

우리나라에서 Palmer 가뭄지수의 평가

An Evaluation of the Palmer Drought Severity Index in Korea

이동률*, 문장원**, 최시중***, 강성규****

Dong-Ryul Lee, Jang-Won Moon, Si-Jung Choi, Seong-Kyu Kang

요 지

가뭄관리에서 가장 중요한 요소는 1) 강수량, 지표수, 지하수, 댐수, 토양수분 등 물 공급량의 시·공간적 모니터링과 2) 이용가능한 물 공급량 약화 정도에 따라 적시적소에 물 이용자가 취해야할 행동요령을 제시하는 것이다. 가뭄지수는 가뭄관리에서 종합적인 물 공급량 정보를 하나의 수치로 정량화하여 가용 수자원의 악화정도를 나타내어 가뭄경보의 기준으로 활용된다. 현재까지 개발된 대표적인 가뭄지수들은 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SPI(Standardized Precipitation Index), SWSI(Surface Water Supply Index) 등이 있다. PDSI는 여러 가지 제한점을 가지고 있지만 가뭄지수 개발의 시발점이 되었다는 점에서 전세계적으로 이용하고 있고 국내에서도 기상청의 공식적인 가뭄지수로 발표되고 있다. PDSI는 복잡한 물수지 모형에 의해 산정되며, 이용되는 매개변수는 지역의 기후상황, 보정자료기간 등에 민감하게 작용하고 있으나 이들에 대한 국내기후 환경에서의 평가가 선행되어 있지 않고 있다. PDSI는 가뭄과 습윤 기간의 시작과 종료 시점을 확률적으로 산정하여 이를 기반으로 가뭄경보에 활용하고 있다. 또한, 이들 확률은 기상학적 가뭄상황을 나타내는 PDSI에 후행하는 하천유출, 저수지 수위, 지하수 등의 수문학적 가뭄을 표현하는 PHDI(Palmer Hydrological Drought Index)를 산정하는 데 이용된다. Z-지수 역시 PDSI에서 얻을 수 있는 가뭄지수로 단기간의 가뭄특성에 의한 농업가뭄을 표현하는 데 적합한 지수로 알려져 있다.

본 연구에서는 PDSI의 제한점들을 살펴보고 우리나라의 기후상황, 자료보정기간 등에 따른 PDSI의 매개변수들을 재산정하여 계산된 PDSI의 변동성을 검토한 후 이를 Palmer(1965)가 제시한 PDSI 산정식과 비교 평가하였다. 또한 가뭄의 시작과 종료 확률 개념에 의하여 산정된 PDSI를 기상청에서 제공하고 있는 PDSI와 비교 분석하여 개선점을 도출하였다.

핵심용어 : 가뭄, 가뭄지수, PDSI, 가뭄계획

1. 서론

심한 가뭄은 장기간 광범위한 지역에 발생하여 물 부족으로 인해 경제, 사회, 환경에 막대한 피해를 주는 특성이 있다. 수자원 공급 관련 인프라가 잘 정비되어 있다 하더라도 물 공급능력을 저감 또는 초과하는 가뭄 상황에서는 체계적으로 사전에 준비된 가뭄대응 체계에 의해 피해를 최대한 경감할 필요가 있다. 가뭄대응에 필요한 첫 번째 요소는 사전에 가뭄의 발생을 인식하는 것이다. 가뭄지수는 가뭄의 진행과정과 정도를 나타낼 수 있도록 정량화된 수치이다. 대표적인 가뭄지수들로는 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SPI(Standardized Precipitation Index), SWSI(Surface Water Supply Index) 등이 있다.

PDSI는 Palmer(1965)가 개발한 가뭄지수로서 전세계적으로 널리 사용되고 있으며, 미국의 Climate

* 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구실 책임연구원E-mail : dryi@kict.re.kr

** 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원E-mail : jwmoon@kict.re.kr

*** 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원E-mail : sjchoi@kict.re.kr

**** 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원E-mail : skkang@kict.re.kr

Prediction Center, National Climate Data Center에서는 미국 전역에 대하여 주간 PDSI를 제공하고 있다. 또한 Hazard Research Center of UCL(University College London)에서는 PDSI와 SPI를 이용하여 전지구 가뭄을 모니터링하고 있으며, 우리나라의 기상청에서도 월별로 PDSI를 산정하여 제공하고 있다. 이와 같이 PDSI가 세계적으로 널리 이용되고 있으나 PDSI에는 여러 가지 한계와 가정 사항들이 있어 이를 먼저 이해하는 것이 중요하다(Alley, 1984).

