

인제지역의 수문학적 가뭄 평가

이주현¹ · 김민규² · 최시중³ · 정일문^{4*}

¹충부대학교 토목공학과 교수

²한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 전임연구원

³한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 수석연구원

⁴한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 선임연구위원

Hydrological Drought Evaluation in Upstream Inje Region

Joo-Heon Lee¹ · Min-Gyu Kim² · Si-Jung Choi³ · Il-Moon Chung^{4*}

¹Professor, Department of Civil Engineering, Joongbu University

²Research Specialist, Department of Hydro Science and Engineering Research, KICT

³Senior Researcher, Department of Hydro Science and Engineering Research, KICT

⁴Senior Research Fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, KICT

Abstract

In this study, drought assessment using the standardized precipitation index (SPI) and streamflow drought index (SDI) was conducted for the Inje region, Gangwon Province, South Korea. Monthly streamflow ratios were reviewed through basic data for drought analysis (rainfall, streamflow), and meteorological drought and hydrological drought analysis were conducted using precipitation and water level/flow observation stations near the Inje watershed. The analysis revealed that the drought that occurred in 2014 persisted until 2017 consistently across all drought indices (SPI, SDI). When analyzing drought indices calculated using 12 months of hydrometeorological data, it was found that severe drought lasted for approximately 24 months, indicating that drought damage would have been severe.

Keywords: drought, Inje, standardized precipitation index, streamflow drought index

초 록

본 연구에서는 인제 지역에 대해 표준강수지수(SPI), 수문학적 가뭄지수(SDI)를 이용한 가뭄 평가를 수행하였다. 가뭄 분석을 위한 기초자료(강우, 유량) 자료 등을 통해서 월별 유량 비율 등을 검토하였고, 인제군 유역 인근의 강수 및 수위/유량 관측소를 활용하여 기상학적 가뭄 및 수문학적 가뭄분석을 진행한 결과 모든 가뭄지수(SPI, SDI)에서 공통적으로 2014년에 발생한 가뭄이 2017년까지 지속되었던 것으로 분석되었다. 지속기간 12개월의 수문기상자료를 활용하여 가뭄지수를 산정하여 분석한 경우, 심각한 가뭄 지속기간이 24개월 정도 지속되었던 것으로 확인되었으며 따라서 가뭄으로 인한 피해가 극심했을 것으로 평가된다.

주요어: 가뭄, 인제, 표준강수지수, 수문학적 가뭄지수

OPEN ACCESS

*Corresponding author: Il-Moon Chung
E-mail: imchung@kict.re.kr

Received: 3 June, 2024

Revised: 26 June, 2024

Accepted: 27 June, 2024

© 2024 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

우리나라는 최근 가뭄의 빈도가 잦아지고 극한 가뭄은 약 7년 주기로 발생하고 있다. 광역상수도 보급률이 98%에 이르는 관계로 가뭄시 생활용수 부족을 겪는 지역은 드물지만 여전히 물공급 소외지역에서는 수원의 고갈 등으로 어려움을 겪고 있다(Chung and Lee, 2021). 강원 산간지역에서는 2014년 동절기에 운반급수와 제한급수를 시행한 바 있으며(Kim, 2015), 2016년에는 계곡수가 얼어 1,443세대(22개 면, 44개 마을)에 비상 물 공급(285회, 1,845톤)이 이루어진 바 있다(Kim et al., 2020). 이처럼 상수도 미보급지역과 작은 규모의 수도시설(5,920개소)이 설치된 지역에서는 안정적인 물공급을 위한 중장기 전략이 필요하다.

가뭄은 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄으로 분류되며 무강우로 인하여 비롯되는 기상학적 가뭄이 대표적인 가뭄의 정의이나 농업용수 부족을 유발하는 농업적 가뭄, 저수지와 하천의 수위가 저하되어 용수 공급에 차질을 빚게 되는 수문학적 가뭄으로 발달한다(Lee et al., 2020). 인제지역에서는 2019년 봄 강수량이 평년 255mm대비 44%에 그침으로써 간이 양수장, 관정 등의 사업을 추진한 바 있다(Gukje News, 2019). 또한 2022년 5월에도 강수량의 부족으로 간이 양수장, 도수로 등의 수리시설을 정비한 바 있다(Kuki News, 2022). 본 연구에서는 소양강과 인북천을 포함한 인제지역에 대해 표준강수지수(standardized precipitation index, SPI)와 수문학적 가뭄지수(streamflow drought index, SDI)를 이용한 수문학적 가뭄을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

기상 및 유량자료

본 연구대상인 인제군은 Fig. 1에 표시된 바와 같이 소양강 및 인북천을 포함하고 있다.



