

An Assessment of Past and Future Droughts in North Korea Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

Jin Hyuck Kim[#], Suk Ho Lee, Byung Sik Kim⁺

Department of Urban & Environmental Disaster Prevention School, Kangwon National University, 346 Joonang-ro, Samcheok-si, Republic Korea

Abstract

Due to recent climate change, rising temperatures and changes in rainfall patterns have increased the number of countries suffering from droughts and floods - water disasters - worldwide. The conventional drought analysis is based on the Standard Precipitation Index (SPI), which only reflects the amount of precipitation. However, the limitation of the Standard Precipitation Index is that it takes precipitation as an exclusive factor for drought analysis and does not provide a full representation of water balance such as precipitation and evapotranspiration, which are often influenced by climate variability. Therefore, the study used the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) incorporating both rainfall and evapotranspiration in application for drought analysis in North Korea. The analysis result showed that drought would intensify in the years ahead due to rise in temperature and increased evapotranspiration in spite of increased precipitation.

Key words: drought, SPEI, SPI, RCP8.5, potential evapotranspiration, North Korea

1. 서론

최근 기후변화로 인해 기온상승 및 강우패턴의 변화로 인해 전 세계적으로 가뭄과 홍수 즉, 물 재해로 인해 고통을 받고 있는 나라가 증가하고 있다. 우리나라의 경우 2014년의 강원, 경기 일부 충청지역의 강우량이 평년대비 50~60% 수준으로 생활용수의 제한급수가 시행되었으며, 소양강댐 및 보령댐의 경우 2015년 기록적인 최저수위를 기록하였다(Yu, *et. al.*, 2016). 북한의 연평균 강수량은 약 980mm로서 남한의 연평균 강수량인 1,274mm에 비해 약 70~80%에 불과하다(KEI,

2013). 북한의 과거 재난발생사례를 조사결과 자연재해 중 풍수해 및 가뭄으로 인한 기상재해의 피해가 다수를 차지하고 있다(Park, *et. al.*, 2010, Shin & Beak, 2014). 특히 지난 20년(1991~2010년)동안 북한에서는 태풍, 홍수 가뭄 등 총 33건의 기상재해가 발생하여 이로 인한 재해규모가 세계 9위로 자연재해에 취약한 국가이다(KMA, 2011). 게다가 북한지역의 경우 무분별한 개발로 인하여 기후변화 피해를 극심히 받을 것이라 전망되고 있다. 이 중 가뭄은 언제 시작하는지 또한 어느 정도로 심각한지에 대한 정량적 평가가 어려워 지역 위기관리 또는 국가 위기관리에 있어서 판단하기에 어

[#] The 1st author: Jin Hyuck Kim, Tel. +82-33-570-6838, Fax. +82-33-570-6469, e-mail. jin830@kangwon.ac.kr

⁺ Corresponding author: Byung Sik Kim, Tel. +82-33-570-6819, e-mail. hydrokbs@kangwon.ac.kr

렵다는 특징이 있기 때문에 가뭄지수 등을 통해 정량적 정의가 필요한 재해이다. 가뭄에 대한 정의는 많이 있지만, 기본적으로 장기간 강우의 부족으로 정의한다. 강우의 부족으로 인한 유량자료를 확보할 수 있다면 보다 정확한 가뭄분석을 실시할 수 있으나, 북한지역의 경우 국제정세상의 이유로 유량자료 확보에 어려움이 있다. 그리하여 본 연구에서는 북한지역의 가뭄을 기상학적으로 평가하고자 하였다. 지금까지 기상학적 가뭄 분석을 표준강수지수(SPI)를 사용해 왔지만, 표준강수지수(SPI)는 가뭄에 있어서 강수량만을 고려하기 때문에 기온 증가로 인한 증발산량 등 물 수지를 고려할 수 없다. 하지만 표준강수증발산량지수(SPEI)는 이러한 표준강수지수(SPI)의 한계성을 보완할 수 있다. 그리하여 본 연구에서는 1981년부터 2016년까지의 기상청 제공 관측치를 수집하여 표준강수지수(SPI)와 표준강수증발산량지수(SPEI)를 산정하였으며, 실제 북한지역의 과거 가뭄 사상인 2000~2001년, 2014~2015년 가뭄에 적용하여 표준강수증발산량지수(SPEI)의 적합성을 확인한 후, 기후변화 시나리오인 RCP8.5(IPCC AR5)를 통한 북한지역의 미래 가뭄 평가에 이용하고자 하였다.

II. 연구동향

SPI는 두 가지 가정을 가지고 있다. 첫 번째는 기온과 잠재증발산량은 시간에 따라 변하지 않는다는 것, 두 번째는 가뭄에 있어 강수량의 변동성이 기온과 잠재증발산량보다 절대적이라는 것이다. 하지만 최근 여러 연구에서 기온에 따른 잠재증발산량을 고려하지 않음에 대한 문제점을 제시하고 있다(Mavromatis, 2007; Kempes, *et. al.*, 2008). 최근 기후변화와 가뭄분야에서 새롭게 제시된 표준강수증발산량지수(SPEI)는 이러한 표준강수지수(SPI)의 단점을 보완할 가뭄지수로서, 기온에 따른 증발산량과 강수의 변동성을 고려할 수 있다. Kim, *et. al.*(2012)은 남한지역에 SPEI를 적용하여 가뭄발생의 변화를 평가 하였다. 적용 결과 해당

