

토양수분 가뭄지수의 개발



최진웅 >>

서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학전공
iamchoi@snu.ac.kr



고양수 >>

한국수자원공사 조시기획처 부장
ysko@kowaco.or.kr

I. 서론

가뭄은 강우의 시기별, 지역별 불균형에 의해 발생하며, 특히 강우가 적어 발생하는 것으로서 홍수와 대비되는 자연 재해이다. 홍수가 급진적이며 돌발적이고, 파괴적이면서 그 피해 범위가 하천 일대인 반면에, 가뭄은 점진적이고, 예측 가능하며 발생시에 그 피해 범위가 광범위하다. 홍수는 일시에 생활과 생산기반을 파괴하는 반면에 가뭄은 점차적으로 피해 범위가 확대되고 시간이 경과함에 따라 가뭄의 강도가 강해져 민심을 어지럽히는 경우가 종종 있다.

가뭄도 자연재해 중 하나이므로 이를 예보하고 대처할 수 있다면 충분히 그 피해를 줄일 수 있다. 특히 홍수에 비해 가뭄은 그 제 현상들이 점진적으로 이루어지므로 예측과 대비로서 인재를 줄일 수 있고 생활의 불편함과 산업에 대한 영향을 감소시킬 수 있다. 이를 위하여 가뭄을 평가하고 예측하기 위한 여러 기법들이 연구되어 왔다.

학자들은 가뭄을 기상학적가뭄, 수문학적 가뭄, 농업

가뭄 등으로 분류하고 가뭄의 정도를 표현하기 위하여 가뭄지수(Drought Index)를 개발하여 사용하여 왔으며, 대상과 평가방법에 따라 가뭄을 표현하는 특성이 다르다. 가뭄지수 중에서 대표적인 것이 기상학적 가뭄을 표현하는 Palmer(1965)가 제시한 PDSI(Palmer Drought Severity Index)이다. 이는 가뭄정도를 평가하기 위해 물수지를 기본으로 어느 지역의 실제 강수량과 필요수량의 차를 이용하였다. 가뭄은 수자원 개발로 인해 지역과 산업에 따라 미치는 영향이 다르다. 수문학적 가뭄지수중 하나인 SWSI(Surface Water Supply Index)는 비록 강우가 적어 기상학적으로나 농업적으로는 가뭄이 왔다고 하더라도 저수지와 같은 수원에 물이 많으면 가뭄이라고 표현하지 않게 된다. 이와 같이 가뭄지수는 어떤 가뭄에 관심이 있는가에 따라 선택적으로 사용할 수 있으며 목적에 맞는 가뭄지수의 선택 또한 중요한 사항이라고 할 수 있다. 또한 여러 개의 가뭄지수를 계산하여 서로 보완하는 역할을 할 수 있도록 할 수 있다. 즉 기상학적인 가뭄지수가 가뭄을 나타내면 비록 수문학적으로는 가뭄이 아니더라도 미리 수자원 관리에 주의를 기울이도록 하는 것이다.

토양수분에 의한 가뭄 평가와 지수 산정은 주로 농업에서 관계계획을 수립하거나 작물의 생육조건을 파악하기 위하여 이루어져 왔다. 하지만 토양수분의 감소에 의한 가뭄은 산불발생, 소하천 수량의 감소 등 생태계와 중요한 관계가 있고, 수문학적 가뭄에 선행하여 나타나는 특성이 있어 가뭄 평가에 많이 사용되고 있다. 따라서 본 고에서는 토양수분지수(Soil Moisture Index, SMI)를 소개하고 산정하기 위한 기본 이론과 결과를 살펴보고자 한다. 본 고의 내용은 한국수자원공사에서 가뭄관리정보체계구축 과제로 수행중인 내용의 일부임을 밝혀둔다.

