

한강유역의 가뭄경향에 관한 연구

A Study on Drought Trend in Han River Basin

김 형 수* / 문 장 원** / 김 재 형*** / 김 중 훈****

Kim, Hung Soo / Moon, Jang Won / Kim, Jae Hyung / Kim, Joong Hoon

Abstract

The drought analysis is performed by applications of truncation level method and conditional probability concept for hydrologic time series in Han river basin. The distributed trend of conditional probability is determined using kriging method for the time series. This study uses daily flowrate, monthly rainfall, and daily high temperature data sets. The daily flowrate data of 12 years(1986~1997) is used for the analysis. Also, the 14 years' data sets(1986~1999) for monthly rainfall and daily high temperature obtained from the National Weather Service of Korea are used in this study. In the cases of flowrate and rainfall data sets, the estimated value corresponding to the truncation level is decreased as the truncation level is increased but in the high temperature data, the value is increased as the truncation level is increased. The conditional probability varies according to the observations and sites. However, the distributed trend of drought is similar over the basin. As a result, the possibility of the drought is high in the middle and lower parts of Han river basin and thus it is recommended the distributed trend of drought be considered when the plan or measures for drought are established.

keywords truncation level, conditional probability, kriging, drought severity

요 지

본 연구에서는 한강 유역의 수문 시계열자료에 절단 수준법과 조건부 확률 개념을 적용한 가뭄분석을 실시하였으며, 크리깅기법을 이용하여 산정된 조건부 확률의 유역 내 분포 경향을 알아보았다. 수문시계열자료는 일 하천 유량, 월 강수량, 일 최고기온자료를 이용하였고 자료기간은 일 하천 유량의 경우 86년부터 97년까지 총 12년 간의 자료를 사용하였으며, 월 강수량과 일 최고기온의 경우에는 86년부터 99년까지 총 14년 간의 기상청 관측자료를 이용하였다. 하천 유량과 월 강수량의 경우, 절단 수준이 증가함에 따라 절단 수준에 상응하는 가뭄 표준치들은 감소하며, 일 최고기온과 같은 시계열의 경우는 절단 수준이 증가함에 따라 해당 절단 수준의 가뭄 표준치들도 함께 증가하였다. 산정된 조건부 확률은 지점과 수문학적 인자, 즉, 시계열의 종류에 따라 다양한 값을 나타내고 있으나 유역 전체에 대한 체계적인 분포상향은 수문학적 인자에 관계없이 유사하게 나타났다. 결론적으로, 한강유역에서는 가뭄이 발생하여 강도가 심해질 가능성이 유역의 중하류 지역이 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 따라서 해당 유역에서 가뭄에 대비한 대책 수립 시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 절단수준, 조건부확률, 크리깅, 가뭄심도

- * 선문대학교 토목공학과 조교수
Assistant Prof., Dept. of Civil Eng., Sunmoon University, Chungnam 336-840, Korea
sookun@omega.sunmoon.ac.kr
- ** 고려대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정
Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
- *** 고려대학교 토목환경공학과 박사수료
Doctoral Candidate, Dept. of Civil and Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
- **** 고려대학교 토목환경공학과 부교수
Associate Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

1. 서 론

가뭄은 인간이 극복하기 가장 힘든 자연재해로 사회, 경제 및 환경에 막대한 피해를 준다. 그와 같은 극심한 피해를 주는 가뭄이라는 재해 현상에 대하여 사회적인 관심이 점점 높아지고 있으며 이러한 관심의 결과로 앞으로 발생할 가뭄현상의 피해를 줄이기 위한 연구가 많은 수문 학자들에 의해 이루어지고 있다.

우리나라 역시 가뭄에 대한 안전지대가 아니어서 전국적 또는 국지적 가뭄으로 인한 피해를 역사 기록상에서 발견할 수 있으며 약 10년에 한번씩은 큰 가뭄이 발생하는 것으로 알려져 있다. 또한 최근 '94~'95 가뭄은 근대 기상관측을 시작한 이래 기상학적으로 가장 극심한 가뭄으로 분석되기도 하였다 우리나라의 자연적 여건은 강우가 여름철에 집중되는 등 시간적 분포의 편중을 보이고 있어 겨울과 봄에 가뭄이 발생할 빈도가 높을 뿐만 아니라, 최근에는 각종 산업의 발달과 생활 수준의 향상으로 인하여 용수수요는 계속해서 증가하고 있지만 하천의 수질은 오히려 악화되고 있는 등 수자원의 관리가 더욱 더 어려워지고 있는 실정이다(김승과 우효섭, 1996).

이러한 가뭄재해를 분석하기 위하여 많은 수문 학자들은 목적에 따라 여러 가지 지표를 이용해 가뭄을 정의하여 왔으며, 그 중 강수, 하천 유량, 그리고 토양 습윤도는 기상 및 수문학적 견지에서 가뭄사상을 판단하기 위한 지표로 널리 사용되어 오고 있다(Whipple, 1966; Dracup 등, 1980; Chang and Kleopa, 1991). 비록 적은 양의 강수가 가뭄의 주된 원인이라고 할 수 있을 지라도 그와 함께 다른 지표들도 같이 고려한다면 보다 더 효과적으로 가뭄의 영향을 평가할 수 있을 것이다(Chang and Kleopa, 1991).

