

가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구

A Comparative Study on the Drought Indices for Drought Evaluation

○류재희^{*} / 윤용남^{**} / 이동률^{***} / 안재현^{***}

1. 서 론

일반적으로 가뭄이란 강수량의 부족으로 인한 건조기간으로 인식되고 있으나, 관련된 전문 분야에 따라 여러 가지의 기준에 따라 정의되고 있다(Wilhite and Glantz, 1985). 이러한 가뭄의 피해는 경상상태에 비해 강수량이 상당히 부족할 경우에 나타나며, 가뭄의 정도를 정량화하기 위해서 다양한 가뭄지수가 개발되어 있지만, 각각의 관심분야에 따라 다른 수문변수를 이용해 가뭄의 심도와 기간을 분석하고 있다.

가뭄관리를 위하여 가장 필요한 요소는 가뭄의 상황을 시·공간적으로 나타내는 것이다. 즉, 시간적으로 가뭄이 어떤 양상으로 발생하고 있는가와 공간적으로 가뭄지역의 발생 분포를 파악하는 것이 가뭄관리를 위한 첫 번째 요소이다. 이와 같은 분석은 가뭄을 정량화하여 지수로 나타내는 가뭄지수를 이용하여 수행할 수 있는데, 현재 가장 일반적으로 이용되고 있는 가뭄지수들은 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SWSI(Surface Water Supply Index) 및 SPI(Standard Precipitation Index)이며, 이를 지수들은 각각의 장단점을 가지고 있으며서 그 특성에 맞게 적용되고 있다. 본 연구에서는 가뭄의 분석 및 조기경보차원에서 기존 지수들의 상호비교 연구를 통하여 국내 수문학적 환경에 적용할 수 있는 가뭄지수를 제시하고자 한다. 이를 위하여 PDSI, SWSI 및 SPI를 낙동강 유역에 적용하였다.

2. 가뭄지수별 산정 방법

2.1 PDSI(Palmer Drought Severity Index)

Palmer(1965)는 가뭄(drought)을 “장기간의 이상습윤부족”이라 정의하였으며, 이상습윤부족은 “정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤부족 기간”이라 정의된다. 이는 일반적으로 사소한 불편이나 고통 등을 발생시키는 수분부족이 아니라, 수분의 부족이 심하여 인명 또는 재산의 손실을 야기하는 현상으로써, 최소한 2-3개월에서 일반적으로 1년 이상 장기간의 수분부족이 지속되는 것을 의미한다. 이러한 가뭄의 정의를 통해 Palmer는 가뭄의 심도를 수분부족량과 수분부족기간의 합수로 나타내었는데, 통계적으로 시간과 공간의 일관된 비교를 통해 얻어지는 가뭄지수의 개발을 위해 기후적으로 상이한 두 지역인 미국의 Kansas와 Iowa 지역을 대상으로 하여 식 (1)과 같은 가뭄지수산정공식을 유도하였다.

$$X_i = 0.897X_{i-1} + \frac{Z_i}{3} \quad (1)$$

여기서, X 는 가뭄지수, Z 는 수분이상지수, 아래첨자 i 는 해당 월을 의미한다.

2.2 SWSI(Surface Water Supply Index)

SWSI(Surface Water Supply Index)는 PDSI에서의 평범위한 토양수분조건을 지형적으로 변화가 심한 산악 지역의 응용하는데 따르는 한계를 보완하는 과정에서 제안된 지수로서, Shafer와 Dezman(1982)에 의해 개발되었다. 이 지수는 부족으로 인해 가뭄에 영향을 미치는 표면유출인자(강수, 적설, 하천유출, 저수지 저수량)로 구성되어 있으며, 각 수문인자를 통계학적으로 해석하고 각 수문인자의 유역 기여도를 산정하여 가중치로 사용함으로써 유역을 대표하는 하나의 지수를 얻게 된다. 이러한 SWSI는 PDSI에 비해 많은 수문인자를 고려함으로써 수문학적 가뭄지수를 제공할 수 있지만, 수문인자의 자료계열이 간섭을 받게되면 인정된 시계열을 획득하기가 어렵고 따라서 통계학적인 특성을 얻는데 문제가 생기게 된다. SWSI를 산정하기 위해서는 가뭄에 영향을 미치는 수문인자를 결정하고 결정된 각종 수문인자들을 통계학적으로 분석하여야 하며, Shafer & Dezman(1982)은 각종 수문인자에 확률의 개념을 추가하여 수문인자들의 비교 및 조합이 가능하도록 하였고 식 (2)와 같이 표현함으로써 가뭄지수를 산정하였다.

$$SWSI = \frac{a \times PN_{SP} + b \times PN_{PCP} + c \times PN_{SF} + d \times PN_{RS} - 50}{12} \quad (2)$$

여기서, PN은 비초과학률, a, b, c, d 는 각 수문인자의 가중계수($a+b+c+d=1$), SP는 적설인자(snowpack component), PCP는 강수인자(precipitation component), SF는 하천유출인자(streamflow component), RS는 저류량인자(reservoir component)이다.

