

ORIGINAL ARTICLE

우포늪 부근의 장기적 토지피복도 변화와 그것이 국지기후에 미치는 영향에 관한 수치실험

김해동* · 이순환¹⁾

계명대학교 환경공학과, ¹⁾부산대학교 지구과학교육과

Long-term land cover change near Upo Swamp and the numerical experiment on its impact on the local climate

Hae-Dong Kim*, Soon-Hwan Lee¹⁾

Department of Environmental Science, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

¹⁾Department of Earth Science Education, Busan National University, Busan 46241, Korea

Abstract

We investigated the change in land-use alteration in a 45 km × 45 km area around the Upo wetlands in 1920s(before the Japanese occupation period), 1950s(immediately Korean independence) and the period 1970s to 2000s. These data can guide in understanding surface environmental changes in the lower Nakdong River from the early 20th century to the present. The influence of the long-term decreasing trend of the wetland area at the Upo Swamp was evaluated using a high-resolution local circulation model. The cooling effect of the wetlands on surface air during the daytime in summer(e.g. early August) was approximately 2°C greater in the 1920s than in the 2000s, which is attributed to wider water areas in the 1920s. Additionally, long-term changes in land use have caused changes in the convergence zone of local circulation wind.

Key words : land-use alteration, wetland, local circulation wind, cooling effect

1. 서론

지표면의 토지이용도는 대기대순환의 변화에 수반되어 장기간에 걸쳐서 대규모로 지표조건이 변하는 경우도 있지만, 농경지와 산업용 토지확보를 위한 습지의 파괴, 도시 확장에 따른 자연녹지의 포장화, 삼림지대의 개간 등과 같이 비교적 좁은 영역에서 짧은 시간 안에 발생하는 경우도 많다. 토지이용도의 변화는 지표면의 태양에너지 반사비율(알베도) 변화, 지표면의 증발효율 변화, 지중 열저장량의 변화 등을 유발하여 국지규

모의 기후변화에 관여한다(Kusaka et. al., 2000; Lee et al., 2010; Kim et. al., 2013). 토지이용도의 변화로 국지기후가 변하면 토양환경과 식물의 분포 양상에 영향이 미치는 등 생태계에도 변화를 유발하게 된다. 기후가 식생분포에 영향을 미친다는 것은 기온변화에 따른 식물의 서식지 변화 사례를 통해서 쉽게 알 수 있다(KME, 2008).

늘과 같은 습지나 자연 녹지가 도시지역으로 변함으로써 나타날 수 있는 기후변화에 관한 이론적 연구는 전 세계적으로 다수 수행되었다. 주요 연구 사례를 살펴보

Received 14 March, 2024; Revised 23 March, 2024;

Accepted 25 March, 2023

*Corresponding author : Hae-Dong Kim, Department of Environmental, Keimyung University, Daegu 42601, Korea
Phone : +82-53-580-5930
E-mail : khd@kmu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

면 다음과 같다. Lee et al.(2008)은 대구광역시를 대상으로 1960년대 이전부터 2000년대에 이르기까지의 토지이용도 변화가 대구의 여름철 바람과 기온의 공간 분포에 미친 영향을 수치실험으로 평가하였다. 그 연구에 의하면 대구는 지난 40년 동안에 도시 인공포장면적이 약 5배 증가하였는데, 그 결과 여름철 도시 평균기온이 약 1~1.5℃ 정도 상승하는 효과가 나타나게 되었으며, 높은 지표면 온도의 영향으로 혼합고도가 높게 형성되어 도시의 풍속은 약 30% 정도 감소하였다. 한편 지표면과 지형 조건의 차이로 나타나는 열적 및 대기 순환장의 차이를 현장 관측 자료를 바탕으로 연구한 사례도 있었다. Chou et al.(2021)은 여름철 폭염 시기에 내륙과 해안 도시의 기온 일변화 자료를 분석하여 열적 용량이 큰 수변이 갖는 열적 스펀지 효과를 분석하였고, Kim et al.(2023)은 복잡지형에서 장기간 관측된 기상 자료를 분석하여 우리나라 내륙지역에서 나타날 수 있는 국지순환풍의 계절별 발생빈도를 평가하였다.

