

소유역의 한발지표 정립

Drought Index on Small Watersheds

金 善 柱*, 呂 運 植**, 李 廣 野***
Kim, Sun-joo Yo, Woon-shik Lee, Kwang-ya

Abstract

The calculation method for the Drought index based on the principal hydrological factors, such as precipitation, reservoir storage and river discharge, can estimate the duration and intensity of drought.

It is not easy to establish an universal criteria of drought since the drought conditions change variously by the precipitation. About 70 percent of the annual precipitation in Korea is concentrated from June to September resulting in drought and flood from time to time. Especially, the damage by the drought in April is very severe.

Water demand have been increasing sharply, and on the contrary, the number of sites suitable to keep the water storage have been decreasing. Therefore it is urgent to prepare generalized countermeasures to overcome drought positively.

Water demands could be estimated from the drought characteristics and the generalized and effective water management can be established from the results. The purpose of this study is to obtain a drought index and build up the fundamental hydrological data-base on small watersheds.

I. 서 론

한발은 불규칙적인 강우형태나 강우량의 부족으로 발생하게 된다. 우리나라의 경우는 그 발생시기가 비주기적이며, 특히 작물이 물을 필요로 하는 생육기에 집중적으로 발생하고 있다. 또한 한발에

적극적으로 대처하기 위해서는 각종 수리시설물을 보완 및 증설하여야 하나, 그 적지가 마땅하지 않고 이에 따른 개발비가 크게 증가 하여 실용성이 점차 결여되고 있는 것이 현실이다.

한발에 대처하는 방안은 크게 두가지로 구분될 수 있는데, 그 하나는 하드웨어(수리구조물)를 이

* 건국대학교 농과대학 농공학과
** 농어촌진흥공사 농어촌연구원
*** 농어촌진흥공사 조사설계처

키워드 : 비유량법, 월수수량 공식, 한발예보 시스템,
물관리조작 최적화, 한발DB 구축, 한발지표,
WSI 시계열 산출

용하는 것이고, 다른 하나는 소프트웨어(한발예보시스템)를 활용하는 것이다. 하드웨어를 이용하는 방법은 경제성 및 사회적인 여건을 고려할 때 많은 어려움이 따르는 반면, 소프트웨어를 활용하면 결과면에서나 경제성면에서 모두 만족한 해답을 얻을 수 있다. 그러므로 한발에 대비한 가장 적합한 물관리 대처방안의 하나는 현재까지의 한발을 기록하고 이로부터 앞으로 발생할 한발을 추정하여 용수수요를 충족시키기 위해 예측한 결과로부터 미리 물관리 조작을 효율적이고도 종합적으로 실시하는 것이다.

우리 나라의 수자원 장기종합계획은 용수수요와 공급의 관계를 물수지 계산에 의존하고 있으며, 주로 비유량법을 사용하여 다목적 댐, 하구둑, 용수 전용 댐, 수계별 댐 등의 용수수요 전망 계획을 수립하고 있고, 농업용수개발사업 및 농지조성사업의 기본계획에서는 월수수량 공식을 이용하여 용수수요를 예측하고 있다. 그러나 한발에 관한 대책이 주로 사후대책으로 국한되어 있으며, 특히 국부적인 한발에 대해서는 그 대책이 매우 미약한 실정이다. 그러므로 종합적이고 효율적인 물관리만이 용수부족을 해결할 수 있으며, 효율적 물관리의 한 방편으로서 한발을 예측하고 적절한 물관리 조작을 통해 한발피해를 최소화 시킬 수 있는 것이다.

본 연구의 목적은 꾸준히 증가하고 있는 용수수요에 적극적으로 대처하기 위하여 물관리의 최적화에 필요한 기초자료를 제시하고자 이미 발생된 한발을 수치로 표시하여 한발대처 능력을 향상시킴으로서 농업용수 이용을 최적화하는데 있다.

