RCP 시나리오 하에서 전망된 강원도 관광 기후자원의 미래 변화

임창묵¹ · 정일웅²

¹APEC 기후센터, ²강릉원주대학교 대기환경과학과

(2015년 6월 1일 접수, 2015년 6월 29일 수정, 2015년 6월 29일 게재 확정)

Future Changes of the Tourism Climate Resources in Gangwon-do Projected under the RCP Scenarios

Chang-Mook Lim¹ · Il-Ung Chung²

¹APEC Climate Center

²Department of Atmospheric and Environmental Sciences, Gangneung-Wonju National University

(Received 1 June 2015, Revised 29 June 2015, Accepted 29 June 2015)

Abstract : In this study, we tried to assess the future projection of the climate as a tourism resource in Gangwon region based on Tourism Climatic Index (TCI) and two RCP scenarios(RCP4.5 and RCP8.5) datasets. TCI combines five climatic aspects relevant for outdoor tourism activity: daytime comfort(CID), average (or daily) comfort(CIA), sunshine(S), precipitation(P) and wind(W). The mean annual variation of TCI at most of stations shows bi-modal peak pattern, but the variation at Daegwallyeong shows unique summer peak pattern. During the 21st century, TCI in summer has distinct declining trend, and this tends to be more rapid in higher emission scenario(RCP8.5) than in lower emission scenario(RCP4.5). We found Daegwallyeong is expected to experience the most distinguished change in the late 21st century as annual variation pattern of TCI is likely to shift from summer peak to bi-modal peaks. Spatial distribution of the future TCI shows that maximum changes are likely to occur along high mountains(Backdudaegan), and summertime(June to September) climate conditions for tourism activities are expected to be increasingly deteriorated, while wintertime conditions are expected to be preferable more or less. It notes that magnitude of the change in RCP8.5 scenario estimates 2-3 times larger than in RCP4.5 scenario. To identify causes of the long-term TCI trends, we analyzed the contribution level of each sub-index to the trends. Consequently, it reveals that the most primary contributor is CID. However, CIA, P, and S also can highly contribute in some cases.

Key Words : climate change, climate resources, tourism, tourism climatic index(TCI)

주요어 : 기후변화, 기후자원, 관광, 관광기후지수(TCI)

1. 서론

기후는 야외 관광 활동에 영향을 미치는 중요한 관광 자원 중 하나이며, 관광객들의 관광 활동 여부와 관광지 선택을 결정짓는 주요 요소이다. 기후변화는 직접적으로 관광자원의 변화를 초래하며, 간접적으로 자연환경의 변화, 사회경제적 변화, 그리고 정책 변화를 유발시켜 관광객의 선호와 흐름의 변화를 일으킨다(MCST, 2009). 관광 활동에 미치는 기후변화의 영향은 긍정적인 측면과 부정적인 측면을 동시에 가지고 있다. 긍정적인 측면의 예로서, 기후변화로 인해 특정 기후환경에서만 자라는 과일, 꽃, 채소 등의 수확이 가능해짐에 따라 이를 관광자원으로 활용하여 관광객들의 관광 활동을 유도하는 경우를 들 수 있다. 하지만 기후변화가 관광 활동에 미치는 영향은 긍정적인 측면보다는 부정적인 측면이 더욱 지배적이다. 눈을 주요 관광 기후자원으로 하는 스키장의 경우, 온난화로 인해 제설(snowmaking) 비용이 증가하고 제설 가능 일수가 줄어들면서 스키장 개장 시즌이 단축되는 등의 경영 여건의 악화를 야기시키고, 해수면 상승으로 인한 모래사장의 손실, 태풍 혹은 폭우로 인한 관광시설 및 자연환경의 훼손 등이 점점 증가한다(UNWTO and UNEP, 2008). 그럼에도 불구하고 미래 기후변화에 따른 기온 상승, 해수면 상승, 기상재해 빈발 등의 이상 기후 현상이 관광산업에 미치는 영향과 취약성에 대한 과학적인 평가가 국내에서는 아직 체계적으로 연구되지 않았다. Kim(2008)은 관광산업과 기후변화의 관계를 원인자(vector)와 피해자(victim)으로 정의하고, 기후변화 대응체계로써 관광과 기후변화의 관련성에 대한 정부, 업계, 일반 관광객들의 인식을 증진시키고 관광과 기후변화의 상호영향에 대한 체계적 모니터링과 과학적 조사연구, 탄소중립 관광(단)지 조성 시범사업의 추진, 관광업계의

기후변화 대응 지원 프로그램 시행, 탄소상쇄프로그램의 도입, 관광부문의 기후변화 대응 실행계획의 수립이 필요하다고 제안하였다.

IPCC 5차 평가보고서(IPCC, 2013)에 따르면, 온실가스 농도의 증가에 의한 온난화로 지난 133년(1880-2012) 동안 전지구 평균기온이 $0.85 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$ 상승하였고, 해수면은 1901년 이후 19cm가 상승한 것으로 나타났다. 현재 수준의 온실가스 배출이 지속된다면(고배출 시나리오) 21세기 후반의 전지구 평균기온은 현재 대비 3.7°C 증가하고, 해수면은 63cm 상승할 것으로 전망된다고 보고하였다. 반면 온실가스의 감축 노력이 이루어지면(저배출 시나리오) 전지구 평균기온은 1.8°C , 해수면은 47cm가 상승하며 상승 추세를 완화할 수 있을 것으로 전망하였다. 최근 기상청 산하 국립기상과학원이 발간한 전지구 기후변화 보고서(NIMR, 2012)에서는 고배출 시나리오 하에서 21세기 후반(2076-2100)에 대해 전망된 우리나라의 연평균 기온은 현재(1981-2005) 대비 4.9°C 상승하는 것으로 나타났다.

기후변화가 미치는 한 관광지의 취약성을 판단하기 위해서는 정량적인 척도가 필요하다. de Freitas(2003)에 따르면, 1960년대 이후부터 관광산업에 “이로운 기후(favourable climate)”에 관한 여러 척도들이 많이 개발·응용되어 왔다. 이 척도들 가운데 Mieczkowski(1985)에 의해 개발된 관광기후지수(tourism climatic index, 이하 TCI)는 야외 관광·레저 활동에 직접적으로 영향을 주는 7개의 기후 요소들을 조합하여 단일 지수로 표현한 지수로서 포괄적이면서도 계산이 비교적 간단한 장점이 있어 기후변화에 따른 관광 기후자원의 변화를 분석하기 위한 많은 연구들에 활용되었다. Scott *et al.*(2004)은 북미 지역에서의 TCI의 현황과 미래 전망을 분석하였고, 나아가 Scott *et al.*(2008)은 캐나다, 뉴질랜드, 스웨덴을 대상으로 도시, 해

변, 산악지역의 TCI 수치에 기후인자가 미치는 영향 정도를 분석하였다. 또한, Amelung and Viner (2006)는 지중해 지역 TCI의 미래 변화 전망을 보였으며, Amelung *et al.* (2007)은 전지구적 규모에서 TCI를 응용하였다. TCI는 주관성 및 검증이 부족하여 심각한 한계를 갖고 있다는 비판을 받기도 하였다(de Freitas *et al.*, 2008; Scott *et al.*, 2008). Perch-Nielsen *et al.* (2010)은 일 TCI를 산출할 수 있도록 계산 과정을 개선시킴으로써 유럽 지역을 대상으로 SRES(Special Report on Emission Scenarios) A2 시나리오 하에서 미래 TCI 변화의 공간분포 특징을 제시하였다.

관광산업에 미치는 기후변화의 영향에 관한 국외 연구는 활발한데 비해 국내 연구는 최근에 들어서 활기를 띠는 모습이다. Heo and Lee(2008a,b; 2010)는 기후변화가 용평 스키장을 사례로 우리나라 스키산업에 미치는 영향을 평가하였고, Heo and Lee(2012)는 SRES A1B 시나리오 자료를 사용하여 우리나라 지역별 스키 산업의 미래 전망에 대해 분석하였다. 그러나 TCI와 같은 종합적 지수를 활용한 관광 기후자원의 변화 연구는 거의 이루어지지 않다. Cho(2009)는 겨울철 관광산업에 미치는 기후변화의 영향에 관한 연구를 수행한 바 있으나 국외 연구 동향 조사의 일환으로 TCI를 소개하는 수준에 머무르고 있다. 최근에 와서야 기후변화와 관광산업의 연관성에 관한 연구의 필요성이 제기되면서 Chung *et al.* (2013)은 TCI를 활용하여 강원도 지역을 대상으로 기후변화에 따른 관광 기후자원의 장기 변화 추세를 조사하고 그 원인 파악을 시도하였다. 보다 더 최근에 Park *et al.* (2014)은 TCI를 이용하여 치악산 국립공원의 관광기후환경의 변화 현황과 미래 전망을 분석하였다.