District	Area (km ²)	Population (2020)
Inje eup	316.33	10,482
Nam myeon	243.29	3,972
Buk myeon	349.10	8,270
Girin myeon	275.07	5,091
Seohwa myeon	264.96	2,596
Sangnam myeon	197.35	1,548

Fig. 1. Inje basin and district.

인제군의 단위유역별 토지이용현황은 Table 1과 같으며, 산림이 전체 중 약 94%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 농경지, 나대지 및 초지 순인 것으로 나타났다.

Table 1. Land use classification using satellite image

Classification of land use	Area (km ²)	Area ratio (%)
Sum	1,620.5	100.0
Water system	8.5	0.5
Downtown area	13.2	0.8
Bare earth and grasslands	12.2	0.8
Forest	1,520.6	93.8
Agricultural land	65.9	4.1

인제군의 수원현황을 살펴보면 보면 소양강, 방태천, 인북천, 우각천이 주된 수원이며, 인제읍, 기린면, 서화면, 남면에 서 취수가 이루어지고 있다. 인제군에 위치한 수위관측소는 현리와 원통 수위관측소로 현리의 경우 2011년, 원통은 1994년부터 관측되고 있다. 인제군의 지난 11년(2012~2022년)의 기상개황을 살펴본 결과, 평균 기온은 2021년이 11.4°C로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 2020년과 2019년이 11.3°C로 평균 기온이 높은 것으로 기록되었다. 강수량의 경우 2014년이 705.2mm로 가장 적게 내린 것으로 기록되었으며, 2015년 755.7mm, 2019년 779.3mm 순으로 나타났다.

강수

강수의 기록은 종관기상관측장비(ASOS, Automated Surface Observing System)를 활용하였으며, 인제군내 기상관측소는 인제관측소이다. 인제관측소는 1975~2022년의 강우자료를 보유하고 있는 것으로 확인하였다. Fig. 2는 인제지역의 월별 평균강우량 대비 월별 강우량의 비율을 나타낸 것이다. 평년대비 50% 이하일 경우 물부족이 발생한다.

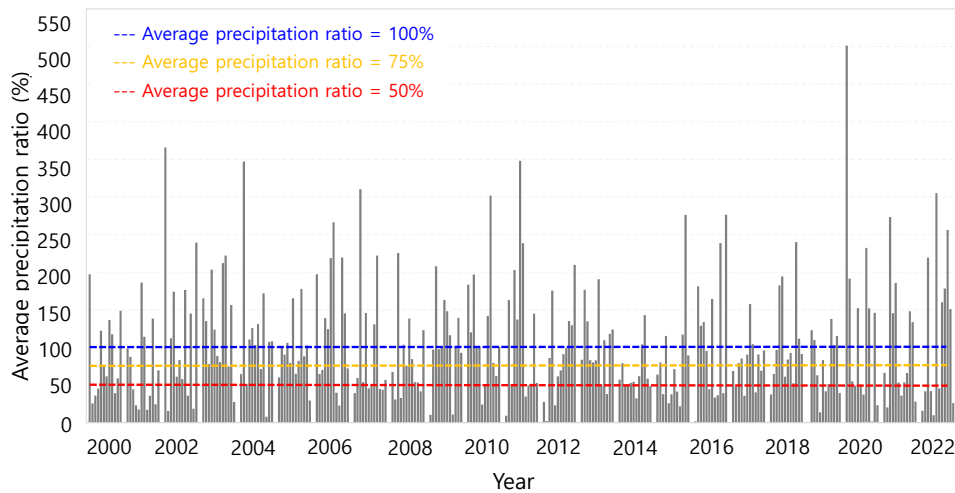


Fig. 2. The ratio of monthly rainfall to the average monthly rainfall in Inje (1975.01 ~ 2022.12).