II. 토양수분 가뭄 평가

1. 기본이론

가. Magnitude, Severity, Duration을 이용한 토양수분가뭄 평가

가뭄은 기상학적 또는 수문학적 가뭄 등 강수의 부족, 토양수분의 부족, 지하수나 저수지 수위의 저하 등의 여러 가지 특성에 의해서 정의될 수 있다. 토양수분에 의한 가뭄은 특정 지역, 특정 기후, 특정 생육기, 특정한 토양상태에 따라 다르기 때문에 정의하기가 어렵다. 토양수분을 작물의 생육조건으로 많이 사용하는 농업에서는 농작물의 생산량이 감소될 정도의 토양수분인 유효수분백분율의 50% 이하일 때로 정의하고 이를 근거로 해서 농업가뭄에 대해 분석한다. 토양수분을 이용한 가뭄의 특성을 분석하는 방법으로써 가장 유용하게 이용되는 방법은 Runs이론이고, 이는 가뭄이 가지는 다양한 특성을 세 가지의 특성치로 구분하여 이를 각각 분석하는 이론으로써 가뭄의 세 가지 특성치는 기본수준(truncation level)에 대한 음의 부분 즉, 부족분에 대한 지속기간(duration ; D), 크기(magnitude ; M), 강도(severity ; S)로 분류할수 있다.

앞에서 언급한 Runs 이론에 의해 가뭄의 시작은 유효수분백분율이 50% 이하로 내려가는 시점이며,

가뭄의 종료는 강우에 의해 충분한 수분이 공급되어 유효수분백분율이 50% 이상이 될 때로 정의할 수 있다. 가뭄강도는 유효수분백분율 50% 이하일 경우의 기간과 유효수분백분율 50%에서 현재의 토양수분함량을 뺀 값의 곱으로 정의할 수 있으며, 이는 가뭄의 실제적인 크기를 나타내기 때문에 가뭄강도는 무게단위의 토양수분과 기간의 곱(% Wt. × day), 부피단위의 토양수분과 기간의 곱(% Vol. × day), 토양수분량과 기간의 곱(mm × day), 유효수분백분율과 기간의 곱(% × day) 등과 같은 방법으로 표시할 수 있다. 본 고에서는 유효수분백분율과 기간의 곱에 의한 가뭄강도를 선택하여 설명하였으며, 이것을 선택한 이유는 다른 단위들과는 다르게 토성이 서로 다르더라도 상대적으로 비교할 수 있는 값이기 때문이다. 가뭄크기는 가뭄강도에서 가뭄기간을 나눈 값으로 정의되므로 유효수분백분율(%)의 단위를 가진다. 이상과 같이 정의한 가뭄특성치는 식 (1), (2), (3)과 같다.

$$D(\text{day}) = \text{end day of AW50\%} - \text{start day of AW50\%} \quad (1)$$

$$S(\% \times \text{day}) = \sum_{i=\text{start}}^{\text{end}} \text{SMD}_i \quad (2)$$

$$M(\%) = S/D \quad (3)$$

여기서, AW50%(Available water 50%)는 유효수분백분율 50% 이하를 나타내며, SMD(Soil moisture deficit,

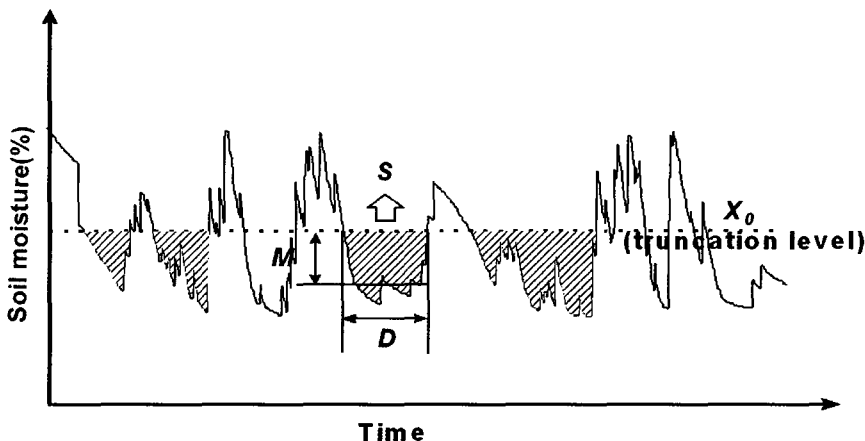


그림 1. Fundamental parameters of the drought events.(S : severity; M : magnitude; D : duration)

%)는 유효수분백분율에서 현재의 유효수분백분율을 뺀 값으로 정의한다. 위의 D, S, M을 그림으로 표현하면 그림 1과 같다.

