

# MNDWI와 NDVI의 통합을 통한 내륙습지의 육화현상 추적: 우포늪을 사례로

## Monitoring the Desiccation of Inland Wetland by Combining MNDWI and NDVI: A Case Study of Upo Wetland in South Korea

황영석\* · 엄정섭\*\*

Young Seok Hwang · Jung-Sup Um

**요 약** 본 연구는 육화 추세를 추적하는 과정에서 MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)와 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)를 통합한 접근의 실용성을 평가하는 것을 목적으로 한다. 사례 연구지역인 우포늪에 대해 MNDWI는 수분 지수에 민감하여, 수문 객체는 더욱 강조하고 습윤 토양의 변화를 추적하는 등 수문 객체 외의 요소들은 더욱 강하게 배제하는 근거를 제시하였다. NDVI는 식생의 수량, 식생밀도에 대한 정보를 제시하고, 수문객체와 다른 토지 피복 유형(식생, 건물, 도로 등)을 가시적으로 추적하였다. NDVI와 MNDWI의 통합접근을 통해 산출되는 정량적이고 거시적인 정보는 NDVI와 MNDWI의 변화가 육화에 대한 정량적인 근거로 활용될 수 있다는 의미있는 결과를 보여준다. 본 연구는 향후 내륙습지의 육화에 대한 장기적 모니터링과 전반적인 육화 대응방안을 도출하는 과정에서 NDVI, MNDWI 통합접근의 근거가 되는 기초자료를 제공하였다.

**키워드** : 육화, MNDWI, NDVI, 통합적 접근, 우포늪

**Abstract** This research is primarily intended to explore a novel way to monitor desiccation of inland wetland by combining MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The changes for vegetation and water condition on Upo Wetland located at southeastern Korea were investigated by MNDWI and NDVI derived from 2002, 2010 and 2015 Landsat data. The integrated use of MNDWI and NDVI made it possible to identify area-wide vegetation cover changes and to assess water storage changes on multi-annual time scales simultaneously. Comparing MNDWI with NDVI reveals the quantitative evidences for anthropogenic and environmental influences (such as road, building, water) causing an accelerated wetland desiccation. In fact, our monitoring approach raises critical issues regarding the hydrological cycle and its inter-annual changes for inland wetland under threat of drying up and highlights the important role of MNDWI and NDVI integration for any urgent or long-term treatment plan. This research presents scientific and objective evidences to support integrated approach of NDVI and MNDWI in exploring drying up trends of wetlands.

**Keywords** : Desiccation, MNDWI, NDVI, Integrated Approach, Upo Wetland

### 1. 서 론

최근 각종 개발활동과 기후 변화로 인해 내륙에 위치한 습지가 육지로 변형되는 육화 현상이 발생되고 있다. “자연의 콩팥”이라는 습지의 환경적 가치 상실은 전 세계적 환경문제로 대두되고 있다[1]. UNDP는 습지의 기능 상실(홍수 조절, 수질 정화, 기후변화 완

화 등)로 인한 우리나라의 경제적 손실액을 1ha당 2억 2천만원으로 추산하고 있다[2]. 내륙 습지의 육화는 국토공간에서 단순히 습지 생물이 서식하는 공간을 줄이는 것이 아니라 국토전체의 수문·수리·화학적 순환에서 치명적인 악영향을 초래하여 생태계를 파괴하고 결국은 국민의 삶의 질을 좌우하는 핵심 요소로서 작용하고 있다.

† This work was supported by the Human Resources Program in Energy Technology of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea (No. 20144010200670).

\* Young Seok Hwang, Dept. of Geography, Kyungpook National University, South Korea. poi01234@naver.com

\*\* Jung-Sup Um, Professor, Dept. of Geography, Kyungpook National University, South Korea. jsaeom@knu.ac.kr.  
(Corresponding Author)

육화는 단 하나의 원인에 의해 일어나는 것이 아니라 각종 개발활동으로 인한 토사유출, 기후변화에 의한 수문 환경 변화 등 여러 복합적인 원인에 의해 다층적으로 일어나며, 습지 주변의 다양한 지역에서 산발적으로 동시에 일어난다. 육화현상에 대한 지역별 인벤토리 구축과 육화의 공간특성 분석, 그리고 육화 대응 잠재력 등과 같은 기초정보가 있어야 대상 습지에 적합한 대응 방안을 제시할 수 있다. 또 이를 근거로서 상이한 경제, 사회, 지리적 여건을 가지고 있는 각 습지의 특성을 반영한 구체적인 육화 대응 정책을 마련할 수 있다. 육화 현상 자체는 지구적인 것이지만, 적응방안이 실행되는 것은 개별 습지단위가 될 수밖에 없기 때문이다. 따라서 가능한 행동을 실천에 옮길 수 있는 개별 습지단위의 육화 특성 및 취약성 분석을 토대로 대응방안 모색이 필요하다. 지역특성과 기후변화는 어떠한 관계에 있는지, 토지이용이나 인구밀도 등 지역여건은 육화에 얼마만큼 영향을 주는지 또 토지이용의 급격한 변화가 발생하는 지역은 무슨 문제가 있는 것인지를 알아야 지역에 적합한 대책강구가 가능하다.