Yevjevich(1967)는 절단 수준법이라는 개념을 유량의 시계열 자료에 적용하였으며 이를 이용하여 유량 부족의 지속기간 등을 정의하였다. 절단 수준법을 이용하면, 각각의 수문학적인 지표들에 있어서 특정한 절단 수준보다 낮은 값을 갖는 기간으로 가뭄사상을 정의할 수 있으며 이 방법은 정량식으로 가뭄사상을 표현할 수 있다는 장점을 가지고 있다고 할 수 있다.

Chang과 Kleopa(1991)는 가뭄이 더욱 심화될 가능성을 판단하기 위하여 조건부 확률 개념을 도입, 적용하였다. 각각의 지표들에 대하여 먼저 각각의 절단 수준값을 산정한 후 특정 절단 수준에서 다음 단계의 절단 수준으로 진행할 확률을 조건부 확률 개념을 이

용하여 산정하였으며 이 두 가지 방법을 이용하여 새로운 가뭄감시의 방법을 제시하였다. 또한 Chang과 Tech(1995)는 수문학적 지표 중 하나인 지하수위 강하도에 대해 산정된 조건부 확률 값을 지역변수고 실정하고 크리깅기법을 적용하여 유역진체에 대한 지하수 가뭄의 분포를 산정하였다.

본 연구에서는 일 하천유량, 월 강수량, 그리고 일 최대기온의 3가지 수문학적 인자에 대한 시계열 자료를 이용하여 절단 수준법 및 조건부 확률 개념을 적용하고 각 관측 지점들에 대해 산정된 조건부 확률 값을 크리깅기법에 적용하여 유역 진체에 대한 분포 경향을 판단하여 보았다. 또한 결과에 대한 검증은 위해 과거에 발생했던 가뭄의 분포 양상과 비교하여 보았으며 각각의 수문학적 인자들에 대한 결과를 비교 분석하여 해당 유역에서의 가뭄 특성을 판단해 봄으로써 가뭄감시와 운용에 대한 정보를 제공해보고자 한다.

2. 절단 수준법과 조건부 확률 개념

가뭄사상의 경량식인 표현을 위하여 절단 수준법을 적용하기 위해서는 먼저 각각의 시계열자료를 내림차순으로 정렬하고 정렬된 자료에서 특정 절단 수준에 해당하는 값을 결정해야 한다. 이 때 결정해야 하는 절단 수준은 일반적으로 70, 80, 90, 그리고 95%값이 많이 사용되며 본 연구에서도 이 값들을 사용하였다. 내림차순으로 정렬된 자료에서 특정 절단 수준에 해당하는 값을 결정하는 방법은 두 가지가 있으며 이 중 사용될 방법의 결정은 대상 자료의 특성에 의해 결정할 수 있다. $X\%$ 의 절단 수준은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$i = \frac{X}{100} \times N \quad (1)$$

$$z = \frac{100 - X}{100} \times N \quad (2)$$

여기서, i 는 절단 수준에 따른 시계열의 i 번째 위치이며, X 는 결정하고자 하는 절단 수준(Truncation level; 70, 80, 90, 95), N 은 시계열의 총수를 의미한다. 식 (1)은 하천수위 또는 유량, 지하수위, 강수량과 같이 가뭄기간동안 그 값이 작게 나타나는 자료계열에 적용되며, 식 (2)는 증발산량, 기온과 같이 가뭄기간동안 사료의 값이 크게 나타나는 자료계열에 적용된다.

즉, 식 (1)에서는 $X\%$ 의 절단 수준값보다 큰 값이 전체 시계열 자료에서 $X\%$ 가 됨을 의미하며 식 (2)에서는 반대로 $X\%$ 의 절단 수준값보다 작은 값이 전체 시계열 자료 중 $X\%$ 임을 의미한다.

가뭄 문제에 있어서 또 하나의 관심사는 현재의 가뭄이 더욱 심화될 가능성은 얼마나 되느냐 하는 것이다. 이는 절단 수준법에 조건부 확률 개념을 도입하여 정량화 할 수 있으며 조건부 확률은 다음 식을 이용하여 결정할 수 있다.

$$P[A|B] = \frac{N[A \cap B]}{N[B]} \quad (3)$$

여기서, $P[A|B]$ 는 현재의 절단 수준인 B 에서 다음 단계의 높은 절단 수준 A 로 진전될 조건부 확률을 의미하며 $N[A \cap B]$ 는 현재의 절단 수준 B 에서 발생하여 A 로 발전된 가뭄 사상의 수를 의미한다. $N[B]$ 는 현재의 절단 수준 B 에서 발생한 가뭄 사상의 총 수를 의미한다. 식 (3)을 이용하여 각각의 관측 지점에 대한 조건부 확률을 결정하면 이 값은 그 관측 지점에서의 가뭄 특성을 나타내 줄 수 있는 지표로 이용할 수 있다. Chang과 Kleopa(1991)는 내상지점의 시계열자료를 이용하여 절단 수준을 결정한 후 각 절단 수준별 가뭄 사상의 수를 결정하고 이를 이용하여 조건부 확률을 설정하였다. 하지만 단순히 수직 개념을 이용하여 조건부 확률을 결정하는 방법은 우리나라와 같이 건기와 우기가 뚜렷하고 각각의 수문학적인 인자들의 변화가 심한 경우에는 적절치 못한 결과를 줄 수 있으며 따라서 본 연구에서는 가뭄사상의 수가 아닌 특정 절단 수준에서의 가뭄 심도를 이용하여 조건부 확률을 결정하였다.