2. 가뭄분석

가. 토양수분모형의 개발

본 과제에서는 우리나라 가뭄을 분석하기 위하여 지역별 토양수분함량을 추정하기 위하여 토양수분 물수지모형을 구성하였다. 토양수분 물수지모형은 기상자료와 강우자료, 그리고 토지이용도와 정밀토양도에서 추출된 토양통별 면적과 밭으로 이용되는 토양통의 물리적 특성 자료를 입력함으로써 각 토양통별 토양수분을 추정하였고 이를 면적가중 평균함으로써 토양수분함량을 계산하였다.

토양 내에서의 일정 기간의 물의 유입 및 유출량을 나타내는 물수지 방정식은 포장의 지형적 조건이나 토양인자, 작물 등에 의해 좌우되며, 아래의 식과 같이 표현하였다.

$$\Delta SMC = (RF + IR + UP + HI) - (DR + DP + ET + HO) \quad (4)$$

여기서, ΔSMC 는 토양 내에서의 토양수분 변화량

(mm), RF 는 강우량(mm), IR 은 관개량(mm), UP 는 모관력에 의한 수분상승량(mm), HI 는 횡방향 수분유입량(mm), DR 은 지표배수량(mm), DP 는 유효토층 하부에서의 지하배수량(mm), ET 는 증발산량(mm), HO 는 횡방향 수분유출량(mm)이다.

식 (4)에서 수평방향의 유출입량, 모세관력에 의한 수분상승량을 무시하고 무관개라고 가정하면 식 (5)와 같이 단순화되며, 이를 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

$$\Delta SMC = (RF) - (DR + DP + ET) \quad (5)$$

나. 가뭄분석 대상지구

토양수분모형의 적용을 위하여 금강유역을 선정하였다. 금강유역은 14개의 중권역(수문단위도 코드 3001-3014)으로 이루어져 있다. 금강 유역의 전체 면적은 9,913.8km²로 남한 전체 면적의 약 1/9을 차지한다. 행정구역상으로 대전광역시를 포함한 충청남북도를 중심으로 경기도 및 전라북도 일부를 포함하고 있다.

또한, 금강 유역은 대전, 청주, 부여, 보은, 금산 측후소를 중심으로 총 12개의 기상측후소의 지배 관측소로 하고 있다. 중권역 유역의 각각의 전체 면적과