하지만 현장 중심의 육화 실태 조사[3,4]는 일부 지점을 샘플링하는 방법으로 많은 인력과 경비를 필요로 하면서도 조사 지점만의 단편적인 정보를 제공하여 육화 대응방안 수립과정에서 필수적인 정보인 토지 피복의 광역적인 변화 추이에 따라 변화하는 육화현상에 대한 시각적인 정보를 입수하는 데 상당한 한계가 있다. 하지만 현행 육화현상 조사는 많은 인력과 시간, 경비가 요구되면서도 다양한 공간객체, 시기별로 변화된 육화 추세에 대한 광역 공간정보를 제공하지 못하고 있다. 이와 같이 현지조사에 의한 습지정보의 한계를 극복하기 위해 위성영상을 활용한 선행연구가 확인된다. 조사자의 습지에 대한 지리적 인지도를 높이고 광역 습지현황을 평가하기 위해 습지조사의 기초자료로써 위성영상을 사용하였다[5]. 특히 1970년대부터 국내에 공급되어 활용 중인 Landsat 영상은 적외선 등 다양한 파장대를 가지고 있어 습지 관련 공간객체를 추적하기 위해 사용되어 왔다. Landsat 영상에 의한 습지분류 자료는 현지 조사에 비해 세부적인 자료를 얻을 수 없다는 단점이 있다. 하지만 넓은 지역에 대한 자료 수집이 가능하고 동일지역에 대한 토지피복의 시계열적 변화를 평가할 수 있다는 점에서 상당한 선행연구가 존재한다[6,7]. 하지만 선행연구들은 습지의 피복도 변화에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)만을 활용하거나[5,6,7], NDWI (Normalized

Difference Water Index)를 추출해 습지의 피복도 변화를 추적하는 수준으로, 본 연구와 가장 근접한 선행연구는 MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)를 이용하여 방글라데시 Hatiya 섬의 해안선 변화를 추적한 사례가 확인된다[8].

NDWI가 습지에 대한 광역공간정보를 확보하기 위해 유용한 도구임은 다양한 선행연구에서 확인된다. McFeeters (1996)가 Landsat TM 영상을 이용하여 수문환경 정규화 지수로 NDWI를 정의하였고[9], 이를 보정한 것이 MNDWI이다[10]. 다양한 수문환경 지표를 결합하여 수요자에게 필요한 새로운 데이터를 창출할 수 있는 것은 원격탐사가 가진 최대의 장점 중 하나이다. NDVI와 MNDWI를 함께 사용하여 육화를 추적하면, 육화의 원인으로 알려진 기후변화에 의한 수생식물의 노화, 건조화, 인간의 활동에 의한 개간과 수문환경의 악화 등 다양한 원인들의 시계열적 변화를 손쉽게 추적하여 장기적인 대응 방향을 제시할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

수문환경지표의 통합과 관련하여 생물종과 서식처 등 자연환경의 개별 분야별로 많은 선행연구가 있으나[11,12], 육화의 개별영역에 대한 연구를 통합하는 방식으로 NDVI와 MNDWI를 통합하는 접근에 대해서는 미국, 영국, 일본 등 선진국에서도 용어조차 제대로 정립되지 않은 상태이다. 우리나라의 경우도 학계나 실무차원에서 NDVI와 MNDWI를 활용한 육화 조사에 대해 통일된 개념정의나 명확한 법적·행정적 조사체계가 아직 정립되지 못하고 있다. 본 연구는 NDVI와 MNDWI의 통합분석을 통해 습지 주변 토지 피복변화를 보여주는 수준의 선행연구가 가지는 취약성을 극복하고자 출발하였다. 위성영상에서 추출된 NDVI와 MNDWI를 통합 분석하여 육상 식생의 천이와 습윤 토양의 건조화 등 육화 현상의 지표를 추적하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 지역

우포늪은 한국 최대, 최고의 원시 늪으로서 알려져 있으며[11], 한국을 대표하는 습지로서 1998년 3월 2일 Ramsar 습지로 등록되었다(Figure 1). 1998년 12월 생태계보호구역으로, 1999년 2월 습지보호지역으로 지정되었다. 우포늪의 수공간 면적은 2.13km<sup>2</sup>, 전체 면적은 8.54km<sup>2</sup>에 달하며, 좌표상으로 35°33'N, 128°25'E, 행정구역상 경상남도 창원군 유어면에 위치하고