강원도는 GRDP에서 관광산업의 비중이 20% 이상으로서 제주도 다음으로 관광산업에 대한 의존도가 높으며, 지역 관광산업의 주된 자원이 천

혜의 자연환경 및 지역 특산물인 만큼 미래 기후 관광자원의 미래 변화를 전망하는 것은 과학적 차원을 넘어 사회경제적으로도 지대한 중요성을 가진다. 이에, TCI에 기반하여 강원도 지역에서의 관광 기후자원의 미래 변화를 분석하고 그 추세를 정량적으로 평가하고자 한다. 아울러 TCI의 미래 변화에 영향을 미치는 기후 인자를 분석함으로써 관광 기후자원 변화 추세의 원인을 밝히고자 한다.

2. 연구 방법 및 자료

1) 연구 방법

TCI는 야외 관광 및 레저 활동을 쾌적하게 즐길 수 있는 사람의 일반적인 생태학적 조건에 기초를 두고 Mieczkowski(1985)가 최초로 개발한 지수로서 7가지 기후 요소들(일평균기온, 일 최고기온, 일평균상대습도, 일 최저상대습도, 강수량, 일조시간, 일평균풍속)을 평가한다. TCI는 하부지수(sub-index)인 5가지 기후 지수들—낮 쾌적지수(daytime comfort index) *CID*, 일 쾌적지수(daily comfort index) *CIA*, 강수량 지수 *P*, 일조시간 지수 *S*, 그리고 풍속 지수 *W*—을 종합화함으로써 다음 식과 같이 산출된다:

$$TCI=2[(4 \times CID)+CIA+(2 \times P)+(2 \times S)+W] \quad (1)$$

이 하부지수들은 Table 1과 같이 Amelung *et al.* (2007)의 배점 체계(rating system)에 따라 각 기후 요소들을 평가하여 최대 5점에서 최소 -3점을 배점하며, 각 하부지수에 곱해진 숫자는 TCI에 대한 가중치를 의미한다. 즉, TCI에 대해 *CID*는 40%, *P*와 *S*는 각각 20%, *CIA*와 *W*는 각각 10%의 가중치를 갖는다. 관광하기에 가장 쾌적한 기후조건인

Table 1. Rating system for the sub-indices of tourism climatic index (modified Amelung *et al.*, 2007).

Score	CID/CIA	P	S	W			
	Apparent Temperature (°C)	Precipitation (mm/month)	Sunshine duation (hours/day)	Normal	Trade	Hot	Cold
				Wind speed (km/hr)			WCT (°C)
5.0	20~27	0.0~14.9	>10	< 2.88	12.24~19.79		
4.5	19~20 27~28	15.0~29.9	9~10	2.88~5.75			
4.0	18~19 28~29	30.0~44.9	8~9	5.76~9.03	9.04~12.23 19.80~24.29		
3.5	17~18	45.0~59.9	7~8	9.04~12.23			
3.0	15~17	60.0~74.9	6~7	12.24~19.79	5.76~9.03 24.30~28.79		
2.5	10~15	75.0~89.9	5~6	19.80~24.29	2.88~5.75		
2.0	5~10	90.0~104.9	4~5	24.30~28.79	< 2.88 28.80~38.52	< 2.88	
1.5	0~5	105.0~119.9	3~4	24.30~28.79		2.88~5.75	
1.0	-5~0	120.0~134.9	2~3	28.80~38.52		5.76~9.03	> -2
0.5		135.0~149.9	1~2			9.04~12.23	-11~-2
0.25							
0.0	-10~-5	> 150.0	< 1	> 38.52	> 38.52	> 12.24	≤ 11
-1.0	-15~-10						
-2.0	-20~-15						
-3.0	< -20						

경우 5개 하부지수들은 각각 5점을 부여받아 TCI가 100점 만점이 되며, 최악의 경우 -30점이 된다. 이렇게 산출된 TCI는 Mieczkowski(1985)가 제시한 관광 활동 적합도 평가표(Table 2)에 의해 해당 지역에서의 관광 활동의 적합성 및 쾌적성을 평가할 수 있다.

CID와 CIA는 열적 쾌적도로서 전통적으로는 기온과 상대습도의 함수인 유효온도(effective temperature, *ET*)에 근거하여 산출되었으나, *ET*보다 체감온도(apparent temperature, *AT*)를 사용하는 것이 더 적절하다고 주장한 최근 Scott *et al.*(2004)과 Perch-Nielsen *et al.*(2010)의 주장을 받아들여 이 연구에서는 CID와 CIA를 계산하기 위해 다음 식

Table 2. Rating categories of the tourism climatic index (Mieczkowski, 1985).

Range of TCI score	Condition
90 - 100	Ideal
80 - 89	Excellent
70 - 79	Very good
60 - 69	Good
50 - 59	Acceptable
40 - 49	Marginal
30 - 39	Unfavourable
20 - 29	Very unfavourable
10 - 19	Extremely unfavourable
< 10	Impossible

으로 주어지는 AT를 사용하였다:

$$AT = -1.3 + 0.92 \times T + 2.2 \times e \quad (2)$$

이 식은 Steadman(1984)에 의해 고안된 경험식으로서 기온 $T(^{\circ}\text{C})$ 와 수증기압 $e(\text{kPa})$ 에 의해 AT가 계산된다. CID를 산출하기 위해서는 최고기온, CIA를 산출하기 위해서는 평균기온을 $T_{\text{값}}$ 으로 사용한다.

W 는 Perch-Nielsen *et al.*(2010)에 따라 Table 3과 같이 평균기온(T)과 평균풍속(V)에 대해 4가지 상태로 구분한다. 여기서 T 와 V 의 단위는 각각 $^{\circ}\text{C}$, km/hr이다. 단, 추움(cold) 상태인 경우 풍속을 대신하여 Osczevski and Bluestein(2005)이 고안한 풍속냉각 상당온도(wind chill equivalent temperature, WCT)를 평가하게 되는데, 이 WCT는 우리나라 기상청에서 제공하는 겨울철 체감온도와 같다:

$$WCT = 13.12 + 0.6215T - 11.35V^{0.16} + 0.3965TV^{0.16} \quad (3)$$

월별 TCI를 얻기 위해 7개 기후 요소의 월 평균값(단, 강수량은 월 누적값)들을 사용하여 TCI를 산출하였으며, 상세 분석은 영서지역, 영동지역, 고산지역을 대표할 수 있는 몇몇 지점을 선택하여 이루어졌다. 이렇게 산출된 TCI에 대해 먼

저 평균 연변화를 분석하였다. TCI의 평균 연변화는 지역마다 유형의 특징이 각기 다르게 나타나는 데, Scott *et al.*(2004)은 이러한 TCI의 연변화 유형의 특징을 6개 유형—최적형(optimal), 어려움형(poor), 여름피크형(summer peak), 겨울피크형(winter peak), 양봉피크형(bi-modal peak), 그리고 건기피크형(dry season peak)—으로 나누었다. 평균 연변화와 더불어 장기변화 추세를 분석하여 계절적 특징과 미래 전망을 살펴보았으며, 21세기 초반과 후반에서의 TCI의 공간 분포를 분석하여 지역적 특징과 그 변화를 전망하였다. 또한 TCI의 미래 변화에 대한 추세를 이해하기 위해 어떤 기후 인자의 영향이 지배적인 파악하는 원인분석을 수행하였다. 그 방법으로는 TCI를 이루는 각 하부지수들의 추세를 분석하여 그 기여도를 분석하는 것으로 다음의 식을 통해 기여도를 산출할 수 있다:

$$X_{\text{cont}} = \frac{X_w \times X_a}{4CID_a + CIA_a + 2P_a + 2S_a + W_a} \times 100 \quad (4)$$

여기서 X_{cont} 는 파악하고자 하는 하부지수(X)의 기여도를 의미하며, 첨자 a 는 각 하부지수의 변화 추세에 대한 기율기, 각 하부지수에 곱해진 숫자는 식 (1)에서 제시된 TCI에 대한 가중치를 의미한다. X_w 는 파악하고자 하는 하부지수(X)의 가중치를 의미하며, CID의 기여도를 파악하고자 할 경우 X_w 는 4가 되고 CIA의 기여도를 파악하고자 할 경우 X_w 는 1이 되는 식이다. 단, 각 항들이 전부 0일 경우와 TCI의 추세가 0일 경우에 기여도 분석이 무의미하다. 하부지수의 추세가 TCI의 추세와 같은 방향의 부호를 갖는 경우 순기여도, TCI의 추세와 반대 부호를 갖는 경우 역기여도가 나타나며, 역기여의 경우 하부지수의 영향이 TCI의 추세를 줄이는 데 기여함을 의미한다.