연구에서 전국적으로 표준강수지수(SPI)와 표준강수증발산량지수(SPEI)모두 봄과 겨울에 가뭄이 심화되고 여름철에 완화됨을 확인하였으며, 표준강수증발산량지수(SPEI)가 표준강수지수(SPI)보다 가뭄심도를 크게 나타냄을 확인하였다. Nam, *et. al.*(2008)은 1997년, 1999년, 2000년, 2001년 북한 가뭄 사상에 대하여 기상학적 가뭄지수의 적용을 통해 북한에 발생했던 가뭄을 정량적으로 재현하는 분석을 하였다. Kim, *et. al.*(2014)의 연구에서는 미래의 기후변화가 극한강수와 가뭄발생에 미치는 영향을 평가하기 위해 IPCC 5차 보고서의 대표농도경로 기후변화 시나리오에서 추출된 미래 강수 및 기온자료를 이용하여 극한 강수와 가뭄변화를 전망하였다. Kim, *et. al.*(2014)은 표준강수증발산량지수(SPEI)를 이용하여 미래 극한 가뭄의 발생 정도를 전망하였으며, 표준강수증발산량지수(SPEI)값의 빈도해석을 이용하여 가뭄의 심도 및 강도변화를 전망하였다. Nam, *et. al.*(2017)은 주단위 표준강수증발산량지수(SPEI)를 활용하여 2014~2015년 북한의 극한 가뭄을 평가 하였다. Lee, *et. al.*(2013)은 강수지표를 이용한 남, 북한 강수 특성 비교에 관한 연구에서 Mann-Kendall 검정을 통해 북한 지역의 강수 경향성에 대한 연구를 진행하였으며, Jin, *et. al.*(2010)은 북한 혜산시의 50년간의 가뭄 홍수 변화 연구를 통해 혜산지역의 장기간 기상재해에 대해 연구를 진행하였다.

III. 연구방법

본 논문에서는 북한지역의 현재와 미래의 가뭄분석을 실시하기 위해 세계기상통신망(Global Telecommunication System, GTS)을 통해 구득된 기상청 제공 26개 지점의 기상자료를 수집하였다. 그 후 실제 가뭄 사상인 2000~2001년 가뭄, 2012년 가뭄, 2014~2015년 가뭄 분석을 통해 표준강수증발산량지수(SPEI)의 적합성을 확인하고자 하였다. 그 후 IPCC AR5의 기후변화 시나리오 중 가장 기후변화에 극심한 영향을 받는 IPCC RCP 8.5 시나리오를 통해 모의된 미래 기상자료를 수집하였

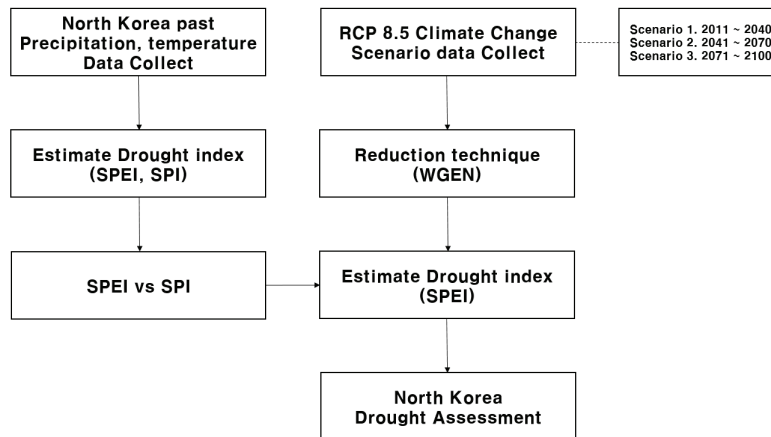


Figure 1. Flowchart of study

다. 그 후 표준강수증발산량지수(SPEI)를 산정하여, 북한지역에 미래 가뭄에 대해 평가하고자 하였다.

$$DM = - \left(\sum_{j=i}^x SPI_{ij} \right) \quad (1)$$

IV. 이론적 배경

1. 표준강수지수 SPI(Standardized Precipitation Index)

SPI를 산정하기 위해서는 우선 시간단위별 누가강수 시계열을 구성하여야 하며, 이는 이동누가에 의한 방법으로 월 강수량을 시간단위에 따라 연속적으로 중첩하여 구한다. 이러한 누가강수 시계열이 구성되면 적절한 확률 분포형을 산정하게 되는데, SPI는 강수량만을 입력 자료로 사용하기 때문에 적절한 확률 분포형으로 Gamma분포를 산정한다. 이러한 Gamma 분포를 이용하여 개개의 변량에 대한 누가확률을 산정한 후 표준정규분포에 적용시킨 후 최종적으로 표준강수지수를 산정하게 된다. 가뭄은 SPI값이 -1.0 혹은 더 작은 값에 도달할 때 발생하며 0보다 클 때 가뭄이 끝나게 된다. 가뭄 사상은 가뭄 시작과 끝의 시간 간격으로 정의된 지속기간과 SPI값으로 표현되는 가뭄 심도를 표현하며 누적된 가뭄의 총량도 구분할 수 있다. 이를 DM(Drought Magnitude)이라 하며, 가뭄사상에 속한 모든 기간에 대한 지수의 합으로서 식(1)과 같이 계산되며, 가뭄의 심도는 <Table 1>과 같다.

Table 1. Drought severity represented by SPI

SPI interval	SPI classes
More than 2.00	Extreme wet
1.99 to 1.50	Severe wet
1.49 to 1.00	Moderate wet
0.99 to -0.99	Normal
-1.00 to -1.49	Moderate drought
-1.50 to -1.99	Severe drought
Less than -2.00	Extreme drought

2. 표준강수증발산량지수 SPEI(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)

SPI는 강수 이외의 기온과 관련된 변수를 고려하지 않기 때문에 기후변동으로 인한 강수, 증발산 등의 물수지 변화를 고려할 수 없다는 한계점이 있다. 그래서 최근에 SPI와 유사하지만 기후변동으로 인한 강수 변화뿐만 아니라 기온의 변동성이 미치는 영향을 반영할 수 있는 새로운 개념의 가뭄지수인 표준강수증발산지수(SPEI)가 개발되었다. SPEI는 주로 월 단위로 계산되며 강수와 PET(Potential evapotranspiration)의 차이를 나타낸다. PET 계산에는 주로 Thornthwaite (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite & Mather, 1955) 방식을 이용되는데 이는 계산이 간단하고, 무엇보다도 월평균 기온 자료를 쉽게 구할 수 있기 때문이다

(Kim, *et. al.*, 2012). SPEI는 임의의 월 I에서 강수와 위에서 구한 PET의 차이로 식(2)와 같다.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

D는 식(3)과 같이 각 시간규모에서 합성된다.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} P_{n-i} - PET_{n-i} \quad (3)$$

여기서 k는 합성의 시간 규모, n은 계산에 이용된 달 (Month)이다. 산정된 가뭄의 심도는 표준강수지수 (SPI)와 같다.