유출

본 연구에서는 인제군(원통리) 및 인제군(원대교) 등 2개 관측소를 대상으로 유출자료를 분석하였다. 세부적으로 원통리는 Fig. 3과 Table 2, 원대교는 Fig. 4와 Table 3에 나타났다.

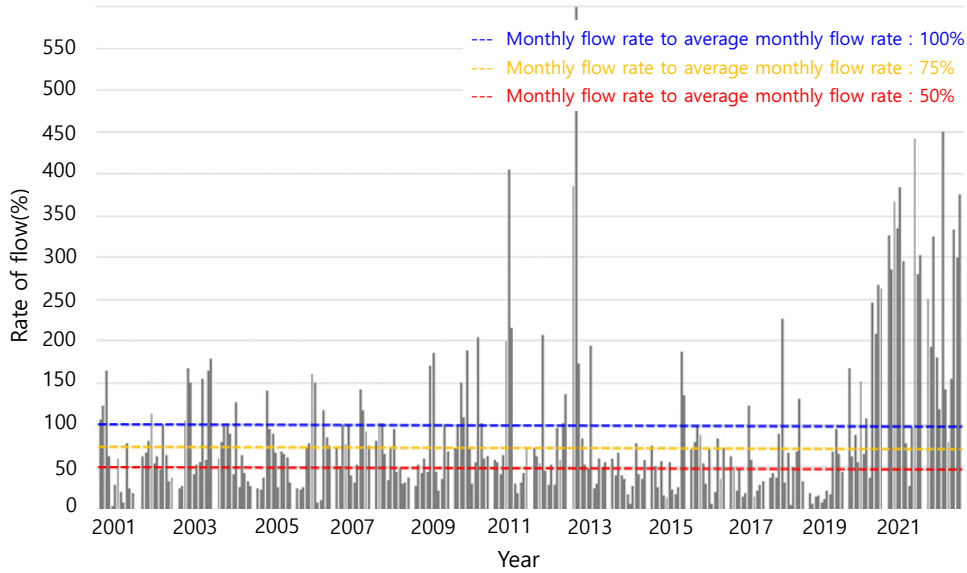


Fig. 3. The ratio of monthly flow rate to the average monthly flow rate of Inje (Wontong-ri).

Table 2. Ratio of flow rate to average monthly flow rate of Inje (Wontong-ri) (2001.01~2022.12)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2001	107.3	123.3	166.1	63.4	3.8	29.3	59.8	20.8	8.7	77.5	24.1	18.8
2002	-	62.8	67.8	81.2	113.5	54.9	63.3	47.0	99.6	65.0	32.8	37.5
2003	24.4	27.9	105.1	168.3	151.0	41.5	53.5	56.5	156.2	58.8	165.5	179.2
2004	61.0	79.1	98.3	98.0	89.4	41.5	127.1	26.6	64.9	42.5	32.8	27.1
2005	24.4	23.3	37.3	141.6	95.2	89.0	67.8	26.0	68.8	66.3	62.1	31.3
2006	24.4	23.3	25.4	74.3	77.9	162.2	150.5	8.5	10.5	117.5	84.5	75.0
2007	73.2	51.2	100.0	76.2	98.1	40.2	31.2	52.9	142.8	117.5	91.4	75.0
2008	80.5	102.3	101.7	66.3	34.6	74.4	94.5	44.3	48.6	30.0	31.0	37.5
2009	26.8	53.5	42.4	60.4	43.3	170.7	186.2	44.4	22.5	36.3	100.0	68.8
2010	73.2	100.0	150.8	108.9	188.5	70.7	30.7	56.0	204.7	101.3	60.3	62.5
2011	58.5	55.8	40.7	64.4	200.0	404.9	216.6	29.7	18.8	31.3	43.1	72.9
2012	73.2	62.8	54.2	207.9	45.2	29.3	53.3	28.3	96.0	58.8	101.7	137.5
2013	385.4	600.0	174.6	83.2	53.8	47.6	194.5	25.1	29.7	60.0	50.0	56.3
2014	61.0	39.5	67.8	39.6	35.6	18.3	6.5	27.6	77.5	41.3	36.2	58.3
2015	75.6	51.2	25.4	57.4	16.3	13.4	55.8	23.7	18.1	26.3	187.9	135.4
2016	70.7	79.1	96.6	87.1	54.8	30.5	71.9	6.5	21.0	83.8	36.2	72.9
2017	63.4	48.8	22.0	48.5	15.4	19.5	123.1	58.7	14.5	22.5	29.3	33.3
2018	36.6	41.9	37.3	89.1	227.9	31.7	67.6	4.9	48.9	68.8	131.0	33.3
2019	19.5	7.0	15.3	15.8	7.7	12.2	22.1	18.3	69.2	95.0	65.5	43.8
2020	168.3	62.8	88.1	56.4	151.9	65.9	108.8	37.5	246.7	210.0	269.0	264.6
2021	326.8	286.0	367.8	335.6	384.6	296.3	78.6	26.9	97.8	442.5	281.0	302.1
2022	251.2	193.0	325.4	180.2	119.2	450.0	142.2	79.6	155.8	333.8	300.0	377.1