일본에서도 관련 연구가 다수 수행되었다. 대표적으로 Kusaka et al.(2000)은 일본 동경을 대상으로 지난 100년 동안에 도시가 확장되어 자연녹지가 도시공간으로 변해감으로써 유발된 해륙풍 순환구조의 변화와 도시 기온 상승효과를 수치모델로 평가하였다. 그들의 연구결과에 따르면 자연녹지가 도시공간으로 변

함으로써 유발된 기온상승 효과는 지난 100년 동안에 2~3℃에 이르렀는데, 이는 지난 100년 동안에 온실기체 증가로 유발된 것으로 평가되는 지구평균의 기온상승 효과(0.74℃/100년)보다도 훨씬 큰 값이다. 또 동경의 경우에 토지이용도 변화는 해풍의 강도와 패턴에도 큰 영향을 주었으며, 도시의 급속한 기온상승과 포장화로 인한 증발감소는 큰 폭의 상대습도 감소를 가져오기도 한다.

Fujibe(2003)는 토지이용도 변화에 기인한 일본 관동지방의 지표면 기온상승으로 낮 동안에 지표면 기압이 0.2~0.3 hPa 감소하였음을 확인하였다. 그 결과로 여름철 낮 동안에 관동평야의 중심과 북부지역에 지상바람의 수렴이 발생하여 도시형 강수를 유발하기도 하고, 이 지역에 대기오염 농도를 강화시키기도 한다는 사실을 지적하였다.

삼립파괴에 따른 지온과 기온변화에 관한 관측연구도 수행된 바 있다. Lim et al.(2009)은 개선층 방재 목적으로 나무를 벌채한 곳과 그에 인접하면서 벌채가 이뤄지지 않은 두 곳에 기상관측 장치를 설치하여 1년간 미기상학적 관측을 수행하였다. 이 두 곳의 자료를 분석하여 나무의 벌채로 나타나는 토양 수분의 감소와 지표면 온도 상승효과를 제시하였다. 아울러 그로 인한 기온과 습도 및 대기-지표 간의 열적 교환 량 차이를

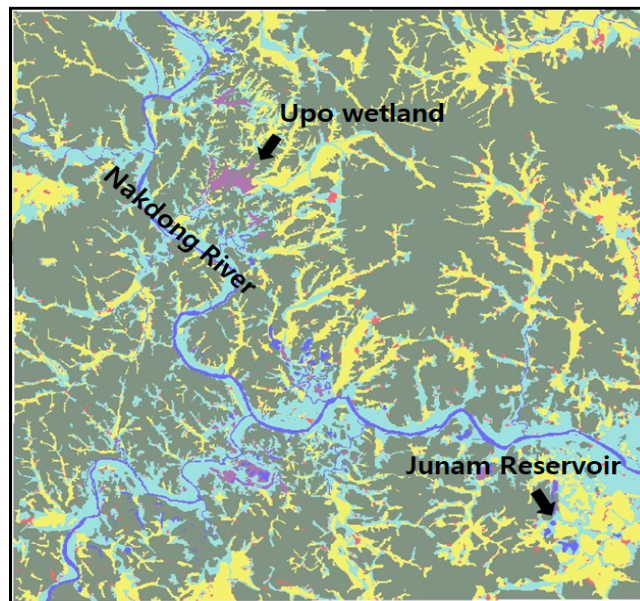


Fig. 1. The research area of land-use alteration.

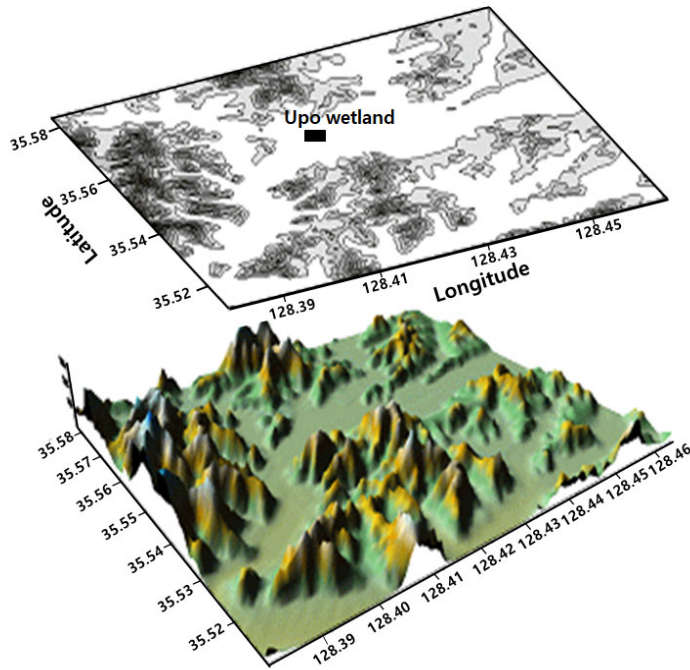


Fig. 2. Topography and location of Upo wetland in Changnyeong, Korea(The contour interval of topography in 20 m and contrast indicate the height of topography).

