.1

표 2-3 유역특성인자

유역	면적(ha)	토지이용율(%)		
		논	산지	숲
동상	8940.0	4.2	4.4	87.3
대아	3016.0	1.3	0.8	88.2
용복	3365.0	6.6	5.4	84.6
경천	6400.0	12.4	2.4	73.1
잔여유역	11219.0	3.3	14.8	70.7

행한 결과 32.67%의 유출율을 얻었다. 그림 2-4는 강우와 유출의 패턴을 도시한 것이다.

### 2-3. 수리권과 용수수요

본 연구대상 하천의 유수점용 허가량은 총 31.5146m<sup>3</sup>/s인데 저류용수 취수허가량은 어우취수보에서 30.148m<sup>3</sup>/s이고 용암취수장에서 0.3819m<sup>3</sup>/s이다. 저류시설을 갖지 않는 잔여구역의 하천에서 취수허가량은 0.9847m<sup>3</sup>/s로 전북농조가 점용자이다. 정부에서 전주권 광역 상수도에 관한 계획에서 용담댐 저수지의 개시 시점인 98년 이전에 용수부족이 클 것으로 예상하여 신규수리권으로 대아수계에서 1단계 1차분으로 95년말까지 15만m<sup>3</sup>/일을 공급하는 것으로 되어 있다. 이는 전북농조와 전주시, 익산시와의 사용협약이 완료되어 수리권설정에 문제가 없을 것으로 판단하였다. 고산 수계의 수자원에 대한 수리권은 동상, 대아, 경천 등 5개 저수지를 관리하고 있는 전북농조에 있는데 농업용 수리권은 20,142.37ha이고 경천보 등 19개의 보로부터 공급되는 528ha이다. 그러나 이 농업용수는 30년대 이후 타용도로 전환되었다. 현재 전주권에 용수를 공급하고 있는 대아수계의 목적의 용수공급은 월평균 480.7만m<sup>3</sup>(16.0227만m<sup>3</sup>/일)로 어우리보 상류의 가용수량 검토 당시 계획공급량 13.3만m<sup>3</sup>/일을 초과하고 있다. 이 이유는 어우리보 하류에 있는 조선택주, 전미취수장 등에 대아 수계의 저류수를 공급하였기 때문인데 1단계 1차분계획에 이러한 현실이 포함되어 있지 않다. 이와 같은 사실이 1단계 1차분 계획에 포함되어 있지 않아 용암취수장 하류의 취수 여건이 현재 보다 악화되고 현 유황에서 분석 당시 일평균 취수 가능량이 12.6만m<sup>3</sup>/일인데 용수수요를 감안하여 일 최대 15만m<sup>3</sup>/일을 취수할 경우에 갈수기 어우리보 하류의 취수원 부족이 예상되며 기득수리권의 용수공급이 어렵게 될 전망이다. 용담수원의 공급 예정 시점인 2001년에 대아수계의 용수수요는 최대가 되며 이후에 대아 수계의 용수수요는 정체하거나 감소한다. 따라서 용수수요와 물수지분석의 목표년도를 2001년으로 한다. 용수수요 분석 대상 수요지는 기득수리권을 갖는 고산천 수계의 관개면적과 군산, 익산의 생활용수이며 신규로 공급협약이 체결된 전

표 2-4 생공용수 수요 예측

년 도		95	96	97	98	99	2000	2001
역외기득권	공급량(천m <sup>3</sup> /일)	136	154	158	161	165	168	172
고산읍		1	1	1	1	1	1	1
전주권광역				150	150	150	150	150
완주공단		33	33	33	33	33	33	33
전주4공단								15
계		170	188	342	345	349	352	371

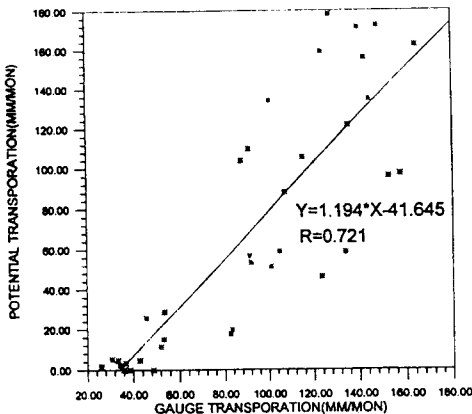


그림 2-2 계기증발과 잠재증발산 관계(전주)