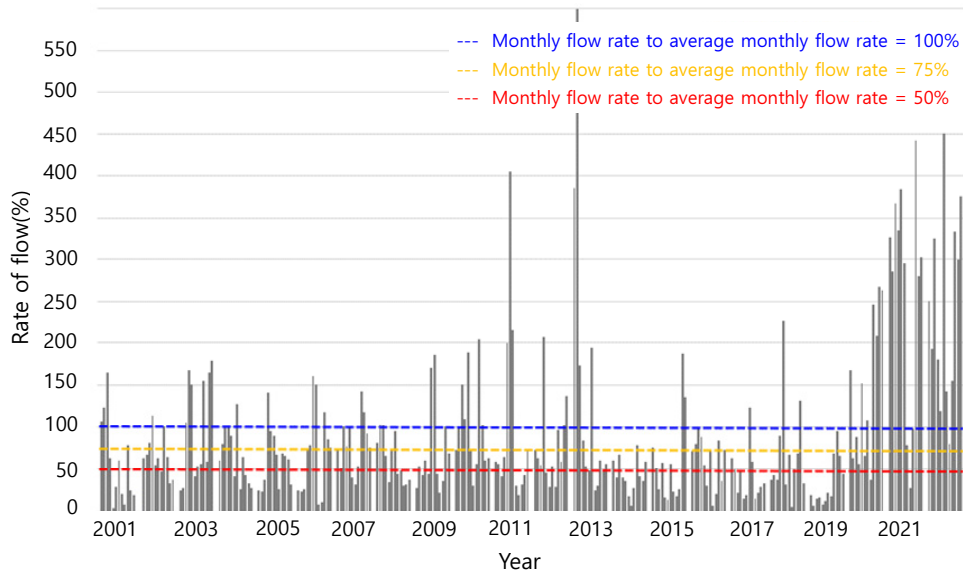


Fig. 4. Ratio of monthly flow rate to the average monthly flow rate of Inje (Wondaegyo bridge).