본 연구에서는 PDSI의 한계와 가정 사항들을 살펴보고, 우리나라의 기후 상황, 자료보정기간 등에 따른 PDSI의 제 매개변수들을 재산정하여 계산된 PDSI의 변동성을 Palmer(1965)가 제시한 PDSI 산정식과 비교 평가하였다. 또한 가뭄의 시작과 종료 확률 개념에 의하여 산정된 PDSI를 기상청에서 제공하고 있는 PDSI와 비교 분석하여 개선점을 도출하였다.

2. Palmer 가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI)

Palmer(1965)는 정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤 부족 기간을 이상 습윤 부족이라 정의하였으며, 가뭄을 장기간의 이상 습윤 부족으로 인해 나타나는 현상으로 정의하였다. 정상적인 기후 조건 하에서 특정 지역의 주어진 기간 동안 필요한 강수량의 크기를 산정한 후 이를 실제 발생한 강수량과 비교함으로써 기후적으로 필요한 습윤 공급량의 크기를 산정하였고 이를 지수화 함으로써 현재의 수분상황을 표현하였다.

PDSI는 기본적으로 물수지 분석, 잠재 수문량 추정, 기후계수 등 매개변수의 추정 및 확률 개념을 이용한 가뭄의 시·종점 결정 등의 과정을 통해 산정된다. PDSI에서 물수지 모형은 불확정된 토양 상부의 작토층(Plow layer)과 하부의 뿌리층(Root zone)으로 구성되며, 이러한 구조의 물수지 모형을 통해 해당 시기의 기후조건에서 필요한 강수량, 증발산량, 함양량, 유출량과 손실량을 산정하게 된다. PDSI에서는 지역별 기후 특성을 반영하기 위하여 월별로 기후계수를 산정하며, 증발산량 계수(α), 함양량 계수(β), 유출량 계수(γ), 손실량 계수(δ)의 4가지가 있다. 이러한 기후계수를 통한 지역별 기후특성의 반영과 함께 지역 간 수분편차의 비교가 가능하도록 시·공간 가중계수(K)를 산정하여 적용하고 있다.

PDSI는 강수량, 기온 및 유효토양수분량에 의해 단순한 개념의 물수지 방정식으로 산정되기 때문에 자연에서 일어나는 실제 현상을 설명하기 위한 물리적 배경이 상대적으로 미약하다는 한계가 있으며, 적설 등에 대해 고려하지 못한다는 한계를 가지고 있다.

3. Palmer 가뭄지수의 평가

3.1 대상지점 및 자료

국내 기후 환경을 고려하여 PDSI를 검토하기 위해 본 연구에서는 수자원계획의 최적화 연구(IV)(건설교통부, 2000)에서 제시한 동질 강수지역 구분을 이용하여 수문학적 동질특성 지역을 구분하였다. 이 연구에서는 30년 이상의 강수량 자료와 군집 분석 방법을 이용하여 전국을 8개 지역으로 구분하고 있으며, 그 결과는 그림 1과 같다. 수문학적 동질지역을 구분한 후 각 동질지역 내에 위치하고 있는 기상청 관측소를 조사한 후 강수 및 기상관측자료를 이용하여 PDSI 평가를 위한 자료를 구성하였다. 분석 대상 관측소 선정 시 자료 보유 기간이 30년 이상인 54개 지점을 선택하였으며, 1978~2007년까지 총 30년간의 관측자료를 분석에 이용하였다.