V. 적용 및 결과

1. 대상지역

본 논문에서는 북한지역의 가뭄을 분석하기 위해 세계기상통신망(Global Telecommunication System, GTS)을 통해 수집된 자료를 통해 분석하였다. 기상청에서 제공하고 있는 북한지역의 27개 지점의 기상관측소 총 26개 관측소의 1981년~2016년의 자료를 사용하였다.

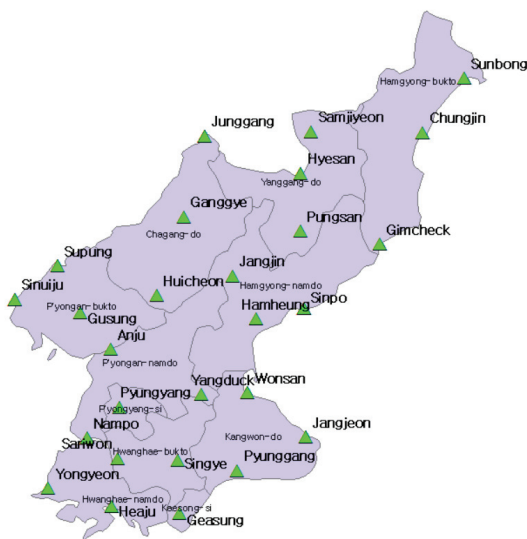


Figure 2. Study area

2. 강수량 분석

북한의 과거 가뭄의 평가를 문헌조사를 실시하여, 2000년~2001년 가뭄, 2014년~2015년 가뭄을 선정하여 강수량 분석을 실시하였다. 그 후, 해당지역의 표준강우 증발산량 지수(SPEI)를 산정하여 과거 가뭄을 평가하고자 하였다.

Table 2. History of past drought

Year	Drought damage area	Remarks
2000~2001	Hwanghae Do, Pyongan Do	Weekly North Korea Trend (no.542) WFP/FAO(2001)
2014~2015	Hwanghae Do, South Pyongan Do, South Hamgyung Do	FAO(2015)

가뭄에 가장 큰 영향을 미치는 강수량을 분석하기 위하여 2000년~2001년, 2014년~2015년의 계절별 강수량을 <Table 4>, <Table 5>와 같이 정리하였다. 분석결과 2000년의 경우 북한 평균 강수량인 980mm의 약 50% 수준의 527mm의 강수량이었으며, 2001년의 경우 70% 수준인 729mm의 강수량이었다. 즉 2000년~2001년에 지속적인 가뭄이 발생했음을 판단할 수 있었다. 2014년의 경우 90% 수준인 902mm의 강수량이 내렸지만, 계절분기로 나눈 결과 2014년 여름에서 가을 분기의 강수량이 부족하여 가뭄이 발생하였고, 2015년에 점차 가뭄이 완화되었을 것으로 판단되었다. 관측소별로 평균 강수량에 비해 관측치가 60% 이하의 강수량을 가진 횟수를 살펴본 결과, 2000년에서 2001년의 경우 대상지역 11지역 중, 8지역이 2년간의 봄, 여름, 가을, 겨울 계절분기 중 절반 이상이 강수량이 60% 이하였고, 2014년부터 2015년의 경우, 11지역 중 4지역에서 3분기 이상 강수량이 60% 이하인 것으로 확인되었다.

Table 3. Analysis of rainfall in the drought state (2000–2001)

Location	Station	Season	2000			2001		
			State annual average	Observed Value	Ratio(%)	State annual average	Observed Value	Ratio(%)
Hwang-hae Do	Sariwon	Spring	149,9	65,6	44	149,9	13	9
		Summer	566,8	223,4	39	566,8	467,2	82
		Fall	193,9	103,6	53	193,9	138,9	72
		Winter	43,5	41	94	43,5	31,1	71
	Singye	Spring	173,5	79,8	46	173,5	44,7	26
		Summer	770,7	459,6	60	770,7	699	91
		Fall	197,1	184,5	94	197,1	99,1	50
		Winter	46,8	17,8	38	46,8	27,6	59
	Yongyeon	Spring	145,2	33	23	145,2	20,5	14
		Summer	562,1	275,1	49	562,1	521,1	93
		Fall	182,6	78	43	182,6	100,9	55
		Winter	48,5	61,8	127	48,5	37,9	78
	Heaju	Spring	191	71	37	191	20,6	11
		Summer	739,6	334,8	45	739,6	761,3	103
		Fall	205,8	136,5	66	205,8	81,4	40
		Winter	43,8	45,2	103	43,8	43,8	100
North Pyongan Do	Gusung	Spring	183	61,8	34	183	105,9	58
		Summer	866,8	546	63	866,8	801,8	93
		Fall	206,4	40,1	19	206,4	136,1	66
		Winter	46,3	35,6	77	46,3	35	76
	Supung	Spring	148,8	119,9	81	148,8	71,4	48
		Summer	650	396,8	61	650	604,9	93
		Fall	194,6	83,6	43	194,6	144,3	74
		Winter	39,1	20,7	53	39,1	34	87
	Sinuiju	Spring	273,3	669,9	245	273,3	406,2	149
		Summer	618,8	144,1	23	618,8	101,7	16
		Fall	176,2	97	55	176,2	13,8	8
		Winter	67,2	184,6	275	67,2	215,1	320
South Pyongan Do	Nampo	Spring	131,5	69	52	131,5	9,2	7
		Summer	508,5	238,1	47	508,5	437,9	86
		Fall	171,1	102	60	171,1	143,2	84
		Winter	43,3	40,2	93	43,3	34,2	79
	Anju	Spring	159,7	109,2	68	159,7	46,1	29
		Summer	689,2	282,7	41	689,2	609,9	88
		Fall	188,6	124,5	66	188,6	136,1	72
		Winter	34,7	20,8	60	34,7	26,9	78
	Yangduck	Spring	160,8	73,1	45	160,8	50,1	31
		Summer	697,1	282,7	41	697,1	600	86
		Fall	195,3	195,9	100	195,3	188	96
		Winter	46	17,2	37	46	28,9	63
	Pyongyang	Spring	171,2	83	48	171,2	24	14
		Summer	628,3	256,5	41	628,3	467,3	74
		Fall	190,8	110,5	58	190,8	224,8	118
		Winter	45,2	33,6	74	45,2	52,7	117

Table 4. Analysis of rainfall in the drought state (2014-2015)