2.3 SPI(Standardized Precipitation Index)

McKee 등(1993)은 가뭄이 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 SPI(Standardized Precipitation Index)를 개발하였다.

SPI를 산정하기 위해서는 우선 시간단위별 누가강수 시계열을 구성하여야 하며, 이는 이동 누가에 의한 방법으로 월 강수량을 시간단위에 따라 연속적으로 충청하여 구한다. 즉, 각 월을 기준으로 하여 시간단위별에 해당하는 누가강수 시계열을 산정하게 되며, 이를 누가된 월수로 나누어 고려해준 월에 따른 이동 평균 강수계열을 드롭하면 된다. 지속시간별 시계열이 구성되면 이 시계열을 월별로 분석하여 적정 확률분포형을 산정하고, 산정된 정 확률분포형을 이용하여 개개 변량의 누가확률을 구한 후, 표준정규분포에 적용시켜 표준강수지수를 산정하게 된다. 예를 들면, 적정 확률분포에 해당하는 누가확률을 P_1 이라고 하면 표준정규분포의 누가확률 P_2 가 P_1 과 같게 되는 Z 값을 구하게 된다. 이 값이 바로 표준강수지수가 된다.

* 남원건설엔지니어링 수자원부

** 고려대학교 토목환경공학과 교수

*** 한국건설기술연구원 수자원환경부 선임연구원

**** (주)전일엔지니어링 수자원부 차장

3. 낙동강 유역의 가뭄지수 산정

본 연구를 위한 대상유역으로 낙동강 유역을 선정하였으며, 필요한 기상관측자료는 표 1에서와 같은 총 21개 기상청 산하 기상관측소 자료를 이용하였다.

3.1 PDSI

Palmer가 개발한 가뭄지수 산정공식 등은 모두 미국지역의 기후특성에 맞추어 만들어진 것으로 기후 및 지역적 특성이 다른 국내의 경우 국내 특성에 맞는 공식을 다시 산정하여야 한다. 이에 따라 대상유역의 각 관측점별 자료를 이용하여 Palmer의 방법에 따라 수분수지분석을 실시한 후, 각각의 필요한 계수들을 산정하여 대상유역의 특성에 맞게 가뭄지수 산정공식을 산정하였다.

3.1.1 유역평균 자료계열을 이용한 PDSI 산정(method 1)

유역의 지점 강수량과 기온자료 계열(월별)에 티센가중치를 적용하여 유역평균 자료계열을 구축한 뒤 이를 이용하여 PDSI를 산정하였다. 유역의 기후특성인자로부터 월별 이상습윤지수(Z)를 산정하고, 이로부터 낙동강 유역의 특성에 따른 PDSI 산정공식을 식 (3)과 같이 유도하였으며, 식 (3)을 이용해서 산정한 낙동강 유역의 월별 PDSI를 그림 1에 나타내었다.

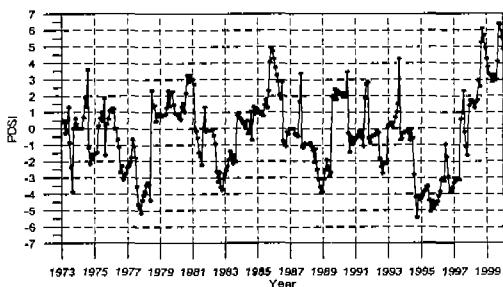
$$X_i = 0.889X_{i-1} + \frac{Z_i}{61.423} \quad (3)$$

3.1.2 관측소별 PDSI를 이용한 유역의 PDSI 산정(method 2)

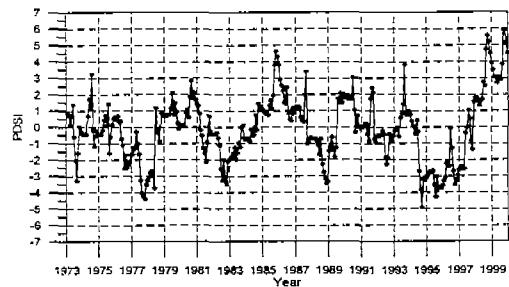
낙동강 유역의 각 관측소별 자료를 이용하여 각각의 PDSI를 산정하였다. 기후특성인자는 지역적인 특성과 기후적인 편차를 단일된 가뭄산정 공식에 적용함에 있어 비교 가능하게 하기 위한 인자이지만 다양한 지역의 지역적인 특성에서 일관된 식을 얻기가 어려우며, 관측소가 많아질수록 그 결과에 상당한 오차가 누적된다. 따라서, 본 연구에서는 각 관측소별로 가뭄지수 산정공식을 유도하여 기후특성인자로부터 파생되는 오차를 줄임으로서, 보다 안정적인 가뭄지수를 구하고자 하였다. 이는 각 관측소별 과거 자료를 통한 지역적인 특성을 반영하는 것으로 개별적인 가뭄지수 산정공식이 곧 지역적 특성을 반영하는 것이 되는 것이다. 표 1은 낙동강 유역의 관측소별 가뭄지수 산정공식을 나타낸 것이다. 그림 2는 표 1에서 산정된 관측소별 가뭄지수 산정공식을 이용해서 관측소별로 PDSI를 산정한 뒤, 관측소별 티센가중치를 이용하여 유역평균한 PDSI를 도시한 결과이다.