II. 연구내용 및 방법

기존의 가뭄피해가 있었던 유역의 각종 수문 및 기상자료를 수집하고, 저수지의 저류량 자료로부터 일반화 또는 지역화할 수 있는 인자를 산출하여 대상유역의 한발지표를 정립하고, 동시에 한발의 특성을 분석하여 한발 데이터 베이스를 구축하였다.

각 인자들의 확률적 분석을 통해 계절적 차이가 큰 우리 나라의 기후특성을 파악하고 현재까지의

한발을 수치적으로 기록하여 효율적인 물관리조작에 필요한 기초 자료를 제공한다.

1. 연구대상유역

본 연구에서는 기호농지개량조합(Kiho Farm Land Improvement Association ; Kiho FLIA) 관할유역을 연구대상 유역으로 설정하였다.

기호농조 관할 저수지의 수는 총 32개소, 유효저수량은 73,034,000m³, 총 관개면적은 13,339.9ha이다. 기호농조는 경기도 안성군과 용인군 일원에 걸쳐 용수를 공급하고 있으며, 본 연구에서는 이중 <Table. 1>에서 보는 바와 같이 3개 저수지를 대상으로 하여 한발지표 정립을 시도하였다.

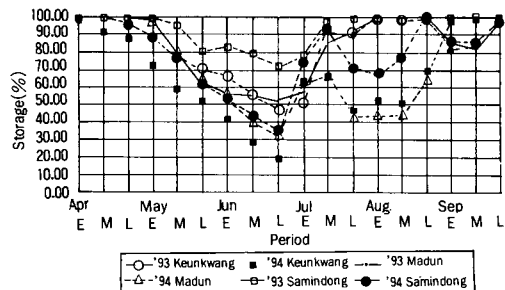
<Table. 1> Studied reservoirs in Kiho FLIA

Name of Reservoir	Location	Year of Const.	Basin Area (ha)	Irrigated Area (ha)	Surface Area (ha-m)
Keumkwang	Ansung-gun, kyungki-do	1961	4,380	1,963.1	151.80
Samindon	Yongin-gun, kyungki-do	1969	328	63.6	10.00
Madun	Ansung-gun, kyungki-do	1975	1,240	543.2	41.00

2. 연구방법

1) 저류량 분석

연구대상 저수지의 1993년 및 1994년 저류량(율)의 변화를 살펴보면 현저하게 차이가 남을 알 수 있다. 두해 모두 작물의 이앙기를 시점으로 해서 저수율의 감소를 보이다가 1993년의 경우 5월부터 저수율이 회복되나 1994년은 지속적인 감소

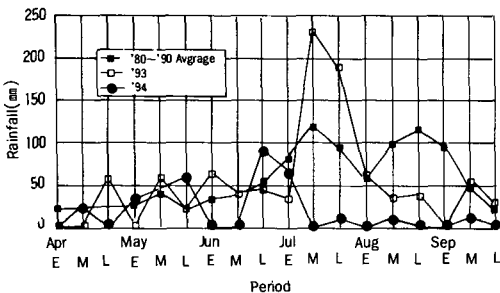


<Fig. 1> Changes of the storage ratio of the studied reservoirs from 1993 to 1994

를 보이며 특히 7월에 저수율이 가장 낮았고, 1994년의 경우 한번 떨어진 저수율은 용수수요기에 다시 회복되지 않았다. 저수지의 저류량은 어느 한계를 넘으면 단기간내 평균 저류량 이상으로 회복하기가 거의 불가능 함을 알 수 있는데, 이는 한발이 발생하면 사후대책의 수립이 매우 곤란하다는 것을 입증하여 주는 것이다.