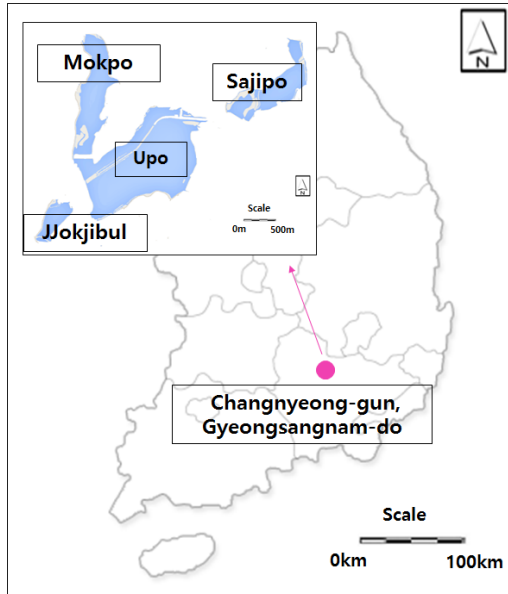


Figure 1. Location Map of a Case Study Site (Location of experimental site is marked as circle)

있다. 우포늪은 낙동강 하류에 형성되어 있는 자연습지로 후빙기의 해수면 상승에 따른 침전물의 퇴적으로 형성된 것으로 알려져 있다[18]. 낙동강의 잦은 범람으로 자연제방을 만들었는데, 이렇게 생긴 자연제방의 안쪽으로 물이 고이면서 쪽지벌, 사지포, 목포, 우포 등 4개의 하천 배후 습지성 호수를 형성하게 되었다. 현재에도 토평천, 평지천, 대합천, 초고천 등이 끊임없이 유입되어 습지의 젖줄이 되고 있다[14]. 환경부가 멸종위기종으로 지정해 보호하고 있는 가시연꽃 등 340여 종의 식물과 멸종위기 야생동물 10종을 포함한 총 272종의 야생동물이 서식하고 있다[12].

우포늪은 장기간에 걸쳐 인간의 간섭에 의해 육화가 진행되고 있다. 1930년대에 우포늪 동쪽에 대대제방이 설치되었으며, 1970년대에는 농경지를 확장하기 위해 낙동강과 토평천에 제방을 설치하면서 습지의 면적이 지속적으로 줄어들고 있다[14]. 최근에는 제방 주변이 범람에 의한 홍수피해가 줄어들면서 우포늪 주위로 마을이 형성되어 주민들이 거주하고 있다[15]. 통상 국내 내륙 습지의 경우 잦은 범람과 습성토양으로 인해 주민들이 습지 인근에 거주하는 경우가 드물지만 우포늪의 경우 인간의 활동이 끊임없이 우포늪에 영향을 주고 있다. 관광객과 주민에게 개방되어 있는 우포늪 주변의 탐방로와 도로로 인해 습지에 대한 인간의 간섭도 확인되고 있다. 우포늪은 국내 내륙습지 중 면적이 가장 넓고 가장 높은 생물 다양성을 보유

하고 있어[12], 육화 현상이 타 습지에 비해 다층적이고 다양하게 나타날 것으로 판단된다. 이러한 이유로 우포늪은 육화에 따른 NDVI와 MNDWI의 변화를 관찰하는데 적합한 연구지역으로 판단된다.

## 2.2 데이터 전처리

본 연구에서는 2015년 6월 4일(Landsat-8), 2010년 6월 22일(Landsat-7 TM), 2002년 6월 8일(Landsat-7 ETM)에 촬영된 영상을 활용하였다(Table 1). 위성영상 데이터는 계절에 따라 토지의 피복 상태가 달라지고 이에 따른 분광반사도가 달라진다. 대기가 불완전한 상태면 구름이 노이즈를 생성하고 이러한 노이즈로 인해 결측되는 지점이 나타나게 된다. 9-11월은 대기가 가장 안정되고 다른 노이즈 변수가 적지만[16], 수생식물의 활동이 위축되는 시기이다. NDVI를 사용한 선행연구들은 대기가 상대적으로 안정적인 5-6월의 위성영상을 사용하고 있다[17,18,19]. 7월과 8월은 장마로 인해 대기가 불안정하고, 장마 때의 강수량 차이는 각 연도별 수분지수에 직접적인 영향을 준다. MNDWI는 강수량에 민감한 수분지수여서 영상 촬영 당시의 강수량이 영상의 신호특성을 왜곡시킬 우려가 있다. Landsat 영상의 취득일 전후 최근 3개월 동안의 강수량과 일별 강수량을 확인한 결과, 강수량의 차이가 크지 않은 것이 확인되었다(Table 1).