표 1. 관측소별 가뭄지수 산정공식

지점번호	지점명	가뭄지수 산정공식	지점번호	지점명	가뭄지수 산정공식
130	울진	$X_i = 0.881X_{i-1} + Z_i/61.523$	272	영주	$X_i = 0.924X_{i-1} + Z_i/72.161$
135	추풍령	$X_i = 0.911X_{i-1} + Z_i/64.604$	273	문경	$X_i = 0.915X_{i-1} + Z_i/64.654$
138	포항	$X_i = 0.872X_{i-1} + Z_i/85.415$	277	영덕	$X_i = 0.825X_{i-1} + Z_i/62.611$
143	대구	$X_i = 0.864X_{i-1} + Z_i/81.398$	278	의성	$X_i = 0.910X_{i-1} + Z_i/96.565$
152	울산	$X_i = 0.834X_{i-1} + Z_i/54.076$	279	구미	$X_i = 0.936X_{i-1} + Z_i/84.088$
159	부산	$X_i = 0.847X_{i-1} + Z_i/61.838$	281	영천	$X_i = 0.886X_{i-1} + Z_i/80.156$
162	충무	$X_i = 0.859X_{i-1} + Z_i/73.317$	284	거창	$X_i = 0.899X_{i-1} + Z_i/60.430$
192	진주	$X_i = 0.864X_{i-1} + Z_i/64.932$	285	합천	$X_i = 0.840X_{i-1} + Z_i/56.932$
223	충주	$X_i = 0.906X_{i-1} + Z_i/55.668$	288	밀양	$X_i = 0.853X_{i-1} + Z_i/56.905$
226	보은	$X_i = 0.903X_{i-1} + Z_i/59.693$	289	산청	$X_i = 0.876X_{i-1} + Z_i/58.355$
247	남원	$X_i = 0.927X_{i-1} + Z_i/76.668$			



<그림 1> 낙동강 유역의 PDSI(method 1)



<그림 2> 낙동강 유역의 PDSI(method 2)

3.2 SWSI

대상유역으로 선정된 낙동강 유역의 수문자료를 수집하고 기존의 가뭄피해가 있었던 기간과 본 연구를 통해 산정된 SWSI의 기간별 특성을 비교함으로써 가뭄을 분석하고 지역화 또는 일반화시킬 수 있는 인자를 산출하였다.

3.2.1 SWSI 산정을 위한 강수 자료계열 분석

낙동강 유역의 강수 자료계열은 표 1에서 나타낸 21개 관측소의 각 강수 자료계열에 티센가중치를 주어 유역을 대표하는 강수 자료계열을 구성하였으며, 농일기간의 자료를 이용하기 위하여 '73년 이후의 관측자료만을 사용하였다. 또한, 강수 자료계열을 월별로 분리한 뒤 월별 강수 시계열의 확률분포형을 결정하여야 하며, 본 연구에서는 월별 강수 시계열을 정규분포에 적합시켜 해석하였으며 매개변수 추정에는 Moment법을 사용하였고 적합도 검정은 K-S(Kolmogorov-Smirnov) 검정을 이용하였다. 산정된 비조과확률률을 도시하면 그림 3과 같다.

3.2.2 SWSI 산정을 위한 저류량 자료계열 분석

저류량 자료계열의 경우에는 유역내 저수지 및 댐의 저류량을 분석하면 되지만, 저수지의 경우에는 그 저류량 자료를 획득하기가 어려우며, 댐의 경우도 자료가 기간별로 수위의 변동의 편차가 심한 경우가 있기에 모든 저수지 및 댐을 고려하는 것은 현실적으로 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 유역내의 3개의 다목적 댐(안동댐, 임하댐, 합천댐)의 저류량 자료가 낙동강 유역을 대표하는 저류량 자료로 사용 가능하다고 판단하였으며, 이를 이용한 분석을 시도하였다. 각 댐 저류량계열의 비초과화률을 개별적으로 산정한 뒤, 각 댐에서 산정된 비초과화률을 각 댐의 연용수공급 총량을 가중치로 낙동강 유역을 대표하는 저류량 자료계열의 비초과화률을 산정하였으며 식(4)와 같이 표현된다. 각 댐의 월별로 계산된 평균과 표준편차를 이용하여 확률분포식을 산정하고, 산정된 확률분포식으로부터 비초과화률을 구한 후, 비초과화률을 산정하였으며, 이를 그림 4에 도시하였다.

$$PN_{RS} = \frac{DWS_{ad} \times PN_{ad} + DWS_{ih} \times PN_{ih} + DWS_{hc} \times PN_{hc}}{DWS_{ad} + DWS_{ih} + DWS_{hc}} \quad (4)$$

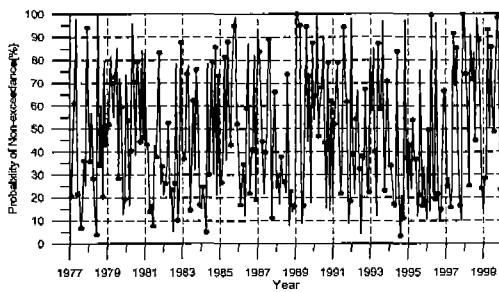
여기서, DWS 는 연용수공급량이며, ad 는 안동댐, ih 는 임하댐, hc 는 합천댐을 의미한다.

