

물리적 기반을 둔 분포함수에 의한 갈수량 빈도해석

황규성¹⁾ 윤재민²⁾ 이재형³⁾

1. 서론

갈수량 빈도해석은 이수계획을 수립하는데 필요한 빈도별 갈수량을 추정하는 중요한 작업이라 할 수 있다. 하지만, 유출량 자료가 빈약한 경우에는 빈도해석을 하기가 쉽지 않다. 그러나, 강우량 자료가 풍부하면 해결의 실마리를 찾을 수 있다.

본 연구에서는 그 하나의 대안으로 물리적 기반을 둔 갈수량 확률분포함수를 이용한 갈수량 빈도분석법을 제안하고자 한다. 본 연구에서 도입된 갈수량 분포함수는 모두 4개의 매개변수가 포함된다. 그중 2개는 기저유출 감수 분석을 통해서 결정되고, 나머지 둘은 최대 무강우기간의 통계 분석을 통해 구해진다. 어떤 지역의 갈수사상은 이들 4개의 매개변수를 통해 반영된다.

상기와 같은 이론 모형을 검증하기 위하여 전라북도 순창군에 위치해 있는 쌍치유역의 수문자료를 사용한다. 본 유역은 유역면적에 비해 저수지 등이 비교적 적게 분포하고, 대부분 그 규모가 작은 농업용 저수지이므로 인위적인 저류효과가 적다. 또 평·갈수의 유출량이 적고, 홍수의 지체시간이 짧은 특징이 있다.

2. 갈수량 확률분포

감수곡선식은 경과시간 t , $t=0$ 에서의 초기유량 Q_0 , 유량의 감쇄율을 나타내는 상수 k 로 나타낸다. 이 식은 단지 지하수 유출만이 갈수량에 관여한다는 가정 하에 유도된 것이다. 갈수량은 어떤 강우사상 후에서부터 다음 유효강우사상이 시작될 때까지 시간 즉, 무강우기간 동안의 유출하는 양이므로, T 를 무강우기간으로 표시한다면, 감수곡선식의 경과시간 t 는 T 와 상사사상이라고 가정할 수 있다.

강우사상의 지속기간에 대하여 여사상(complementary event)인 건기의 길이를 무작위(random) 변수로 가정하면, 건기의 최대길이 τ 또한 확률변수이다. Q_0 와 k 도 확률 변수라 할 수 있으므로 갈수량 Q 는 확률 변수 τ , Q_0 그리고 k 즉, $Q = h(\tau, Q_0, k)$ 의 함수관계가 성립한다. 여기서, k 와 Q_0 를 대표치인 상수로 가정하면, 하나의 변수 τ 만의 확률분포를 써서 갈수량 Q 의 분포함수를 결정할 수 있다. 여기에 Q 를 T_* 일에 관하여 평균한 최소 갈수량 Q_{T_*} 로 바꾸고 건기의 최대길이의 분포함수를 EV1분포로 가정하고 이를 조합하면, 다음과 같은 물리적 기반을 둔 갈수량 분포함수를 유도할 수 있다.

$$F_Q(Q_{T_*}) = 1 - \exp\left(-\left\{Q_{T_*} \frac{T_* \exp(u/k)}{kQ_0[\exp(T_*/k) - 1]}\right\}^{k/\alpha}\right) \quad (3.1)$$

여기서, α 와 u 는 연중최대무강우기간의 확률분포EV1의 매개변수이다.

식(3.1)의 함수관계를 살펴보면, Weibull 분포함수(Weibull, 1961)와 유사한 형태를 갖는다는 것을 알 수 있다.