Table 3. Ratio of flow rate to average monthly flow rate of Inje (Wondaegyo bridge) (2008.01~2022.12)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2008	145.6	137.1	314.0	53.3	45.2	57.1	98.6	91.1	42.0	40.2	52.8	88.7
2009	17.1	157.1	57.0	76.0	78.8	179.8	233.5	98.1	21.7	32.1	153.7	69.6
2010	145.6	136.3	89.8	143.1	184.3	69.0	20.0	138.6	302.6	127.5	73.9	58.0
2011	9.2	29.7	43.1	116.8	272.2	510.0	261.4	81.9	32.7	50.7	69.3	91.9
2012	66.2	111.3	55.9	210.9	46.7	38.0	86.8	114.6	167.8	101.2	182.4	132.3
2013	13.0	101.8	202.3	119.8	110.7	84.2	233.5	50.7	84.5	116.3	73.7	84.3
2014	73.6	96.7	102.3	73.3	47.2	29.9	8.7	84.3	92.8	89.9	56.2	45.0
2015	29.2	67.4	38.3	104.8	26.7	24.4	40.2	47.4	29.2	37.5	218.3	217.7
2016	60.2	98.9	94.5	97.6	54.4	34.6	136.5	20.2	39.4	99.9	67.2	215.9
2017	168.1	87.0	38.1	87.5	25.9	23.2	104.9	114.5	20.2	43.5	44.3	33.6
2018	34.0	37.3	117.5	156.5	288.6	57.4	71.9	94.7	90.5	177.3	205.1	114.3
2019	56.0	72.4	55.9	53.2	26.3	46.4	39.3	82.5	88.9	153.6	107.6	93.1
2020	542.9	214.0	124.8	63.7	135.3	55.2	51.7	254.2	259.3	58.6	54.6	48.4
2021	67.9	67.1	96.8	108.2	138.8	86.9	34.9	24.8	73.0	140.2	58.8	96.7
2022	71.3	86.0	69.6	35.2	18.9	204.1	78.2	202.3	155.4	231.6	82.0	110.4

지수산정을 위한 이론적 배경

표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)

강수의 부족으로 인하여 나타나는 기상학적 가뭄을 모니터링하고 정량적으로 평가하기 위해서 가장 대표적으로 활용되는 지수는 강수량만으로 산정되는 SPI이다. Mckee et al.(1993, 1995)은 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소로 가뭄이 시작된다는 개념에서 착안해 강수량만을 이용한 가뭄평가 방법인 SPI를 개발하였고, 월단위 강수량에 대한 통계적 방법을 적용하였다. 월강수량의 시간단위는 3, 6, 12, 24개월 등과 같이 강수량 누적계열로 설정하고, 누적된

시간단위별로 강수 부족량을 산정하여 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정한다.
 SPI에 의한 가뭄상태의 분류는 산정된 지수의 범위에 따라서 Table 4와 같이 분류된다.

Table 4. Drought classification by SPI range

SPI range	Hydration status
2.00 < SPI	Extremely wet
1.50 < SPI < 2.00	Very wet
1.00 < SPI < 1.50	Moderately wet
-1.00 < SPI < 1.00	Near normal
-1.50 < SPI < -1.00	Moderately dry
-2.00 < SPI < -1.50	Severely dry
SPI < -2.00	Extreme dry

수문학적 가뭄지수(Streamflow Drought Index, SDI)

SDI는 SPI 산정개념과 유사하며, Nalbantis and Tsakiris(2009)가 수문학적인 가뭄을 특성화하기 위해 개발하였다. SDI 산정을 위해 월 흐름량 $Q_{i,j}$ 의 시계열을 활용한다. 여기서 i 는 수문년도이고, j 는 해당 수문년도 내의 월을 나타낸다.

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j}, \quad i = 1, 2, \dots, 12, \quad k = 1, 2, 3, 4 \tag{1}$$

여기서, $V_{i,k}$ 는 i 번째 연도에서 k 번째 기간 동안 누가한 유량이다.

SDI는 다음과 같이 i 번째 수문년도의 각 기준 기간 k 에 대한 누적 흐름량 $V_{i,k}$ 를 기반으로 정의된다.

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}}{s_k} \quad i = 1, 2, \dots, k = 1, 2, 3, 4 \tag{2}$$

여기서, V_k 와 s_k 는 각각 장기간에 걸쳐 추정되는 기준 기간 k 의 누적 흐름 체적의 평균 및 표준편차이다. 이 정의에서 다른 값을 사용할 수 있지만 임계 수준은 V_k 로 설정한다(Nalbantis, 2008; Nalbantis and Tsakiris, 2009). 양의 SDI 값은 습윤조건을 반영하며 음의 값은 수문학적 가뭄을 나타낸다. SDI에 의해 정의되는 수문학적 가뭄 등급은 다음 Table 5와 같이 지수의 범위에 따라서 5단계로 구분된다.