3. 크리강기법의 적용

각각의 관측지점에 대한 각 수문학적 지표들의 시계열 자료는 그 지점의 특성이므로 직접 비교할 수는 없다. 하지만 각각의 관측지점에 대한 조건부 확률은 지역적인 변수라고 볼 수 있으므로 대상 유역에서의 지역적인 분포를 알아봄으로써, 각 인자를 통해 나타나는 해당 유역의 지역적인 가뭄 특성을 결정할 수 있다. 이러한 지역적인 분포의 특성을 알아보기 위해서는 지구통계학적 모델인 크리강기법이 사용되어야 하며 다음과 같은 방법으로 적용할 수 있다.

크리강은 선형, 최소, 평균분산, 불편의 추정자

(unbiased estimator)이다. 다시 말해서, 추정 값은 주변 자료들의 선형 조합에 의해 구해지며, 오차의 분산이 최소화되고 잔류오차가 0이 되는 추정자이다. 대상 지역 내에 있는 한 점 x_0 에서의 미지 값 z_0 에 대한 추정치 \hat{z}_0 는 주변 n 개의 지지 값들 z_i ($i = 1, 2, \dots, n$)를 사용하여 다음과 같이 각 점들에 배분되는 가중치 α_i 에 의한 선형 조합에 의해 추정된다 (Delhomme, 1978; Kitamidis, 1983).

$$\hat{z}_0 = \sum_{i=1}^n \alpha_i z_i \quad (4)$$

크리강기법의 목적은 추정치의 분산이 최소가 되면서 불편의한 값이 되도록 가장 좋은 값을 주는 가중치 α_i 를 찾아내는 것이다. 불편의 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[\hat{z}_0 - z_0] = 0 \quad (5)$$

여기서, E 는 기대값을 의미하며 또한 분산이 최소가 되는 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E\left[\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i - z_0\right)^2\right] = \text{Minimum} \quad (6)$$

불편의 조건을 만족하기 위해서 가중치 α_i 값은 다음 조건을 만족하도록 선택되어야 한다.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i - 1 = 0 \quad (7)$$

따라서, 크리강기법은 식 (7)의 제약 조건을 갖는 식 (6)으로 이루어지게 되며 Lagrange 배계변수를 이용하면 많은 미지 값들에 대해 $n+1$ 개의 방정식이 얻어지게 되는데 그 식은 다음과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \tau(x_i - x_0) = \tau(x_0 - x_0) + \mu, \quad (8)$$

$$\tau = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (9)$$

여기서, τ 는 semi-variogram을 의미하며 μ 는 Lagrange 매개변수를 뜻한다. 식(8)과 (9)를 동시에 풀면 최적의 결과를 주는 가중치 α_i 값을 얻을 수 있으며 이 때 추정치의 분산은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\sigma^2 = - \sum_{i=1}^{\mu} \sum_{j=1}^{\mu} \alpha_i \alpha_j \tau(x_i - x_j) + 2 \sum_{i=1}^{\mu} \alpha_i \tau(x_i - x_0) \quad (10)$$

식(10)을 이용하여 각각의 지점에서의 분산 값을 구하면 이는 추정치의 정확도를 나타내는 척도로 이용할 수 있다. 만약 추정하고자 하는 값이 x_i 에서의 값이라고 한다면 그 지점에서의 가중치 α_i 는 1이 될 것이며 따라서 그 분산 값은 0이 될 것이기 때문에 만약 어떤 지점에서의 분산 값이 0이 아닌 0에서 1사이의 값이 나왔다면 그 크기가 클수록 추정오차가 커진다고 말할 수 있기 때문이다. 따라서 크리깅기법을 이용한 미지 값의 추정이 끝난 다음 그 분산을 계산하여 본다면 그 추정치가 주는 신뢰의 정도를 판단할 수 있을 것이다.

4. 대상 지역의 선정

본 연구에서 지금까지 서술한 질단 수준법과 조건부 확률 개념을 적용하여 각 관측지점에 대한 가뭄 양상을 판단하고 유역전체에 대한 가뭄 분포를 분석하고자 하는 대상 유역은 우리나라의 중부지방에 위치한 한강 유역이다.