1) 전북대학교 토목공학과 석사과정
2) 전북대학교 토목공학과 박사과정
3) 전북대학교 토목공학과 교수

3. 매개변수 추정

쌍치 우량관측소는 1932년부터 1990년까지 자기방식으로 관측을 실시하였고, 기존 우량관측소를 폐쇄하고 새로 이설하여 현재까지 TM방식의 우량관측을 실시하고 있다. 기존 쌍치 우량관측소의 일 강우량자료의 1967년 이전은 결측이 심하고, 자료의 정확성을 기대할 수 없다. 또 신설된 쌍치 우량관측소의 경우 관측기간이 길지 않기 때문에 부득이, 본 연구에서는 기존 쌍치 우량관측소의 비교적 양호한 일 강우량자료(1967~1989년)를 이용하였다. 1967~1989년의 일 강우량자료 중에서 75, 76, 77, 80, 81, 82년 강우량이 결측되었으므로 총 강우량자료는 17년의 자료이다.

3.1 건기 확률분포 변수

식(3.1)의 매개변수 α , u 는 17년간의 강우자료를 이용해서 구할 수 있다. 감수 기간의 길이와 이에 대응되는 무강우 기간("0" 강수를 기록한 날)의 길이는 실제로 차이가 있다. 문턱값(z) 이하의 일 강우는 감수유량에 영향을 주지 못하기 때문이다. 그러므로 건기는 가정된 문턱값 이하의 강수를 가진 하나 또는 그 이상의 연속일로 정의된다. 소 관측년의 각 년의 가장 긴 기간을 선택하여 표본을 구성한다. 사용된 강우자료는 1967~1989년(총 17년 : 6년 자료는 결측)이다. 이론분포 함수의 적용을 평가하기 위하여, 몇 개의 문턱값($z=0\sim 7\text{mm}$)을 가지는 표본을 추출했다. 각 문턱값에 따른 EV1 분포의 매개변수는 선우중호(1996)의 EV1 분포 빈도계산 프로그램을 이용하였다.

표 3.1 문턱값 z 에 따른 매개변수 값

매개변수	z							
	0mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm
α	4.92	5.11	6.00	9.57	11.25	15.63	17.05	17.07
u	19.22	22.82	25.00	28.77	35.51	38.39	41.81	45.15

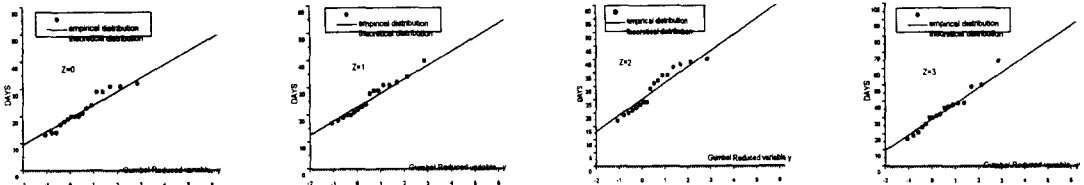
z 값에 따른 무강우기간의 최대길이가 EV1 분포를 갖는다는 가정을 검증하기 위해서는 이론 분포에 경험(empirical) 자료를 도시함으로써 검증할 수 있다.

먼저, 경험자료를 도시하기 위해 각 연도별 최대건기를 추출하여(총 17개) Weibull 도시공식을 이용하였다. 그 다음, 이론 분포를 도시하기 위해 변환변수와 무강우 일수와 관계식을 산출한다.

$$T = \alpha Y + u \quad (3.1)$$

여기서, T 는 무강우기간으로 그래프에서 y 축에 해당되며, Y 는 변환변수로서 x 축에 해당된다.

이상의 관계를 이용한 이론 분포에 대한 경험자료를 도시한 결과는 그림 (3.1)과 같다. 그림 (5.1)에서 보는 바와 같이 $z=0\sim 7\text{mm}$ 모두 EV1 분포임을 알 수 있다.



