

우리나라 농업한발 지수의 결정

Determination of Agricultural Drought Index in Korea

김 현 영 · 서 영 제 · 오 수 훈
Kim, Hyun Young · Suh, Young Jea · Oh, Soo Hun

1. 서론

우리는 가뭄이 들었다고 할 때 단순히 장기간 강수의 부족으로 쓸 물이 없을 때를 말한다. 미국 기상국(U.S.Weather Bureau)에서는 가뭄을 「어느지역의 동식물 생육에 저해를 가져올 수 있을 정도로 강수의 부족이 매우 심각하게 장기간 지속되는 상태이거나 생활용수와 수력발전에 필요한 용수를 정상적으로 확보하지 못한 상태」로 정의하고 있으나 이와같은 가뭄에 대한 정의도 타지역에서 또는 지하수로부터 공급이 가능한 경우 포괄적인 정의로 볼 수 없을 것이다. 이와같은 가뭄은 강수현상과 물의 용도에 따라 여러가지 가뭄으로 구분되고 있다.⁵⁾

이러한 가뭄현상은 개별적으로 또한 독립적으로 발생하는 것이 아니며 서로 상관성을 가지고 있다. 즉 기상학적인 가뭄이 오래 지속되면 토양수분을 고갈시켜 농업가뭄을 유발시키며 하천이나 저수지의 수량을 감소시키므로서 수문학적인 가뭄으로 이어지게 된다. 따라서 각 가뭄마다 그 정도를 표시할 수 있는 지표가 필요하며 이에 따라 발생빈도도 상이할 것이다.

가뭄의 정도를 표시하는 데는 강수량, 무강수 일수, 하천유량, 토양수분, 지하수위, 저수지, 호소 등의 저수량, 과우량과 과우일수 등과 같은 인자가 사용되었다.^{9, 10, 11, 13, 15, 16)} 또한 가뭄을 평가하는 데는 이들을 지수화하여 나타내기도 한다.^{2, 6, 7, 8, 14)} 그러나 지수화 방법은 이제까지 활용되지 못하였다. 그 이유는 가뭄지수를 나타내는 데는 여러가지 인자가 있으며 이들 인자들을 일반적으로 쉽게 이해하기 어렵고 또 과거자료로 부터 일관적으로 정리되어 있지 못하기 때문이다.

따라서 본연구는 좀더 쉽고 간단하면서 일관되게 가뭄을 평가할 수 있도록 기상학적인 가뭄으로서 과우일수 개념을 도입하고 수문학적인 가뭄으로서 저수지의 저수율 발생빈도 개념을 도입하여 가뭄을 평가하였으며 이 결과는 우리나라의 가뭄평가방법으로서 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 가뭄의 기상학적 지표

가. 寡雨量과 寡雨日數

寡雨의 '寡'는 '적다'라는 뜻이다. 즉 평균 강우량에 비해 적게 왔을 때 과우 상태라고 말할 수 있으며 이 과우상태는 기상학적인 가뭄을 평가하는데 유용한 용어임을 알 수 있다. Hershfield(1972)¹¹⁾가 사용한 dry-day는 無降雨의 의미가 강하다. dry-day를 계산할 때 기준한 우량은 강우가 내렸지만 강우로서 水文 및 농업에 아무런 영향을 미치지 않는 강우 즉 무강우로 취급할 "수 있는 0.25" (6.4mm)였다. 따라서 이때의 dry-day는 無降雨日數로 볼 수 있다.

따라서 Hershfield의 과우량을 무강우로 취급할 수 있는 下限 과우량이라고 한다면 해갈여부를 결정할 수 있는 上限 과우량의 개념이 도입되어야 한다.

여기에서 가뭄의 지속여부와 관계되는 새로운 상한 과우량 기준을 위하여 두가지 접근방법이 가능할 것이다. 하나는 물리적인 의미에서 가뭄의 지속여부를 판단할 수 있는 과우량의 기준이고 다른 하나는 이제까지 우리가 겪은 체감가뭄을 기준으로 과거의 가뭄지속일수를 계산하고 이 기간동안의 강우량을 과우량으로 정의하는 것이다.