3.2.3 SWSI 산정을 위한 유출 자료계열 분석(댐 방류량 이용)

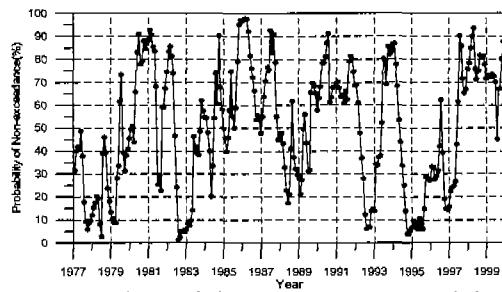
유출 자료계열의 경우는 유역의 출구점이나 지점의 합류점에서의 유출량 자료를 분석하면 되지만 실측 자료가 미비한 상태이며, 여러 가지 유출 모델을 이용한 유출량의 추정은 유역의 개별변수를 산정과정 등에서 오차를 수반하며 모델에 따라 상이한 결과를 주므로 신뢰할 만한 자료계열을 획득하는데 어려움이 있다. 그러므로, 본 절에서는 선정된 각 댐에서의 방류량 자료계열을 본 유역의 하천 유출을 대표하는 것으로 가정하여 유출 자료분석 실시하였다. 이것은 하천 취수에 의한 용수공급은 댐에서 하천에 방류하는 양에 의해 영향을 받는다는 이유에 근거한 것이다. 방류량의 경우에도 저류량의 해석절차와 같은 방법으로 각 댐의 방류량 자료계열을 분석한 뒤 월별 비초과화률을 산정하고 각 댐의 연용수공급량을 가중치로 하여 유역을 대표하는 비초과화률을 산정하였으며 연용수공급 총량을 가중치로 주어 방류량 자료계열의 유역을 대표하는 비초과화률을 나타내면 그림 5와 같다.

3.2.4 SWSI 산정을 위한 유출 자료계열 분석(Tank모형 이용)

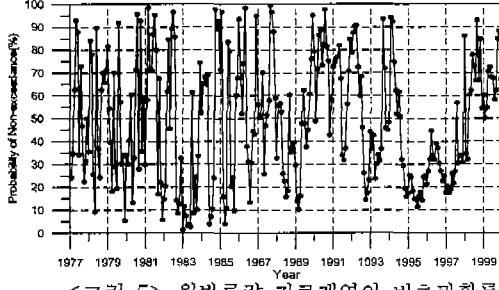
앞 절에서 소개되었듯이 유역의 실측 유출 자료계열을 획득하는 것은 현실적인 어려움이 따르며 댐 방류량을 유역을 대표하는 유출 자료계열로 인정하는 것도 한계가 있다. 따라서 본 절에서는 유출 모형의 일종인 Tank 모형을 이용하여 산정된 유출자료(건설교통부, 1999)를 이용하여 유역의 유출 자료계열을 구성하여 분석하여 보았다. 유출량 자료계열을 월별로 분리한 뒤 Moment법으로 각 월의 매개변수를 추정하여 정규분포에 적합시킨 뒤 적합도 검정인 K-S 검정을 실시한 결과, 1, 3, 10월에서 K-S 검정을 통과하지 못하는 경우가 발생하였다. 따라서, 자료계열을 대수변환해서 재구성하였으며, 변환한 자료는 모든 월에서 적합도 검정을 통과하였다. 그러므로, 대수변환된 자료계열의 매개변수를 이용하여 확률분포식을 결정하고, 이를 이용하여 비초과화률을 산정하였으며 그림 6에 나타내었다.