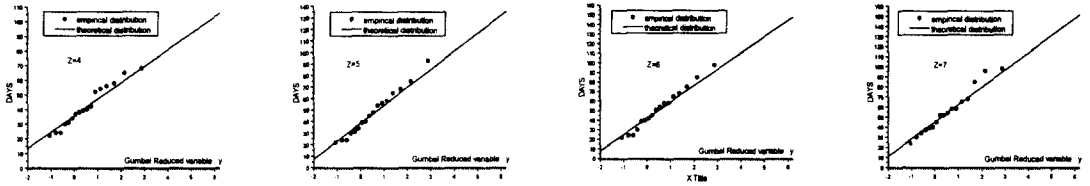


그림 3.1 최대우강우기간의 이론 분포와 경험자료의 적합($z = 0 \sim 7\text{mm}$)

3.2 감수특성 변수

감수특성을 나타내는 매개변수 k 와 Q_0 의 수치값은 감수분석을 통해 얻을 수 있다. 감수계수 K_b 를 구하면 감쇄율을 나타내는 상수 k 값을 알 수 있다. 본 연구에서는 이회주(2000)가 Bako & Hunt가 제시한 방법을 이용하여 구한 쌍치유역의 감수계수를 도입하였다. 이 방법은 각각의 감수계열의 감수계수를 통계적으로 평균하는 방법이며 쌍치유역의 감수계수 값은 0.821, k 값은 5.07이다. 또한 감수계열의 유량자료의 분석으로부터 얻은 초기 기저유량 Q_0 값은 $3.393\text{m}^3/\text{s}$ 이다.

4. 실측 갈수량 분석

4.1 유출 자료 보완

빈도분석을 하기 위해서는 많은 수문자료가 필요하다. 그렇지만 본 연구대상 유역에서는 1990년 이후로 관측을 실시하고 있기 때문에 유량자료가 많지 않다. 따라서, 이와 같이 수문 자료가 부족하기 때문에 일 유출량을 모의 할 수 있는 방법으로 Markov 연쇄모형을 이용하여 일 강우량을 모의 발생하여 확장시키고, 이를 일 유출모형인 TANK 모형에 입력하여 일 유출량을 산정하는 방법이 있다. 본 연구에서는 위의 방법으로 박상기(2000)가 산정한 일 유출량 자료를 이용하여 갈수 빈도 분석을 실시하고 물리적 기반을 둔 분포함수와 비교 검토하였다.

4.2 빈도해석

앞에서 모의한 자료를 1, 5, 10, 그리고 15일 지속기간의 최소 유량 계열의 확률 도시를 위해 유량 자료에서 Q_T 를 구하였다. 갈수량 계열은 Gringorten 도시 공식을 사용하여 음(-) EV1 변환변수에 대하여 도시하였다. T 지속기간을 갖는 갈수량 Q_T 와 이의 비초과확률값의 도시는 물리적 기반을 둔 갈수량 분포 식 (3.1)을 일반적 극치 값 형태로 변환함으로써, 그리고 음(-) EV1 변환변수의 함수로서 변수 Q_T 를 표현함으로써 얻었다. 변환변수와 갈수량에 대한 이론식은 다음과 같다.

$$x = b \exp(Ya) \quad (4.1)$$

여기서, x 는 갈수량으로서 그래프 상에서 y 축이 되며, Y 는 변환변수로서 x 축이 된다.

또 $b = kQ_0[\exp(T_*/k) - 1]/[T_* \exp(u/k)]$ 이고, $a = a/k$ 이다.

이상의 관계를 이용한 1, 5, 10, 그리고 15일 지속기간의 최소 유량 계열의 확률 도시, 뿐만 아니라 물리적 기반을 바탕으로 한 분포함수를 도시한 예는 그림 4.2와 같다.

모의한 유출량을 이용한 빈도분석을 보면 전체적으로, 변환변수가 1이하에서는 직선으로 유량이 일정하게 변하고, 1 이상에서는 갑자기 꺾임(break)이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이와 대조적으로, 감수곡선을 이용한 분포함수는 모두 지수형 곡선으로 표현된다.