Table 3. Condition table for W (Perch-Nielsen *et al.*, 2010).

Category	Condition
Normal	$5^{\circ}\text{C} \leq T < 24^{\circ}\text{C}$ or $T < 5^{\circ}\text{C}$, $V < 5\text{km/h}$
Trade	$24^{\circ}\text{C} \leq T < 33^{\circ}\text{C}$
Hot	$T \geq 33^{\circ}\text{C}$
Cold	$T < 5^{\circ}\text{C}$, $V \geq 5\text{km/h}$

2) 자료

계산된 TCI를 분석하기 위해 강원도 영동 지역을 대표하는 강릉, 영서 지역을 대표하는 춘천과 원주, 고산지형을 대표하는 대관령을 대상으로 가용한 관측 기간 동안의 일평균 기상 자료와 RCP 시나리오 2종(RCP4.5 및 RCP8.5) 하에서 전망된 한반도 전망자료(HadGEM3-RA)를 사용하였다. 관측 자료의 기간은 Table 4와 같이 각 지점별 관측 개시년도로부터 2010년까지이며, TCI의 월별 평년값을 분석하기 위해 1971–2000년 기간에 대한 평균값을 분석하였다. 단, 관측 개시년도가 1971년 이후인 지점에 대해서는 관측 개시년도로부터 30년을 평년 기간으로 삼았다. 한반도 전망자료는 한반도 영역에 대해 12.5km의 공간 해상도를 가지며, 2011–2100년의 90년 기간에 대한 일자료를 분석하였다. 미래 TCI의 월별 평년값에 대해서는 2071–2100년 기간의 30년 평균값을 사용하였다. 분석 요소는 일평균기온, 일 최고기온, 일 평균상대습도, 일 최저상대습도, 일평균운량, 일 강수량, 일평균일조시간, 그리고 풍속 등 8개 요소이다. 여기서, 한반도 전망자료는 일조시간을 제공하지 않기 때문에 Lim and Chung(2013)에 의해 개발된 운량 정보 기반 일조시간 산출 방법에 따른 일조시간을 처방하였다. 단, TCI의 공간분포 분석에는 자료 가용의 한계로 인해 Scott *et al.*(2004)이 사용한 방법을 따라 관측된 일조시간의 월별 평년값을 처방하였다. 간접적으로 얻은 일조시간으

로부터 산출된 TCI의 해석에 각별한 주의가 필요하며, 보다 정확한 미래 TCI를 분석하기 위해 더 많은 연구가 필요한 단계이다. 한반도 전망자료의 지점별 TCI의 분석은 해당 지점의 위·경도 정보로부터 통계적 내삽 방법을 이용하여 지점 값을 추출하여 수행하였다.

3. 결과

1) TCI의 평균 연변화

TCI의 미래 변화 추세를 분석하기에 앞서 먼저 평균 연변화를 분석하였다. Figure 1은 영서지역인 원주와 춘천, 영동지역인 강릉, 그리고 고산지역인 대관령의 4개 지점에 대하여 관측(a)된 TCI의 연변화와 RCP4.5(b) 및 RCP8.5(c) 시나리오 하에서 전망된 21세기 후반(2071–2100년) TCI의 연변화를 나타낸 것이다. 관측된 원주, 춘천, 그리고 강릉 지역의 TCI는 대체로 40~80의 범위에서 연변화를 보이며, 봄(5월)과 가을(9월)에 최대를 보이고 여름(7–8월)과 겨울(12–1월) 최소를 보인다. 반면에, 관측된 대관령 지역의 TCI의 연변화는 여름(6–8월)에 최대가 나타나고 겨울(12–2월)에 최소가 나타나면서 타 지역과 차별적인 모습을 보인다. Scott *et al.*(2004)의 TCI 연변화 유형 구분법에 따르면, 원주, 춘천, 강릉의 TCI의 연변화 유형은 양봉피크형에 해당하며, 대관령의 TCI

Table 4. List of the observation stations in Gangwon region selected for this study.

Station	Location	Beginning of observation	Observation period (years)	Normal period
Wonju	37° 20' N, 127° 56' E	1973	38	1973–2002
Chuncheon	37° 54' N, 127° 44' E	1966	45	1971–2000
Daegwallyeong	37° 40' N, 128° 43' E	1972	39	1972–2001
Gangneung	37° 45' N, 128° 53' E	1912	99	1971–2000

Figure 1. Mean annual cycles of TCI at Wonju, Chuncheon, Daegwallyeong, and Gangneung.
(a) Observation, (b) RCP4.5, (c) RCP8.5.

의 연변화 유형은 여름피크형에 해당된다. 21세기 후반의 강릉, 원주, 춘천 지역의 TCI 연변화는 관측과 동일한 양봉피크형으로 유형의 변화는 나타나지 않지만 여름철의 감소가 나타나면서 유형의 크기에 변화를 보였다. 특히 RCP4.5 시나리오보다 RCP8.5 시나리오에서 뚜렷한 변화를 보이는 데, RCP8.5 시나리오에서 전망된 세 지점의 여름철(7-8월) TCI는 모두 40 이하로 Table 2의 카테고리 분류에 따라 '나쁨(Unfavourable)'의 상태까지 쾌적도가 하락하였다. 이러한 TCI의 미래 변화는 대관령의 연변화 유형 변화에도 큰 영향을 미

친다. RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 대관령의 TCI는 여름철을 제외한 나머지 계절에서 크게 증가하여 상대적으로 여름철 TCI가 주변의 봄철 및 가을철보다 작게 나타나면서 양봉피크형의 연변화 유형으로 변화하였다. RCP8.5 시나리오에서는 대관령의 여름철 TCI가 큰 폭으로 감소하면서 더욱 두드러진 양봉피크형의 유형을 보이고 있다. 이는 미래의 대관령은 관광 활동에 있어 여름철 고산지대의 기후 특징이 사라지고 영동·영서 지역의 기후대로 변화함을 시사한다.

2) 월별 TCI의 공간적 패턴 변화 전망

강원지역 미래 TCI의 공간적인 분포의 특징을 살펴보기 위해 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 21세기 초반 10년(2011-2020년)과 21세기 후반 10년(2091-2100년) 월 평균 TCI의 공간 분포도를 분석하였다. 또한, 21세기 후반과 초반의 TCI의 차이를 통해 TCI의 공간 분포의 미래 변화를 살펴보았다. Figure 2는 RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 TCI의 21세기 초반 10년 월 평균 공간분포도이다. 겨울철에 해당하는 12월, 1월, 2월의 TCI는 태백산맥을 중심으로 최소가 나타나며, 특히 1월에 '매우 나쁨(20-29)'으로 가장 낮게 나타난다. 3월로 갈수록 TCI는 전 지역에 걸쳐 '중지도 나쁘지도 않음(40-49)'의 상태까지 점차 증가하지만 태백산맥 중심에서 TCI가 최소가 나타나는 현상은 동일하다. 4월의 TCI는 대부분 지역에서 '괜찮음(50-59)' 상태를 보이고 영서지역보다 태백산맥의 산악지역을 포함한 영동 지역에서 조금 더 낮게 나타나는 것이 특징이다. 5월의 TCI는 여전히 태백산맥 중심에서 최소가 나타나긴 하지만 전체적으로 ' 좋음(60-69)' 이상을 보이고 특히 영서 지역은 '매우 좋음(70-79)'으로 타 지역보다 쾌적도가 높게 나타난다. 6월의 TCI는 영서 지역의 일부 서쪽 지역에서 5월보다 다소 작게 나타

Figure 2. Projected distribution of monthly TCI for the first decade(2011-2020) of the 21st century in Gangwon region under the RCP4.5 scenario.

나지만 태백산맥의 산악지역을 포함한 대부분의 지역에서 ‘매우 좋음’을 보이면서 대체로 관광하기 쾌적한 상태를 나타내고 있다. 7월부터 TCI는 다시 감소하여 영서 지역을 중심으로 가장 크게 감

소하는 것으로 전망되었다. 그리고 태백산맥에서 TCI의 최소를 보였던 다른 계절과 달리 ‘ 좋음’ 범위의 최대가 나타난다. 8월의 TCI 또한 태백 산맥을 중심으로 최대가 나타나며 7월보다 더 높은 값

Figure 3. Same as Figure 2 except for the last decade(2091-2100).