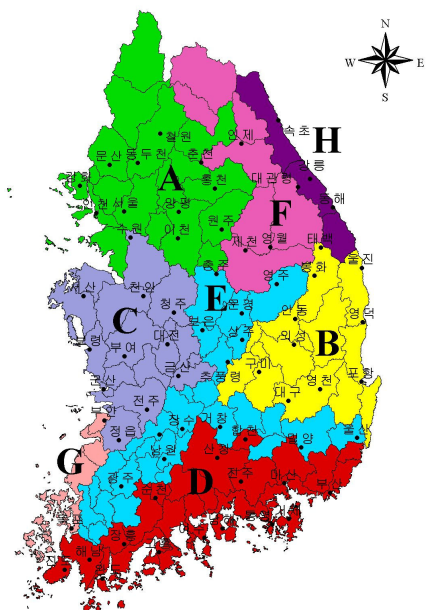


그림 1. 수문학적 동질지역 구분

3.2 PDSI의 기후계수 평가

PDSI는 특정 기간에 대해 기후적으로 필요한 강수량을 추정한 후 이를 동일 기간 동안의 실제 강수량과 비교하는 과정을 거치게 된다. 기후적으로 필요한 강수량 산정을 위해 물수지 분석을 수행하게 되며, 이를 위해 각 지역별 기후 특성을 반영할 수 있는 4가지 기후계수를 산정하여 적용하고 있다. 4가지 기후계수와 함께 수분편차 보정을 위해 초기 기후특성인자(k)를 이용하고 있으며, 본 연구에서는 앞서 구분한 8개 수문학적 동질지역에 대해 기후계수 및 초기 기후특성인자를 산정하여 비교하였다. 검토 방법은 각 지점별로 기후계수 및 초기 기후특성인자를 산정하고 지역 내 관측소 자료를 평균하여 구성한 지역 대표자료를 이용한 산정결과와 비교하였다. 그림 2는 A 지역에 대한 기후계수 산정결과 중 유출량 계수(γ)와 초기 기후특성인자(k)를 지점별로 산정된 결과의 월별 평균값과 비교한 것이다. 그림 2에서와 같이 대부분의 지역에서 두 가지 방법으로 산정된 결과가 유사한 월별 변동 경향을 보이고 있다. 이는 기후특성이 유사한 관측소의 경우 지점별로 PDSI를 산정하는 방법뿐만 아니라 지역별 대표자료를 구성한 후 PDSI를 산정하는 방법이 활용가능함을 나타내주는 결과라 할 수 있다.

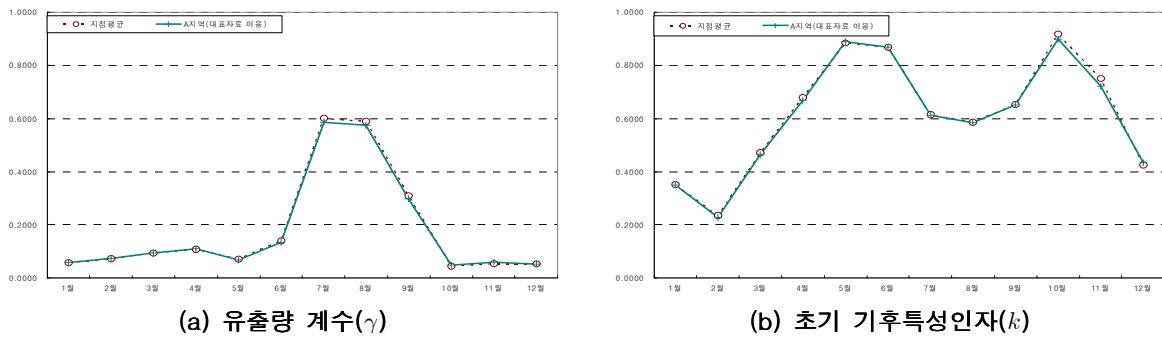


그림 2. 기후계수 산정 결과 비교

3.3 PDSI의 시·공간 가중계수(K)

Palmer(1965)는 Kansas와 Iowa 이외의 지역에서 PDSI를 산정하는 과정에서 과다추정이나 과소추정이 나타나는 문제점을 해결하기 위하여 지역별 특성을 고려하여 기후특성인자를 재조정 한 시·공간 가중계수(K)를 이용하였다. 미국 내 9개 지역의 자료를 분석하여 K 를 산정하는 관계식으로 식 (1)을 제시하였으며, PDSI 산정시 이를 이용하고 있다. 그러나 식 (1)의 관계식은 미국의 자료를 이용하여 도출된 결과로써 우리나라 기후상황에서의 검증이 선행될 필요가 있다.