2) 강우량 분석

대상 지역의 관할 측후소인 수원 측후소의 1980년 부터 1990년 사이의 순별평균 강우량과 1993년과 1994년의 순별 강우량을 비교해 보면 <Fig. 2>에서 보는 바와 같이 4월의 경우 1993, 1994년 모두 평균치보다 작으며 특히, 1994년의 전체 강우량은 평균을 크게 밑돌고 있다. 그리고 1993년의 강우량은 6월이후 평년치에 가깝게 접근하고 있으며, 추수기인 9월의 강우량이 평년치보다 작게 나타났으나 전체적인 양이 평년치의 수준으로서 4월과 5월에 약간의 부족을 제외하곤 작물 생육기에 적절한 수분상태를 유지할 수 있었다. 1994년의 경우에는 작물의 생육기(6월~8월)에 7월 초순과 중순을 제외하고 무강우(전국평균 약 60일)를 나타내어 생육에 필요한 수분을 충분히 공급하지 못하였다. 또한 5, 6, 7월의 강우량은 평년(약 550mm)의 절반수준인 230mm로서 강우량만으로도 한발피해를 예측할 수 있다.



<Fig. 2> Rainfall at Suwon station

3) 한발 분석을 위한 추계학적 방법 고찰

어떤 대상지역의 실측기록치에 대한 한발분석의 일반적인 접근방법은 기록치로부터 한계기간(Critical period)을 추출하여 그를 대상으로 분석을 시행한다. 즉, 용수수요와 수문학적인 입력자

료의 극한적인 조합에 의해 이루어지는 한계기간을 한발분석의 경계조건으로 사용하는 것이다.

본 연구에서는 용수수요에 대응하여 유역의 강우량과 저수지 저류량(저수율)의 순별 비초과 확률을 구하여 한개의 유역 안에서 서로 다른 변수들을 사용하여 용수공급의 활용성을 비교해 보았다. 평균적인 퍼센트로 한발지표를 정의한다면 그 수치는 아무런 유용성을 나타내지 못하므로 확률적 해석치로부터 한발을 정의할 수 있는 지표를 구하는 것은 결코 쉽지 않다.

미국의 경우 1976~1977, 1980~1981년 서부지역에서 발생한 가뭄피해로 인하여 한발대책방안에 대한 인식이 크게 고조되어, Palmer의 가뭄지수(Drought index)가 한발을 정의할 수 있는 유용한 방법으로 부각되었으며, 한발을 수치화 하고자 하는 연구가 활발히 진행되었다.

한발피해를 최소화 하기 위한 한발예측지표로서 DRP(Colorado Drought Response Plan : 1981)에서 강우, 강설, 하천유출량, 저수지 저류량 등의 표면유출인자로 구성된 SWSI(Surface Water Supply Index)를 개발하였다. 초기의 SWSI는 토양보전국, 지질조사국, Colorado기상청에서 한발을 수치화하므로써 한발에 대처하기 위한 기초 자료를 얻기 위하여 사용되었다.

본 연구에서는 우리나라의 한발을 규정하기 위한 지표로서 Palmer의 가뭄지수(Drought index) 이후에 한발예측을 위하여 개발된 수정 SWSI(Doesken et al : 1992)를 보완하여 연구대상 지역의 WSI(Water Supply Index)를 정립하였다.

이를 구하기 위한 단계적 절차는 다음과 같다.

- ① 유역의 선정
- ② 유역 내의 강우량과 저류량을 파악
 - 저수지 저류량은 시간적 자료로 구성되며 각각의 측정치는 서로 큰 상관성을 표현한다.
- ③ 확률분포함수를 선택 : Gamma, Normal, Log-Normal etc.
- ④ 저수지 저류량은 불규칙한 분포를 나타낼 수 있으며 현지 여건상 정확한 산정이 어려울 수도 있다. 이러한 경우 경험에 의해 저류량을 추정할 수 있다.