Landsat-7 ETM 영상은 SLC-off의 영향으로 한 scene에 약 22%의 결측값이 발생한다는 한계점을 가지고

Table 1. Rainfall Record at the time of Satellite Data Acquisition

A: Monthly Rainfall Record (unit: mm)			
Average Precipitation (mm)	April	May	June
2010	100	104	38
2015	135.5	67.5	53
B: Rainfall Record for Acquisition Date			
Satellite Data Acquisition Date	22.06.2010	04.06.2015	
Rainfall Record	15.06.2015 : 7mm	15.05.2015 : 1mm 18.05.2015 : 7.5mm 22.05.2015 : 0.5mm 30.05.2015 : 3mm * Total : 12mm	
Emergency Management Agency of Changnyeong (Source : <a href="http://safe.cng.go.kr/sub/04_02_01.php">http://safe.cng.go.kr/sub/04_02_01.php</a> )			



Figure 2. Upo Wetland Boundary overlaid on Landsat Imageries (True Color Display) A: 2002, B: 2010, C: 2015

있다[1]. 하지만 본 연구지역의 2002년 Landsat-7 ETM 영상은 SLC-off로 인한 영향을 받지 않아 Gap-filling의 보정과정을 거치지 않고 사용하였다. 영상들을 비교하여 변화를 추출하는 과정에서 오차를 최소화하기 위해 한 픽셀 이하의 RMSE (Root Mean Square Error) 범위에서 기하보정을 수행하였다. 구름에 의한 결측값을 제거하기 위하여 Cloud Cover가 0-5% 사이의 영상들을 사용하였다(Figure 2).

수면과 다른 객체를 추출하기 위해서는 조건식 논리 나무(if-then-else logic tree)를 사용하여 수면과 다른 육지를 기술하는 방법과 다중스펙트럼을 사용하여 밴드별 반사율 차이를 사용하는 방법이 있다. 하지만 이러한 방법들은 비수문 객체의 신호를 줄여주지만 완전히 제거하지 못한다. 이를 해결하기 위해 McFeeters (1996)는 수면을 추출하는 방법으로 NDWI (Normalized Difference Water Index)를 제안하였다. 하지만 다양한 토지피복 객체로 부터의 노이즈를 효과적으로 제거하지 못하여, Xu (2006)는 NDWI를 개선시킨 MNDWI [ $MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$ ]를 제안하였다[10]. 본 연구에서는 Landsat 7 TM/ ETM+ 영상 Band 5 (MIR)와 Band 2 (Green)를, Landsat 8 OLI and TIRS 영상은 Band 6 (MIR)와 Band 3 (Green)를 사용하였다. MNDWI는 -1에서 1사이의 값으로 표현되고 수면이 아닌 토지피복유형들은 -1에서 0의 값을 갖게 되고, 수문환경이 발달할수록 지수의 값은 높아진다.

Arc Map 9.0의 Raster Calculator 기능을 이용하여 NDVI와 MNDWI의 값을 추출하였다. 식생이나 수분 상태 변화에 의거한 NDVI와 MNDWI 변화를 좀 더 세밀하게 알아보기 위하여 -1에서 1사이의 지수를 Erdas Imagine 2011를 이용하여 8bit (0-255)로 Rescale 하였다[18]. 각 수종별 NDVI값과 수문 객체별 MNDWI 값을 규정하는 기준에 대해 선행연구가 존재하고 있

지 않고, 특정한 연구지역의 NDVI와 MNDWI값의 평균값과 변화량에 관한 선행연구만이 확인된다. 본 연구는 선행연구에 의거하여 각 객체별 NDVI와 MNDWI 평균값을 추출, 이를 바탕으로 등급을 분류하고[10,21-23], 등급기준에 따라, NDVI와 MNDWI 지수값을 등급별로 Recode하였다. 환경부의 환경공간정보서비스에서 제공하는 생태자연도를 바탕으로, 육화에 의한 NDVI와 MNDWI 값의 변화에 영향을 줄 수 있는 변수인 농경지를 제외한 지역을 연구지역으로 설정하였다.

### 2.3 NDVI와 MNDWI 등급 분류

Specht et al. (2014)은 위성영상을 이용하여 해안 습지를 장기간 모니터링하는 과정에서 NDVI -1에서 +1의 값을 1-255로 Rescale하고, 3가지 class로 나누었다 [2s0]. 이 분류 기준은 육화에 대한 변화 정도를 알아 보기에는 등급별 기준이 세부적이지 못하다. 이를 보완하기 위하여 한반도의 지면 피복 타입에 따른 월별 NDVI 값을 분석하고 NDVI에 의거한 수종 분류에 관한 선행연구를 바탕으로(Table 2)[8] NDVI 등급을 나누었다(Table 3).

Gao (1996)의 연구에서 Bare Soil, Grass, Crop은 각

Table 2. Co-relationship between Average NDVI and Land Cover

Land Cover Type	Averaged NDVI in June
Grassland	159-165
Dryland / Cropland / Pasture	165-181
Evergreen Broad Leaf Forest	181-191
Evergreen Needle Leaf Forest	191-201
Deciduous Broad Leaf Forest	191-201
Shrubland	191-201
Mixed Forest	201-255

Source: Kang, J. H. et al. 2009[22]

1) MIR은 중적외선 영역의 분광반사도(1.55-1.75 $\mu m$ )이며, Green은 녹색 영역의 분광반사도(0.52-0.60 $\mu m$ )이다.