Location	Station	Season	2014			2015		
			State annual average	Observed Value	Ratio(%)	State annual average	Observed Value	Ratio(%)
Hwanghae Do	Sariwon	Spring	149.9	65.6	44	149.9	173.2	116
		Summer	566.8	289.2	51	566.8	1042.8	184
		Fall	193.9	114	59	193.9	182.1	94
		Winter	43.5	44.6	103	43.5	50.9	117
	Singye	Spring	173.5	108.9	63	173.5	173.2	100
		Summer	770.7	373.9	49	770.7	761.6	99
		Fall	197.1	101.4	51	197.1	508	258
		Winter	46.8	46.3	99	46.8	50.9	109
	Yongyeon	Spring	145.2	152.1	105	145.2	100.2	69
		Summer	562.1	300.2	53	562.1	467.2	83
		Fall	182.6	104.8	57	182.6	96	53
		Winter	48.5	70.6	146	48.5	105.9	218
	Heaju	Spring	191	224.7	118	191	100.2	52
		Summer	739.6	448.6	61	739.6	837.9	113
		Fall	205.8	279.9	136	205.8	232.9	113
		Winter	43.8	40.7	93	43.8	73.2	167
South Hamgyong Do	Jangjin	Spring	125.9	65.2	52	125.9	89.7	71
		Summer	408.2	310.5	76	408.2	425.9	104
		Fall	127.3	42.2	33	127.3	268.2	211
		Winter	27.8	38	137	27.8	65.2	235
	Hamheung	Spring	139.3	64	46	139.3	109.5	79
		Summer	481.5	266.9	55	481.5	421.6	88
		Fall	190.9	57.2	30	190.9	283.8	149
		Winter	45.5	13.2	29	45.5	11.3	25
	Sinpo	Spring	127.7	121.2	95	127.7	96.8	76
		Summer	407.1	287.4	71	407.1	421	103
		Fall	161.7	80.2	50	161.7	158.4	98
		Winter	52.6	34.3	65	52.6	66	125
South Pyongan Do	Nampo	Spring	131.5	69.5	53	131.5	100.2	76
		Summer	508.5	277.3	55	508.5	467.2	92
		Fall	171.1	88	51	171.1	259.2	151
		Winter	43.3	69.6	161	43.3	58.6	135
	Anju	Spring	159.7	131.1	82	159.7	122.5	77
		Summer	689.2	712	103	689.2	673.9	98
		Fall	188.6	119.8	64	188.6	223.3	118
		Winter	34.7	31.7	91	34.7	97.9	282
	Yangduck	Spring	160.8	163.9	102	160.8	173.2	108
		Summer	697.1	568.9	82	697.1	827.3	119
		Fall	195.3	107.4	55	195.3	131	67
		Winter	46	59.1	128	46	50.9	111
	Pyungyang	Spring	171.2	125.2	73	171.2	173.2	101
		Summer	628.3	567.4	90	628.3	827.3	132
		Fall	190.8	100.9	53	190.8	131	69
		Winter	45.2	28	62	45.2	50.9	113

Table 5. Summary of rainfall analysis (2000~2001)

2000 ~ 2001 Summary of rainfall analysis		
Location	Station	Less than 60% Number of occurrences of rainfall
Hwanghae Do	Sariwon	4
	Singye	6
	Yongyeon	5
	Heaju	4
North Pyongan Do	Gusung	3
	Supung	3
	Sinuiju	4
South Pyongan Do	Nampo	4
	Anju	3
	Yangduck	4
	Pyongyang	4

Table 6. Summary of rainfall analysis (2014~2015)

2014 ~ 2015 Summary of rainfall analysis		
Location	Station	Less than 60% Number of occurrences of rainfall
Hwanghae Do	Sariwon	3
	Singye	2
	Yongyeon	3
	Heaju	1
South Hamgyong Do	Jangjin	2
	Hamheung	5
	Sinpo	1
South Pyongan Do	Nampo	3
	Anju	0
	Yangduck	1
	Pyongyang	1

3. 가뭄지수 산정

1) 표준강수지수(SPI)

표준강수 증발산량지수(SPEI)의 활용성을 살펴보기 위해 기존에 많이 사용되는 대표적 기상학적 가뭄지수인 표준강수지수(SPI)와 비교하였다. 표준강수지수(SPI)는 단순 강수량만을 고려하기 때문에 집중호우 같은 강우사상에 반응하여 다소 가뭄이 과소평가됨을 확인할 수 있었다. 특히 2014년~2015년 가뭄에 대해 실제 북한 가뭄상황에 비해 과소 산정됨을 확인할 수 있었다.

2) 표준강수증발산량지수(SPEI)

2000년~2001년 가뭄, 2014년~2015년 가뭄에서 강

수량부족이 발생한 남포, 신계, 용연, 함흥 지역의 가뭄지수 값을 분석하여 해당 기간의 가뭄을 정량적으로 분석하고자 하였다. 3개월 미만의 짧은 지속기간은 기상학적 가뭄 또는 농업적 가뭄은 판단할 때, 그리고 3개월 이상의 긴 지속기간은 사회경제적 가뭄을 판단할 때 적합하다(WMO, 2012). 본 연구에서는 기상학적 가뭄과의 비교를 위해 지속기간 3개월의 가뭄지수를 산정하였다. 그 후 <Figure 4>와 같이 그래프로 나타내었다. 분석결과 2000년~2001년 가뭄의 경우 2년 내내 가뭄이 지속됨을 확인할 수 있었고, 2014년~2015년 가뭄의 경우 2014년 하반기 ~ 2015년 상반기에 가뭄이 완화되는 것을 확인할 수 있었다.