Table 5. Drought classification by SDI range

SDI range	Hydration status
SDI ≤ 0.0	Non-drought
-1.0 ≤ SDI < 0.0	Mild drought
-1.5 ≤ SDI < -1.0	Moderate drought
-2.0 ≤ SDI < -1.5	Severe drought
SDI < -2.0	Extreme drought

대상유역의 수문학적 가뭄 평가

가뭄 예·경보 기록 검토

가뭄예경보 발령기준에 따라 2016년 3월부터 인제군의 기상 가뭄 예·경보 발령 현황을 살펴보면 2019년 6~11월, 2021년 12월~2022년 1월, 2022년 6월까지 연속 발령기록이 확인되었다. 또한 국가가뭄정보포털에서는 2008년부터 제한급수, 운반급수, 제한운반급수에 대한 피해 건수 및 피해 인구를 제공하고 있다. 인제군의 가뭄피해정보를 살펴본 결과 생활용수 부족으로 인한 제한급수, 운반급수, 제한운반급수의 피해가 있는 것으로 나타났다(Table 6).

Table 6. Detailed status of the occurrence of restrictions and water carrying supply in Inje region, Gangwon Province (drought information portal, 2008~2022)

Eup, Myeon, Dong	Village name	Damage start date	Damage end date	Damage type	Damaged population
Girin-myeon	Jindong-ri Dumudae village	2018-01-30	2018-01-30	Water-carrying supply	20
Girin-myeon	Buk 2-ri	2017-06-19	2017-07-03	Water-carrying supply	201
Girin-myeon	Sangdap 2 village	2015-06-17	2015-06-26	Water-carrying supply	73
Girin-myeon	Sangdap 1 village	2015-06-15	2015-06-26	Water-carrying supply	53
Nam-myeon	Gwaneri	2022-05-05	2022-06-25	Limited water supply	60
Nam-myeon	Shinwol-ri	2011-01-17	2011-01-20	Water-carrying supply	59
Nam-myeon	Shinwol-ri	2022-05-05	2022-06-25	Limited water supply	87
Nam-myeon	Sangsunaeri	2015-02-10	2015-02-22	Water-carrying supply	11
Nam-myeon	Jeongja-ri	2017-06-21	2017-06-27	Water-carrying supply	131
Nam-myeon	Jeongja-ri	2014-07-11	2014-08-18	Water-carrying supply	50
Nam-myeon	Gwandae-ri	2014-07-12	2014-08-18	Water-carrying supply	35
Nam-myeon	Gwandae-ri	2015-06-02	2015-10-19	Water-carrying supply	10
Nam-myeon	Gwandae-ri	2017-06-05	2017-07-03	Water-carrying supply	74
Nam-myeon	Jeongja-ri	2019-06-04	2019-06-06	Water-carrying supply	50
Nam-myeon	Namjeon 2-ri Soryujeong	2018-01-12	2018-01-13	Water-carrying supply	75
Buk-myeon	Yongdaeri Darigol	2018-01-30	2018-01-30	Water-carrying supply	66
Buk-myeon	Hangyeri Galjikchon	2018-01-30	2018-01-30	Water-carrying supply	48
Sangnam-myeon	Hanam-ri	2011-01-17	2011-01-20	Water-carrying supply	250
Sangnam-myeon	Sapyeong-dong	2019-06-04	2019-06-06	Water-carrying supply	250
Seohwa-myeon	Seoheung 2-ri	2011-01-18	2011-01-20	Water-carrying supply	22
Seohwa-myeon	Musoejeom village	2019-07-03	2019-07-10	Water-carrying supply	42
Inje-eup	Kiryongdae	2019-06-04	2019-06-06	Water-carrying supply	120
Inje-eup	Gwidun-ri	2011-01-16	2011-01-20	Water-carrying supply	352
Inje-eup	Gosa-ri (sungae)	2015-07-06	2015-07-12	Water-carrying supply	32
Inje-eup	Non-smoking camp	2022-12-21	2022-12-21	Water-carrying supply	30
Inje-eup	Serigol	2019-06-04	2019-06-04	Water-carrying supply	40
Inje-eup	Gosa-ri (teonmal)	2018-01-30	2018-01-30	Water-carrying supply	400
Inje-eup	Deokjeok-ri Mulangol	2018-01-30	2018-01-30	Water-carrying supply	40
Inje-eup	Jangsuteo village	2015-06-17	2015-06-26	Water-carrying supply	53
Inje-eup	Gosa-ri (teonmal)	2015-06-17	2015-06-26	Water-carrying supply	138