한강은 유역면적 26,218.90km²(임진강 포함 34,473 km²)와 유로연장 469.70km인 한국의 최대하천으로 전국토면적의 약 23%를 차지한다. 한강은 북한강과 남한강으로 구성되어 있어 이 두 개의 하천은 서울특별시 인도로 상류 약 41km의 양수리 근처에서 합류한다. 유역의 지세는 상당히 복잡하여, 높은 산맥이 두 개의 방향으로 펼쳐져 있다. 하나는 동해안에 평행하게 북서로부터 남동으로 향하는 태백산맥이며 다른 하나는 북동으로부터 남서로 향하는 소백산맥이다. 지형은 전반적으로 기복이 심해 깊게 침식된 계곡에 의하여 비탈 끝이 분리되어 있는 것이 특징이다. 유역의 표고는 가장 높은 북동부의 산악지역의 경우 해발 약 1,700m에 달하며, 해발 800m이상의 유역이 약 14%, 200m이하의 유역이 약 27%로 구성되어 있다(전설교

동부 한강홍수통제소, 1990).

한강 유역에는 기상청 산하 총 9개소의 우량 및 기온 관측소가 운영되고 있으며 본 연구에서는 해당 지점의 86년부터 99년까지 총 14년 간의 월 강수량자료와 일 최고기온 자료를 이용하였다. 또한 한강 유역에는 총 86개소의 수위 관측소가 운영되고 있으나 자료의 관측이 일관되게 이루어지지 않고 결측기간이 상당부분을 차지하고 있어 본 연구에서는 자료의 상대가 양호한 여주, 영월 지선의 하천 유량 자료와 소양강, 충주, 화천, 그리고 평당댐의 유입량 자료를 이용하여 분석을 수행하였다. 하천 유량의 경우 하천 수위 자료를 각 지점의 수위-유량 관계 곡선을 이용하여 환산하였으며 자료 기간은 86년부터 95년까지 총 10년 간이나 댐의 일 유입량 자료의 경우 일별 댐 운영 실적 중 일 유입량 자료를 이용하였으며 자료 기간은 86년부터 97년까지 총 12년 간의 일 유입량자료를 이용하였다. 다음 그림 1은 대상 유역인 한강 유역의 유역도와 각 관측소의 위치를 나타낸 그림이다.

5. 적용 및 결과

질단 수준법 및 조건부 확률개념의 적용에 앞서 본

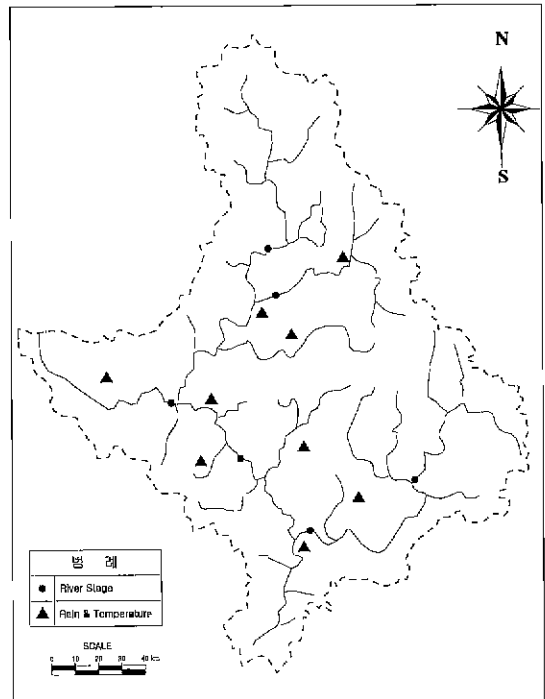


그림 1. 한강 유역도와 각 관측소의 위치

표 1. 각 지점별 일 유량 자료의 통계학적 특성

관 측 소	하 천 유 량 (m ³ /sec)		
	평 균	최 대 값	최 소 값
소양강댐	68.94	7,062.60	0.10
충주댐	195.63	8,377.00	2.40
팔당댐	535.78	26,306.00	34.00
화천댐	92.27	4,942.00	1.00
여주	236.75	15,172.89	24.65
영월	92.39	2,751.35	10.17

표 2. 각 지점별 월 강수량과 일 최고기온 자료의 통계학적 특성

관 측 소	월 강 수 량 (mm)			일 최 고 기 온 (°C)		
	평 균	최 대 값	최 소 값	평 균	최 대 값	최 소 값
서울	122.98	1,237.80	0.00	17.2	38.4	-13.6
양평	116.29	956.60	0.50	17.7	37.6	-13.0
원주	112.53	696.30	1.50	17.4	38.0	-13.5
이천	119.66	768.50	0.30	17.7	38.2	-13.2
인세	95.55	781.00	1.80	16.5	37.3	-13.8
계천	118.23	881.70	2.70	16.8	36.7	-13.2
춘천	110.88	774.70	1.30	17.2	36.5	-13.4
충주	105.36	802.00	1.60	17.8	37.9	-11.1
홍천	113.99	822.50	1.60	17.5	38.0	-12.7

표 3. 각 지점별 일 유량 자료의 절단 수준 산정 결과

관 측 소	일 유 량 (m ³ /sec)			
	70%	80%	90%	95%
소양강댐	11.60	7.70	4.40	2.60
충주댐	76.00	63.50	41.50	31.30
팔당댐	168.00	146.00	125.00	114.00
화천댐	20.00	16.00	11.00	9.00
여주	96.34	87.12	78.49	71.75
영월	31.38	22.85	16.73	14.49

연구에서 사용된 자료에 대한 통계학적인 분석을 실시 하였으며, 각 지점별, 수문학적 인자별 평균값과 최대 값, 최소값을 표 1, 2에 나타내었다.