⑤ WSI의 순별시계열 산출

- 단계 ③의 확률분포를 이용하여 저수지 저류량과 강우량 변수에 대한 비초과 확률 산정 - 지수산정^{8),11),13)}

$$WSI = \frac{P-50}{12}$$

4) WSI 분석

사용된 각 수문인자들의 비초과확률을 이용하여 한발을 정의할 수 있는 INDEX를 구하였다. 즉 위의 지수산정 공식에 가중치를 사용하여 다음의 식을 도출하였다.¹¹⁾

$$WSI = \frac{aP_{resv} + bP_{pre} - 50}{12}$$

여기서 P_{resv} , P_{pre} 는 저류량과 강우량의 비초과 확률이며, a, b는 각 수문사상의 가중치이다 ($a+b=1$). WSI의 값은 $-4.17 \sim +4.17$ 사이에 속하며, WSI의 이론적 발생주기는 다음의 범위에 속하게 된다.

- +2 이상 : 시계열의 48%
- 2 ~ +2 : 시계열의 38%
- 3 ~ -2 : 시계열의 26%
- 4 ~ -3 : 시계열의 12%
- 4 이상 : 시계열의 2%

III. 결과 및 고찰

1. WSI 계산 결과 고찰

전체적인 WSI 변화는 3개 저수지 모두 같은 양상을 나타내었다. 삼인동 저수지의 경우는 다른 두 저수지에 비해 유역의 규모가 작기 때문에 저류량 변화에 대한 민감한 반응을 나타냈다. 1993년과 1994년의 전체적 변화에서 WSI값이 -3 이하로 떨어지면 그 이후의 WSI치는 계속적으로 음의 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

이상과 같은 분석결과로부터 다음과 같은 확률적 특성을 알 수 있다.

1) WSI가 0인 경우 확률분포의 왜곡도 때문에 저류량과 강우량의 WSI값의 평균에 100% 대응하지 않는다.

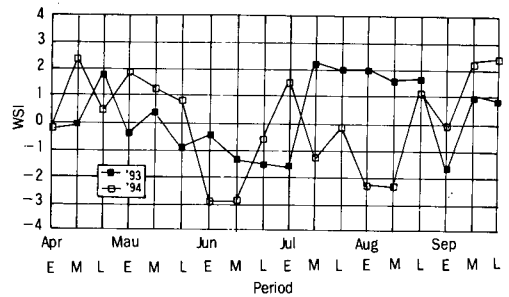
2) 5월에서 7월의 저류량 분포는 그다지 크지 않은 변화를 보이며 음의 왜곡을 보여준다. 그러나

적은량의 저류량 변화는 WSI에 큰 영향을 끼치게 된다.

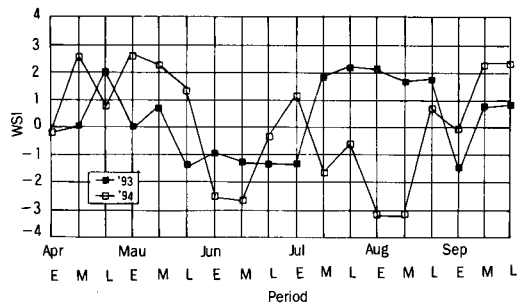
3) WSI의 최대치는 수문인자의 변화를 크지 않았기 때문에 비초과 확률 값에서 극치를 나타내지 않았다.

4) WSI는 선형지수가 아니다. WSI는 수량 또는 단계상의 비율적 확률변화에서 유래하지 않는 확률변화 지수이다.

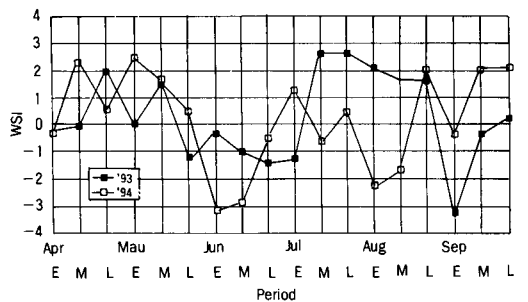
5) WSI는 항상 저류량 지표와 강우지표 사이에



<Fig. 3> Time series analysis of Kuemkwang basin



<Fig. 4> Time series analysis of Madun basin



<Fig. 5> Time series analysis of Samindong basin

있는 것이 아니다. 이것은 각 인자의 INDEX가 반대부호를 가질 때만 참값이 된다. 만약 각 인자의 INDEX가 같은 부호일 때는 WSI는 각 수문인자의 INDEX보다 큰 수치를 가지게 된다. WSI의 극치는 두 인자가 각각 INDEX의 극치를 나타낼 때보다 더 적은 확률적 빈도를 나타내게 된다.