정량적으로 평가하였다.

이 연구에서는 과거 80여 년 동안에 발생한 낙동강 하류지역(우포늪을 중심으로 한 45 km×45 km 영역)의 토지이용도변화를 조사하고, 그로 인하여 유발된 국지 규모의 기후(기온, 바람)변화 효과를 수치모델을 이용하여 평가하였다. 이 연구를 통해 습지와 같은 자연환경의 보전이 기후완화에 미치는 효과를 파악함으로써 합리적인 국토관리 정책을 수립하는 데에 기초자료로 활용도가 높을 것으로 기대한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 토지이용도 변화


토지이용도 조사는 국토지리정보원에서 제작한 1/50,000 지형도를 사용하였다. 우포늪을 중심으로 45 km × 45 km의 영역을 대상으로 하였다. 조사 대상 영역은 Fig. 1과 같다. 토지 이용도 조사는 일본 식민지 시대가 시작되기 이전인 1920년대, 광복 직후인 1950년대, 산업화가 본격적으로 이루어진 1970년대 그리고

2000년대까지 토지이용도 변화를 조사하였다. 토지이용도의 분류는 환경부에서 지정한 토지피복 분류체계의 대분류를 따라서 시가화/건조지역, 삼림지역, 초지, 나대지, 습지, 수역의 7개 분류 항목으로 정리하였다. 이렇게 얻은 자료를 이용하여 해당 지역의 토지이용도가 시간이 지남에 따라서 어떤 용도로 변해갔는지 정리하였다.

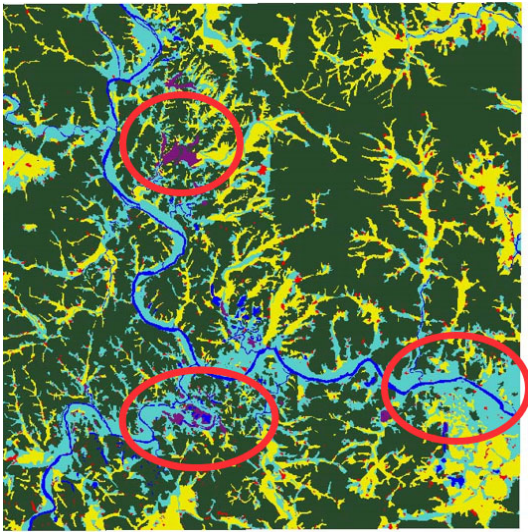
2.2. 수치모형

이 연구에 사용한 수치모형은 Kikuchi 등이 개발한 LCM (Local Circulation Model)을 기반으로 Kimura and Arakawa(1983)가 비정역학 과정과 식생과정에 대해서 개선한 3차원 비정역학 수치모형이다. 예측이 수치모형은 지형좌표계(z^* -coordinate)를 사용하고 수평과 연직 격자는 Arakawa C 격자 체계와 Lorentz 격자 체계를 채택하고 있다. 모형에 강수 등 대규모 응결과정은 포함되지 않고, 대류조절에 의한 적운대류 과정만을 채용하고 있다. 지표면 과정은 지표면 토지 이용변화에 따른 에너지와 운동량 변화를 정확하게 모의해야 하는

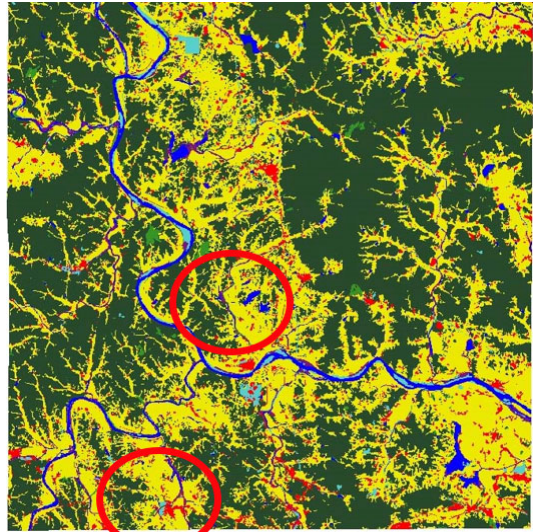
Table 1. High-Level classification color code according to land-cover map (1:50,000)

	High Level	Color Code			Remarks
		R	G	B	
Urbanization	100	255	0	0	
Farmland	200	238	233	7	
Forest	300	42	75	45	
Grass	400	57	150	38	
Wetland	500	124	34	126	
Bare soil	600	89	206	202	
Water	700	6	2	250	

a) 1920s



b) 2000s

**Fig. 3.** Land-use of the lower Nakdong River in cases a) 1920s, b) 2000s.

데, 이 수치모형에서는 지표면 및 식생 캐노피 모형을 통하여 지표면 온도와 식생 온도를 결정한다.