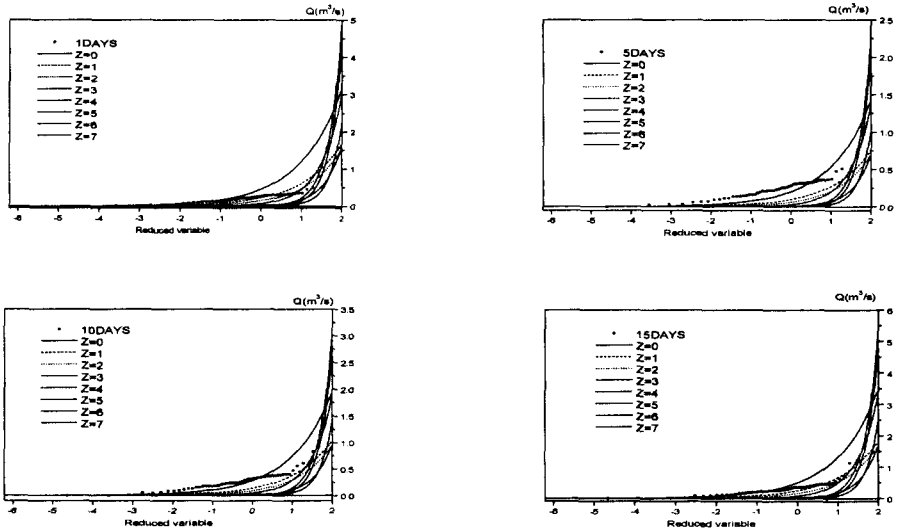


그림 4.1 모의한 자료의 빈도분석과 이론분포의 비교(1,5,10,15일 지속기간 최소유량)

4.3 빈도분석 결과 수정

앞 절에서 1, 5, 10, 15일 지속기간의 최소갈수량은 동일한 모집단(population)에 속한다는 가정이 맞지 않음을 알 수 있다. Velz & Gannon(1953)는 처음으로 연유량 빈도 그래프는 최빈값(modal value) 부근의 빈도 곡선 안에서 꺾임(break)이 발생한다는 것을 발견했다. 그들은 이러한 특성의 원인을 갈수량 상태가 변하기 때문이라고 간주했다. 이와 유사한 문제를 UK Institute of Hydrology (1980)의 갈수량에 대한 국가 조사에서도 나타나 있다.

높은 발생 빈도를 가진 즉, 재현기간이 짧은 갈수량은 단지 지하수가 아닌 유출이 갈수량에 기여하는 습윤(wet)년 동안에 대표값으로 선정되었다고 할 수 있다. 비가 자주 오는 습윤년 동안에는 감수 진행은 억제된다. 그와 반대로, 긴 재현기간을 가진 갈수량은 건조(dry)년 동안의 실제 감수 상태를 대표하는 모집단으로 받아들일 수 있다. 위와 같은 이유로, 본 갈수량 표본은 두 개의 서로 다른 모집단이라고 결론 지을 수 있다.

위의 해석에 따라서, 물리적 기반을 둔 분포함수는 Q_0 이상의 갈수량을 배제한 표본에 적합하다고 할 수 있다. Q_0 이상의 유량은 습윤년의 갈수량으로 간주하였다. ($Q_0 < Q < \infty$)의 범위에서 갈수량 확률은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(Q_0 < Q < \infty) = n/N = p_0 \quad (4.2)$$

여기서, n 은 Q_0 와 같거나 큰 사상의 수; 그리고 N 은 표본에서 전체 사상의 수이다. 이 식은 습윤년 모집단에 속하는 사상의 수가 확률을 나타낸다. 물리적 기반을 둔 분포 함수의 타당성은 건조년의 모집단에 속하고 실제 기저유출 감수 상태를 대표하는 $0 < Q < Q_0$ 의 갈수량으로 제한된다. 삭제된 경우에서 비초과확률은 다음 식과 같다.

$$F_i = p_0 + (1 - p_0) [(i - 0.44) / (M + 0.12)] \quad (4.3)$$

여기서, M 은 새로 구성한 표본의 갯수, i 는 이 자료에서 작은 크기 순서의 등급이다.