을 보이고 있다. 가을이 시작되는 9월의 TCI는 6월과 마찬가지로 강원도 전체 지역에 대해서 관광하기 쾌적한 상태로 전망되었다. 그러한 상태는 10월까지 지속되다가 11월부터 태백산맥을 중심으로 다시 TCI가 감소하는 것으로 나타났다. 즉,

RCP4.5 시나리오에서 전망된 21세기 초반의 관광활동의 쾌적도는 겨울철 태백산맥을 중심으로 가장 낮게 나타나고, 5월과 6월, 9월, 그리고 10월에 강원도 지역 대체로 쾌적한 상태로 전망되었다.

Figure 3은 RCP4.5 시나리오 하에서 전망된

TCI의 21세기 후반 10년 월 평균 공간분포도를 나타낸 그림이다. 겨울철에 해당하는 1월과 2월, 그리고 12월의 TCI는 태백산맥의 중심에서 최소가 나타나는 21세기 초반 10년 월 평균된 TCI과 동일한 지역적 특징을 보이고 있다. 21세기 후반 1월의 TCI는 태백산맥 중심에서 약 30-36(나쁨)을 보이며 21세기 초반 약 24-28(매우 나쁨)을 보인 것에 비해 다소 높아진 것을 확인할 수 있다. 2월의 TCI 또한 21세기 초반에 비해 21세기 후반에 높게 전망되었다. 3월의 TCI는 강원 지역 대부분 '좋지도 나쁘지도 않음'을 보이고 영서 지역의 일부에서 '괜찮음'을 보이기도 한다. 4월의 TCI는 3월의 TCI보다 10정도 증가하여 대부분 지역에서 '괜찮음'이 나타난다. 5월부터는 태백산맥 중심 지역의 일부를 제외한 나머지 지역에서 관광하기 '매우 좋음' 상태를 보인다. 여름이 시작되는 6월의 TCI는 5월에 비해 태백산맥 중심 지역의 TCI는 다소 증가하고, 영동 지역과 영서 지역은 감소하는 것으로 나타나며, 특히 영서 지역이 영동 지역보다 비해 감소가 뚜렷하게 나타난다. 7월과 8월의 TCI는 6월에 비해 뚜렷하게 작은 값을 보이나, 태백산맥 중심 지역으로 갈수록 TCI는 크게 높아지며 최대를 보이고 있다. 가을철인 9월부터 전 지역에 걸쳐 TCI가 '매우 좋음'으로 단계가 상승하지만 10월부터 태백산맥을 중심으로 서서히 다시 감소하여 12월까지 계속된다. 즉, 21세기 후반의 TCI는 21세기 초반에 비해 태백산맥을 중심으로 더욱 뚜렷한 지역적 특징을 보이며, 7월과 8월을 비롯한 6월에서도 태백산맥 중심 지역이 다른 지역에 비해 뚜렷하게 높은 값을 보인다. 21세기 초반과 같이 5월과 6월, 9월 그리고 10월에 비교적 관광하기 쾌적하고, 겨울철과 여름철에 관광하기 불쾌한 기후 조건이 나타나는 것으로 전망되었다. RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 21세기 강원 지역 TCI의 미래 분포 변화를 살펴보기 위해 Figure 4와 같이 21세

기 후반 10년과 21세기 초반 10년의 차이를 분석하였다. 1-4월의 TCI는 21세기 후반으로 갈수록 영서 지역의 일부에서 약한 감소를 보이기도 하지만 전반적으로 약한 증가를 보인다. 5월의 TCI는 태백산맥 산악 지역과 영동 지역에서 약한 증가가 나타나지만 영서 지역에서 반대로 약한 감소가 나타나는 특징을 보인다. 21세기 후반으로 갈수록 여름철 TCI는 6월에 태백산맥을 중심으로 나타나는 약한 증가를 제외하면 전체적으로 감소하고, 그 감소의 정도는 7월부터 8월까지 점차 뚜렷하게 나타나는데 영동 지역보다 영서 지역에서 더 지배적으로 나타난다. 9월부터 태백산맥을 중심으로 약한 TCI의 증가가 다시 나타나다가 10-12월에 걸쳐 강원도 전 지역의 TCI가 증가하는 것으로 전망되었다. 즉, 21세기 후반으로 갈수록 6-9월은 태백산맥의 중심 지역을 제외한 나머지 지역에 대하여 관광하기 점차 불쾌해지며, 특히 영서 지역에서 8월의 기후 조건이 관광하는 데 가장 불리해짐을 의미한다. 반면, 나머지 계절은 5월의 영서 지역을 제외하면 강원도 전 지역에 대하여 점차 쾌적한 기후 조건이 됨을 의미한다.

Figure 5와 Figure 6은 강원도 지역의 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 TCI의 21세기 초반 10년(2011-2020년)과 후반 10년(2091-2100년) 월 평균 공간분포도이다. 21세기 초반 TCI는 6월과 10월을 제외하고 태백산맥을 중심으로 지역적 차이가 뚜렷하게 나타난다. 1월부터 5월까지 태백산맥 중심 지역에서 TCI가 최소가 나타나며, 5월로 갈수록 TCI는 '매우 나쁨-나쁨'에서 ' 좋음-매우 좋음'까지 쾌적도의 단계가 상승하는 것으로 나타난다. 6월의 TCI는 대부분 강원도 지역에서 70이상으로 관광하기 '매우 좋음'에 해당하는 기후 조건을 보인다. 7월부터 8월까지 TCI는 점차 감소하며 영서 지역에서 뚜렷한 감소를 보이고, 태백산맥 중심 지역의 TCI가 ' 좋음'으로 영동 지역과 영서

Figure 4. Difference fields of monthly TCI between the last decade(2091-2100) and the first decade(2011-2020) of the 21st century in Gangwon region under the RCP4.5 scenario.

지역에 비해 높게 나타난다. 즉, RCP4.5 시나리오와 마찬가지로 여름철 관광 활동은 태백산맥의 산악 지역이 다른 지역보다 관광활동을 하는데 기후 조건에 있어 유리함을 의미한다. TCI는 9월에 다

시 전 지역에 걸쳐 증가하고 영서 지역이 다른 지역에 비해 증가 정도가 더 큰 것으로 나타난다. 10월의 TCI는 9월보다 소폭 감소하지만 ‘괜찮음- 좋음’으로 관광하기 알맞은 기후 조건이다. 11-12월

Figure 5. Projected distribution of monthly TCI for the first decade(2011-2020) of the 21st Century in Gangwon region under the RCP8.5 scenario.

까지 TCI는 계속 감소하면서 태백산맥을 중심으로 다시 최소가 나타나며, 12월에 태백산맥의 중심 지역은 '매우 나쁨'으로 관광활동에 불리한 기후 조건을 보인다. 21세기 후반 TCI는 21세기 초

반 10년에 비해 더욱 뚜렷한 지역적 차이가 나타난다. 겨울철(12, 1, 2월) TCI는 태백산맥을 중심으로 최소가 나타나며 21세기 초반에 비해 증가하는 것으로 나타난다. 3월과 4월에서도 태백산맥에서

Figure 6. Same as Figure 5 except for the last decade(2091-2100).