$$K = \frac{17.67}{\sum_{i=1}^{12} \bar{DK}'} K' \quad (1)$$

여기서 \bar{D} 는 각 월별 수분편차 절대 값의 평균이며, K' 은 시·공간 가중계수(K)의 중간 추정치를 뜻한다. 이 때 17.67은 미국 내 9개 지역에 대한 분석을 통해 산정된 각 지역별 \bar{DK}' 합계 값을 평균한 것으로 본 연구에서는 동일한 방법으로 우리나라 자료를 이용하여 이를 검토하였다. 그림 3은 지점별로 산정된 \bar{DK}' 합계 값의 분포를 나타낸 것으로 Palmer(1965)에 의해 제시된 17.67과는 달리 420~500 정도로 값이 나타나고 있다. 따라서 우리나라

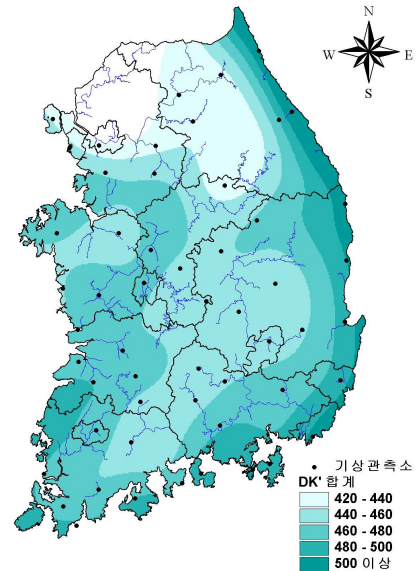


그림 3. \bar{DK}' 합계 값의 분포

라에서 PDSI를 보다 효과적으로 활용하기 위해서는 PDSI의 여러 가지 매개변수에 대한 검토가 필요함을 시사하는 결과라 할 수 있다.

또한 분석 자료 기간에 따른 변동 양상을 검토하였다. 이를 위해 관측기간이 상대적으로 긴 서울, 대구, 부산, 목포, 강릉의 자료를 이용하여 전체 기간 및 90년에서 10년까지 10년 단위로 자료 기간을 변동시키면서 산정된 \overline{DK}' 합계 값과 시공간 가중계수(K)의 변동을 검토하였다. 그림 4는 5개 지점에 대해 산정된 \overline{DK}' 합계 값의 변화를 도시한 것으로 PDSI 산정을 위한 자료 기간이 감소함에 따라 비교적 일정한 결과를 보이다가 약 30~50년을 기점으로 점차 감소하는 결과를 보이고 있다. 따라서 유역이나 지점에서 PDSI를 이용한 가뭄관리를 효율적으로 수행하기 위해서는 최소 30년 이상의 관측 자료를 이용할 필요가 있으며, 30년 미만의 자료를 이용하여 지수를 산정할 경우 실제 특성과는 다른 결과가 나타날 가능성이 있다.

3.4 PDSI 산정공식 평가

PDSI에서는 가뭄지수 산정을 위해 식 (2)와 같은 관계식을 이용하고 있다. 식 (2)에서 X_i 는 계산하고자 하는 현재 월의 PDSI이며, X_{i-1} 은 전 월의 PDSI, 그리고 Z_i 는 현재 월의 수분편차지수를 의미한다.

$$X_i = 0.897 X_{i-1} + Z_i/3 \quad (2)$$

식 (2) 역시 미국 내 관측자료를 이용하여 도출된 결과이므로 본 연구에서는 8개 수문학적 동질지역에 대해 관계식을 재산정하였으며, 이를 Palmer(1965)의 결과와 비교하였다. 표 1은 8개 수문학적 동질지역에 대한 가뭄지수 산정공식을 정리한 것으로 Palmer(1965)에 의해 제시된 관계식과 많은 차이를 보여주고 있다. 따라서 PDSI와 같은 가뭄지수는 적용하고자 하는 지역의 기후 특성이 반영되어야 실제 가뭄 상황을 명확하게 보여줄 수 있을 것이므로 우리나라의 기후 특성을 고려하여 수정된 관계식을 이용하는 것이 보다 양호한 결과를 줄 수 있을 것으로 판단된다. 그림 5는 Palmer(1965)에 의해 제시된 관계식과 본 연구를 통해 수정된 관계식을 이용하여 산정된 PDSI를 도