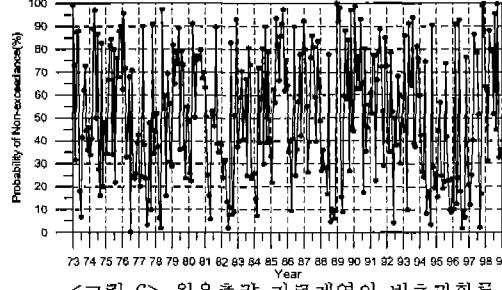
<그림 3> 월강수 자료계열의 비초과화률



<그림 4> 월저류량 자료계열의 비초과화률



<그림 5> 월방류량 자료계열의 비초과화률



<그림 6> 월유출량 자료계열의 비초과화률

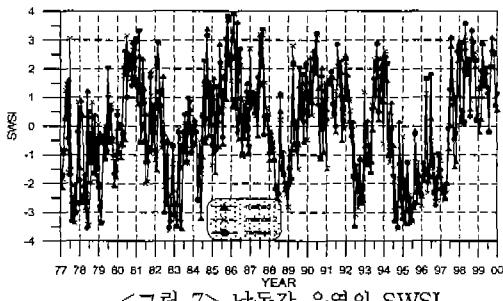
3.2.5 SWSI 산정을 위한 가중계수 결정 및 가뭄지수 산정

SWSI를 산정하기 위해서는 앞에서도 언급하였듯이 각종 수문인자가 유역에 미치는 가중치를 산정하여야 한다. 이 가중계수를 구하기 위해서는 각종 수문인자가 그 유역에 작용하는 잠재적인 모든 영향을 고려하여야 하며 이를 실제 정량적으로 측정하기 곤란하다. 표 2는 SWSI를 산정하기 위하여 3개의 수문인자(강수량(a), 저류량(b), 유출량(c))를 고려하였을 경우를 3가지로 분류하여, 유출량을 댐 방류량으로부터 결정한 경우(method 1), 3개의 수문인자를 고려한 경우 중 유출량을 Tank 모형을 이용하여 산정한 경우(method 2)와 2개의 수문인자(강수량(a), 저류량(b))만을 고려하였을 경우(method 3)에 해당하는 가중계수를 나타낸 것으로서, 각 고려사항에 따라 산정된 가

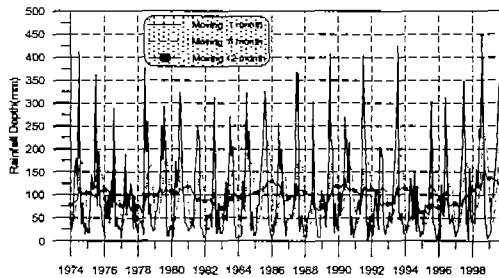
증계수를 이용하여 유역의 SWSI를 산정하여 나타내면 그림 7과 같다.

표 5. 각종 수문인자의 월별 가중계수

월	Method 1			Method 2			Method 3				
	K-S 검정결과	강수량(a)	저류량(b)	유출량(c)	K-S 검정결과	강수량(a)	저류량(b)	유출량(c)	K-S 검정결과	강수량(a)	저류량(b)
1	0.0621	0.27	0.15	0.58	0.0835	0.14	0.86	0.00	0.0813	0.14	0.86
2	0.0624	0.29	0.29	0.42	0.0855	0.01	0.99	0.00	0.0790	0.01	0.99
3	0.0536	0.59	0.40	0.01	0.0559	0.51	0.41	0.08	0.0537	0.59	0.41
4	0.0531	0.01	0.64	0.35	0.0700	0.06	0.38	0.56	0.0920	0.29	0.71
5	0.0673	0.26	0.03	0.71	0.0651	0.01	0.79	0.20	0.0835	0.14	0.86
6	0.0453	0.23	0.40	0.37	0.0742	0.28	0.57	0.15	0.0762	0.55	0.45
7	0.0665	0.55	0.33	0.12	0.0821	0.44	0.15	0.41	0.0773	0.68	0.32
8	0.0693	0.55	0.43	0.02	0.0617	0.34	0.45	0.21	0.0702	0.53	0.47
9	0.0663	0.45	0.19	0.36	0.0864	0.46	0.54	0.00	0.0899	0.48	0.52
10	0.0864	0.50	0.43	0.07	0.0615	0.02	0.66	0.32	0.0910	0.32	0.68
11	0.0731	0.42	0.50	0.08	0.0659	0.01	0.39	0.60	0.0825	0.45	0.55
12	0.0445	0.26	0.40	0.34	0.0730	0.50	0.01	0.49	0.0882	0.32	0.68



<그림 7> 낙동강 유역의 SWSI



<그림 8>지속기간별 누가강수 시계열(1, 6, 12개월)

3.3 SPI

3.3.1 SPI 분석을 위한 시간단위별 누가강수 시계열 작성

SWSI 분석에 이용된 강수 자료계열을 이용하여 지속기간 1~12월에 해당하는 자료계열을 구성하였으며, 그림 8은 각 시간단위별로 이동 평균하여 구성한 자료계열 중 1, 6, 12개월을 나타낸 것이다. 이를 보면 강수 자료계열은 누가기간이 짧은 경우 시계열의 진동(fluctuation)이 심하게 나타나며 누가기간이 길어질수록 진동이 안정된다. 즉, 누가기간이 길어질수록 누가효과에 의해 진동의 변화가 둔화되며 뚜렷한 변화의 양상을 볼 수 있다.

3.3.2 SPI 분석을 위한 확률분포형 선정 및 매개변수 추정

Guttman(1999)에 의하면 SPI를 산정하기 위한 누가강수 시계열의 적정 확률분포형은 Pearson Type-III 분포이며, 유원희 등(2000)에 의하면 기타 다른 확률분포형을 시계열의 적정확률분포형이라 가정했을 때와 적정확률분포형을 Pearson Type-III로 했을 때의 결과는 커다란 차이를 보이지 않는다. 즉, 적정확률분포형의 차이에 있어 가뭄의 심도나 변화의 양상이 커다란 차이를 보이지 않으므로 본 연구에서 누가강수 시계열의 적정확률분포형을 Pearson Type-III로 결정하였다.

매개변수 추정법은 이상자료의 영향을 최소화 할 수 있으며 표본에 가중치를 주어 작은 표본으로 인한 확률밀도함수의 양극에서 발생하는 오차를 줄일 수 있는 PWM(Probability Weighted Moment)을 사용하였다.