물리적인 의미의 과우량은 토양수분의 포화도에서 그 기준을 마련할 수 있다. 즉 표토층의 경운깊이에 토양수분이 작물생육에 도움이 될 정도가 된다면 가뭄이 종료되었다고 볼 수 있다. 물론 토양의 종류, 강우강도, 작물의 재배방식 등에 따라 토양수분의 함유정도는 상이할 것이다.

일반적인 평균치로 부터 표토층의 경운깊이를 15.0cm로 보고 이의 공극율은 60%이며 이 공극의 약 50%가 물로 포화된다면 작물생육 조건을 만족한다고 볼 수 있다. 여기에서 강우의 손실이 작물에 의한 차단과 삼투능에 의해 약 25%가 발생하는 것으로 하면 식(1)과 같이 약 60mm가 된다.

$$150 \times 0.6 \times 0.50 / (1 - 0.25) = 60\text{mm} \text{ ----- (식 1)}$$

가뭄지속일수(과우일수)를 분석하는 방법은 아래와 같다.

- ① 5,6,7,8월의 일강우량 자료로 부터 단독 1일 강우량이 5mm 이하이거나 연속 2일 이상 강우량이 5mm이하일 경우 무강우로 취급하고 일 강우량을 누가한다.
- ② 누가강우량이 50mm, 60mm, 70mm등 여러가지 기준에 달할 때 까지의 과우지속일수를 계산한다.
- ③ 계산결과를 과거 가뭄기록으로부터 비교하여 과우일수를 결정하고 이때의 누가 강우량을 과우량으로 정의한다.
- ④ Runs이론¹⁷⁾에서 과우량은 Truncation Level이 되고 과우일수는 Run-Length 즉 가뭄기간(Duration)이 되므로서 가뭄발생빈도의 시계열자료로서 사용한다.

과우량 50,60,70mm별, 축후소별 과우일수를 계산하면 다음<표 1>과 같다.

<표 1> 寡雨日數 산출 결과

(단위: 일)