난류확산의 계산은 레벨 2.5의 Yamada-Mellor (1982)의 종결모형을 적용하였다. 그리고 상부 경계에서의 중력파 반사를 방지하기 위하여 Klemp and Duran(1983)의 파동 경계조건을 적용하였다. 측면 경계 역시 같은 이유로 Orlanski(1976)의 복사 경계조건을 사용하였다.

이 수치모형에 이용된 운동방정식 및 열역학과 비습 방정식 체계는 Kimura and Arakawa(1983)에 상세히 기술되어 있다.

2.3. 수치모형의 설계

우포늪과 그 주변의 토지이용도 변화가 미기상학적 요소에 미치는 영향을 파악할 목적으로 수치실험을 수행하였다. Fig. 2는 대상 영역의 지형도를 나타낸 것으로, 우포늪을 중심으로 동서 방향으로 10 km, 남북 방향으로 8 km 구역이 설정 되었다. 우포늪 지역은 남쪽과 북쪽에 낮은 산들이 동서 방향으로 위치한다. 상대적으로 높은 산지가 북서쪽에 위치하고 동쪽과 남서방향으로 열려있는 구조이다. 그래서 국지 규모의 바람은 동쪽과 남서쪽에서 유출입이 발생하는 구조를 가지고 있다.

수치모델에서 초기 기상조건은 특정한 날로 지정하

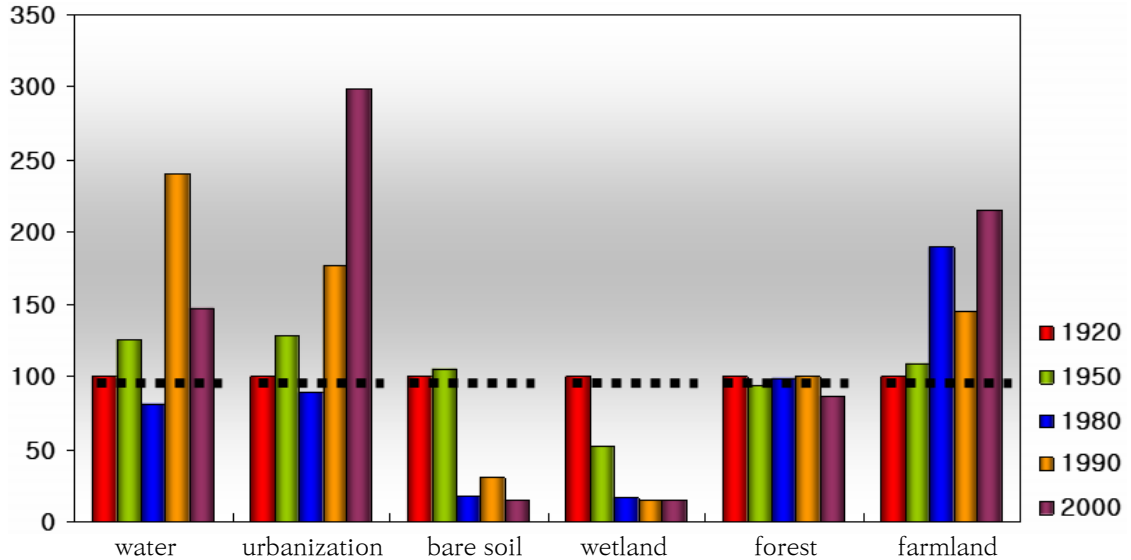


Fig. 4. Changes in Land-cover by Item in the lower of Nakdong River in the Last 100 Years (y-axis values indicate the change in the each year's result value when setting the 1920s' value as 100).