TCI가 최소로 나타나는 현상은 유지되며, 4월부터 영동 지역과 영서 지역 일부에서 TCI가 ‘매우 좋음’을 보인다. 5월의 TCI는 21세기 초반과 달리 태백산맥을 중심으로 최대가 나타나며 대부분 지

역에서 ‘매우 좋음’을 보인다. 그러나 6월의 TCI는 21세기 초반에 비해 작게 나타나고 태백산맥 중심 지역을 제외한 영동 지역과 영서 지역에서 뚜렷한 감소를 확인할 수 있다. 또한, 태백산맥 중심 지역

으로 갈수록 TCI의 급격한 변화가 나타난다. 7-8월의 TCI는 21세기 초반에 비해 확연히 작게 나타나고 태백산맥 중심 지역이 영동 지역과 영서 지역에 비해 TCI가 크게 나타나지만 그 중심값이 21세기 초반의 '좋은'에서 '좋지도 나쁘지도 않음'으로 2단계 하락하였다. 특히, 영서 지역의 TCI가 다른 지역에 비해 최소로 나타난다. 이는 다른 지역에 비해 비교적 관광활동에 좋은 기후 조건을 보였던 태백산맥의 산악지역도 21세기 후반으로 갈수록 피서지로서의 매력도가 낮아짐을 의미한다. 9월부터는 태백산맥을 중심으로 TCI가 점차 증가하고, 태백산맥 중심 지역에 TCI의 최소가 나타나는 21세기 초반과 달리 TCI의 최대가 나타나는 특징을 보인다. 10월의 TCI는 21세기 초반에 비해 태백산맥을 제외하고 높게 나타나며, 영서 지역의 일부는 '훌륭함'에 해당한다. 11-12월로 갈수록 TCI는 점차 감소하고 태백산맥 중심으로 최소가 나타나나 21세기 초반에 비해 증가하는 것으로 나타난다. 즉, 21세기 후반의 관광 활동은 여름에 취약해지며 겨울에 기후 조건이 다소 유리해짐을 의미한다. Figure 7은 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 21세기 후반 10년과 초반 10년간의 TCI의 차이에 대한 분포이다. 6-9월을 제외한 나머지 달은 강원도 전 지역에서 TCI가 증가하고, 특히 4월과 10월에 태백산맥을 제외한 영동 지역과 영서 지역, 5월에 태백산맥을 중심 지역에서 가장 크게 증가하는 것으로 나타난다. 6-9월의 TCI는 9월의 태백산맥 중심 지역을 제외한 나머지 지역에서 강한 감소를 보이고 영동 지역보다 영서 지역에서 지배적이다. 이는 RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 21세기 후반과 초반의 TCI 차이보다 더욱 뚜렷한 차이를 보인다. 즉, 저배출 시나리오보다 고배출 시나리오에서의 여름철 관광활동은 강원도 전 지역의 관광 활동을 하는데 있어 기후 조건이 더욱 불리해지는 부정적인 효과가 나타나고, 겨울철 관광 활동

은 태백산맥을 중심으로 강원도 전 지역의 기후 조건이 유리해지는 비교적 긍정적인 효과가 나타남을 의미한다.

3) 21세기 월별 TCI의 변화 추세

Table 5는 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 강릉, 대관령, 원주, 그리고 춘천 지역에 대하여 2011-2100년 기간의 월별 TCI의 변화 추세를 나타낸 것이다. 대관령을 제외한 강릉, 원주, 춘천 지역은 두 시나리오 하에서 전망된 6-9월에 공통적인 TCI의 감소추세를 보이며, 대관령의 경우 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 9월의 TCI가 10년당 +1.08울로 다른 지역과 반대 추세를 보이는 것을 제외하면 6-8월에 감소 추세를 보인다. 이 감소 추세는 RCP4.5 시나리오보다 RCP8.5 시나리오에서 더 뚜렷하게 나타난다. 나머지 달에 대해서는 대부분 증가 추세를 보이며, 특히 온난화 영향으로 대체로 추운 계절에는 증가 추세가 나타난다. RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 춘천의 TCI를 제외한 나머지 지역은 두 시나리오 모두 10월의 TCI가 가장 크게 증가하는 것으로 전망되었다. 이는 21세기 후반으로 갈수록 여름철을 포함한 6-9월에 야외 관광 활동이 기후변화에 취약해질 것을 의미하고, 10월을 포함한 나머지 달에 대해 야외 관광 활동이 쾌적해질 것을 의미한다. 지역적·계절적 편차가 크지만 몇 경우를 제외하고는 RCP4.5 시나리오보다 RCP8.5 시나리오에서 약 2-3배의 증가(감소) 추세를 보이며, RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 원주와 춘천의 4월 TCI가 다른 지역에 비해 큰 증가 추세를 보이는 것이 특징이다.

4) 미래 TCI 변화에 영향을 미치는 기후요소들

TCI의 미래 변화 추세의 원인을 분석하기 위해 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 강원

Figure 7. Difference fields of monthly TCI between the last decade(2091-2100) and the first decade(2011-2020) of the 21st century in Gangwon region under the RCP8.5 scenario.

Table 5. Long term trends (in decade⁻¹) of monthly TCI at Gangneung, Daegwallyeong, Wonju, and Chuncheon under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios (2011-2100). Values are statistically significant at a 95% confidence level except values with asterisk (*).

	Gangneung		Daegwallyeong		Wonju		Chuncheon	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Jan	+0.32*	+1.10	+0.26*	+1.19	+0.14*	+0.72	+0.06*	+0.54
Feb	+0.43*	+0.33*	+0.61	+0.03*	+0.06*	-0.09*	+0.11*	-0.15*
Mar	+0.32*	+0.84	+0.34*	+0.64	+0.13*	+0.46*	0.00*	+0.32*
Apr	+0.62*	+1.67	+0.01*	+1.14	+0.32*	+2.21	+0.43*	+2.24
May	+0.74	+1.35	+0.85	+2.10	+0.30*	+1.30	+0.17*	+0.62*
Jun	-0.48	-1.80	-0.12*	-0.70	-0.82	-3.36	-1.22	-3.95
Jul	-1.61	-3.93	-1.07	-3.02	-1.70	-3.49	-1.69	-3.32
Aug	-1.85	-4.21	-0.76	-2.65	-2.38	-3.74	-2.16	-3.11
Sep	-0.55*	-1.10	-0.02*	+1.08	-0.41*	-2.09	-1.21	-3.83
Oct	+1.59	+2.95	+0.88	+2.41	+1.43	+2.40	+1.61	+1.50
Nov	+0.23*	+0.98	+0.18*	+0.96	+0.28*	+0.62	+0.17*	+0.58
Dec	+0.66*	+1.18	+0.53*	+1.08	+0.20*	+0.59	+0.22*	+0.63

도 4개 지역의 TCI를 대상으로 하여 각 하부지수가 TCI에 기여하는 정도를 분석하였다. Figure 8은 RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 강릉 지역의 TCI 중 가장 큰 감소 추세를 보였던 8월의 TCI와 하부지수 *CID*, *CIA*, *P*, *S*, 그리고 *W*의 변화 및 추세를 나타낸 그림이다. *TCI*, *CID*, *CIA*, *P*, *S*, 그리고 *W*의 10년당 변화율은 각각 -1.85, -0.16, -0.08, -0.01, +0.03, -0.25로 *S*를 제외한 나머지 하부지수들은 TCI와 같이 대체로 감소하는 추세를 보이는 반면 *S*는 반대의 증가 추세를 보인다. 각 하부지수들이 TCI 변화에 미치는 기여도는 *CID*(68.82%), *W*(26.88%), *CIA*(8.60%), 그리고 *P*(2.15%) 순으로 양의 기여를 하였고, *S*(-6.45%)는 음의 기여를 하였다. 즉, RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 강릉 지역 8월의 TCI의 변화는 *W*의 변화 추세가 다른 하부지수의 변화 추세보다 큼에도 불구하고 *CID*의 변화에 기인한다. 이는 21세기 후반으로 갈수록 관광 활동은 열적불쾌도에 의해 불리한 기후 조건이 됨을 의미한다. 그리고 일조

시간은 기여도가 -6.90%로 TCI의 감소 추세를 조금 완만하게 만드는 역할을 하는 반면, 강수량은 TCI의 변화 추세에 거의 기여를 하지 않는데, 8월의 경우 월 강수량이 150mm 이상인 경우가 많아 거의 대부분의 *P*가 Table 1의 배점 기준에 의해 0점에 해당하여 추세에 영향을 주지 않는 것으로 사료된다. Figure 9는 RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 강릉 지역 10월의 TCI와 하부지수 *CID*, *CIA*, *P*, *S*, 그리고 *W*의 변화 및 추세를 나타낸 그림이다. *TCI*, *CID*, *CIA*, *P*, *S*, 그리고 *W*의 10년당 변화율은 각각 +1.59, +0.14, +0.06, +0.07, +0.01, 0.00으로 *W*를 제외한 나머지 지수는 TCI와 같은 증가 추세를 보인다. 반면, *W*는 2017년을 제외한 나머지 해에 모두 5점 만점으로 추세가 거의 나타나지 않았다. 각 하부지수들이 TCI 변화에 미치는 기여도는 *CID*(71.79%), *P*(17.95%), *CIA*(7.69%), *S*(2.56%), 그리고 *W*(0.00%) 순으로 높았다. 즉, RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 강릉 지역 10월의 TCI의 변화에 *CID*의 변화가 가장 큰 기여를

Figure 8. Changes of TCI, CID, CIA, P, S, and W for August at Gangneung under the RCP4.5 scenario (2011-2100).

Figure 9. Same as Figure 8 except for October.