이러한 통계학적 특성을 갖는 각 지점별 수문학적 인자들을 내림차순으로 정리하여 70, 80, 90, 95%에 해당하는 절단 수준을 결정한 결과는 표 3, 4와 같으며 결정된 절단 수준에 따른 각 지점별 가뭄 발생 총 기간 및 가뭄 발생 심도는 표 5~7과 같다.

표 3과 4에는 각 지점별, 수문학적 인자별로 산정된 절단 수준이 나타나 있다. 특성상 작아질수록 사용 가능한 수자원의 양이 적어짐을 의미하는 하천 유량과 월 강수량의 경우 절단 수준이 커짐에 따라 산정된 값

이 작아지고 있으나 일 최고기온의 경우에는 반대로 값이 커지고 있음을 알 수 있다. 표 5~7은 산정된 절 단 수준을 각각의 시계열자료에 적용하여 일어난 각 지점별 수문학적 인자별 가뭄발생 총 기간과 그에 따 른 가뭄 심도를 나타내고 있으며 가뭄 발생 총 기간은 각 인자별로 유사하게 나타나고 있지만 해당 지점에서 의 가뭄 심도는 매우 다양한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다

이와 같이 산정된 각 지점에서의 가뭄 심도 값을 이 용하여 각 지점별 수문학적 인자별 특정 절단수준에서 다음 단계의 절단 수준으로 진행할 조건부 확률을 산 정하였다. 산정된 각 단계별 조건부 확률은 어떤 지점

표 4. 각 지점별 월 강수량과 일 최고기온 자료의 절단 수준 산정 결과

관측소	월 강수량 (mm)				일 최고기온 (°C)			
	70%	80%	90%	95%	70%	80%	90%	95%
서울	32.90	21.10	11.00	3.70	25.0	27.3	29.7	31.3
양평	28.50	19.00	9.40	4.20	25.7	28.1	30.7	32.3
원주	31.70	20.70	11.40	5.80	25.3	27.7	30.0	31.4
이천	32.50	19.50	11.30	4.10	25.1	27.8	30.2	31.7
인제	24.50	15.40	8.60	4.80	24.2	26.8	29.2	30.6
제천	34.70	19.70	11.10	7.20	24.7	27.0	29.5	31.0
춘천	32.30	19.30	9.20	4.60	25.1	27.6	30.0	31.5
충주	28.40	18.50	9.50	4.50	25.6	27.9	30.2	31.6
홍천	30.00	18.20	10.40	3.80	25.1	27.9	30.5	32.0

표 5. 각 지점별 절단 수준별 가뭄 발생 총 기간 및 가뭄 심도 - 일 유량

관측소	가뭄 발생 총 기간 (day)				가뭄 심도 (m ³ /sec · day)			
	70%	80%	90%	95%	70%	80%	90%	95%
소양강댐	1,325	885	448	220	7,359.90	3,058.10	845.00	257.00
충주댐	1,318	879	440	219	32,558.79	18,880.20	6,693.50	2,408.50
팔당댐	1,316	909	444	220	44,202.00	20,025.00	6,568.00	3,101.00
화천댐	1,358	946	440	261	8,823.80	4,383.60	1,173.60	570.80
여주	1,104	743	369	210	16,478.58	8,181.71	3,636.48	1,835.26
영월	1,135	751	370	203	12,028.60	4,389.29	1,070.54	503.16

표 6. 각 지점별 절단 수준별 가뭄 발생 총 기간 및 가뭄 심도 - 월 강수량

관측소	가뭄 발생 총 기간 (month)				가뭄 심도 (mm · month)			
	70%	80%	90%	95%	70%	80%	90%	95%
서울	50	34	17	8	838.10	368.40	92.40	10.50
양평	50	35	17	8	714.30	323.10	80.80	10.60
원주	50	34	17	8	765.10	314.50	94.60	20.30
이천	50	34	17	8	805.70	286.70	98.80	10.90
인제	51	34	17	8	616.10	249.30	61.20	15.40
제천	50	34	17	8	869.60	262.30	63.00	17.40
춘천	50	34	17	8	867.60	322.20	58.30	8.50
충주	50	34	17	8	708.80	303.20	77.10	13.00
홍천	50	34	17	8	780.10	291.40	91.50	10.60