지 않고 국지규모의 순환풍이 잘 발생할 수 있는 이상적인 기상조건으로 주었는데, 쾌청한 8월 중순의 천문학적 조건과 약한 일반 풍(0.5 ms^{-1} 의 동풍)을 상정하였다. 대기의 연직 온도 구배는 4 K/km 로 설정되어 안정상태의 대기를 가정하였다. 지표면과 지중온도는 Lee and Kim(2008)의 방법을 따라서 인공위성 자료를 바탕으로 설정하였는데, 우포늪의 표층 수온은 27°C 내외, 우포 늪 주변 농경지의 온도는 30°C 내외로 평가되었다. 이 값은 쾌청한 일수가 많았던 2007년 8월의 평균적인 값에 상당한다.

모형격자는 수평격자에 대해 $108(\text{위도 방향}) \times 84(\text{경도방향})$, 연직 방향으로는 2 km 로 설정하였고, 이를 33층으로 나누었다. 그래서 격자간격은 수평으로 90 m 이고, 연직으로는 하층일수록 조밀하고 상층으로 갈수록 성기게 구성하였다. 계산은 03 LST에서 시작하여 48시간 계산하였고, 분석에 사용한 자료는 초기 조건에 의한 오차를 방지하기 위하여 다음 날의 24시간 계산 값을 대상으로 하였다.

3. 결 과

3.1. 토지 이용도 변화

장기적인 토지 이용도 변화 조사는 국토지리정보원에서 제작한 1:50,000 지형도를 이용하여 수행하였다. 토지 피복의 분류는 환경부의 대분류 체계(KME, 2000)를 따랐다(Table 1).

Fig. 3에 1920년대와 2000년대의 토지 이용 상황을 나타내었다(1950, 1980 및 1990년대의 결과는 생략). 일본 강점기가 시작되기 이전인 1920년대에는 수면으로 이뤄진 우포늪의 면적(좌측 상단의 원)이 훨씬 넓게 분포하고 있는 것이 확인되는데, 현재 대대제방이 위치한 곳의 우측으로 넓은 면적의 습지가 분포하고 있었다(Fig. 3a). 또 우포늪 북쪽에 용호, 남동쪽에 사물포와 세거리벌이 존재했다. 또 낙동강을 따라서 하천 주변에 나대지가 넓게 분포하였다(하단에 2개의 원으로 표시). 일제 강점기 동안에 늪과 나대지가 농경지로 많이 전환된 것을 1950년대의 지형도를 통해서 확인할 수 있었다. 1930년대에 우포늪 우측 습지를 메워서 대대제방을 만들고 우포 늪 면적의 약 1/3을 농경지로 전환하였다.

1980년대에도 정부의 농업 장려 정책으로 낙동강 하류 주변과 우포늪, 주남저수지 주변에서 상당 부분의 습지가 농업지역으로 전환되었다. 아울러 창녕읍, 남지읍 등 도시화 지역들이 점차 집약적으로 형성되었다.

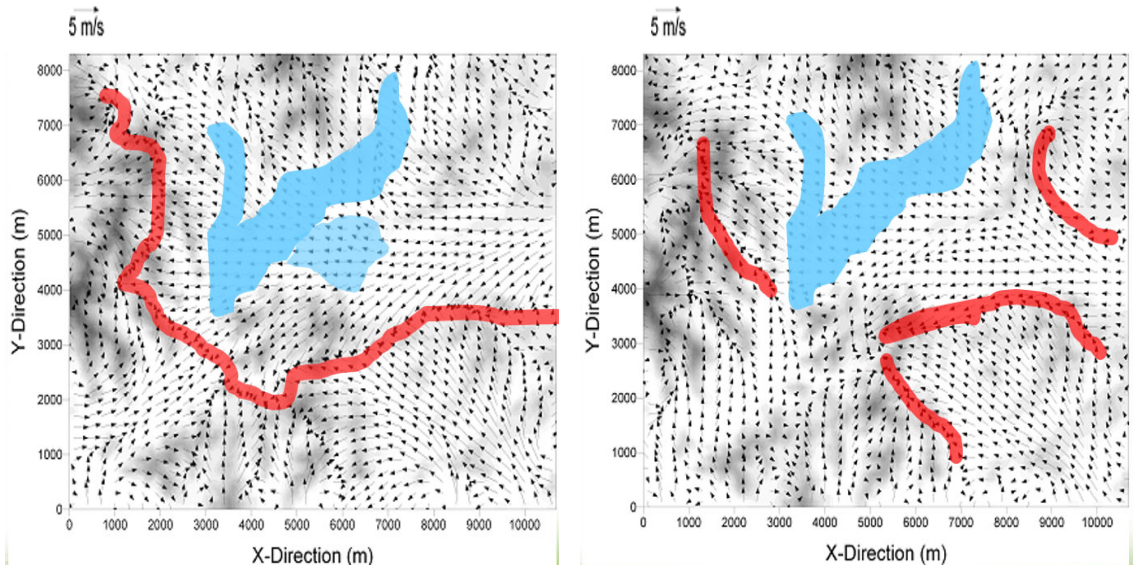


Fig. 5. Wind distributions at 12LST calculated by numerical model with land-use data in 1920s (left) and 2000s (right).