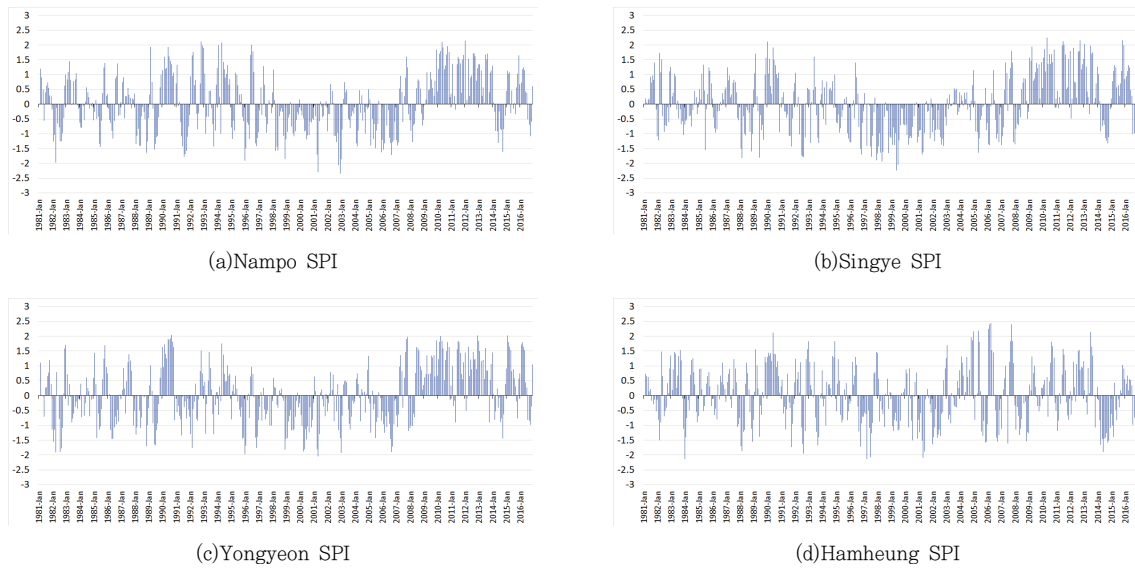


Figure 3. Target state SPI

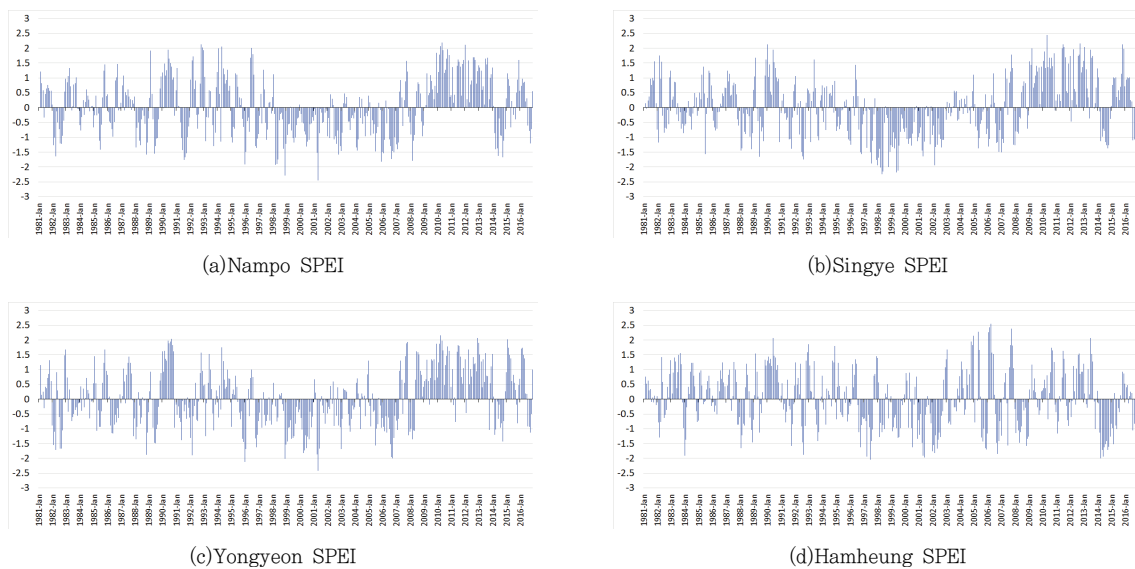


Figure 4. Target state SPEI

3) 가뭄지수 비교

과거 가뭄 사례 중 두 지수(SPI, SPEI) 간의 가장 큰 차이점을 보인 2014년의 비교결과 단순 강우량만을 고

려할 경우 포착하지 못했던 가뭄사상을 기온을 통한 증발산량을 고려할 시, 가뭄포착이 가능함을 확인할 수 있었다.

Table 7. Drought index (2014)

Station	Index	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Nampo	SPI	1.3	0.1	-0.3	-0.9	-0.9	-1.3	-0.2	-0.9	-0.9	-1.6	-0.8	-0.4
	SPEI	1.4	0.1	-0.9	-1.4	-1.4	-1.6	-0.4	-0.9	-1.0	-1.7	-1.1	-0.7
Singye	SPI	1.3	1.0	0.1	-0.9	-0.7	-0.6	-0.7	-1.2	-1.2	-1.3	-1.1	-0.2
	SPEI	1.3	1.0	-0.1	-1.1	-1.0	-0.7	-0.8	-1.2	-1.3	-1.4	-1.3	-0.4
Yongyeon	SPI	1.5	0.1	-0.8	-0.5	0.2	-0.4	-0.1	-0.9	-0.8	-1.5	-0.6	0.4
	SPEI	1.5	0.1	-1.2	-1.0	-0.1	-0.7	-0.2	-1.0	-0.8	-1.4	-0.7	0.3
Hamheung	SPI	0.3	-0.1	-0.8	-1.7	-1.5	-1.9	-1.5	-1.4	-1.3	-1.6	-1.5	-1.1
	SPEI	0.3	-0.1	-1.1	-2.0	-1.7	-2.0	-1.6	-1.5	-1.4	-1.7	-1.6	-1.3