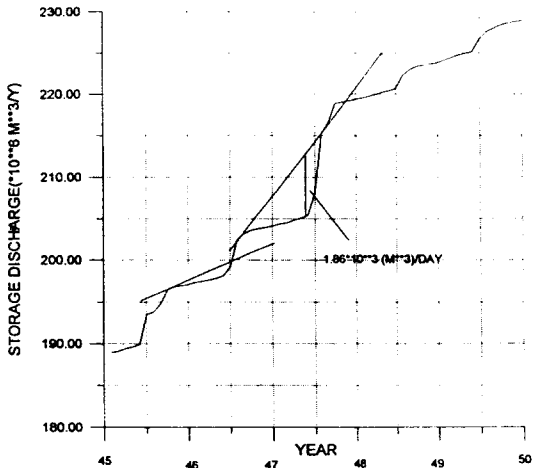


그림 2-3 누가유출용적도(대아 - 동상)

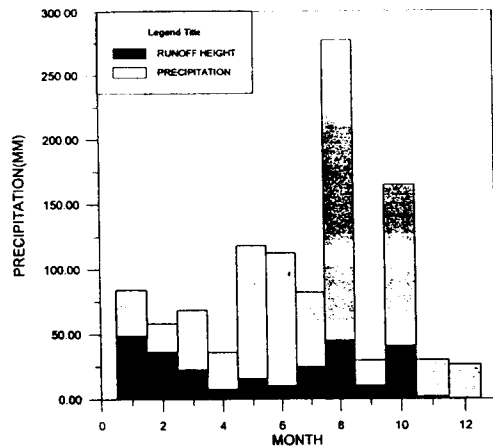


그림 2-4 강우-유출 관계

주시의 생공용수이다. 장래의 생공용수량을 추정하기 위해 생활용수 수요는 과거의 공급실적자료를 회귀분석하였으며 고산천 수계의 목표년도에 총생공용수 수요는 표 2-4에 나타난 바와 같이 37.1만 $m^3$ /일이다. 농업용수는 전주축후소의 단위농업용수 수요량 965.3mm과 관개면적 23,241.07ha에 의해 산정하면 연간 224.8MCM이다. 그리고 하천유지용수는 법적 효력이 있는 만경강 하천정비 기본계획에서 대천수위표지점에 0.74 $m^3$ /s를 하천유지유량으로 지정하였기 때문에 이를 유역면적비로 분배하면 용암취수장 지점은 0.30 $m^3$ /s이다. 이 중에 잔여 유역분은 0.10 $m^3$ /s, 저수지 유역분은 0.20 $m^3$ /s이다.

### 3. 물수지 분석

물수지분석은 자연유출량과 순물소모량을 비교하는 것으로 어떤 단위기간 동안의 용수수요량이 자연유출량 보다 크면 물부족이 발생하게 된다. 본 연구에서는 고산천 수계의 5개 저수지가 농업전용이라는 점을 감안하여 수문년을 10월 1일부터 이듬해 9월 말일까지의 1년으로 하였다. 고산천 수계내에는 수리시설물에 의해 역외로 방출되는 유역과 잔여유역이 확인하기 때문에 2구역으로 구분하여 물수지분석을 수행하였다. 용암지점에 대한 유량자료가 전무하여 수정 탱크모형을 이용하여 잔여유역과 용암지점에 대한 일유출량을 산정하였다. 이를 위해 11개의 한발사상을 선택하였다. 그리고 순물소모량의 산정에 있어서 생공용수의 경우는 NEDECO에서 제시한 회귀율 65%를 적용하여 순물소모량을 35%로 취하였으며 이 용수는 월별변화율을 적용하여 월별소모율을 산정하였다. 농업용수도 NEDECO에서 사용한 방법을 채택하였는데 수리시설물을 양수장 및 보, 저수지로 구분하여 계산하였다. 본 유역내에서 공급해야할 저수지 물리구역은 601ha이다. 하천유지용수는 순물소모량에 추가하여 공급되어야할 용수수요이다. 순물소모량을 종합하면 표 3-1과 같다. 대상유역에 대한 물수지를 구역내와 구역외로 구분하여 실시하는데 이는 구역외의 용수를 충당하고 잉여분이 있을 때만이 구역내에 기여할 수 있기 때문이다.