년도	과우량	서울	춘천	청주	대전	전주	광주	대구	진주	부산	년도	과우량	서울	춘천	청주	대전	전주	광주	대구	진주	부산
1960	50 60 mm 70	24 25 28	29 30 39	27 27 29	38 38 38	28 28 28	33 37 38	44 44 44	44 44 44	39 39 39	1978	50 60 mm 70	56 56 56	40 43 41	40 40 41	40 40 41	41 41 41	41 41 41	41 41 41	41 41 41	41 41 41
1961	50 60 mm 70	28 28 33	26 26 27	24 24 28	24 26 27	28 28 31	24 27 28	34 35 36	18 23 24	23 28 35	1979	50 60 mm 70	18 26 29	25 26 33	22 26 29	22 26 29	25 29 34	28 30 33	25 25 28	20 20 26	23 27 29
1962	50 60 mm 70	40 44 46	35 37 40	32 38 39	38 39 39	33 36 47	33 33 33	54 55 59	32 32 32	33 33 33	1980	50 60 mm 70	26 26 26	32 35 41	26 26 26	21 26 26	22 26 26	28 30 30	30 30 35	22 22 22	16 22 30
1963	50 60 mm 70	24 26 26	24 25 26	32 26 26	24 26 26	18 19 21	25 25 25	22 26 27	24 23 32	16 16 19	1981	50 60 mm 70	44 44 44	23 23 30	50 52 53	43 50 50	39 41 47	42 48 50	42 43 43	38 42 42	42 41 43
1964	50 60 mm 70	30 31 31	28 31 37	33 35 35	28 31 36	31 34 39	31 37 39	53 54 62	23 30 32	40 49 59	1982	50 60 mm 70	57 59 60	45 50 51	57 58 63	54 54 54	51 51 54	38 41 54	68 77 77	42 43 57	43 43 57
1965	50 60 mm 70	68 70 71	68 69 70	46 47 48	46 46 46	46 53 61	35 35 37	43 44 61	37 37 37	36 39 46	1983	50 60 mm 70	56 56 56	56 56 63	44 44 44	44 44 50	43 50 62	51 55 51	51 51 44	43 43 44	36 36 36
1966	50 60 mm 70	35 36 38	29 40 44	52 53 55	30 35 35	29 35 35	35 35 36	29 44 36	29 35 35	41 41 43	1984	50 60 mm 70	48 48 48	38 38 39	32 37 38	35 37 37	38 39 41	38 39 39	38 38 39	37 38 38	29 29 29
1967	50 60 mm 70	32 33 33	34 40 49	51 51 51	53 54 55	56 56 56	55 56 56	37 47 48	50 50 55	48 55 56	1985	50 60 mm 70	44 44 44	52 57 57	50 54 54	44 44 50	40 40 40	30 31 35	40 40 40	34 35 35	35 35 38
1968	50 60 mm 70	44 45 45	37 37 41	37 44 48	41 41 41	41 41 46	52 60 72	45 59 71	34 43 48	56 57 58	1986	50 60 mm 70	33 36 44	36 39 44	27 28 33	28 30 34	27 28 28	25 27 30	27 27 30	27 28 28	42 43 44
1969	50 60 mm 70	42 43 43	39 42 42	47 50 60	35 41 43	28 31 33	31 32 37	37 40 40	22 25 27	24 24 27	1987	50 60 mm 70	33 37 37	32 37 33	28 33 33	28 33 33	33 33 34	33 33 34	34 33 34	33 33 33	21 24 29
1970	50 60 mm 70	28 36 37	28 39 39	37 37 37	28 28 28	29 29 37	37 37 37	20 29 29	20 30 30	35 35 35	1988	50 60 mm 70	37 37 40	34 34 34	37 38 40	39 39 49	52 52 63	44 40 52	39 40 41	27 27 27	30 31 31
1971	50 60 mm 70	32 32 33	30 32 34	37 47 30	30 30 30	24 29 30	24 38 33	36 29 42	24 29 30	24 24 29	1989	50 60 mm 70	36 36 36	29 36 36	25 36 36	35 36 36	36 39 39	35 39 36	39 39 36	35 36 39	31 36 39
1972	50 60 mm 70	34 37 44	43 45 47	37 43 51	47 48 52	40 47 48	33 47 48	33 33 43	30 30 43	28 30 30	1990	50 60 mm 70	23 27 31	25 27 31	42 45 46	32 39 42	32 38 42	31 32 32	28 31 31	34 35 36	36 37 37
1973	50 60 mm 70	49 50 50	40 43 43	40 42 43	40 42 49	43 52 52	49 52 55	43 51 41	40 40 42	40 41 42	1991	50 60 mm 70	33 33 33	28 28 33	27 27 27	26 33 34	26 33 32	33 33 40	34 34 40	26 26 32	24 24 25
1974	50 60 mm 70	34 34 35	30 34 43	30 43 43	30 32 42	30 30 40	28 28 28	27 35 36	27 27 28	27 28 29	1992	50 60 mm 70	35 45 57	30 32 34	55 57 62	57 67 65	64 65 65	59 64 65	62 64 72	52 57 62	44 44 45
1975	50 60 mm 70	53 53 63	44 50 52	39 47 48	29 34 35	21 26 29	32 34 40	32 32 32	21 21 21	21 21 25	1993	50 60 mm 70	25 25 26	24 24 26	36 37 37	25 25 26	22 22 26	26 36 41	26 35 41	18 19 25	25 26 28
1976	50 60 mm 70	46 51 51	33 44 46	40 50 51	37 37 39	37 28 37	28 35 32	54 55 55	30 30 34	30 34 34	1994	50 60 mm 70	35 38 35	38 39 41	41 45 46	42 43 46	42 43 43	46 68 68	35 38 62	60 61 62	36 37 37
1977	50 60 mm 70	32 32 40	34 49 50	45 45 45	39 46 50	34 34 38	34 54 54	34 36 46	27 27 32	40 40 40	1995	50 60 mm 70	31 35 40	43 43 48	53 53 53	48 48 53	53 54 58	47 47 47	37 47 47	33 33 46	33 33 33