하고, *CID*와 *P*의 장기 변화 추세로 *TCI*의 추세를 약 89% 이상 설명할 수 있다. 이는 21세기 후반으로 갈수록 관광활동의 쾌적함이 열적으로 가장 유리해짐을 의미한다. 8월에 비해 10월의 강수량은 *TCI*의 변화에 기여하는 정도가 비교적 높게 나타났다고, 이는 강수량이 적어짐에 따라 관광활동이 쾌적해짐을 의미한다. 시나리오 별 모든 달에 대한 *TCI*의 미래 변화 추세의 원인을 분석하기 위해 Table 6과 같이 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 강릉 지역 *TCI*의 월별 변화 추세와 하부지수 *CID*, *CIA*, *P*, *S*, 그리고 *W*의 월별 변화 추세를 정리하였다. RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 강릉 지역 *TCI*의 변화는 2월, 6월, 9월, 그리고 12월을 제외한 나머지 달에 대하여 *CID*의 변화가 가장 크게 기여하는 것으로 나타나고 2월, 6월, 9월, 그리고 12월의 *TCI*의 변화는 *P*와 *S*의 변화에 의존하는 것으로 나타난다. 특히, 9월의 *TCI*의 변화 추세의 경우 *CID*의 변화에 대한 기여는 전혀 없는 것으로 나타나며, *P*의 변화에 대한 기여도가

약 78.57%로 가장 높게 나타난다. *W*의 변화는 다른 지수들에 비해 비교적 기여 정도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 *TCI*를 계산하는 데 풍속의 가중치가 작고, 강릉지역의 풍속이 미래에도 변화가 거의 나타나지 않는 이유로 사료된다. RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 강릉 지역 *TCI*의 변화는 5월을 제외한 나머지 달에 대하여 RCP4.5 시나리오와 마찬가지로 *CID*의 변화가 가장 큰 기여를 하는 것으로 나타났고, 5월의 *TCI*의 변화는 *CIA*의 변화의 기여가 가장 크지만 나머지 하부지수들 또한 고르게 기여하는 것으로 나타났다.

강릉 지역뿐 아니라 나머지 3개 지점에 대해서도 *TCI*의 미래 변화에 대한 원인 분석을 수행하였다. Table 7은 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 대관령 지역의 *TCI*의 월별 변화 추세와 하부지수 *CID*, *CIA*, *P*, *S*, 그리고 *W*의 월별 변화 추세를 나타낸 표이다. 감소 추세가 가장 크게 나타난 RCP4.5 시나리오 하에서의 8월과 RCP8.5 시나리오 하에서의 7월의 *TCI* 변화에

Table 6. Long term trends (in decade⁻¹) of monthly *TCI*, *CID*, *CIA*, *P*, *S*, and *W* at Gangneung under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios (2011-2100). * and ** indicate the values are statistically significant at the 90% and 95% confidence levels, respectively.

M	RCP4,5						RCP8,5					
	<i>TCI</i>	<i>CID</i>	<i>CIA</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>TCI</i>	<i>CID</i>	<i>CIA</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>W</i>
Jan	+0.32	+0.03**	+0.04**	-0.01	+0.01	-0.01	+1.19**	+0.07**	+0.10**	+0.04	+0.04*	0.00
Feb	+0.43	+0.02**	+0.04**	+0.04	+0.01	0.00	+0.03	+0.10**	+0.10**	-0.15**	-0.02	+0.01
Mar	+0.32	+0.02**	+0.02**	+0.02	+0.02	-0.01	+0.64**	+0.07**	+0.07**	0.00	+0.03	0.00
Apr	+0.62*	+0.05**	+0.03**	+0.02	+0.02	+0.01**	+1.14**	+0.18**	+0.06**	+0.01	+0.03	0.00
May	+0.74**	+0.04**	+0.10**	-0.01	+0.07*	0.00	+2.10**	+0.04**	+0.23**	+0.05	+0.08*	0.00
Jun	-0.48**	-0.02**	+0.02**	-0.02	-0.06**	0.00	-0.70**	-0.15**	+0.01	-0.08	+0.05	-0.22**
Jul	-1.61**	-0.11**	-0.05**	-0.05	-0.03	-0.14**	-3.02**	-0.32**	-0.25**	-0.09**	+0.03	-0.31**
Aug	-1.85**	-0.16**	-0.08**	-0.01	+0.03	-0.25**	-2.65**	-0.38**	-0.32**	-0.01	+0.06	-0.36**
Sep	-0.55*	0.00	+0.04**	-0.11*	-0.05	0.00	+1.08**	-0.11**	+0.01*	-0.03	+0.05*	-0.15**
Oct	+1.59**	+0.14**	+0.06**	+0.07	0.01	0.00	+2.41**	+0.25**	+0.24**	+0.09	+0.02	+0.01*
Nov	+0.23	+0.04**	+0.02**	-0.01	-0.02	0.00	+0.96**	+0.07**	+0.08**	+0.04	+0.02	0.00
Dec	+0.66*	+0.02**	+0.01	+0.07	+0.04**	-0.01	+1.08**	+0.07**	+0.06**	+0.08	+0.03	+0.02**

*CID*의 변화가 각각 77.78%, 66.67%의 기여도로 가장 높게 기여하는 것으로 나타났으며, *P*와 *W*의 변화의 기여도가 나머지를 차지하였다. 증가 추세가 가장 크게 나타난 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오 하에서의 10월의 TCI 변화 또한 *CID*의 변화가 각각 62.22%, 80.00%로 높은 기여도를 보였다. RCP4.5 시나리오 하에서의 2월, 6월, 그리고 12월과 RCP8.5 시나리오 하에서의 2월과 9월에 대한 TCI의 변화는 *CIA*, *P*, *S*의 변화에 의해 설명이 가능하며, 그 나머지 달에 대한 TCI의 변화는 대부분 *CID*의 변화에 의해 설명이 가능하다. 즉, 산악 지역에 해당하는 대관령 지역의 TCI의 변화는 대부분 열적패적도의 변화에 의해 의존하는 것으로 나타났다.

Table 8과 Table 9는 각각 영서 지역인 원주와 춘천 지역에서의 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 TCI의 월별 변화 추세와 부지수 *CID*, *CIA*, *P*, *S*, 그리고 *W*의 월별 변화 추세를 나타낸 표이다. RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 영서지역의 TCI가 감소하는 추세를 보

이는 6-9월에 대하여 다른 달에 비해 *W*의 변화 추세가 뚜렷하게 나타나며, RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 원주 지역 9월의 TCI의 변화를 제외하면 *CID*의 변화가 TCI의 감소 추세에 가장 크게 기여하는 것으로 나타났다. RCP4.5 시나리오 하에서의 춘천지역 1월, 2월, 5월, 그리고 9월의 TCI 변화는 *CID*의 변화 외에 *CIA*, *P*, *S*의 변화가 크게 기여하는 것으로 나타났다.

RCP 시나리오에 따른 강원도 4개 지역(강릉, 대관령, 원주, 춘천)에서의 TCI의 미래 변화 추세에 대한 원인을 분석한 결과 미래 TCI의 변화는 주로 *CID*의 변화에 의해 설명이 가능하며, 일부 계절에 대하여 *CIA*, *P*, *S*의 변화가 큰 기여를 하는 것으로 나타났다. 즉, 미래의 관광활동은 열적패적도의 변화에 의존하며, 열적패적도(불패도)는 겨울철(여름철) 관광활동은 열적으로 유리(불리)하게 적용된다.

TCI의 경년변동성에 대한 상관성을 분석하기 위해 Table 10과 같이 RCP4.5 시나리오 하에서 전망된 강릉 지역의 TCI를 대상으로 하여 월 별 TCI

Table 7. Same as Table 6 except for Daegwallyeong.