본 연구 대상유역 내에 5개의 저수지 중에 동상, 대아, 경천, 화정은 구역외로 용수를 공급하고 수선저수지만이 구역내의 물리구역에 용수를 공급한다. 이들 저수지의 총유효저수량은 1억1982만  $m^3$ 이고 대아, 동상, 경천저수지의 용수공급능력은 30.6만 $m^3$ /일이다. 목표년도인 2001년의 용수수요를 보면 농업용수가 연간 2억1900만 $m^3$ , 생공용수가 37만 $m^3$ /일, 하천유지용수가 1.7만 $m^3$ /일이다. 이와 같이 저수지에서 각 각 농업용수나 생공용수의 수요를 충족시키지 못하기 때문에 구역외의

표 3-1 월별 순물소모량(단위:천m<sup>3</sup>)

구분	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	계
생공	12.7	9.18	8.55	8.3	8.0	8.96	9.1	11.0	11.67	13.31	14.62	13.98	129.35
농업	-	-	-	73.2	68.5	73.2	131.2	727.0	1135.8	520.1	478.7	429.8	3673.3
하천유지	262.8	262.8	262.8	262.8	262.8	262.8	262.8	262.8	262.8	262.8	262.8	262.8	3153.6
계	275.5	272.0	271.4	344.3	339.2	344.9	403.0	1036.8	1410.3	796.2	756.1	706.6	6956.25
유출고	2.46	2.42	2.4	3.07	3.02	3.07	3.59	9.24	12.57	7.10	6.74	6.30	62.0

표 3-2 용도별 순물소모량 형태에 대한 취수가능 월수(11개년 평균)

	CASE 1	CASE 1	CASE 1	CASE 4
부 족	5.0	0.6	2.4	3.5
초 과	3.61	4.8	4.3	4.3
비초과	3.5	6.6	5.3	4.2

물수지의 결과는 잔여유역 하천에 기여하기가 어렵다.

구역내의 물수지 기준점은 용암취수장인데 물수지분석 목표는 자연유출량으로 순물소모량을 공급하고 용암취수장에서 농업용수를 취수할 수 있는지 판단하는 일이다. 자연유출량을 강우량과 비교하기 위해 유출고로 환산한다. 용암취수장의 시설용량이 99만m<sup>3</sup>/월인데 이 값을 유역면적으로 나누고 1개월의 일수가 31, 30, 28일인 경우에 대한 등가유출고는 9.12, 8.82, 8.24mm이다. 이 기준값을 자연유출고와 비교하여 전혀 취수할 수 없는 경우는 부족, 시설용량 이상으로 취수하는 경우는 초과, 취수할 수는 있으나 시설용량에 못 미치는 경우는 비초과로 구분하였다. 용도별 순물소모량의 형태를 4가지로 구분하였는데 (1) 생공, 농업, 하천유지용수, (2) 생공용수, (3) 생공, 농업용수, (4) 생공, 하천유지용의 순물소모량을 공급하는 경우이다. 11개년 한발에 대해 연간 평균적으로 (1)의 경우에 부족-5개월, 초과-3.6개월, 비초과-3.5개월, (2)의 경우에 초과-4.8개월, 비초과-6.6개월, (3)의 경우에 부족-2.4개월, 초과-4.3개월, 비초과-5.3개월, (4)의 경우에 부족-3.5개월, 초과-4.3개월, 비초과-4.2개월로 나타났다(표 3-2).

#### 4. 결 론

용암취수장 지점에서 과거의 한발년 수문사상을 대상으로 물수지분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 물수지분석은 구역외와 구역내로 구분하여 수행하였다. 구역외에 대해 4개의 저수지에 대한 수요와 공급을 비교한 결과, 구역내에 용수를 공급할 수 없는 것으로 판명되었다. 구역내의 물수지분석결과 11개년의 한발년에 대해 취수불가능 개월수가 0.6-5개월, 부분취수 가능 개월수가 3.5-6.6개월이고 시설용량 이상을 취수할 수 있는 개월수가 3.6-4.8개월로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 전라북도 하천정기기본계획(만경강, 고산천, 구룡천), 1992, 10
2. 한국수자원공사 금강유역 대청댐 및 하구둑의 효율적 관리방안, 1992,12
3. 농림수산부 저수관리시스템 개발, 1994,12.
4. 건설부 전주권계통 광역상수도 타당성 조사 및 기본계획, 1992.
5. 농업진흥공사 새만금지구 물수지분석, 1993.
6. 고석구, '94이상 가뭄에 대한 수문특성 분석 및 용수공급전망, 1995.
7. 이재형, 전주지역 농업용수 실태분석과 개선방안 연구, 1994.