위의 <표 1>에서 보는 바와 같이 광주축후소의 과우일수만을 보더라도 과우량 70mm일 때가 1967, 1968, 1992 및 1994년의 가뭄을 잘 표현하고 있음을 알 수 있으며, 특히 '94년 慶南의 경우 西部와 東部지역이 地形의인 특성의 영향을 받아 부산과 진주에서 동일년에도 불구하고 약 25일간의 차이를 보이고 있어 체감가뭄과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

나. 과우일수에 의한 가뭄빈도

<표 1>을 가지고 Gumbel-Chow의 확률분포함수를 이용 빈도값을 구하면 다음 <표 2>와 같다. <표 2>에서 보는 바와 같이 전국적으로 볼 때 10년빈도 가뭄에 해당되는 寡雨日數는 약 50일에서 61일 사이인 것으로 나타났으며 결론적으로 <표 2>는 향후 과우일수를 기준하여 그 해의 가뭄정도를 판단할 수 있는 충분한 기준이 될 것으로 생각된다.

<표2> 寡雨日數에 의한 가뭄頻度

(단위 : 일)

빈도별	서울	춘천	청주	대전	대구	전주	광주	부산	진주
평년	39	40	41	39	42	39	40	36	35
3년	44	44	45	43	47	43	45	40	39
5년	49	49	50	47	53	48	51	44	44
10년	56	55	56	53	61	55	58	50	50
20년	62	60	62	58	68	61	65	55	56
50년	70	68	69	65	77	69	74	63	64
100년	77	73	75	70	84	75	80	68	70

3. 가뭄의 수문학적인 지표

가. 貯水率

과우일수가 아무리 길더라도 저수지의 유효저수량이 많이 확보되어 있으면 가뭄이 들었다고 볼 수 없다. 따라서 가뭄을 평가하는데 있어서 기상학적인 가뭄만을 가지고 평가한다면 올바른 방법이 될 수 없다. 하천의 유량이나 저수지의 저수량을 가지고 가뭄을 평가할 수 있는 수문학적인 지표가 보완되어야 완전한 가뭄평가가 가능할 것이다.

따라서 저수율에 의한 가뭄빈도 계산을 위해 최대 寡雨日數 발생기간 동안의 도별 최저저수율 자료('67~'94)를 이용하였다.^{3, 4)}

나. 저수율에 의한 가뭄빈도

저수율 자료를 이용하여 Weibull 방법으로 빈도처리한 결과는 다음 <표 3>과 같이 나타났다. 표에서 보는 바와 같이 도별 분포는 頻度年이 증가할수록 경남과 전남지역의 저수율이

급격히 떨어지는 것으로 보아 이제까지 겪은 體感가뭄과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 최근 가뭄으로서 '94년의 전남지역의 가뭄은 저수율이 약 17%를 기록하여 약 10년 빈도 가뭄에 해당하였다. 이는 대체적으로 10년 빈도 가뭄기준으로 설계한 저수지가 유역의 조건에 따라 고갈되거나 아니거나 한 상황이었음을 상기할 때 수문학적인 가뭄의 평가 방법으로서 저수율빈도 자료가 유용함을 알 수 있다.

<표 3> 道別 저수율 빈도

(단위 : %)

빈도별	경 기	강 원	충 북	충 남	전 북	전 남	경 북	경 남
평 년	48.2	36.7	41.5	44.3	51.1	52.3	52.9	52.7
3 년	38.3	29.1	32.5	35.7	40.7	41.7	43.0	41.6
5 년	28.5	22.8	24.1	27.7	30.2	30.9	32.8	30.4
10 년	17.9	17.2	15.5	19.3	18.7	18.7	21.3	17.7
20 년	9.1	13.5	9.0	12.8	9.1	8.2	11.5	6.9
30 년	4.6	11.9	5.8	9.7	4.1	2.7	6.3	1.3