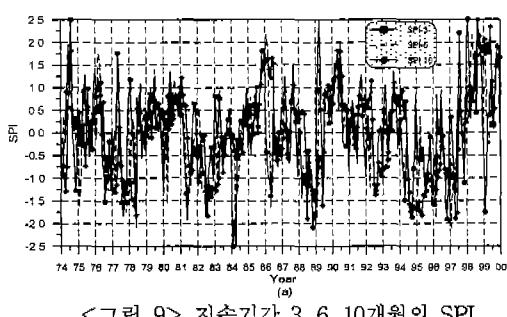
3.3.3 누가확률 산정 및 SPI 산정

지속기간 10개월의 자료계열에서 추정된 각 월의 매개변수를 이용하여 각 월의 확률분포함수를 결정할 수 있으며, 결정된 확률분포함수로부터 누가확률을 계산할 수 있다. 이렇게 산정된 누가확률의 핵과 표준정규분포의 누가확률값이 같아지는 값을 찾아 표준정규분포의 변수(X)값을 읽으면, 그것이 지속기간 10개월에 해당하는 SPI(SPI-10)이다. SPI는 지속기간별로 구해지므로 이 지수를 PDSI나 SWSI와 비교하기 위해서는 적절한 지속기간을 선택하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 SPI의 각 지속시간별 가뭄지수와 PDSI 및 SWSI의 상관계수를 산정하여, 가장 큰 상관성을 보이는 지속시간의 SPI를 대상 유역을 대표하는 SPI로 채택하였다. 상관성 분석의 방법에는 다양한 방법 등이 제안되고 있으나 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 식 (5)에 의해 상관계수를 구하였다.

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}(X_k, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X_k) \text{Var}(Y)}} \quad (5)$$

여기서, $\text{Cov}(X_k, Y)$ 는 두 변수간의 공분산이며 $\text{Var}(X_k)$ 및 $\text{Var}(Y)$ 는 각 변수의 분산이다.

표 3은 각 지속시간별 SPI와 PDSI 및 SWSI의 상관계수를 나타낸 것이다. 이를 보면 SPI와 PDSI의 상관계수는 SPI의 지속기간이 10개월일 때가 가장 높은 상관성을 나타내고 있으며 SPI와 SWSI의 경우는 대략 9개월일 때의 상관계수가 가장 크게 산정되었다. PDSI와 SWSI는 같은 가뭄을 나타내는 지수이긴 하나 그 산정 방법에 차이가 있으며, 고려해 주는 수문인자가 다르므로 통일한 조건상에서 비교할 수는 없지만 PDSI와의 상관성이 SWSI와의 상관성보다 크게 산출되고 있으므로, 낙동강 유역에서의 SPI는 PDSI와 가장 큰 상관성을 보이고 있는 지속기간 10개월에 해당하는 지수로 결정하였으며 이와 지속기간 3, 6개월에 해당하는 SPI를 도시하면 그림 9와 같다.



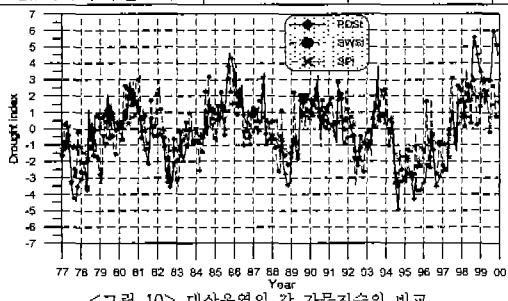
<그림 9> 지속기간 3, 6, 10개월의 SPI

4. 가뭄지수 산정결과의 비교 고찰

3장에서 산정된 가뭄지수들을 비교하기 위하여 각각의 지수 중 유역을 대표하는 지수를 결정해야 하는데, 본 연구에서는 각각의 지수들의 상관계수를 산정하여 지수별로 비교적 높은 상관성을 가지는 방법을 선택하였다. 표 7은 각종 가뭄지수의 산정방법별 상관계수를 정리한 것으로 SPI의 경우 3장에서의 결과로부터 지속기간 10개월에 해당하는 지수를 사용하였다. 표 4로부터 PDSI는 method 2가 method 1에 비해 다른 가뭄지수와 높은 상관계수를 나타내고 있는 것을 볼 수 있으며, SWSI의 경우는 method 3에 의한 지수가 다른 지수와 큰 상관성을 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 PDSI는 method 2, SWSI는 Method 3에 의해 산정된 결과를 각 가뭄지수 산정법의 대표값으로, SPI의 경우 지속기간 10개월에 해당하는 지수를 대표값으로 사용하였으며, 이를 도시하면 그림 10과 같다. '60년대 이후에 발생한 주요가뭄기간은 '67~'68년의 호남 및 영남지역에 심각했던 가뭄과 '76~'77년, '81~'82년, '87~'88년의 영남지역가뭄, 그리고 '94~'95년의 영호남지역 및 중부지역에서 발생했던 것으로 알려져 있다(건설교통부, 1995). 따라서 본 대상유역의 경우 '77년, '81~'82년, '87~'88년 및 '94~'95년의 가뭄의 상태를 각 가뭄지수별로 살펴봄으로써 각 가뭄지수에 의한 가뭄정도의 판단이 어느 정도의 신뢰를 가지고 있는지 판단할 수 있다. 그림 11~14은 과거 가뭄연도의 가뭄지수를 나타낸 것으로 SPI의 경우는 3, 6, 10개월의 지속기간에 대한 비교를 위하여 함께 도시하였고 수문학적인 가뭄이 나타나는 '92년 4월~'93년 4월에 해당하는 기간을 도시하면 그림 15와 같다.