1990년대에도 창녕읍, 남지읍, 함안군을 중심으로 도시화 면적이 크게 확장되었다. 2000년대에는 우포늪은 죽지 벌의 면적이 대폭 줄어들었다. 그 이유는 농업지역이 우포늪 주변의 골짜기를 따라서 더욱 확대되었기 때문이었다. 우포늪 주변의 도시화 지역 면적도 지속적으로 확대되었다. Fig. 3에 원으로 표시해 둔 곳은 낙동강 하류에서 습지가 농경지로 가장 많이 전환된 곳을 나타낸다.

대분류 토지피복도의 분류 항목별로 1920년대 값을 100으로 보았을 때, 각 연도별로 변한 값을 Fig. 4에 제시하였다. 시대의 변천에 따른 변화가 가장 뚜렷한 항목은 거주 지역에 해당하는 시가지화 지역의 증가로, 1920년대에 100이었던 값이 2000년대엔 300으로 증가하였다. 습지지역은 100에서 15로 대폭 감소하였으며, 농업지역은 1980년대와 2000년대에 계속 증가하였다.

3.2. 수치실험의 결과

우포늪과 그 주변의 토지이용도 변화가 국지 순환 풍 변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 1920년대와 2000년대의 토지 이용도를 각각 적용하여 09시부터 48시간 시간 적분을 한 후에 마지막 24시간 바람분포의 차이를 비교해 보았다. 09시에는 두 경우 모두 계산 영역 내에서 0.5 ms^{-1} 이하로 풍속이 약했다. 하지만 산

지 주변에서는 약한 곡풍이 발생하고 있는 것이 확인되었다(그림은 생략).

Fig. 5는 1920년대(좌)와 2000년대의 토지이용도를 각각 적용하였을 시에 정오(12 LST)의 결과이다. 12 LST에서 지형적으로 열려 있는 동쪽과 남쪽의 낮은 지형 대를 따라서 우포늪 쪽으로 바람이 불어 들어왔다. 동쪽의 열린 저지대를 따라서 우포늪 쪽으로 불어온 바람은 우포늪을 지나면서 서북서쪽 방향으로 흘러나가면서 그쪽에서 불어 들어오는 공기와 넓은 범위에 걸쳐서 수렴 대(전선대)를 이루는 양상을 보였다. 한편 우포늪이 많이 훼손된 2000년대의 경우에는 동쪽에서 우포늪 쪽으로 불어 들어가는 바람이 약화되어 우포늪의 남쪽으로 수렴 대(전선대)를 형성하지 못하는 결과가 나왔다. 그것은 동쪽의 우포늪이 대대제방의 건설과 함께 사라져서 동쪽에서 들어온 공기가 받는 지표면 냉각효과가 감소되는 것에 원인이 있는 것으로 추정되었다. 1920년대 이후로 우포늪의 습지가 농경지로 점점 더 많이 변해감에 따라서 동쪽에서 유입되어 남서방향으로 빠져나가는 기류가 약해지고 그 방향에 형성되던 수렴대가 약화되어간 것을 확인할 수 있었다. 그림에서 하늘색으로 표시되어 있는 부분이 우포늪의 수면 영역이고, 붉은 선은 계산 영역 내에서 형성된 국지풍의 수렴 대를 가리킨다.