4. 요약 및 결론

가뭄을 평가할 수 있는 여러가지 지표나 지수들이 국내외에 많이 발표되었으나 일반대중의 물 이해와 장기간의 자료축적이 되지 않아 우리 나라에서는 적용되지 못하였다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 기상학적인 가뭄으로서 과우일수의 개념을 도입하여 측후소별 과우일수에 대한 초과확율을 계산하고 실제 가뭄년의 과우량에 대한 과우일수를 검증하고 수문학적인 가뭄으로서 저수지의 저수율 자료를 기초로 가뭄빈도를 계산한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- ① 과우량별 과우일수는 과우량이 70mm일때 실제 가뭄년의 가뭄지속 일수와 가장 잘 부합하였다.
- ② 최근의 가뭄으로서 '94년의 가뭄을 평가한 결과 과우량 70mm일때의 과우일수는 광주지역이 68일로서 약 30년 가뭄빈도에 해당하는 것으로 나타났다.
- ③ 수문학적인 가뭄의 지표로서 저수지 연 최저저수율 확률빈도는 전남과 경남지역이 낮은 것으로 나타났고 '94저수율과 설계빈도를 비교할 때 실제 남부지역의 가뭄발생과 잘 일치하였다.
- ④ 과우일수에 의한 기상학적 가뭄지수와 저수율에 의한 수문학적 가뭄지수는 상호 보완하여 사용해야 하며 우리나라의 가뭄평가 방법으로서 일관되게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 강관원, 안경수, 1986, 'RUNS의 특성에 의한 지속기간별 저수부족량의 추정', 한국 수문학회 Vol. 19, No. 4.
2. 김현영, 황철상, 정건배, 정종호, 1993, '저수관리 시스템 개발, 한국농공학회지 제 35권 제2호.
3. 농림수산부, 1994, '전국 저수지 계획저수량 현황 및 저수상황표('67~'94)'.
4. 농림수산부, 1995. 6, '94 및 '95 가뭄대책 추진현황'.
5. 박성우 외 5인, 1984, 응용수문학, 향문사.
6. 박성우, 정하우, 권순국, 1982, '기상조건에 따른 한발예측과 농업생산성에 대한 영향분석', 농업개발시험연구, 서울대 농업개발연구소.
7. 안병기, 김태철, 정도웅, 1988, '농업 한발지수 설정에 관한 연구', 한국농공학회지 제 30권 제 1호.
8. Bahlme,H.N. & B.Mooley, 1980, 'Large-scale Drought/Floods and Monsoon Circulation', Mon. Wea. Rev. 108 :1197-1211.
9. Bidwell,V.J. ,1972, A Methodology for Analysing Agricultural Drought, Floods and Droughts, Fort Collins Colorado, USA.
10. Chow,V.T., 1964, 'Handbook of Applied Hydrology', McGraw-Hill.
11. Hershfield,D.M., D.L.Branksiek, G.H.Comer, 1972, 'Some Measures of Agricultural Drought', Proc. of Second International Symposium in Hydrology.
12. Llamas,J. & M.M. Siddiqui, 1969, 'Runs of Precipitation Series', Hydrogy Paper No.33, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
13. Millan Jaime, 1972, 'Statistical Properties of Runs as Applied to Hydrologic Droughts, Proc. of Second International Symposium, in Hydrology.
14. Palmer, W.c., 1965, 'Meteorologic Drought', Res. Report No.45, U.S.Dept. of Commerce, Weather Bureau, Washington D.C.
15. Sikka, D. R., 1972, Integrated Hydrologic and Social Interactions to Floods and Droughts in India, Proc. of Second International Symposium in Hydrology.
16. Smartm G. M., 1983, Drought Analysis and Soil Moisture Prediction, ASCE, I & DDiv., Vol. 109, No. 2.
17. Yevjevich,V., R..N.Downer, & M.M.Siddiqui, 1967, 'Application of Runs to Hydrologic Droughts', International Hydrologic Sym., Fort Collins, Colorado.
18. Zekai Sen, 1980, 'Statistical Analysis of Hydrologic Critical Droughts', J. of the Hydraulics Div., Vol.106, No. HY1, ASCE.