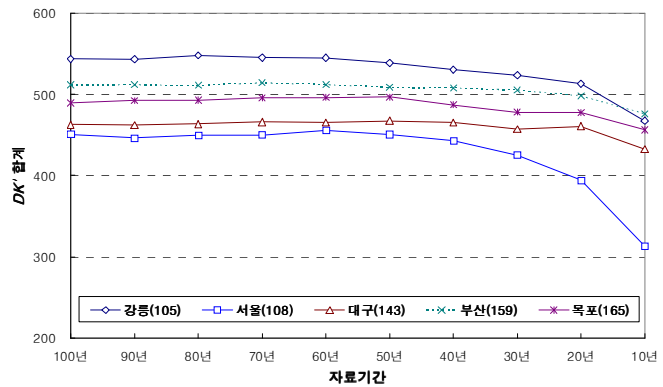


그림 4. 자료기간에 따른 \overline{DK}' 합계 값의 변화

표 1. 수문학적 동질지역 별 가뭄지수 산정공식

| 구분 | 가뭄지수 산정공식 |
|------|------------------------------------|
| A 지역 | $X_i = 0.871 X_{i-1} + Z_i/52.918$ |
| B 지역 | $X_i = 0.691 X_{i-1} + Z_i/43.975$ |
| C 지역 | $X_i = 0.915 X_{i-1} + Z_i/73.253$ |
| D 지역 | $X_i = 0.777 X_{i-1} + Z_i/48.483$ |
| E 지역 | $X_i = 0.773 X_{i-1} + Z_i/48.641$ |
| F 지역 | $X_i = 0.810 X_{i-1} + Z_i/43.831$ |
| G 지역 | $X_i = 0.715 X_{i-1} + Z_i/48.442$ |
| H 지역 | $X_i = 0.859 X_{i-1} + Z_i/45.377$ |

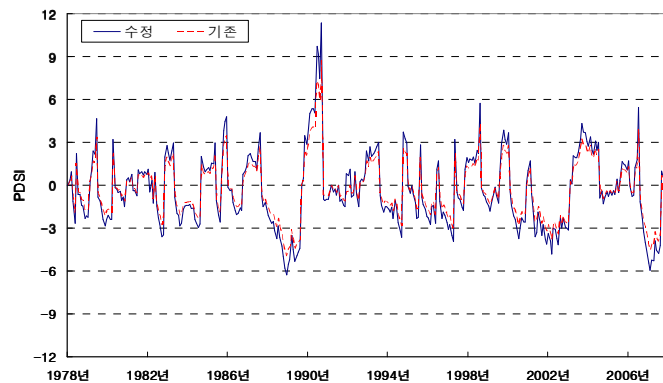


그림 5. A 지역의 PDSI 산정 결과

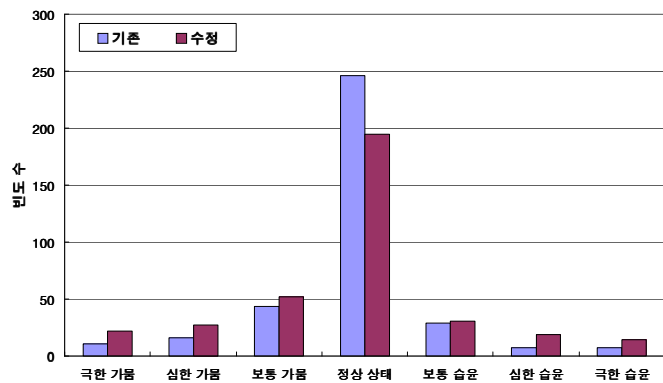


그림 6. 가뭄단계별 발생 빈도 수(A 지역)

시한 결과이며, 그림 6은 가뭄단계에 따른 발생 빈도를 나타낸 것이다. 두 가지 방법에서 유사한 결과를 보이고 있으나 발생 빈도 수 비교 결과에서는 기존 식을 이용하였을 경우 정상상태로 판단되는 상황의 빈도가 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이러한 결과는 기후 특성에 대한 검토 없이 기존 식을 이용하였을 경우 가뭄 상황에 대한 정확한 판단이 어려울 수 있으며, 가뭄에 대한 효율적인 대처가 어려울 수 있음을 의미한다고 할 수 있다.