M	RCP4.5						RCP8.5					
	TCI	CID	CIA	P	S	W	TCI	CID	CIA	P	S	W
Jan	+0.26	+0.03**	+0.08**	-0.04	0.00	-0.01	+1.19**	+0.11**	+0.16**	-0.03	+0.03	-0.01
Feb	+0.61**	+0.03**	+0.07**	+0.06	0.00	0.00	+0.03	+0.09**	+0.19**	-0.21**	-0.03	-0.01
Mar	+0.34	+0.02**	+0.02**	+0.02	+0.01	0.00	+0.64**	+0.06**	+0.07**	-0.05	+0.04*	+0.01
Apr	+0.01	+0.02*	+0.03**	-0.02	-0.01	+0.01	+1.14**	+0.10**	+0.07**	+0.03	+0.03	+0.00
May	+0.85**	+0.07**	+0.05**	-0.02	+0.06	+0.01	+2.10**	+0.12**	+0.22**	+0.08	+0.09**	+0.01
Jun	-0.12	0.00	+0.07**	-0.02	-0.04	0.00	-0.70**	-0.08**	+0.11**	-0.10*	+0.02	+0.00
Jul	-1.07**	-0.07**	+0.01	-0.05	-0.03	-0.11**	-3.02**	-0.25**	-0.11**	-0.08*	+0.03	-0.29**
Aug	-0.76**	-0.07**	+0.01	-0.03	+0.01	-0.05**	-2.65**	-0.28**	-0.09**	+0.07	+0.04	-0.30**
Sep	-0.02	+0.05**	+0.17**	-0.11*	-0.07**	-0.01	+1.08**	+0.04**	+0.26**	+0.02	+0.05	+0.00
Oct	+0.88**	+0.07**	+0.04**	+0.05	+0.01	+0.01**	+2.41**	+0.24**	+0.09**	+0.06	+0.01	+0.01*
Nov	+0.18	+0.02**	+0.03**	0.00	-0.02	0.00	+0.96**	+0.08**	+0.08**	+0.02	+0.02	+0.01
Dec	+0.53*	+0.02	+0.02**	+0.05	+0.04**	-0.01	+1.08**	+0.07**	+0.08**	+0.05	+0.05**	+0.01

Table 8. Same as Table 6 except for Wonju.

M	RCP4,5						RCP8,5					
	TCI	CID	CIA	P	S	W	TCI	CID	CIA	P	S	W
Jan	+0.14	+0.03**	+0.08**	-0.05*	-0.01	0.00	+0.72**	+0.08**	+0.13**	-0.08*	+0.03	0.00
Feb	+0.06	+0.02**	+0.03**	-0.04	0.00	0.00	-0.09	+0.08**	+0.08**	-0.18**	-0.04**	+0.01*
Mar	+0.13	+0.02**	+0.03**	-0.03	+0.01	+0.01**	+0.46*	+0.07**	+0.08**	-0.08	+0.01	0.00
Apr	+0.32	+0.08**	+0.02**	-0.07	-0.02	0.00	+2.21**	+0.23**	+0.06**	+0.03	+0.02	0.00
May	+0.30	+0.01*	+0.11**	-0.07	+0.07*	0.00	+1.30**	-0.01	+0.23**	+0.11*	+0.11**	0.00
Jun	-0.82**	-0.10**	0.00	+0.01	0.00	-0.01	-3.36**	-0.29**	-0.06**	-0.08	+0.02	-0.36**
Jul	-1.70**	-0.14**	-0.09**	+0.01	-0.01	-0.19**	-3.49**	-0.36**	-0.32**	+0.03	+0.08*	-0.19**
Aug	-2.38**	-0.22**	-0.15**	+0.01	+0.01	-0.22**	-3.74**	-0.42**	-0.38**	+0.08	+0.09**	-0.17**
Sep	-0.41	-0.02**	+0.06**	-0.06	-0.03	0.00	-2.09**	-0.25**	+0.02**	0.00	+0.04	-0.17**
Oct	+1.43**	+0.15**	+0.02**	+0.03	+0.02	0.00	+2.40**	+0.24**	+0.16**	+0.02	+0.02	0.00
Nov	+0.28	+0.03**	+0.04**	0.00	-0.02	0.00	+0.62**	+0.08**	+0.07**	-0.06	+0.02	0.00
Dec	+0.20	0.00	+0.01	0.00	+0.04**	0.00	+0.59**	+0.06**	+0.07**	-0.04	+0.04**	0.00

Table 9. Same as Table 6 except for Chuncheon.

M	RCP4,5						RCP8,5					
	TCI	CID	CIA	P	S	W	TCI	CID	CIA	P	S	W
Jan	+0.06	+0.03**	+0.05**	-0.05	-0.02	+0.01	+0.54**	+0.07**	+0.08**	-0.07	+0.02	+0.01
Feb	+0.11	+0.02*	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.15	+0.07**	+0.08**	-0.21**	-0.02	+0.01
Mar	0.00	+0.02	+0.01	-0.06	+0.01	0.00	+0.32	+0.06**	+0.05**	-0.07	+0.01	0.00
Apr	+0.43	+0.12**	+0.01**	-0.10	-0.03	+0.01	+2.24**	+0.23**	+0.08**	+0.05	+0.01	0.00
May	+0.17	0.00	+0.10**	-0.06	+0.05	0.00	+0.62	-0.07**	+0.16**	+0.11*	+0.11**	0.00
Jun	-1.22**	-0.13**	-0.01*	0.02	0.00	-0.15**	-3.95**	-0.35**	-0.13**	-0.04	+0.04	-0.46**
Jul	-1.69**	-0.15**	-0.15**	0.01	-0.01	-0.09**	-3.32**	-0.34**	-0.37**	+0.04	+0.05	-0.10**
Aug	-2.16**	-0.21**	-0.21**	0.02	+0.01	-0.09**	-3.11**	-0.37**	-0.43**	+0.11	+0.10**	-0.06**
Sep	-1.21**	-0.11**	+0.01**	-0.04	-0.03	-0.01	-3.83**	-0.37**	-0.06**	-0.01	+0.03	-0.39
Oct	+1.61**	+0.12**	+0.05**	0.03	+0.02	0.00	+1.50**	+0.13**	+0.23**	-0.01	+0.01	0.00
Nov	+0.17	+0.03**	+0.02**	-0.01	-0.01	0.00	+0.58**	+0.08**	+0.07**	-0.07	+0.03	0.00
Dec	+0.22	+0.01	+0.02	-0.01	+0.04**	0.00	+0.63**	+0.06**	+0.06**	-0.05	+0.06**	0.00

와 TCI의 변화에 가장 기여가 높았던 월평균기온, 월평균 일조시간, 월 강수량 간의 상관관계를 조사하였다. 가장 뚜렷한 감소 추세를 보였던 8월의 TCI는 월평균기온과의 상관관계가 0.84로 가장 상관성이 높은 반면에, 월평균 일조시간과 월 강수량에 대해서는 각각 0.19, -0.13의 상관관계

로서 통계적으로 유의하지 않은 매우 낮은 상관성을 보였다. 비슷한 감소 추세를 보였던 7월에서도 월평균기온과의 상관관계가 0.83으로 높은 상관성을 보였으나 월평균 일조시간과 월 강수량에 대해서는 8월과 마찬가지로 낮은 상관성을 보였다. 즉, 더운 여름철의 관광활동은 기온의 경년변

Table 10. Correlation coefficients between monthly TCI and monthly mean temperature, monthly mean sunshine duration, and monthly precipitation at Gangneung under the RCP8.5 scenario (2011-2100). Values are statistically significant at a 95% confidence level except values with asterisk (*).

	Temperature	Sunshine duration	Precipitation
Jan	0.38	0.71	-0.87
Feb	0.16 *	0.73	-0.82
Mar	0.39	0.78	-0.79
Apr	0.72	0.77	-0.73
May	0.66	0.78	-0.66
Jun	0.32	0.26	-0.51
Jul	0.83	0.29	-0.09 *
Aug	0.84	0.19 *	-0.13 *
Sep	0.33	0.57	-0.52
Oct	0.74	0.61	-0.68
Nov	0.24	0.73	-0.84
Dec	0.26	0.79	-0.90

동성과 관계가 있고, 강수량과 일조시간은 그 관계가 작은 것으로 파악된다. 증가 추세에 가장 뚜렷했던 10월의 TCI는 월평균기온과 0.74, 일조시간과 0.61, 월 강수량과 -0.68의 상관계수를 보이며 모든 기후요소들과의 다소 높은 상관성을 보였다. 또한, 봄에 해당하는 4월과 5월에도 월평균기온, 월평균 일조시간, 그리고 월 강수량과의 상관관계가 높게 나타났다. 반면, 추운 계절에 해당하는 11-2월의 TCI는 월평균기온과의 상관성이 거의 없고 일조시간과 월강수량과의 상관관계가 높았다. 특히, 2월의 TCI와 월평균기온간의 상관관계는 0.16으로 통계적으로 유의하지 않지만 가장 낮은 상관관계를 보였다. 즉 겨울철 TCI의 경년변동성은 기온보다는 일조시간과 강수량에 의해 설명될 수 있다. 일조시간과 강수량은 TCI의 감소추세가 뚜렷했던 6-8월을 제외한 나머지 달에 대부분 상관관계가 높게 나타났으며, 따라서 여름철을 제외한 TCI의 경년변동성은 대부분 일조시간과 강수량에 의해 설명이 가능하다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 강원도 지역을 대상으로 RCP 시나리오 자료를 사용하여 미래 TCI를 산출하고, 이를 통해 기후변화에 따른 관광 패적도의 평가를 비롯한 관광 기후자원의 변화를 전망하고 그 변화에 대한 원인을 분석하고자 하였다.