가뭄 지수 산정 결과

표준강수지수

본 연구에서는 확보가 가능한 수문기상 데이터를 중심으로 가뭄지수를 산정하였다. 선택된 자료는 인제군 원통리의 수위-유량관측 자료 및 강우량 자료이며, 이에 따른 가뭄 정량화를 수행하였다. 기상학적 가뭄지수 산정을 위한 강수의 지속 기간은 3, 6, 9, 12개월의 SPI를 산정하였으며 산정결과는 다음과 같다.

산정된 지속기간별 SPI를 살펴보면 단기가뭄을 잘 모니터링하는 SPI(3)에서 -2 이하의 극심한 가뭄이 1988년, 1994년, 1999년, 2000년, 2001년 발생했던 것으로 표현되었으며, 중·장기 가뭄을 잘 모니터링하는 SPI(6)~SPI(12)를 살펴보면 1988년, 1994~1995년, 2014~2015년에 심한가뭄 및 극심한 가뭄으로 표현 된 것을 확인할 수 있었다. 이후 회복되는 것처럼 보이거나 2019년, 2022년에 심한가뭄이 다시 발생한 것으로 분석되었다(Fig. 5).

전반적으로 한강유역에서 발생했던 과거의 주요 가뭄연도에 인제군에서도 가뭄이 동시에 발생했던 것으로 나타났다.

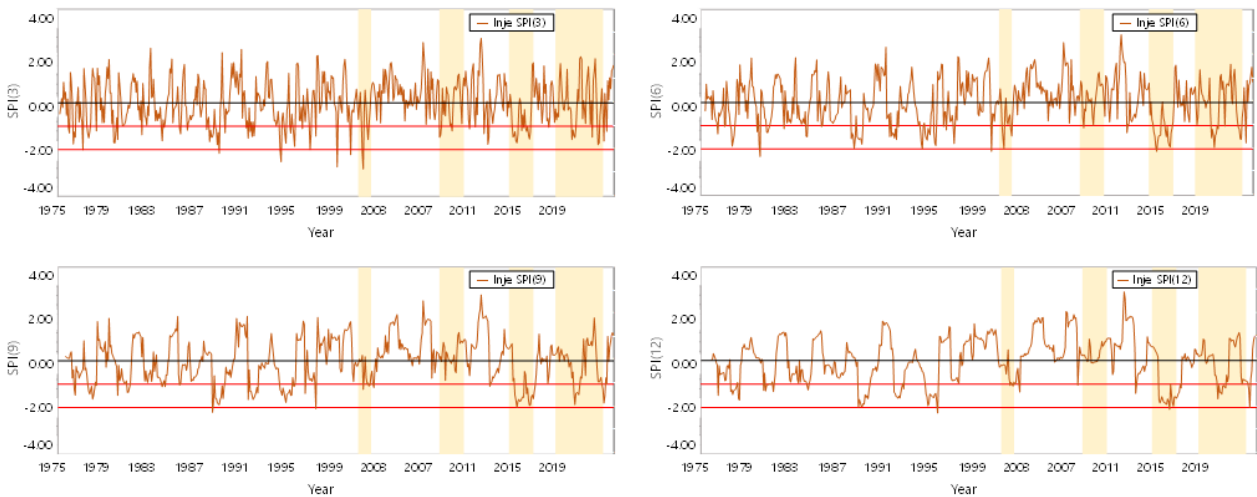


Fig. 5. Results of meteorological drought analysis using SPI (1975~2021).

수문학적 가뭄지수

인제군(원통리)의 유량자료를 기반으로 수문학적 가뭄지수인 지속시간별 SDI를 산정하였으며, 유량자료가 정상적으로 관측된 2000년대 이후부터 지속기간별로 산정된 SDI를 산정하였다.