Table 3. Redefined NDVI Grading (Modified from Table 2)

Ground Object	NDVI Value	Grade
Water	0 - 150	4
Grassland	150 - 165	3
Dryland / Cropland / Pasture	165 - 181	2
Evergreen Broad Leaf Forest Evergreen Needle Leaf Forest Deciduous Broad Forest Shrubland / Mixed Forest	181 - 255	1

Table 4. Averaged NDWI and MNDWI (Range: From-1 To 1)

Land Cover Type	Averaged NDWI	Averaged MNDWI
Lake Water	0.42	0.44
Sea Water	0.60	0.75
River Water	0.60	0.66

Source : Xu, H. 2006[10]

Table 5. MNDWI Grading

Ground object	MNDWI Value	Grade
Bare Soil	0 - 127	4
Grass / Crop / Pasture	127 - 159	3
Mud / Waterlogged land	159 - 181	2
Lake / Sea / River	181 - 255	1

각 -0.022, 0.084, 0.215의 NDWI값을 도출하였다[23]. Xu(2006)는 복잡한 과정 없이 그림자 노이즈를 제거하여 NDWI 값보다 더 향상된 추출기법인 MNDWI를 제안하면서, NDWI와 MNDWI값을 비교 분석하여 Lake Water, Sea Water, River Water의 NDWI, MNDWI

의 평균값을 산출하였다(Table 4)[10]. 노이즈를 최소화하기 위해 NDWI를 대신한 MNDWI를 사용하였고 Gao(1996)와 Xu(2006)에서 추출한 각 지표 피복 타입의 평균값을 바탕으로 등급을 정하였다(Table 5).

### 3. 통합분석 결과 고찰

#### 3.1 등급별 비교평가

2002년에 우포늪 전체에서 14%와 9%를 차지하고 있던 NDVI 1등급과 2등급 비율은 2010년에 1등급 28%, 2등급 15%, 2015년에는 1등급 46%와 2등급 13%로 지속적으로 늘어나고 있는 반면, 3등급과 4등급의 비율은 2002년 3등급 13%, 4등급 64%에서 2010년 3등급 12%, 45%, 2015년에는 3등급 6%, 4등급 35%로 줄어들고 있다(Figure 3). 이는 우포늪에서 물에 항상 잠겨있는 부분과 초지가 차지하고 있는 면적이 줄어들고 관목식물과 수목의 비중이 늘어나고 있음을 보여준다. 물에 항상 젖어 있는 습지의 특성상 육상식물은 습지에서 잘 자라지 못하고 갈대나 버드

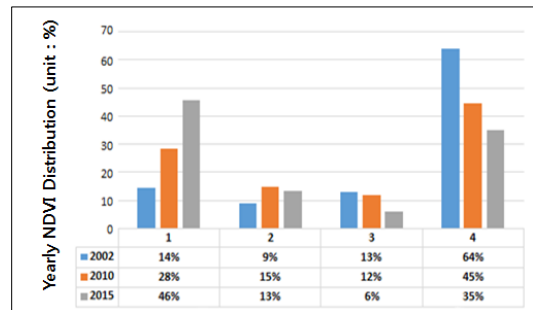


Figure 3. Percentage of Classified NDVI Grade

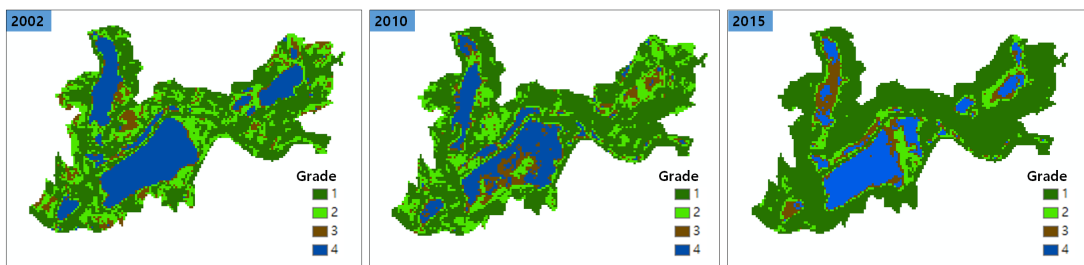


Figure 4. NDVI Grade of Upo wetland

- Grade 1: NDVI (181-255), Forest
- Grade 2: NDVI (165-181), Dryland/ Cropland/ Pasture
- Grade 3: NDVI (150-165), Grassland
- Grade 4: NDVI (0-150), Water