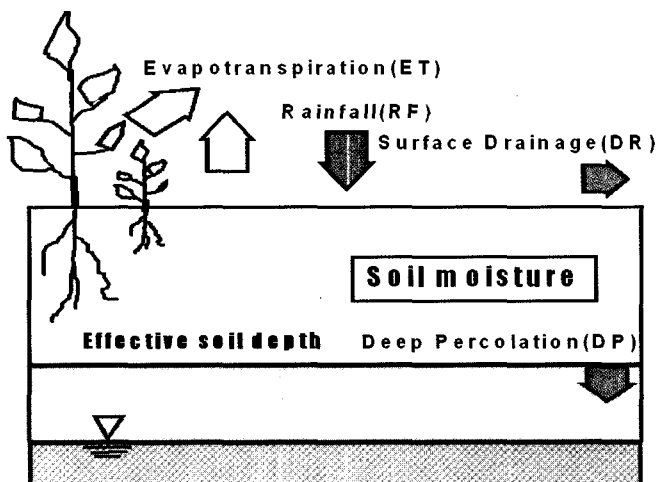


그림 2. 토양수분물수지 기본 개념도

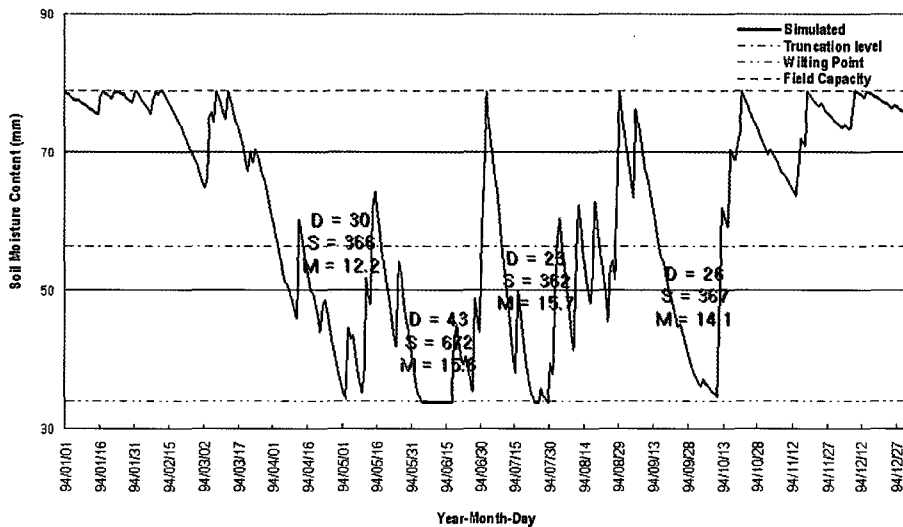


그림 3. 토양수분모형의 모의치(1994년, 수문단위도 코드 3004 구역, 산림)

지배측후소에 따른 면적은 다양하게 분포하는 바, 가장 큰 유역은 수문단위도 코드 3011 유역으로 1,855km²이고, 가장 작은 유역은 수문단위도 코드 3002 유역으로 127.7km²이다.

다. 토양수분계산과 가뭄 평가

추출된 지역별 토양수분함량으로부터 Runs 이론을 적용하여 가뭄의 기준이 되는 기본수준(truncation level)을 정의하고 이에 따른 음(-)의 부분에 대해서 가뭄의 특성치인 기간(duration), 강도(severity), 크기(magnitude)에 대해 각각 빈도 분석을 실시, 재현 기간별 특성치를 산정할 수 있다.

금강유역에 대한 토양수분모형과 가뭄분석모형의 모의하기 위해 토양자료와 측후소별 강우량과 중권역 유역별 티센망에 의한 면적가중 강우량, 잠재증발산량 및 증발산량 계산 등을 실시하였다.

금강유역의 중권역 유역 중 수문단위도 코드 3004 유역의 토양수분모형의 결과를 살펴보면, 1995년에는 4월부터 10월 사이에 4번 정도의 가뭄이 있었는데 그 중 5월과 6월 사이에 발생한 가뭄이 지속시간(D), 강도(S), 및 크기(M)에 있어서 가장 큰 가뭄으로 나타났다. 그리고 1996년에는 5월부터 7월 사이에 83일

에 걸친 큰 가뭄이 발생하였으며 2000년에는 3월부터 6월 사이에 96일에 걸친 큰 가뭄이 한 번 발생하였다. 또한 2001년의 경우 3월 중순부터 6월 중순 사이 90일 동안에 큰 가뭄이 발생하고, 8월 중순에 시작하여 30일 동안에 또 한 차례의 가뭄이 발생하였다. 그림 3은 금강유역의 중권역 코드 3004 유역의 1994년도 토양수분 모의 발생 결과와 이를 사용하여 분석한 토양수분에 의한 가뭄 특성치 가뭄기간, 강도, 크기에 대한 평가를 나타낸 것이다.