SDI(3), SDI(6), SDI(9)의 경우 2014년, 2019년에 수문학적 가뭄이 발생한 것으로 나타났으며, SDI(12)의 경우에는 심한가뭄의 양상이 보이지 않는 것으로 나타났다. 2022년에는 인제지역에서 가뭄이 발생하였으나, 지속기간이 짧은 가뭄으로 SDI 분류에서는 가뭄으로 분류되지 않는 것으로 확인되었다(Fig. 6).

인제군의 수문학적 가뭄지수 산정결과를 기상학적 가뭄지수 산정결과와 비교해 보면, 수문학적 가뭄이 시작된 시간과 지속된 기간을 월별로 분석할 때 기상학적 가뭄에 비하여 다소 지체된 시간후에 수문학적 가뭄이 발생하고 있으며, 가뭄의 지속기간도 2가지 가뭄지수간에 다소간의 차이가 발생하고 있는 것으로 분석되었다(Fig. 7).



Fig. 6. Results of hydrological drought analysis using the SDI of Inje (Wontong-ri) (2001~2021).



Fig. 7. Results of drought analysis using SDI for the Inje (Wondaegyo Bridge) (2001~2021).

결론

인제군은 최근 한강유역에서 발생한 가뭄으로 인해 지속적인 피해가 발생하고 있는 것으로 확인되었다. 가뭄 피해의 대부분은 농업적 가뭄 피해양상을 보이고 있으며, 미급수 지역에서는 운반 또는 제한급수가 이루어지고 있었다. 이러한 상황은 가뭄 조사보고서 또는 인터넷 신문 기사 등을 통해서 확인되었다.

가뭄 분석을 위한 기초자료(강우, 유량) 자료 등을 통해서 월별 유량 비율 등을 검토하였고, 인제군 유역 인근의 강수 및 수위/유량 관측소를 활용하여 기상학적 가뭄 및 수문학적 가뭄분석을 진행한 결과 모든 가뭄지수(SPI, SDI)에서 공통적으로 2014년에 발생한 가뭄이 2017년까지 지속되었던 것으로 분석되었다. 지속기간 12개월의 수문기상자료를 활용하여 가뭄지수를 산정하여 분석한 경우, 심한가뭄 지속기간이 24개월 정도 지속되었던 것으로 확인되었으며 따라서 가뭄으로

인한 피해가 극심했을 것으로 평가된다. 인제군의 경우 기상 국가 가뭄 예·경보 기록 검토에서는 생활 및 농업용수 부분에서 예·경보가 발령되지 않았으나, 가뭄지수 산정결과 및 국가가뭄정보포털에서 확인해보면 2019~2022년 사이에 심각한 가뭄이 발생하여 운반급수가 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

사사

본 연구는 환경부 대행사업인 「2024년도 지하수 조사사업」으로 수행되었습니다(과제번호 20240123-01).

References

- Chung, I.M., Lee, J., 2021, Preliminary analysis on improvement of water supply capacity of sand dam, KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research, 41(1), 29-37 (in Korean with English abstract).
- Gukje News, 2019, Inje-gun preemptively implements next year's drought countermeasure project, Retrieved from <https://www.gukjenews.com/news/articleView.html?idxno=1191320>.
- Kim, G.B., Chung, I.M., Ha, G., 2020, Research and development of technology to secure water resources in drought-prone areas, Water Journal, 192, 32-39.
- Kim, J., 2015, Alleviating the current draught condition in Gangwon region, Issues and Perspectives, No. 973, National Assembly Research Service (NARS).
- Kuki News, 2022, "This drought is extraordinary"...Inje-gun concentrates administrative power to prevent damage during the farming season, Retrieved from <https://www.kukinews.com/newsView/kuk202205260104>.
- Lee, J.H., Park, S.Y., Lee, J., Chung, I.M., 2020, Meteorological drought evaluation in Chuncheon region, Journal of Environmental Science International, 29(5), 541-549 (in Korean with English abstract).
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993, The relationship of drought frequency and duration of time scales, Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, 179-184.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1995, Drought monitoring with multiple time scales preprints, Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, 233-236.
- Nalbantis, I., 2008, Evaluation of a hydrological drought index, European Water, 23(24), 67-77.
- Nalbantis, I., Tsakiris, G., 2009, Assessment of hydrological drought revisited, Water Resources Management, 23, 881-897.