강릉, 대관령, 춘천, 원주 4개 지점에 대해 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오 하에서 전망된 TCI의 30년 평균 연변화를 분석한 결과 강릉, 춘천, 원주는 봄과 가을에 TCI의 최대가 나타나고 여름과 겨울에 최소가 나타나는 양봉피크형의 연변화 유형을 보였으며, 21세기 후반으로 갈수록 여름철에 나타나는 TCI의 최소값이 더 작아지고 RCP8.5 시나리오에서 더 작은 최소값이 나타난다. 관측된 대관령의 TCI 연변화 유형은 여름에 TCI가 최대로 나타나는 여름피크형의 유형을 보였으나 기후변화에 따라 21세기 후반에 여름철 TCI가 감소하고, 나머지 계절의 TCI는 증가하면서 양봉피크형

의 연변화 유형으로 변화한다. 그 변화는 RCP8.5 시나리오에서 더 두드러진다. TCI의 공간분포를 분석한 결과, TCI는 7-8월에 태백산맥의 중심지역이 타 지역에 비해 높게 나타나고, 나머지 계절에서는 태백산맥에서 최소가 나타나는 지역적·계절적 특징이 나타난다. 또한, 봄과 가을에 강원도 전 지역에 걸쳐 관광하기 쾌적한 상태가 되며 겨울과 여름에는 대체로 관광 활동에 불쾌한 상태를 보였다. 21세기 후반으로 갈수록 겨울철 TCI는 백두대간을 따라 증가하고, 여름철 TCI는 백두대간을 제외한 지역에서 대부분 감소하는 것으로 나타났다. 강릉, 대관령, 춘천, 원주를 대상으로 RCP시나리오에 따른 미래 전망 추세를 분석한 결과, 대체로 더운 계절인 6-8월에 TCI가 뚜렷하게 감소하는 추세를 보이고, 10월을 포함한 나머지 계절에는 증가하는 추세를 보였다. 즉, 21세기 후반으로 갈수록 여름철 관광활동은 기후변화에 따라 취약해지고 겨울철 관광활동은 온난화로 인해 따뜻해지면서 점차 쾌적해지는 것을 시사한다. TCI의 미래 변화 추세에 대한 원인을 분석하기 위해 TCI를 이루는 각 하부지수들의 추세분석을 통하여 기여도를 조사하였다. 분석 결과, 감소(증가) 추세가 뚜렷했던 8월(10월)의 TCI는 *CID* 변화의 기여가 가장 높았으며, 이는 TCI의 감소(증가)가 기후 변화에 따라 열적으로 불리(유리)해지는 영향이 가장 큰 것을 시사한다. 또한, TCI의 경년변동성은 여름철을 제외한 나머지 계절에 대해 일조시간과 강수량간의 상관관계가 가장 높게 나타나 일조시간과 강수량의 경년변동으로서 설명이 가능하며, 여름철 TCI의 경년변동은 일조시간과 강수량보다 기온의 경년변동만으로 설명이 가능하다.

관광산업은 기후변화에 매우 민감한 산업이며 기후변화에 대한 관광산업부분의 적응 능력을 갖추는 일이 중대한 문제로 대두되는 만큼 더욱 활발한 TCI의 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

따라서 우리나라 관광산업의 기후변화 적응을 위해 강원도 지역 및 일부 지역에 국한하지 않고 남한 전국으로 분석 범위를 확대하여 TCI를 분석할 필요가 있다. 더불어 본 연구에서는 미래 TCI를 산출하기 위해서 운량만을 고려한 일조시간을 처방한 방법과 지점별 일조시간의 평년값을 처방한 방법을 사용하였지만 보다 정교한 TCI의 산출을 위해 정확한 일조시간의 처방을 필요로 하며, 이에 따른 일조시간의 산출 방안에 대한 연구도 함께 이루어져야 할 것으로 사료된다.

사사

유익한 조언과 비판을 해주신 익명의 심사자께 깊이 감사드립니다. 이 논문은 2013년 기상청 지역기후서비스 사업의 “강원도 지역축제(관광) 지원을 위한 기후정보 개발”의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- Amelung, B., Blazejczyk, K., and Matzarakis, A., 2007, *Climate change and tourism-Assessment and coping strategies*, Maastricht-Warsaw-Freiburg, ISBN 978-00-023716-4.
- Amelung, B., Nicholls, S., and Viner, D., 2007, Implications of global climate change for tourism flows and seasonality, *J. Travel Res.*, 45(3), 285-296.
- Amelung, B. and Viner, D., 2006, Mediterranean tourism: exploring the future with the Tourism Climatic Index, *J. Sustain. Tour.*, 14, 349-366.
- Cho, L.-N., 2009, Impacts of climate change on winter tourism industry: The current research trend in foreign countries, *Journal of Climate Research*, 4(2), 118-127 (in Korean).
- Chung, I.-U., Lim, C.-M., and Yoon, J.-S., 2013,

- Change of tourism climate resources in Gangwon-do based on the tourism climatic index, *Journal of Climate Research*, 8(3), 237-251 (in Korean).
- de Freitas, C. R., 2003, Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector, *Int. J. Biometeorol.*, 48(1), 45-54.
- de Freitas, C. R., Scott, D., and McBoyle, G., 2008, A second generation climate index for tourism (CIT): specification and verification, *Int. J. Biometeorol.*, 52(5), 399-407.
- Heo, I. H. and Lee, S. H., 2008a, The impact of climate changes on ski industries in South Korea: In the case of the Yongpyong ski resort, *J. Korean Geographical Soc.*, 43(5), 715-727 (in Korean).
- Heo, I. H. and Lee, S. H., 2008b, A study on climate changes and initial snow making on skiing ground: The case of Yongpyong ski resort, *Journal of Climate Research*, 3(2), 55-63 (in Korean).
- Heo, I. H. and Lee, S. H., 2010, The impact of climate change on ski industry in central region of Korea: The case of Yongpyong-Yangji-Jisan ski resort, *J. Korean Geographical Soc.*, 45(4), 444-460 (in Korean).
- Heo, I. H. and Lee, S. H., 2012, The projection of regional ski industry by future climate data in South Korea: using A1B scenario, *Journal of Climate Research*, 7(1), 69-81 (in Korean).
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535.
- Kim, S.-J., 2008, Countermeasure to climate change in the tourism sector, *Korea Tourism Policy*, 32, 73-79 (in Korean).
- Lim, C.-M. and Chung, I.-U., 2013, Development of sunshine duration estimation scheme using cloud amount and solar irradiance, *Proceeding of 2013 Fall Meeting of the Korea Meteorological Society*, 326-330.
- MCST, 2009, *Guideline for the Low Carbon Green Tourism Resources Development*, Report of the Ministry of Culture, Sports, and Tourism, 39.
- Mieczkowski, Z., 1985, The tourism climatic index: A method of evaluating world climates for tourism, *The Canadian Geographer*, 29(3), 220-233.
- NIMR, 2012, *Report on the Global Climate Change 2012 for Response to the 5th IPCC Assessment Report*, 100pp (in Korean).
- Osczevski, R. and Bluestein, M., 2005, The new wind chill equivalent temperature chart, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86(10), 1453-1458.
- Park, C.-Y., Kim, S.-T., Choi, Y.-E., and Kim, N.-J., 2014, Examination of tourism climatic conditions for Chiaksan National Park analyzing tourism climate index, *J. Korean Geographical Soc.*, 49(5), 779-793 (in Korean).
- Perch-Nielsen, S. L., Amelung, B., and Knutti, R., 2010, Future climate resources for tourism in Europe based on the daily Tourism Climatic Index, *Climate Change*, 103(3-4), 363-381.
- Scott, D., Gössling, S., and de Freitas, C. R., 2008, Preferred climates for tourism: case studies from Canada, New Zealand and Sweden, *Climate Research*, 38(1), 61-73.
- Scott, D., McBoyle, G., and Schwartzentruber, M., 2004, Climate change and the distribution of climatic resources for tourism in North America, *Climate Research*, 27(2), 105-117.
- Steadman, R. G., 1984, A universal scale of apparent temperature, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 23(12), 1674-1687.
- UNWTO and UNEP, 2008, *Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges*, UNWTO, Madrid.

책임 편집: 이의한

영문 교열: 이은걸