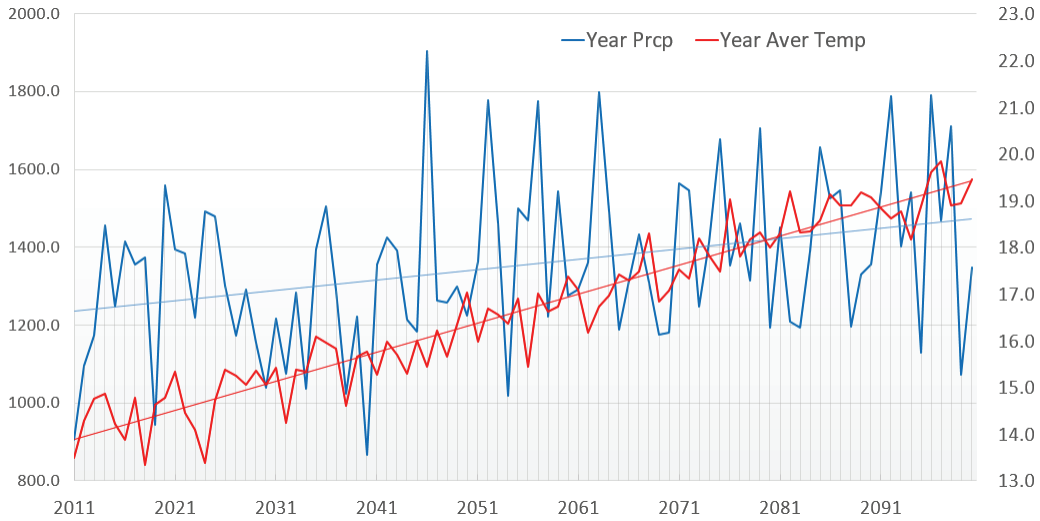


Figure 5. RCP 8.5 scenario yearly precipitation and average temperature

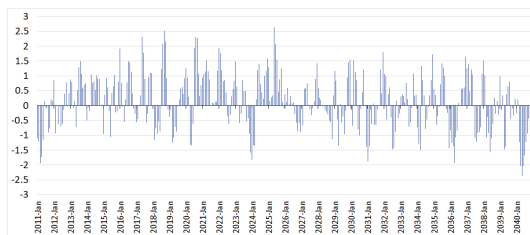
4. 미래 기후변화시나리오 적용

IPCC AR5의 기후변화 시나리오 중 가장 기후변화에 극심한 영향을 받는 IPCC RCP 8.5 시나리오를 통해 모의된 미래 기상자료를 수집하였다. 그 후 표준강수 증발산량지수(SPEI)를 산정하여 북한지역의 미래 가뭄에 대해 평가하였다. RCP 8.5 시나리오 결과 연평균 강수량은 점점 증가하는 추세를 나타내어 단순 강수고려 가뭄을 고려할 경우 가뭄이 완화될 것으로 예상되나, 연평균기온 역시 미래가 될수록 증가하여 증발산량이 증가할 것으로 전망되었다. 즉, 강수량만을 고려한 기존

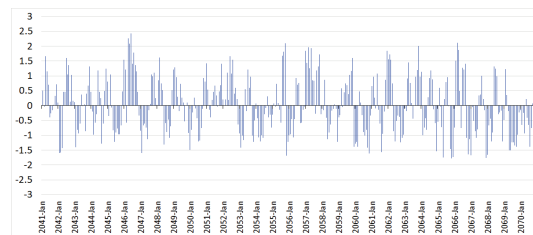
의 가뭄지수의 한계성을 확인할 수 있었다.

5. 미래기후변화 시나리오 SPEI 적용

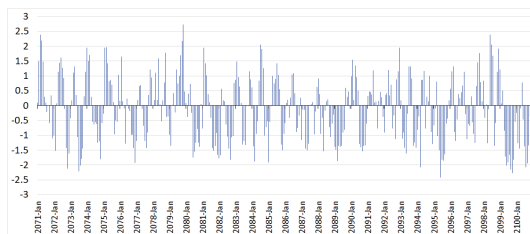
수집된 기후변화 시나리오를 표준강수 증발산량지수(SPEI)에 적용한 후, -1 이하의 가뭄사상 횟수에 대해 공간분포를 실시하였다. 2011년부터 2040년 미래시나리오의 경우 함경남도과 강원도 지역의 가뭄발생 빈도가 높을 것으로 분석되었으며, 2041년부터 2070년 미래시나리오의 경우 평안도와 함경남도 황해북도 일대의 가뭄발생 빈도가 높을 것으로 분석되었다. 2071년