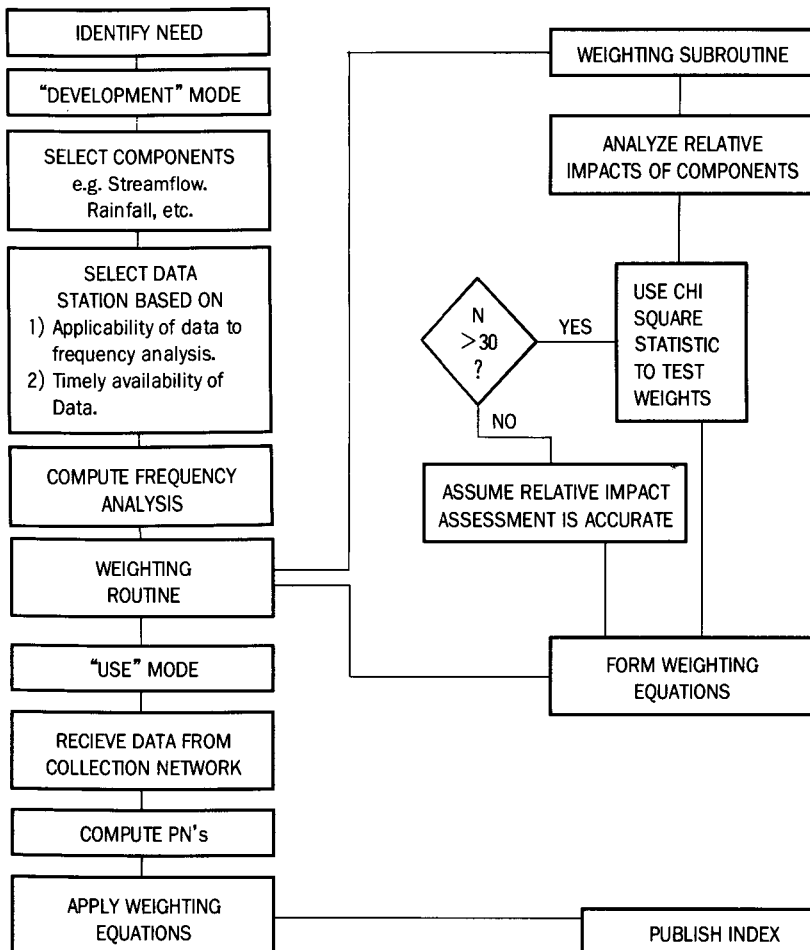
6) 과거 기록과 1993년 및 1994년 WSI값으로부터 다음과 같이 한발을 분류할 수 있다.

- +2 이상 : 충분한 용수공급
- +2 ~ -1 : 거의 정상적 용수공급
- 1 ~ -2 : 약간의 가뭄
- 2 ~ -4 : 심한 가뭄
- 4 이상 : 매우 심한 가뭄

2. 한발 데이터 베이스 시스템 구축

한발 DB를 구축하기 위한 절차는 지형 및 용수 공급 체계에 따라 유역을 구분하고 해당 소유역의 물 관리 체계를 파악하며 유역의 기상관측소로부터 분석에 필요한 수문 자료를 수집하여 자료의 DB화와 분석을 실시한다. 또한 저수지의 저류량 자료를 수집 분석하여 한발지수를 구할 수 있는 DB를 구축한다. 이때 확률 분석치의 정도는 자료의 수집기간이 길수록 좋다. 이렇게해서 한발 DB 시스템이 완성되면 한발을 수치로 표현할 뿐만 아니라 기왕의 자료를 이용하여 한발을 예측하고 그 결과에 따라 용수공급을 모의로 조작하여 차후에 한발이 발생할 때 적절한 물관리를 위한 기초자료를 제공하게 된다.