표 7. 각 지점별 절단 수준별 가뭄 발생 총 기간 및 가뭄 심도 - 일 최고기온

관측소	가뭄 발생 총 기간 (day)				가뭄 심도 (°C · day)			
	70%	80%	90%	95%	70%	80%	90%	95%
서울	1,540	1,025	520	259	5,752.20	2,836.40	1,003.70	403.30
양평	1,543	1,042	512	260	6,002.20	2,929.00	957.10	373.30
원주	1,556	1,037	531	266	5,820.00	2,735.70	963.40	434.20
이천	1,545	1,038	526	267	5,929.20	2,873.80	1,039.90	468.30
인제	1,535	1,028	515	274	6,107.40	2,780.10	992.30	463.80
제천	1,536	1,029	522	264	5,802.60	2,873.30	964.50	381.80
춘천	1,554	1,047	528	270	6,090.49	2,849.40	1,002.00	423.50
충주	1,553	1,030	534	273	5,638.90	2,689.40	946.20	400.60
홍천	1,554	1,047	514	268	6,257.70	3,011.90	1,025.40	453.50

표 8. 일 유량 자료의 조건부 확률 산정 결과

관측소	조건부 확률 (일 유량)		
	절단 수준 70%~80%	절단 수준 90%~95%	절단 수준 80%~90%
소양강댐	0.416	0.276	0.304
충주댐	0.580	0.355	0.360
팔당댐	0.453	0.328	0.472
화천댐	0.497	0.268	0.486
여주	0.497	0.444	0.505
영월	0.365	0.244	0.470

표 9. 월 강수량과 일 최고기온 자료의 조건부 확률 산정 결과

관측소	조건부 확률					
	월 강수량			일 최고기온		
	70~80	80~90	90~95	70~80	80~90	90~95
서울	0.440	0.251	0.114	0.493	0.354	0.402
양평	0.452	0.250	0.131	0.488	0.327	0.390
원주	0.411	0.301	0.215	0.470	0.353	0.450
이천	0.356	0.345	0.110	0.485	0.362	0.450
인제	0.405	0.245	0.252	0.455	0.357	0.467
계천	0.302	0.240	0.276	0.495	0.336	0.396
춘천	0.371	0.181	0.146	0.468	0.352	0.423
홍주	0.428	0.254	0.169	0.477	0.352	0.423
홍천	0.374	0.314	0.116	0.481	0.340	0.442

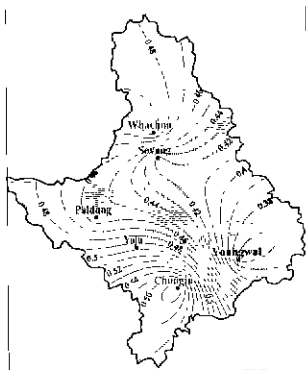
에서 관측된 수문량이 특정 절단 수준 이하 또는 이상이 되었을 때 현 상태가 더욱 진행하여 다음 단계의 절단 수준, 즉 가뭄이 발전될 가능성을 의미한다고 할 수 있다. 다음 표 8과 9는 한강 유역의 각 지점별 하천 유량, 월 강수량, 일 최고기온의 3가지 수문 자료에 대한 조건부 확률 산정 결과를 정리한 것이다.

표 8과 9에서 보면 산정된 조건부 확률은 관측 지점별, 수문학적 인자별로 다양한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 앞서 각각의 수문학적 인자에 대해 산정한 가뭄 심도의 경우 각 지점별 특정 치로 볼 수 있으므로 그 결과를 직접 비교할 수 없으나 조건부 확률은 각 수문학적 인자별로 각 지점의 결과를 비교해볼 수 있으며 지역적인 분포로 나타냄으로써 가뭄의 공간적인 분포를 판단할 수 있다. 따라서 유역 전체에 대한 분포 양상을 판단해보기 위해 산정된 조건부 확률을 하나의 지역 변수로 설정하여 지구통계학적 기법인 크리깅기법을 적용하였다. 그림 2는 3가지 수문 자료의 시계열에서 절단 수준 70%에서 80%로 진행될 조건부 확률의 유역 분포를 나타낸 것이며 그림 3은 80%에서 90%, 그리고 그림 4는 90%에서 95%로 진

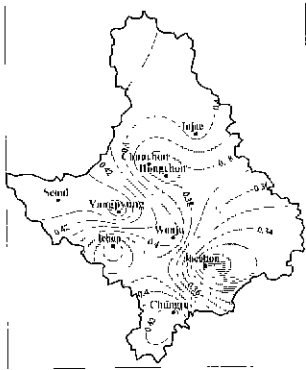
행될 조건부 확률의 분포를 나타내고 있다.

먼저 그림 2의 결과를 살펴보면, 결정된 조건부 확률의 유역 내 분포는 적용된 수문학적 인자에 따라 그 분포가 다양하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 하지만 전체적인 경향에 있어서는 유역의 하류부와 남부 지역에서의 확률이 상대적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이는 과거 이들 지역에서 가뭄 발생 후 지속되는 빈도가 다른 지역에 비해 높았음을 나타내 주는 결과라고 할 수 있다. 따라서 70% 절단 수준을 가뭄 발생의 기준으로 고려한다면 이들 지역에서 가뭄에 대비한 대책이 상대적으로 중요함을 나타내주는 결과라 할 수 있을 것이며, 특히 한강 하류부는 수도권이 위치해 있어 볼 수요가 다른 지역에 비해 집중되는 지역이므로 가뭄에 대한 대비를 소홀히 할 수 없는 지역임을 말해 준다.