나무와 같은 식생이 우점종으로 변화하는 현상이 관찰되고 있다. 하지만 육상식물에 해당하는 NDVI 1등급과 2등급의 비율이 증가하는 것은 습지의 건조화가 진행되어 육생 식물로의 천이가 진행되고 있음을 단적으로 보여 준다(Figure 4). MNDWI의 경우 2002년에 우포늪 전체에서 24%와 9%를 차지하고 있던 1등급과 2등급 비율은 지속적으로 감소하고 있는 반면, 3등급과 4등급의 비율은 늘어나고 있다(Figure 5-6). 이는 우포늪의 수분지수가 낮아지고 있음을 보여준다. MNDWI 값이 181-255 사이에 있어 물에 항상 잠겨있는 부분인 MNDWI 1등급의 변화가 가시적으로 확인된다. 호소에 해당하는 지역의 차이가 두드러지게 나타나고 있는 데, 이는 우포늪 내의 수문환경이 장기적이고 체계적인 관리가 이루어지지 않다는 증거로 판단된다(Figure 7 B1-B3). 토평천과 우포늪이 만나는 지점은 지속적으로 유량이 유입됨에도 불구하고 NDVI값이 높아지는 것이 확인되고 있다(Figure 4;

Figure 7, A1-A3). 이는 우포늪의 육화가 수문환경 뿐만 아니라 복합적인 요인에 의한 변화로 판단된다.

### 3.2 NDVI와 MNDWI의 통합분석

NDVI 값이 증가할수록 식생의 밀도가 높아진다는 것을 의미하고[24] MNDWI 값이 증가할수록 수공간

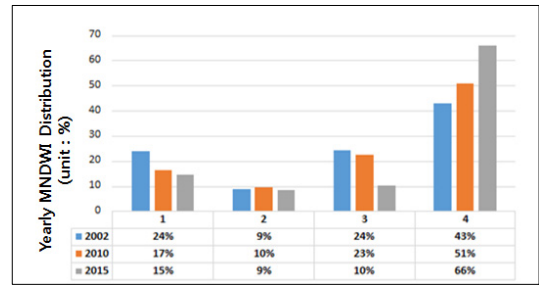


Figure 5. Percentage of Classified MNDWI Grade

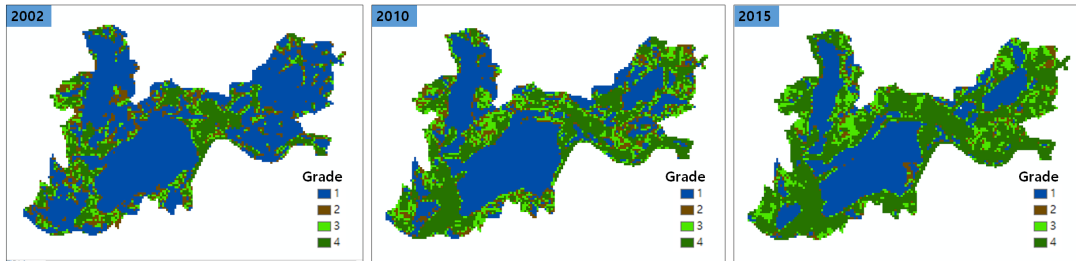


Figure 6. MNDWI Grade of Upo Wetland

- Grade 1: MNDWI (181-255), Lake / Sea / River
- Grade 2: MNDWI (159-181), Mud/ Waterlogged Land
- Grade 3: MNDWI (127-159), Grass / Crop / Pasture
- Grade 4: MNDWI (0-127), Bare Soil

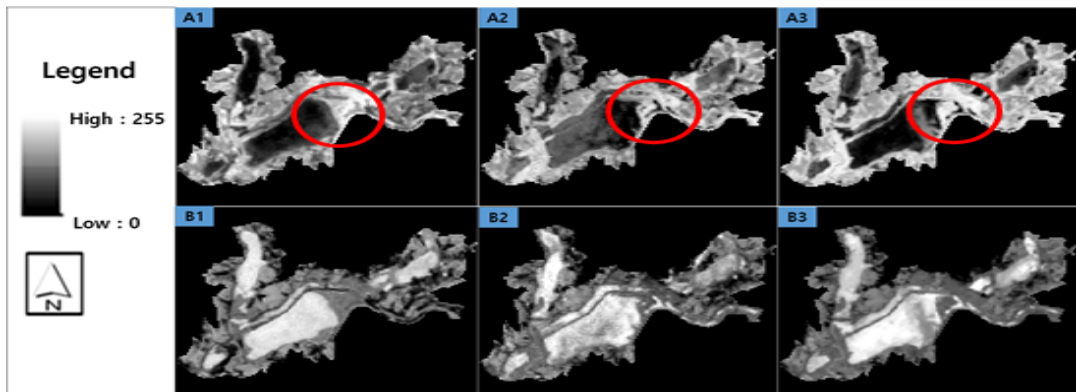


Figure 7. Comparative Evaluation of NDVI & MNDWI Changing Trends of Upo Wetland

NDVI: A1(2002), A2(2010), A3(2015)  
 MNDWI: B1(2002), B2(2010), B3(2015)