그림 4.2는 위 식(4.3)과 배제된 자료로 실시한 갈수량 빈도해석과 이론적인 분포 식(3.1)으로 도출된 값의 각 지속기간별 최소유량계열에 대한 비교를 보여준다.

그림 4.2에서 이론 분포와 배제된 자료를 이용한 갈수량 빈도해석은 문턱값이 $z = 0, 1$ 과 2인 경우에 적합이 양호한 것을 알 수 있다. 이 값은 지역 특성을 반영하는 매개변수로서 이해될 수 있다.

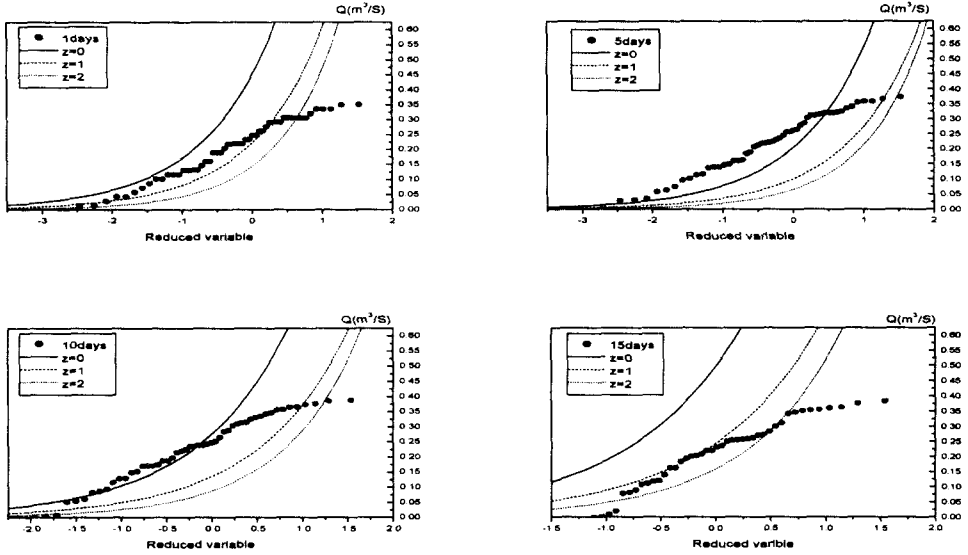


그림 4.2 배제된 자료의 빈도분석과 이론 분포의 비교(1,5,10,15 days)

제7장 결론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 물리적 기반을 둔 갈수량 분포함수 식(3.1)는 4개(Q_0 , k , α , u)의 매개변수를 포함한다. 여기서, 감수특성을 나타내는 매개변수인 Q_0 , k 는 이회주(2000)가 본 유역을 대상으로 제시한 값을 사용하였고, α , u 는 강우사상들 사이의 기간 즉, 무강우기간의 최대길이에 대한 EVI 분포의 매개변수로 추정하였다(표3.1). 최대 무강우기간이 EVI분포를 갖는다는 가정은 이론분포에 경험자료를 도시함으로써 검증하였다(그림 3.1).
2. 모의 발생한 자료의 빈도분석과 비교한 결과(그림 4.1), 물리적 기반을 둔 갈수량 분포함수는 일반적으로 긴 재현기간을 갖는 최소 유량에 양호한 적합을 보였지만, 최빈값(mode) 부근의 빈도 곡선에서 꺾임이 발생한다는 것을 발견했다.
3. 꺾임이 발생하는 원인을 분석한 결과, 갈수량을 대표하는 집단이 두 개의 모집단(습윤년, 건조년)으로 나타남을 알았다.
4. 물리적기반을 둔 갈수량 분포함수는 Q_0 이하의 갈수사상에 잘 부합되었다.(그림 4.2).

참고문헌

1. 이회주, 2000, 2, 쌍치 유역의 기저 유출 특성 분석, 석사 학위 논문, 전북대학교.
2. 박상기, 2000, 2, 일 강우량 모의 발생을 통한 일 유출량 모의, 석사 학위 논문, 전북대학교.