(a)RCP 8.5 SPEI 2011 ~ 2040



(b)RCP 8.5 SPEI 2041 ~ 2070



(c)RCP 8.5 SPEI 2071 ~ 2100

Figure 6. RCP 8.5 scenario SPEI graph

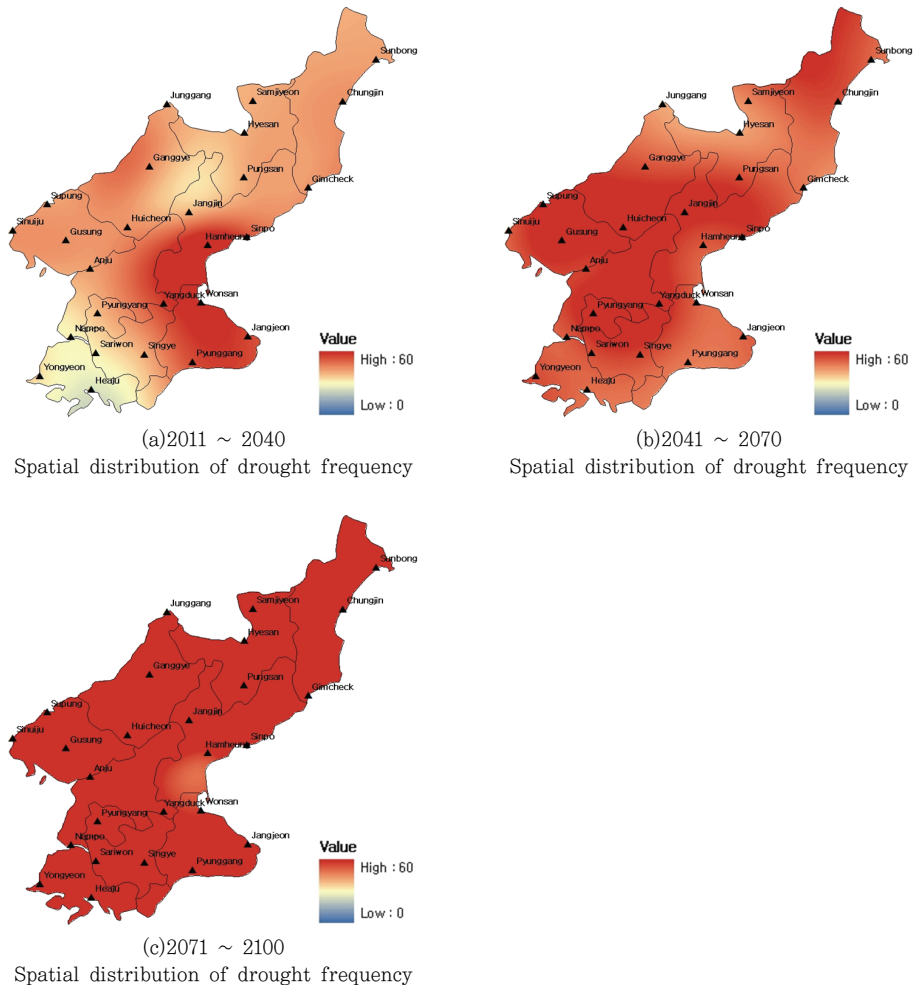


Figure 7. RCP 8.5 scenario drought frequency spatial distribution

부터 2100년 시나리오의 경우 함경남도를 제외한 전국적으로 가뭄발생 빈도가 높을 것으로 분석되었다. 분석 결과 미래로 갈수록 강수량이 증가하지만, 온도역시 증가에 따른 증발산량 역시 증가하여 미래에 가뭄이 증가할 것으로 확인되었다.

VI. 결론

본 연구에서는 표준강수 증발산량 지수를 활용하여 과거와 미래의 가뭄을 평가하고자 하였다. 가뭄 평가에 있어서 유량자료 등 기상학적 자료뿐만이 아닌 수문학적 자료역시 필요하나, 북한지역의 경우 국제적 정황 등에 따라 유량자료를 확보하기 어렵다는 특성이 있다. 따라서 본 연구에서는 기상학적 자료를 이용해 북한지

역의 가뭄을 평가하고자 하였다. 이를 위해 우선 과거 북한기상자료를 수집하여 표준강수 증발산량 지수(SPEI)를 산정하였다. 그 후 실제 가뭄 사상인 2000년~2001년과 2014년~2015년의 표준강수지수(SPI)와의 비교분석을 실시하였다. 가뭄 사상 중 2014년의 경우 강수량만을 고려한 표준강수지수(SPI)의 경우 포착하지 못했던 가뭄을 잠재증발산량을 고려한 표준강수 증발산량 지수(SPEI)의 경우 포착할 수 있음을 확인하였다. 그 후, 기후변화 시나리오인 RCP 8.5시나리오에 적용하여 미래가뭄을 평가하였다. 그 결과 기후변화가 진행됨에 따라 가뭄 빈도는 증가하였으며, 특히 2071년부터 2100년의 경우 전국적인 가뭄발생 빈도를 확인할 수 있었다. 즉, 기후변화 시나리오는 미래로 갈수록 강수량이 증가하나, 기온 또한 증가하여 기온증가에 따른

증발산량 증가로 인해 가뭄이 극심해지는 것을 확인할 수 있었다. 기존의 가뭄 연구방법은 강수량만을 사용하는 표준강수지수(SPI)를 이용한다. 하지만 표준강수지수(SPI)는 가뭄분석에 있어서 가뭄 인자를 강수량을 고려하기 때문에 기후변동성으로 인한 강수, 증발산량 등의 물수지를 고려하지 못한다는 한계성이 있다. 하지만 표준 강수 증발산량지수의 경우 이러한 표준강수지수의 한계성을 보완할 수 있음을 확인할 수 있었다. 최근 국내외에서 증발산량의 정확한 측정에 관한 기술 및 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 따라서 증발산량에 대한 연구가 진행될수록 표준강수 증발산량지수(SPEI)의 활용 가능성이 더 증가 될 것으로 예상된다. 본 연구는 앞으로 진행되는 증발산량 연구 및 가뭄분석 연구에 참고될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발의 연구비 지원(2017-MOIS31-004)에 의해 수행되었습니다.

References

- FAO. 2001. *Special Report: FAO/WFP Crop and Food Supply Assessment Mission to the Democratic People's Republic of Korea*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- FAO. 2015. *Global Information and Early Warning System*. GIEWS Update: The Democratic People's Republic of Korea. Prolonged Dry Spell Raises Serious Concerns for 2015 Food Crop Production.
- Jin, Shi Zhu, Min Boo Lee, Nam Sin Kim, Ai Fen Kim, and Zhe Zhu. 2010. A Study of the Flood and Drought During 50 Year in Hyesan City of North Korea. *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*. 16(3): 216-223.
- Kempes, C. P., O. B. Myers, D. D. Breshears, and J. J. Ebersole. 2008. Comparing Response of Pinus Edulis Tree-ring Growth to Five Alternate Moisture Indices Using Historic Meteorological Data. *Journal of Arid Environments*. 72(4): 350-357.
- Kim, Byung Sik, In Gi Jang, Sun Hong Min, and Jang Hyun Sung. 2014. Impact Assessment of Climate Change on Extreme Weather in Yeongsan · Seomjin River Basins Based on the Representative Concentration Pathways. *Korean Review Crisis and Emergency Management*. 10(2): 177-193
- Kim, Byung Sik, Jang Hyun Sung, Byung Hyun Lee, and Do Jung Kim. 2013. Evaluation on the Impact of Extreme Droughts in South Korea Using the SPEI and RCP8.5 Climate Change Scenario. *Journal of KOSHAM*. 13(2): 97-109.
- Kim, Byung Sik, Jang Hyun Sung, Hyn Suk Kang, and Chun Ho Cho. 2012. Assessment of Drought Severity over South Korea Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index(SPEI). *Journal of Korea Water Resources Association*. 45(9): 887-900.
- Korea Environment Institute(KEI). 2013. *A Study on Constructing a Cooperative System for South and North Korea to Counteract Climate Change on the Korean Peninsula III*.
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2011. *30 Years of North Korea Weather*.
- Lee, Bo Ram, Eun Sung Chung, Tae Woong Kim, and Hyun Han Kwon. 2013. Comparison of Precipitation Characteristics Using Rainfall Indicators between North and South Korea. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 33(6): 2223-2235.
- Mavromatis, T. 2007. Drought Index Evaluation for Assessing Future Wheat Production in Greece. *International Journal of Climatology*. 27(7): 911-924.
- McKee, T. B., N. J. Doeskin, and J. Kleist. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Proc. 8th Conf. on Applied Climatology*. January 17-22. 1993. American Meteorological Society. Boston, Massachusetts. 179-184.
- Ministry of Unification. 2000. *Weekly North Korea Trend*. 542.
- Nam, Won Ho, Eun Mi Hong, Jin Yong Choi, Tea Gon Kim, Michael J. Hayes, and Mark D. Svoboda. 2017. Assessment