3.5 기상청 PDSI와의 비교

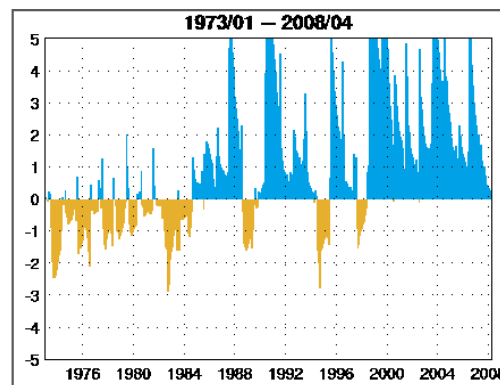
현재 기상청에서는 매월 전국 주요 지점별로 PDSI를 산정하여 가뭄 관련 정보로 제공하고 있다. 본 연구에서는 기상청에서 제공 중인 PDSI 산정 결과와 본 연구에서 산정한 결과를 비교 검토하였다. 그림 7은 서울 지점에 대한 기상청 산정 결과와 본 연구의 산정 결과를 나타낸 것으로 기상청의 결과에서는 습윤 상황에 대한 발생 빈도가 매우 많이 나타나고 있다. 이에 따라 서울 지점에서는 최근 가뭄 상황이 발생한 사례가 나타나고 있지 않다. 그러나 본 연구의 결과에서는 최근에도 -4.0 이하의 지수를 보이는 상황이 발생하는 등 가뭄이 지속적으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 현재 기상청에서 제공하고 있는 PDSI는 지점의 정확한 가뭄 상황을 표현하기 어려운 것으로 보이며, 이러한 결과는 앞서 언급한 바와 같이 우리나라의 기후 특성이 반영되지 않은 PDSI 산정 방법의 적용 등이 원인이 되어 나타나는 것으로 보인다.

4. 결론

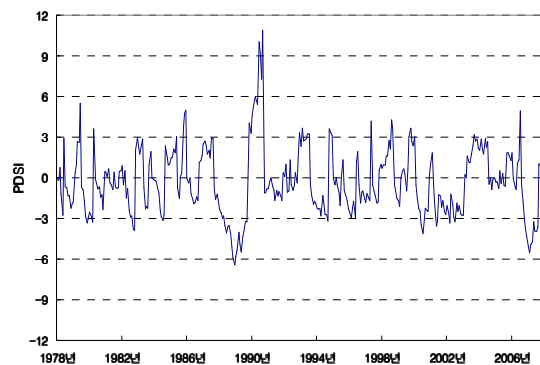
지금까지 가뭄관리 등의 목적으로 다양하게 활용되고 있는 PDSI에 대해 우리나라의 기후 특성을 고려하여 검토를 수행하였다. PDSI의 매개변수 및 관련 관계식 등을 우리나라 자료를 이용하여 재산정한 후 이를 기존 Palmer(1965)의 경우와 비교하였다. 검토 결과 Palmer(1965)에 의해 제시된 PDSI는 미국의 자료를 이용하여 도출된 결과로서 이를 우리나라에 어떠한 검토 없이 적용할 경우 실제 가뭄 상황에 대한 적절한 표현이 어려울 수도 있음을 알 수 있었다. 특히 기후계수 등 PDSI 산정과정에서 이용되는 매개변수의 경우 기존 PDSI에서 이용되는 결과와 다른 결과를 주고 있으며, 이에 대한 보정 없이 PDSI를 산정할 경우 잘못된 정보를 제공할 수도 있을 것이다. 가뭄은 장기간 지속되는 자연재해로 가뭄발생을 정확히 감지하고 적절한 대책을 시행할 경우 그 피해를 대폭 절감할 수 있으며, 본 연구를 통해 제시된 결과를 반영하여 향후 가뭄관리 등에 활용할 경우 보다 효율적인 재해관리가 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2000). 수자원계획의 최적화 연구(IV)(기후변화에 따른 수자원계획의 영향평가) 보고서.
2. Alley, W.M. (1984). "The Palmer Drought Severity Index : Limitations and Assumptions.", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 23, pp. 1100-1109.
3. Palmer, W.C. (1965). *Meteorological Drought*, U.S. Weather Bureau.



(a) 기상청



(b) 본 연구

그림 7. 서울 지점의 PDSI 산정 결과 비교