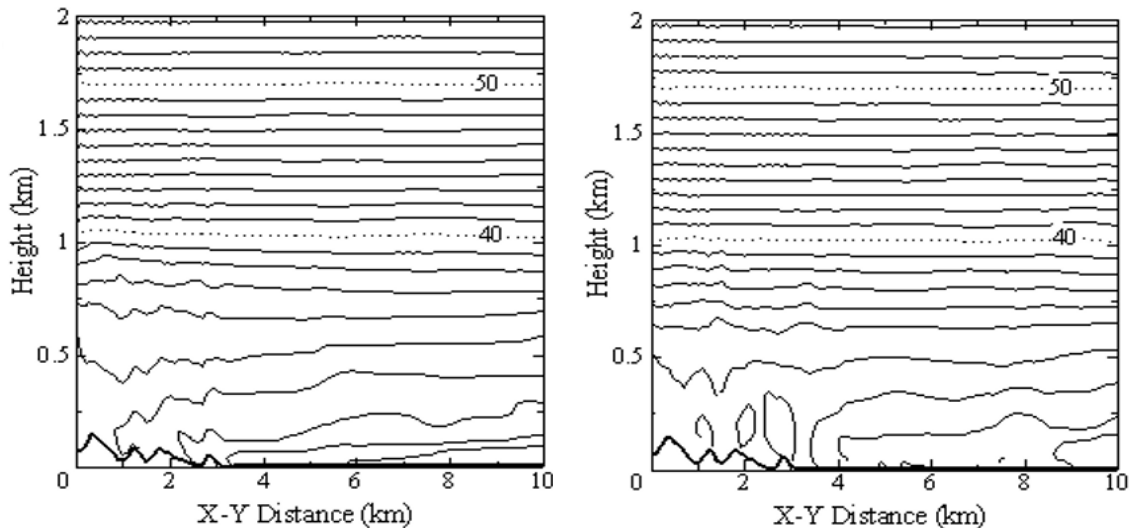


Fig. 6. Vertical cross section of potential temperature at 12 LST in 1920s (left) and 2000s (right). The cross section line is the center line with west-east direction in Upo wetland and contour interval is 1 K.

우포늪의 동쪽 부분이 농경지로 변하여 우포 늪 주변에서 수렴 대에 변화가 발생한 원인을 확인해 보기 우포늪이 공기를 냉각시키는 효과를 파악해 보았다. 이를 위하여 1920년대와 2000년대의 토지이용도를 사용하여 국지 순환 풍을 평가하였을 시에 우포늪의 중앙(Fig. 5에서 y-축의 4500 m)을 동서 방향으로 나누는 단면을 따라서 연직 온위분포를 파악하여 Fig. 6에 나타내었다. 우포늪의 동쪽에서 유입하여 서쪽으로 불어 나가고 있는 상황인데, 하층 대기에서 1920년대(좌측)의 경우에 2000년대(우측)에 비하여 훨씬 안정된 온위 연직 분포를 나타내었다. 1920년대에는 우포늪이 동쪽으로 훨씬 더 넓게 분포하고 있기에, 기류가 동쪽에서 유입되어 서쪽으로 흘러가는 동안에 기온이 더 빠르게 내려가는 것을 확인할 수 있다. 즉 Fig. 6의 왼쪽 그림에서는 지표 부근에서 32℃의 공기가 3.2 km 지점에서 5.8 km 지점까지 불어가면 1 K가 낮아졌는데, 우측 그림에서는 4 km 부근에서 9 km까지 지나가서 공기의 온도가 32℃에서 21℃로 낮아졌다. 이런 기온 냉각 효과는 지표로부터 500 m 이내에서 제한적으로 관찰되었으며, 그 보다 높은 고도의 기온은 우포늪의 면적 감소에 영향을 거의 받지 않았다. 우포늪과 같은 습지의 낮은 수온이 하층 기류의 온도를 낮추고 대기를 안정화시키는 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 수치실험에서 습지가 보전되어 있는 곳에서는 여름철 한 낮에 잠열(latent heat)이

최대 400 Wm⁻¹ 에 이를 정도로 많은 것을 확인할 수 있었는데 1920년대에 비하여 현저히 습지가 줄어든 효과가 유발한 결과가 Fig. 6에서 볼 수 있는 공기 냉각량의 감소효과로 나타났다.

4. 결론

우포늪을 중심으로 낙동강 하류지역의 45 km × 45 km 영역을 대상으로 장기간에 걸친 토지이용도 변화를 환경부의 대분류 체계에 맞추어 조사하였다. 그리고 습지 훼손에 따른 국지 순환풍의 변화를 알아보기 위하여 우포늪 주변(우포늪을 중심으로 10 km(동서 방향) × 8 km(남북 방향)을 대상으로 국지순환 모델을 이용하여 수치실험을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 낙동강 하류 지역은 일제 강점기와 1970~1980년대에 걸쳐 시행된 강력한 농업 장려정책으로 낙동강 하류의 내대지와 우포늪의 상당한 부분이 농경지와 도시화 지역으로 변했다.
- 2) 오늘날 우포늪의 면적은 일제강점기 이전에 비하여 약 50% 정도 줄어들었다. 특히 대대제방의 건설로 동쪽 부분이 농경지로 변했고 농경지 부근에 조밀한 촌락이 형성되었다.