표 4. 각종 가뭄지수 및 산정방법별 상관계수

산정방법별 가뭄지수	PDSI(method 1)	PDSI(method 2)	SWSI(method 1)	SWSI(method 2)	SWSI(method 3)	SPI(지속기간 10)
PDSI(method 1)	1.000	0.970	0.684	0.711	0.748	0.869
PDSI(method 2)	-	1.000	0.719	0.743	0.773	0.873
SWSI(method 1)	-	-	1.000	0.775	0.851	0.683
SWSI(method 2)	-	-	-	1.000	0.923	0.705
SWSI(method 3)	-	-	-	-	1.000	0.751
SPI(지속기간 10)	-	-	-	-	-	1.000

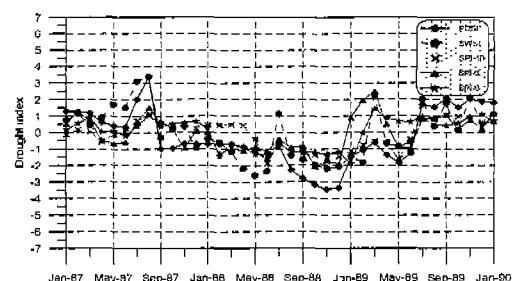


<그림 10> 대상유역의 각 가뭄지수의 비교

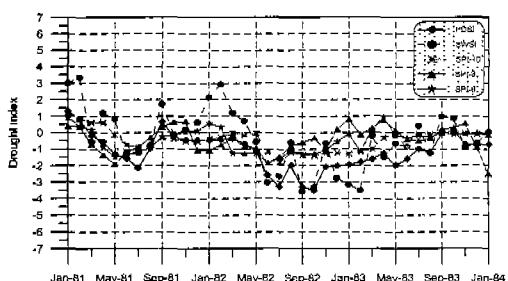
표 3. 지속시간별 SPI와 PDSI 및 SWSI의 상관계수

SPI의 지속기간(개월)	PDSI		SWSI		
	method 1	method 2	method 1	method 2	method 3
1	0.372	0.418	0.532	0.573	0.536
2	0.449	0.502	0.467	0.538	0.458
3	0.561	0.609	0.527	0.566	0.536
4	0.634	0.678	0.547	0.544	0.568
5	0.700	0.737	0.579	0.602	0.633
6	0.748	0.775	0.603	0.670	0.693
7	0.801	0.818	0.645	0.689	0.729
8	0.843	0.852	0.681	0.699	0.753
9	0.862	0.867	0.685	0.696	0.757
10	0.860	0.873	0.683	0.698	0.751
11	0.862	0.871	0.685	0.688	0.730
12	0.851	0.866	0.673	0.660	0.707

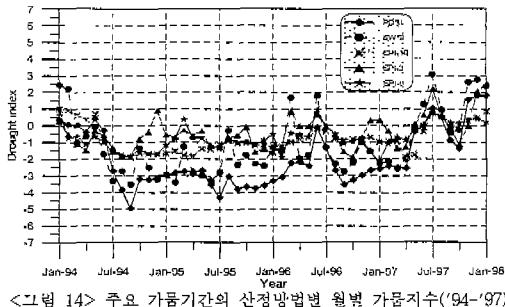
<그림 11> 주요가뭄기간의 산정방법별 월별 가뭄지수('77-'78)



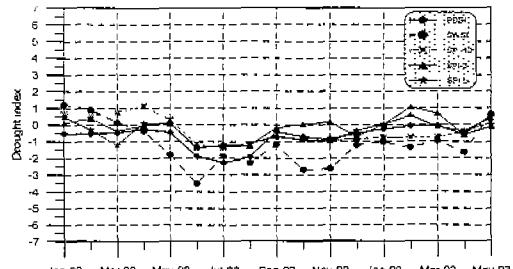
<그림 12> 주요가뭄기간의 산정방법별 월별 가뭄지수('81-'83)



<그림 13> 주요 가뭄기간의 산정방법별 월별 가뭄지수('87-'89)



<그림 14> 주요 가뭄기간의 산정방법별 월별 가뭄지수('94-'97)



<그림 15> 추가된 가뭄기간의 가뭄지수별 월별치('92-'93)