한발의 수치화와 예측을 위한 모형의 흐름도는 <Fig. 6>과 같다.



<Fig. 6> WSI forecasting model flow chart

V. 결 론

앞으로 예상되는 용수부족을 해소하기 위해서는 집중적, 종합적인 물관리 조작기법의 개발이 시급한 실정이며, 이에 따라 기초수문 자료의 체계적인 활용에 대한 관심이 고조되고 있다. 이제까지의 국내한발연구는 한발의 원인적인 면 보다는 주로 경과적인 면에 치중해 왔다. 1970년대 이후부터 한발피해를 최소화하기 위한 여러가지 방안들이 제시되어 왔으나, 이들은 사후 대책선에서 제시된 것들이다. 이러한 점을 고려할 때 한발을 예측하여 물관리를 실시하는 것은 앞으로 발생할 수 있는 한발로 인한 피해를 감소시키기 위한 매우 효과적이고도 최적의 방안인 것이다.

그러므로 한발을 정의하고, 더 나아가 한발 발생시 효율적 대책수립을 가능케 하는 한발 예보체계의 구축은 앞으로 보다 나은 물관리를 가능케 하고, 동시에 각종 개발사업에 필요한 기초 수문자료를 제공할 수 있다고 기대되는 것이다.

본 연구의 분석결과로 부터 얻은 확률적 특성은 첫째, WSI가 0인 경우 확률분포의 왜곡도 때문에 저류량과 강우량의 WSI값의 평균에 100% 대응하지 않으며, 둘째, 5월에서 7월의 저류량 분포는 그다지 크지 않은 변화를 보이고 음의 왜곡을 보여 주었으나 적은 양의 저류량 변화는 WSI에 큰 영향을 끼치게 된다. 셋째, WSI의 최대치는 수문인자의 변화가 크지 않았기 때문에 비초과 확률 값에서 극치를 나타내지 않았다. 넷째, WSI는 선형지수가 아니며, 수량 또는 단계상의 비율적 확률변화에서 유래하지 않는 확률변화 지수이다. 다섯째, WSI는 항상 저류량 지표와 강우지표 사이에 있는 것이 아니며, 각 인자의 지표가 반대부호를 가질때만 참값이 된다. 만약 각 인자의 지표가 같은 부호일 때 WSI는 각 수문인자의 지표보다 큰 수치를 가지게 된다. 또한 WSI의 극치는 두 인자가 각각 지표의 극치를 나타낼 때보다 더 적은 확률적 빈도를 나타내게 된다. 여섯째, 과거 기록과 1993년 및 1994년의 WSI 값이 +2 이상이면 충분한 용수공급상태이고, +2~-1은 거의 정상적 용수공급, -1~-2는 약간의 가뭄, -2~-4는 심한 가뭄, 그리고 -4 이상은 매우 심한 가뭄상태로 한발을