3) 우포늪의 축소로 한낮에 개방된 동쪽에서 우포늪으로 불어 들어오는 바람이 약화되는 효과가 나타났다. 그 결과로 우포늪 훼손 이전에 우포늪 남쪽에서 형성되었던 수렴대가 사라진 것으로 파악되었다. 그 원인은 우포늪의 동쪽 부분이 농경지로 변하면서 지표면 온도가 상승한 것에 있는 것으로 파악되었다. 동쪽에서 우포늪 방향으로 유입되는 바람이 약해지고 공기의 냉각효과가 줄어서 남쪽에서 우포늪 쪽으로 부는 따뜻한 공기와의 열적 차이가 감소한 것에 기인하는 것으로 확인되었다.

습지는 지표면 증발 및 열저장효과가 커서 여름철 낮에도 주변보다 낮은 온도를 유지한다. 그 결과로 주변과의 열적 부등 관계를 만들어 국지순환 풍을 강화시킨다. 아울러 주변에서 모여드는 공기의 기온을 낮추어주는 역할을 한다. 이처럼 습지는 여름철에 홍수와 고온 열환경의 부담을 완화시키는 역할을 하고 다양한 생태계의 서식지로서의 역할이 크다는 점에서 보전의 가치를 재평가 받아야할 것이다. 상세 토지이용도 분류를 채용하고, 수치실험의 해상도를 대폭 높여서 실험을 수행하면 보다 많은 환경 정보를 얻을 수 있을 것이다. 무엇보다도 습지의 열적 저장효과(수심)를 제대로 평가하지 못한 점이 이 연구의 한계이다. 장래 이 점을 보완하여 추가적인 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2023년 대구녹색환경지원센터 연구개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NO 23-03-40-42-04).

REFERENCES

Chou, S. H., An, E. J., Kim, H. D., 2021, Comparison of thermal environment between inland and coastal cities in Gyeongbuk during the heat wave of 2018 - Comparison between Daegu and Pohang -, J. of Environ. Sci. Int., 30, 621-628.

Fujibe, F., 2003, Long-term surface wind changes in the Tokyo metropolitan area in the afternoon of sunny days in the warm season. J. Meteor. Soc. Japan, 81, 141-149.

Kikichi, Y., Arakawa, S., Kimura, F., Shrifasaki, K., Nagano, Y., 1981, Numerical study on the effects of mountains on land and sea breeze circulation in the Kanto district, J. Meteor. Soc. Japan, 59, 850-852.

Klemp, J. G., Duran, D. R., 1983, An Upper boundary condition permitting internal gravity wave radiation in numerical mesoscale models, Mon. Wea. Rev., 11, 430-444.

Kusaka, H., Kimura, F., Hirakuchi, H., Mizutori, M., 2000, The effects of the land-use alteration on the sea breeze and daytime heat island in the Tokyo metropolitan area, J. Meteor. Soc. Japan, 78, 405-420.

Kim, K. Y., Byon, J. Y., Kim, H. D., 2013, Heat island intensity in Seongseo, Daegu, South Korea - a Rural suburb containing large areas of water, J. of Environ. Sci. Int., 22, 667-677.

Kim, H. Y., Park, S. J., Kim, H. D., 2023, Statistical characteristics of local circulation winds observed using climate data in the complex terrain of Chilgok, Gyeongbuk, J. of Environ. Sci. Int., 32, 375-384.

Korea Ministry of Environment, 2008, Economical assessment of wetland I ; Impact on climate change, 54.

Lee, S. H., Kim, H. D., 2010, Modification of nocturnal drainage flow due to urban surface heat flux, Asia-Pacific J. of Atmos. Sci., 46, 453-465.

Lim, J. S., Lee, B. Y., Kim, H. D., Kim, H. Y., Hwang, S. J., 2009, An Observational study on the change of micro-meteorological environment due to deforestation, J. Kor. Earth Sci. Soc., 30, 185-195.

Mellor, G. L., Yamada, T., 1982, Development of a turbulence closure model for graphical fluid problem, Rev. Geophys. Space phys., 20, 851-875.

Ministry of Environment, 2000: Environmental Geographic Information Service, EGIS, <https://egis.me.go.kr>.

-
- Professor. Hae-Dong Kim
Department of Environmental Science, Keimyung University
khd@kmu.ac.kr
 - Professor. Soon-Hwan Lee
Department of Earth Science Education, Busan National University
withshlee@pusan.ac.kr