이 증가하고 있다는 것을 의미한다[23]. 즉, NDVI 값이 늘어날수록 수생 식물은 줄어들고 육상식물의 침입이 이루어지고 있는 식생 천이 과정에 있음을 의미하고, MNDWI가 줄어들수록 건조화가 진행되고 있는 것이다. 우포늪 전체 NDVI 평균값은 2002년 124, 2010년 147, 2015년 156으로, 2002년에서 2010년까지 19%, 2010년에서 2015년까지 6% 상승하였다. 이와 반면에 우포늪 전체 MNDWI 평균값은 2002년에 138, 2010년 130, 2015년 120으로, 2002년에서 2010년 사이에 6% 감소하였고, 2010년에서 2015년 사이에 8% 감소하였다. NDVI와 MNDWI가 극명하게 다른 방향으로 변화하고 있다는 것은 우포늪의 훼손이 수문환경의 악화에 의한 건조화가 진행되고 있다는 객관적인 증거로 판단된다(Figure 8)[23].

우포늪에서 수생식물과 어류의 출현 종수의 감소는 NDVI 값의 증가와 MNDWI 값의 감소와 동일한 추세를 보이고 있다. 우포늪의 수생태계의 식생 출현 종수는 2002년 34종, 2010년 31종, 어류는 1997년 53종, 2005년 31종, 2009년 15종으로 종수 감소가 확인된다

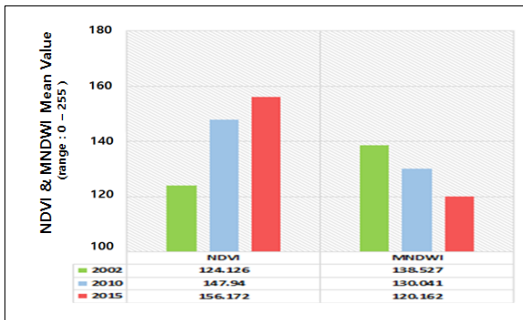


Figure 8. NDVI & MNDWI Mean Value Changing Trends

[11]. 수생식물의 출현 종수 감소는 수생식물의 노쇠화에 의한 육상식물의 천이를 의미하고, 어류의 출현 종수 감소는 우포늪의 수문 환경이 악화되고 있다는 것을 의미한다. 육화현상이 생물다양성에 미치는 영향을 분석하는 과정에서 가장 중요한 단계가 분석지표를 선정하는 일이다. 어떠한 변수를 적용하느냐에 따라 분석의 결과가 달라지기 때문이다. 육화의 관점에서 NDVI 및 MNDWI와 생물다양성의 상관성을 분석하는데 현실적으로 측정 가능한 세부적인 변수에 대한 선행연구는 확인되지 않는다. 생물다양성에 영향을 미치는 변수는 인문환경과 자연환경, 평가시점에 따라, 대상 지역에 따라 다양하게 제시될 수 있다. 많은 독립변수를 비교하고 연구하는 것이 생물다양성에 개입되는 다양한 지표의 유용성을 검증하는데 도움이 되겠지만 생물다양성에 영향을 미치는 변수가 매우 다원적이고 복잡적이어서 모든 것을 고려하여 NDVI와 MNDWI 값의 상관성을 조사하는 것은 한계를 가지고 있다. 하지만 본 연구에서 제시된 안정적인 결과는 후속연구에서 육화가 생물다양성에 미치는 영향을 검증하는 단계에서 상대적으로 NDVI와 MNDWI 변수에 우선순위를 부여하고 그 결과를 분석하는데 유용한 선행연구로 활용될 수 있으리라 사료된다.

늪을 이루고 있는 목포늪, 사지포늪, 우포늪, 쪽지벌늪 각각의 NDVI 평균값과 MNDWI 평균값의 시계열적 변화를 분석해보면 사지포와 쪽지벌의 육화가 가장 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있다. 사지포의 NDVI 평균값은 2002년 127에서 2015년 174으로 2002년 대비 36%, 증가하였고, 쪽지벌의 NDVI 평균값은 2002년 141에서 2015년 189으로 2002년 대비 34% 증가하였다. 이는 목포(29% 증가)와 우포(15% 증가)의 증가량을 상회하고 있다(Figure 9A). 목포는 2002년 대비

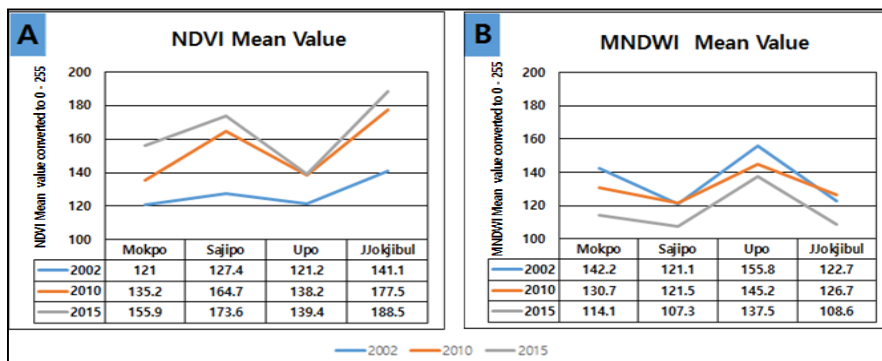


Figure 9. NDVI & MNDWI Values Changing Trends of Four Sub-Wetlands of Upo Wetland (A: NDVI Mean Value B: MNDWI Mean Value)