라. Runs 이론에 의한 토양수분 가뭄 빈도의 계산

과거 1975년부터 2004년까지의 30년간 토양수분모형의 모의 결과를 이용하여 산림과 밭의 가뭄의 지속시간, 강도, 크기에 대한 빈도를 분석하였다. 결과를 살펴보면, 밭에서 가뭄 발생 빈도 자체가 더 많았지만, 그 지속 시간의 평균과 최대값에 있어서 모두 산림이 밭보다 더 큰 값을 나타낸다. 최대값은 산림의 경우 2000년에, 밭의 경우 2001년에 나타났다. 산림과 밭의 가뭄의 강도(Severity)를 살펴보면, 강도의 평균은 같았지만 최대값에 있어서는 산림이 밭보다 더 큰 값을 나타낸다. 최대값은 산림과 밭 모두 밭의 경우 2001년에 나타났다. 산림과 밭의 가뭄의

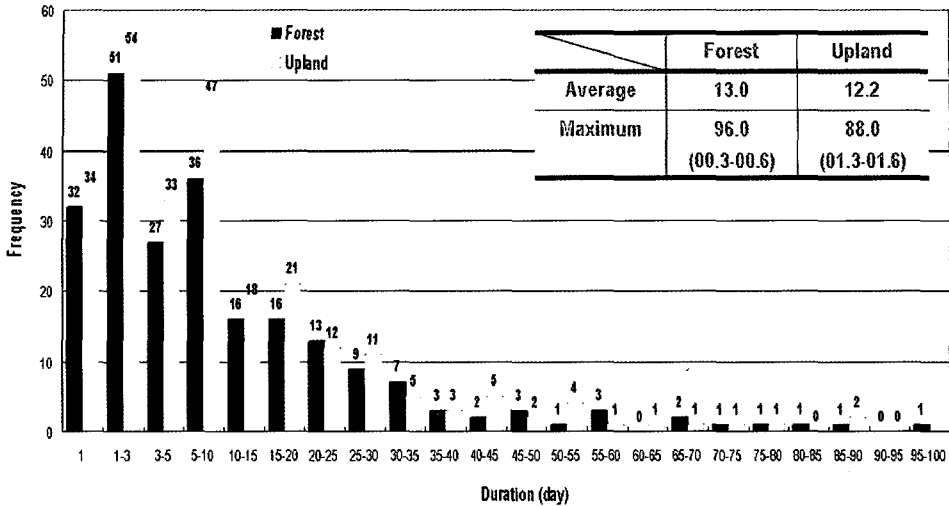


그림 4. 가뭄분석모형의 지속시간 빈도 결과 (1975-2004년, 수문단위도 코드 3004 유역)

크기(Magnitude)를 평균과 최대값에 있어서 발이 더 높은 값을 나타냈다. 최대값은 산림의 경우 1995년에, 밭의 경우 1989년에 나타났다. 그림 4는 도수분포를 이용하여 금강유역의 3004 중권역 유역에 대한 30년치의 가뭄 기간을 나타낸 것이다.

적정확률분포형에 의해 빈도분석을 실시함으로써 재현기간별 가뭄특성치를 산정하고 있다. (1)

III. 결론 및 요약

토양수분을 이용하여 토양수분가뭄지수(Soil Moisture Index, SMI)를 계산하기 위한 이론적 배경과 방법에 대하여 살펴 보았다. 토양수분지식을 이용하여 금강유역에 대하여 중권역별 유역에 대한 토양수분을 토지이용별로 계산하였으며, 적용결과에 대한 분석 결과를 소개하였다. 현재는 이 중 초과치 계열을 선정하고 이의 평균, 분산, 표준편차, 왜곡도 계수 등의 통계치를 계산하며, 계산된 통계치와 초과치 계열을 이용하여 K-S (Komogrov-Smirnov)검정을 실시, 적정확률분포형을 선택하게 되며, 선택된

참고문헌

김철희 외(1977). 토양수분함량 예측 및 계획관개 모의 모형개발에 관한 연구(I), 한국농공학회지, 19(1), pp. 1-17

배승중, 정하우, 최진용(1999). 지리정보시스템과 토양수분모형을 이용한 농업가뭄분석, 한국농공학회지, 제 41권 6호, pp.33-43

Horn, D. R.(1989). Characteristics and spatial variability of droughts in idaho, J. of Irri. and Drain. Engrg. 115(1):111-124

Palmer, W.C.(1965). Meteorological drought, Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.