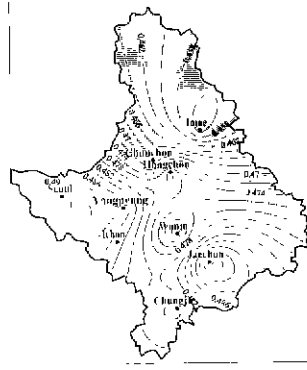
그림 3과 4는 절단 수준 80%에서 90%, 그리고 90%에서 95%로 가뭄의 강도가 더욱 심해질 가능성의 지역적인 분포를 나타낸 그림으로 그림 3의 경우 그림 2와 유사하게 한강 중하류부에서 크게 나타나고 있음을 볼 수 있으나 그림 4의 경우에는 반대로 중상



(a) 하천 유량

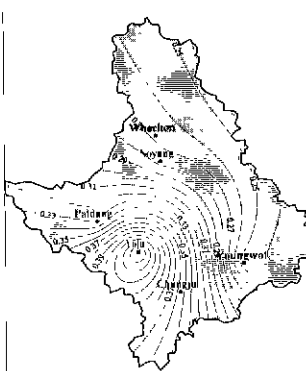


(b) 월 강수량

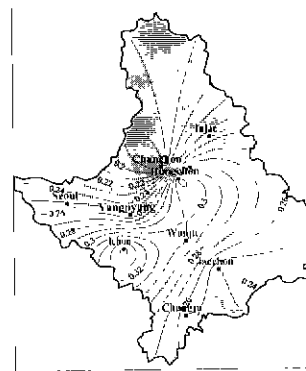


(c) 일 최고기온

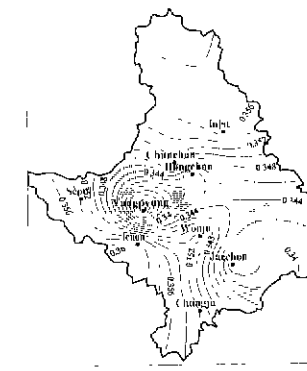
그림 2. 70→80% 조건부 확률의 지역적인 분포



(a) 하천 유량

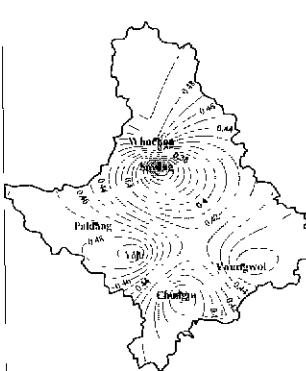


(b) 월 강수량

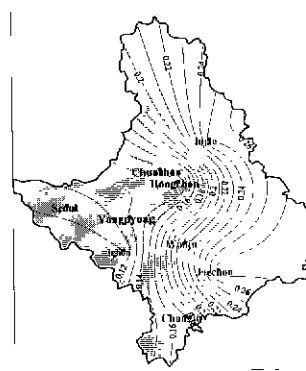


(c) 일 최고기온

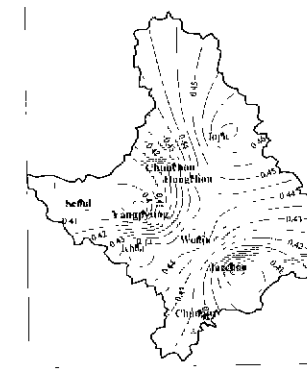
그림 3. 80→90% 조건부 확률의 지역적인 분포



(a) 하천 유량



(b) 월 강수량



(c) 일 최고기온

그림 4. 90→95% 조건부 확률의 지역적인 분포

류 지역에서 확률이 크게 나타나고 있다. 이러한 결과로부터 가뭄의 강도가 매우 큰 가뭄의 경우 한강의 중상류 지역에서 발생할 가능성이 크게 나타날 것임을 생각할 수 있다.

다음 그림 5는 전국 기왕 최대 Palmer가뭄 지수도를 나타낸 것으로 전국적인 기왕 최대 가뭄의 공간적 분포 특성을 표시하고 있으며 가뭄 기록 조사 보고서(건설교통부, 1995)의 결과를 이용하였다.

그림 5의 각 지속 기간별 결과를 통해 한강이 위치하고 있는 중부지방의 경우 수도권이 위치하고 있는 하류 지역에서 가뭄 지수가 작게 나타나고 있음을 알 수 있으며 이러한 결과는 앞서 언급한 조건부 확률의 한강 유역 내 분포와 유사한 결과를 주고 있다고 할 수 있다.

따라서 유역 내에서 가뭄이 발생하여 그 강도가 더욱 심해질 가능성은 유역의 중하류부에서 크게 나타나고 있으며 만약 한강 유역에 대한 가뭄 대책 수립 시에 이와 같은 실편에 대한 고려가 필요함을 나타내 준다고 할 수 있다.