5. 결론

본 연구에서는 자연재해의 하나인 가뭄을 정량적인 방법으로 해석하기 위하여, 증발산과 누가강수량의 편차를 이용하여 가뭄을 정량화하는 PDSI와 가뭄에 영향을 미칠 수 있는 각 수문인자를 확률적 개념으로 수치화하고 이를 이용하여 유역단위의 지수를 산정하는 SWSI 및 수문인자를 확률적인 요소를 정규분포화 함으로서 지수를 산정하는 SPI를 이용하였다. 이를 지수들을 대상유역인 낙동강 유역에 적용함으로써 가뭄을 정량화하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) Palmer의 산정방법을 적용함에 있어 각 관측소의 가뭄지수 산정공식을 유도함으로써 기후특성인자를 구하는 절차에서 오는 편차를 줄이고 이를 통해 안정적인 지수를 획득할 수 있었으며 낙동강 유역의 보다 현실적인 가뭄 지수 산정이 가능하였다고 사료된다.
- 2) SWSI는 강수발생에 의한 기상, 기후학적 가뭄과 저수량에 의한 수문학적 가뭄을 접목시켜 용수공급 능력지표의 개발과 아울러 가뭄에 가장 큰 비중을 차지하고 있는 저수지의 용수공급능력을 정량적으로 수치화 한 것으로서 저수지의 용수공급지표로서 그 활용성이 충분히 있는 것으로 판단된다.
- 3) 다양한 수문인자를 이용한 평균화함으로써 얻는 새로운 시계열을 이용한 SPI는 지수 자체가 정규분포화 되어 있으므로 이를 이용한 가뭄의 감시 및 습윤기의 거동을 살펴볼 수 있으며 지속기간에 따른 이용의 형태가 달라질 수 있고 본 연구대상인 낙동강 유역의 경우 지속기간 10개월에 해당하는 SPI가 과거 가뭄연도를 잘 재현하고 있는 것으로 나타났다.
- 4) 낙동강 유역의 과거 가뭄연도의 SWSI와 PDSI 및 SPI를 산정함으로써 월별 가뭄의 변화추이를 살펴볼 수 있었으며 이를 이용한 가뭄대책의 대응이 가능하리라 사료된다.
- 5) SWSI는 가뭄이 시작되는 몇 개월에 해당하는 가뭄을 판단하거나 단기간 수문인자의 변동을 통한 가뭄을 판단하는데 이용될 수 있으며 PDSI의 경우 지속되는 가뭄기간동안의 변화를 살피는데 유리한 것으로 나타났다. 또한, SPI 중 지속기간이 짧은 경우 단기간의 가뭄을 지속기간이 걸어지면 장기간의 가뭄을 나타내는데 유리하다. 즉, 가뭄지수들을 비교하여 가뭄의 정도를 살펴보면 더 현실적인 가뭄지수를 획득할 수 있으리라 사료된다.
- 6) SWSI와 PDSI 및 SPI를 이용하여 과거 가뭄을 살펴본 결과 '94~'97년간 지속된 가뭄이 과거 가뭄사상 중 가장 극심하며 긴 가뭄기간을 지닌 것으로 판단되며 '92년에는 수문학적인 가뭄이 발생했던 것으로 나타났다.
- 7) 이상의 분석을 통하여 볼 때 SWSI와 PDSI 및 SPI는 가뭄을 정량적으로 나타내는데 아주 유효한 방법으로 판단되며 이러한 지수가 가지는 양상을 이용하면 장, 단기간에 발생하는 가뭄에 대한 변화양상을 관찰할 수 있으리라 사료된다.

6. 참고문헌

- Alley, W. M., The Palmer Drought Severity Index : limitation and assumptions, Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 23, pp. 1100~1109, 1984
- Dezman, L. E., Shafer, B. A., Development of Surface Water Supply Index-A Drought severity indicator for Colorado, Journal of the American Water Resources Association, 1982.
- Garden, D. C., Revised Surface Water Supply Index for Western United States, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 119, No. 4, 1993.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, Drought Monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15~20 January, Dallas, TX, pp. 233~236, 1995
- Nathaniel B. Guttman, Accepting the Standardized Precipitation Index : A Calculation Algorithm, Journal of the American Water Resources Association, Vol. 35, No. 2, PP. 311~322, 1999
- Palmer, W.C., Meteorological Drought, U.S. Weather Bureau, 1965
- Shafer, B. A., Dezman, L. E., Development of Surface Water Supply Index to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas, Proc. Western Snow Conf., 164~175.
- Thomas B. McKee, Nolan J. Doesken and John Kieist, The Relationship of drought frequency and duration of time scales, Department of Atmospheric Science Colorado State University, Fort Collins, CO B0523, 1993
- Wilhite, D. A., and M. H. Glantz, Understanding the Drought Phenomenon : The Role of Definition, Water international, 10, pp. 111~120, 1985
- 건설교통부, 가뭄기록조사보고서, 1995. 12
- 김선주, 이광야, 신동원, 관개용 저수지의 한발지수 산정, 한국농공학회지, 제37권, 제6호, 1995. 12
- 이동률, 한국과 미국대륙의 가뭄에 대한 엘리뇨의 영향, 한국건설기술연구원, 1998. 12
- 유원희, 유출량 계열을 이용한 가뭄 지수 산정, 석사학위 논문, 인하대학교 대학원, 2000. 2
- 윤용남, 안재현, 이동률, Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석, 한국수자원학회지 논문집, 1997.