- of the Extreme 2014-2015 Drought Events in North Korea Using Weekly Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 59(4): 65-74.
- Nam, Won Ho, Seung Hwan Yoo, Min Won Jang, and Jin Yong Choi. 2008. Application of Meteorological Drought Indices for North Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 50(3): 3-15.
- Park, So Yeon, Baek Jo Kim, and Suk Hee Ahn. 2010. Characteristics of Natural Disaster in North Korea. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 10(3): 21-29.
- Shin, Ho Joon and Min Ho Beak. 2014. A Preliminary Study on the Responses of South Korea according to the Occurrence of Disasters in North Korea. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 14(5): 165-171.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*. 38(1): 55-94
- Thornthwaite, C. W. and J. R. Mather. 1955. The Water Balance. *Publications in Climatology*. 8(1): 1-104.
- World Meteorological Organization (WMO). 2012. *Standardized Precipitation Index: User Guide*. WMO-No. 1090. Geneva.
- Yu, Ji Soo, Ji Young Yoo, Joo Heon Lee, and Tea Woong Kim. 2016. Estimation of Drought Risk through the Bivariate Drought Frequency Analysis Using Copula Functions. *Journal of Korea Water Resources Association*. 49(3): 217-225.
- Korean References Translated from the English*
- 기상청(KMA). 2011. 북한기상 30년보.
- 김병식, 성장현, 강현석, 조천호. 2012. 표준강수 증발산지수 (SPEI)를 이용한 남한지역의 가뭄심도 평가. 한국수자원 학회논문집. 45(9): 887-900.
- 김병식, 성장현, 이병현, 김도정. 2013. 표준강수 증발산량지수와 대표농도경로를 이용한 남한지역 미래 가뭄의 변화전망. 한국방재학회논문집. 13(2): 97-109.
- 김병식, 장인기, 민선홍, 성장현. 2014. 대표농도경로를 이용한 영산강·섬진강 유역의 극한기후 변화전망. 한국위기관리논집. 10(2): 177-193.
- 김석주, 이민부, 김남신, 김애분, 주철. 2010. 북한 혜산시 50년간 가뭄과 홍수변화. 한국지역지리학회지. 16(3): 216-223.
- 남원호, 유승환, 장민원, 최진용. 2008. 북한지역에 대한 기상학적 가뭄지수의 적용. 한국농공학회논문집. 50(3): 3-15.
- 남원호, 홍은미, 최진용, 김태곤, Michael J. Hayes, Mark D. Svoboda. 2017. 주단위 표준강수증발산지수를 활용한 2014-2015년 북한의 극한 가뭄 평가. 한국농공학회논문집. 59(4): 65-74.
- 박소연, 김백조, 안숙희. 2010. 북한의 자연재해 현황 및 특성. 한국방재학회논문집. 10(3): 21-29.
- 신호준, 백민호. 2014. 북한의 재난발생에 따른 남한의 대응에 관한 기초 연구. 한국방재학회지. 14(5): 165-171.
- 유지수, 유지영, 이주현, 김태웅. 2016. 코플라 함수를 활용한 이변량 가뭄빈도해석을 통한 우리나라 가뭄 위험도 산정. 한국수자원학회논문집. 49(3): 217-225.
- 이보람, 정은성, 김태웅, 권현한. 2013. 강수지표를 이용한 남북한 강수특성 비교 대한토목학회논문집. 33(6): 2223-2235.
- 통일부. 2000. 주간북한통향.
- 한국환경정책평가연구원(KEI). 2013. 한반도 기후변화 대응을 위한 남북협력 기반 구축 연구 III.

Received: Nov. 14, 2017 / Revised: Jan. 12, 2018 / Accepted: Jan. 17, 2018

표준강수증발산량지수를 이용한 북한지역 과거와 미래 가뭄 평가

국문초록 기존의 가뭄분석 연구는 강수량만을 사용하는 표준강우지수(SPI)를 이용한다. 하지만 표준강우지수(SPI)는 가뭄분석에 있어서 가뭄 인자를 강수량을 고려하기 때문에 기후변동성으로 인한 강수, 증발산량 등의 물 수지를 고려하지 못한다는 한계성이 있다. 따라서 본 연구에서는 가뭄분석에 있어서 강수뿐만이 아닌 증발산량을 고려할 수 있는 표준강수증발산량지수(SPEI)를 사용하여 북한지역의 가뭄을 분석하고자 하였다. 분석을 위해 1981년부터 2016년까지의 기상 관측치를 사용하여 현재 북한 가뭄분석을 통해 표준강수 증발산량 지수의 적합성을 확인하였으며, IPCC AR5의 RCP기후변화 시나리오 중 가장 기후변화에 극심한 영향을 받는 RCP8.5 시나리오를 통해 모의된 미래강수 및 기온자료(2011~2100년)을 이용하여 기후변화 시나리오에 따른 미래 가뭄을 분석하였다. 분석결과 미래로 갈수록 강수량이 증가하나, 기온 상승으로 인한 증발산의 증가로 인해 가뭄의 심도가 증가되는 것을 확인할 수 있다.

주제어 : 가뭄, SPI, SPEI, RCP 8.5, 잠재증발산량, 북한

Profiles **Jin Hyuck Kim** : He is a Master's course of the Department of Urban & Environmental Disaster Prevention Engineering at Kangwon National University. His interesting Subject of research is drought and flooding(jin830@kangwon.ac.kr).

Suk Ho Lee : He received his Ph.D. from Konkuk University, Korea in 2012. He is a research professor of the School of Disaster Prevention at Kangwon National University. His interesting Subject of research is drought and flooding(esoco@kangwon.ac.kr).

Byung Sik Kim : He received his B.A., M.A., and Ph.D. from Inha University Korea in 2005. He is a professor of the Department of Urban & Environmental Disaster Prevention Engineering at Kangwon National University, in which he has taught since 2011. His interesting subject and area of stochastic hydrology and climate change. He has published about 150 articles in journals and written 3 books (hydrokbs@kangwon.ac.kr).