6. 결 론

지금까지 한강 유역의 일 하천 유량, 월 강수량, 그리고 일 최고기온 시계열 자료를 이용하여 절단 수준법 및 조건부 확률 개념을 적용하였으며 산성된 각 지점별, 각 수문학적 인자별 조건부 확률을 크리깅기법을 이용하여 대상 유역인 한강 유역 전체에 대한 지역적인 분포로 나타내어 보았다. 일 하천 유량, 월 강수량과 같이 값이 작을 경우 가뭄으로 판단되는 수문학적

인자의 경우 절단 수준이 증가함에 따라 산정되는 절단 수준값은 감소하였으며 일 최고기온과 같이 그 값이 클 경우 가뭄으로 판단되는 경우에는 반대로 절단 수준값이 증가하였다. 또한 같은 유역 내에서도 산정된 조건부 확률은 지점과 사용된 수문학적 인자에 따라 다양한 실편을 나타내고 있었다. 하지만 조건부 확률의 지점 값을 이용하여 유역에서의 분포로 나타낸 결과에서는 대체적인 경향에 있어 유사한 결과를 주고 있음을 알 수 있었으며 과거 연구 결과인 전국 기왕 최대 가뭄 지수도와 비교를 통해서도 이를 확인할 수 있었다. 즉 한강 유역의 경우 가뭄이 발생하여 그 강도가 더욱 발전될 가능성은 유역의 중하류부에서 크게 나타남을 알 수 있었으며 특히 한강 하류부는 수도권이 위치하고 있어 용수요량이 크게 요구되는 지역이므로 가뭄에 대한 대비가 절대적으로 필요함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 절단 수준법의 작용을 통해 가뭄이라는 자연 현상에 대해 보다 정량적으로 정의를 내릴 수 있었으며 조건부 확률 개념을 이용하여 한강 유역에서 가뭄 발생 시 그 정도가 더욱 심화될 가능성에 대해 알아보았다. 또한 이 실편을 유역 전체에 대한 분포로 나타냄으로써 앞으로 해당 유역에서의 가뭄 감지 및 운용에 대한 기준 및 가뭄 대책을 마련하는 데 유용한 정량적인 자료를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

건설교통부 한강홍수통계소 (1990). 한강홍수에경보.
 건설교통부 (1995). 가뭄기록조사보고서.

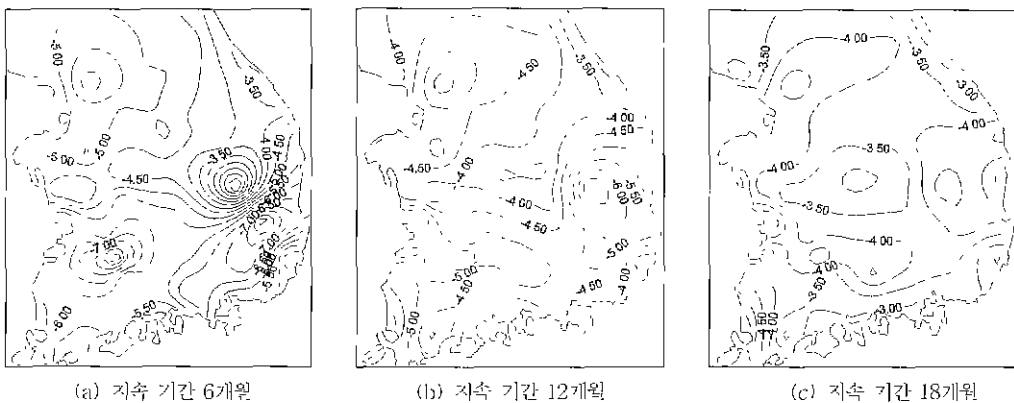


그림 5. 전국 기왕 최대 가뭄 지수도

- 김승, 우효집 (1996) 항구적 가뭄대책을 위한 수자원 확보 및 이용방안 연구, 한국건설기술연구원 연구보고서
- Chang, T.J., and Kleopa, X.A. (1991). "A proposed method for drought monitoring." *Water Resources Bulletin*, Vol 27, No. 2, pp. 275~281.
- Chang, T.J., and Tech, C.B. (1995). "Use of the Kriging method for studying characteristics of ground water droughts." *Water Resources Bulletin*, Vol 31, No. 6, pp 1001~1007.
- Delhomme, J.P., (1978). "Kriging in hydrosciences." *Advances in Water Resources*, Vol. 1., No. 5, pp. 251~266.
- Dracup, J.A., Lee, K.S., and Paulson, E.G. Jr. (1980) "On the definition of drought" *Water Resources Research*, Vol 16, No 2, pp. 297~302.
- Kitanidis, J. (1983). "Statistical estimation of polynomial generalized covariance functions and hydrological applications." *Water Resources Research*, Vol 19, No 4, pp. 909~921
- Whipple, W Jr.(1966). "Regional drought frequency analysis." *Journal of Irrigation and Drainage Div*, ASCE, Vol. 92, No. 2, pp 11~31
- Yevjevich, V.(1967). "Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts." *Hydrology Papers*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

(논문번호 0-020/접수:2000.03 20/심사완료:2000 05.26)