분류할 수 있는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. Palmer, W. C., 1965. Meteorological Drought, Research Paper No. 45, U.S weather Bureau, Washington, D.C.
2. Millan J. & V. Yevjevich, 1971. Probabilities of Observed Drought, Hydrology Papers, Colo. State Univ, Fort Collins, C
3. Dracup J. A., K. S. Lee, and E. G. Paulson J.R., 1980. On the Statistical Characteristics of Drought Events, Water Resources Research, 16(2), pp. 289~296.
5. Water Resources and Development Service, 1980. Land and Water Development, Division of F.A.O.
6. Gumble E. J., Statistical Forecast of Drought National Science Foundation Public Health Service W.P., 00457-01.
7. Alley, W. M., 1984. The Palmer Drought Severity Index : limitations and assumptions, J. of Climate and Appl. Meteorology. 23(7), pp. 1100~1109.
8. Alley, W. M., 1985. The Palmer Drought Severity Index as a Measure of Hydrologic Drought, Water Resour. Bulletin, 21(1). pp. 105~114.
9. Cayan, D.R. and D. H. Peterson, 1989. The Influence of North Pacific Atmospheric Circulation on Streamflow in the West, Geophysical Monograph 55, American Geophysical Union, Washington, D.C., pp. 375~397.
10. DeGroot, M. H., 1986. Probability and Statistics Ed. Addison-Wesley, Reading, Mass.
11. Doesken, N. J., T. B. McKee and D. Garen, 1991a. Drought Monitoring in the Western United States Using a Surface Water Supply Index, 7th Conf. Appl. climatology, Proc. American Meteorological Society, Boston, Mass.
12. Doesken, N. J., T. B. McKee and J. Kleist, 1991b. Development of a Surface Water

- Supply Index for the Western United States, Climatology Report Number 91-3, Colorado Climate Ctr. Dept. of Atmospheric Sci. Colorado State Univ. Fort Collins, Colo.
13. Garen, D. C., 1992. Improved Techniques in Regression-based Streamflow Volume Forecasting, J. Water Resour. Plng. Mgmt. ASCE, 118(6), pp. 654~670.
 14. Koch, R. W., C. F. Buzzard and D. M. Johnson, 1991. Variation of Snow Water Equivalent and Streamflow in Relation to the El Nino/Southern Oscillation. Proc. Western Snow Conf. pp. 37~48.
 15. Lamm, R. D., 1981. The Colorado Drought Response Plan, State of Colorado, Office of the Governor, Div. of Disaster Emergency Services.
 16. Redmond, K. T. and R. W. Koch, 1991. Surface Climate and Streamflow Variability in the Western United States and Their Relationship to Large-scale Circulation indices, Water Resour. Res. 27(9), pp. 2381~2399.
 17. 김시원, 1971. 한발기에 있어서 용수관리 방법이 수답생육과 그 수량에 미치는 영향에 관한 연구, 한국농공학회지, 13(1).
 18. 농수산부, 한해대책 편람
 19. 농림수산부, 1978. '77 한해극복지
 20. 유태용, 1979. 한발과 홍수방지를 위한 항구대책, 대한 토목학회지, 27(3), pp. 6~12
 21. 농림수산부, 1983. '81, '82 한해극복지
 22. 이천복, 1981. 한발에 대비한 지하수개발의 제언, 한국농공학회지
 23. 황은, 최덕구, 1984. 월 강우자료에 의한 한발측정, 한국농공학회지
 24. 농업진흥, 1985. 한발은 있어도 한해는 없다, pp. 92~94.
 25. 정상만, 1989. Negative Runs 이론에 의한 한발의 연구동향, 한국 수문학회지, 22(1), pp. 26~30.
 26. 한국수자원공사, 1990. 수자원장기종합계획보고서

약 력

김 선 주



- 1980. 건국대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1982. 건국대학교 대학원 농학석사
- 1982. 이스라엘 Volcani Institute 연구원
- 1988. 건국대학교 대학원 농학박사
- 1989. 일본 농업공학연구소 Post Doc.
- 현재 건국대학교 농과대학 농공학과 부교수
KCID 기계화관개분과위원장 /
편집 및 학술분과위원
ICID 기계화관개분과위원

여 운 식



- 1987. 건국대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1989. 건국대학교 대학원 농학석사
- 1990. (재)한국농지개발연구소 연구원
- 1994. 건국대학교 대학원 박사수료
- 현재 농어촌진흥공사 농어촌연구원

이 광 아



- 1993. 건국대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1995. 건국대학교 대학원
- 현재 농어촌진흥공사 조사실계처