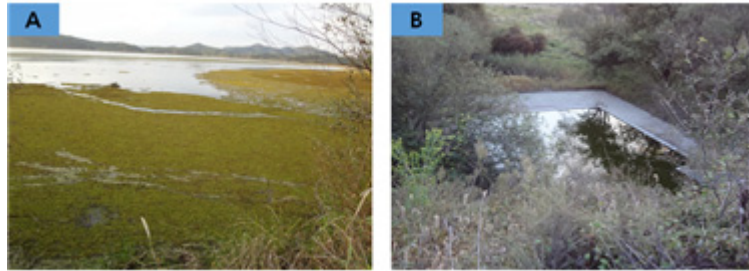


Figure 10. Field Photo Taken at 10.10.2015

- A. Wide Distribution of Floating Leaved Plant at Upo Wetland
- B. Dae-dae Artificial Bank nearby Sajipo Wetland

Table 6. Comparative Evaluation of Information Extracted from NDVI, MNDWI and NDVI + MNDWI

Category	Information Types	Remark
NDVI	Hydrological Environment	*Water Body Change: • The lower NDVI is, the stronger the water body characteristics revealed. • Water body is unsuitable habitat for the hydrophyte, mesophyte to grow. • Limitations to detect the water index around the water body in the wetland.
	Vegetation Change	*Succession of mesophyte: • Higher vegetation density indicates the succession of mesophyte to hydrophyte colony in wetland. • Detection of dried vegetation distribution (Dried vegetation has lower NDVI value). • Mesophyte has higher NDVI values than hydrophyte.
MNDWI	Hydrological Environment	*Water body change: • Range of water body • Water index of whole area • Detection of arid area diffusion / Water table change (Higher water table has higher MNDWI value)
	Vegetation Change	• Hard to detect
NDVI+MNDWI		• NDVI and MNDWI is an irreplaceable index to each other • By combining NDVI and MNDWI, possible to overcome weakness of each index • Possible to infer the causes of succession of mesophyte and drying up (Soil erosion / Dry / Water table declining etc) • Possible to detect drying up area • Possible to analogize the drying up trends of wetland

2015년 MNDWI 평균값이 20% 감소해 우포(12% 감소), 사지포(11% 감소), 쪽지벌(11% 감소)에 비해 감소폭이 크지만, MNDWI의 평균값은 사지포와 쪽지벌이 각각 107, 109으로 4개의 늪 중에서 가장 낮은 수치를 보이고 있다(Figure 9B). 환경부의 “2006 습지보호지역 정밀조사”에 따르면 사지포늪의 주변부가 육지로의 천이가 빠르게 진행되고 있다고 보고하고 있다 [12]. NDVI와 MNDWI 평균값의 변화가 큰 지역과 정밀조사에서 육화가 빠르게 진행되고 있다고 지적한 지역이 일치하고 있다.

수문객체는 상대적으로 증적외선을 흡수하여 증적

외선 영역의 분광반사도가 낮아 MNDWI가 높게 나타나지만, MNDWI 평균값의 감소는 증적외선 영역의 분광반사도가 높아짐을 의미한다. 침수지역이 줄어들고, 수위가 저하되어 수문 객체로서의 특징이 약화되는 현상이 나타나면서 NDVI 평균값은 증가하고 있다. 침수되어 있던 지면이 줄어들고 수심이 낮아져, 식생이 그곳으로 천이하며 식생밀도를 꾸준히 높이고 있다. 부엽식물은 물 속에 뿌리를 내리고 수면위에 잎이 떠 있는 수생식물로 상대적으로 수심이 낮은 수문환경에서 자생하는 수생식물이다. 부엽식물이 증가하고 있다는 것은 선행연구와[4], 현지조사에서 확인되었



다(Figure 10A). MNDWI와 NDVI의 통합분석 결과 MNDWI 값의 감소와 NDVI 값의 증가가 제방 주변부에서 상대적으로 높은 데(Figure 4-5), 이는 홍수조절 기능이 크게 강화된 인공제방으로 인해 수문구배가 단절되고, 수심관리가 이루어지고 있기 때문인 것으로 판단된다(Figure 10B).

NDVI는 습지호소의 면적 변화와 확연하게 드러나는 나지, 육상식물의 천이 양상을 추적할 수 있다. 반면에 MNDWI는 수위의 변화, 습지로의 유량 감소로 인한 수문환경 악화, 건조화 진행 상황, 토양의 수분 함량 변화, 수생식물의 노쇠화 등을 추적할 수 있다. NDVI와 MNDWI 각각의 지표는 나대지와 습지에 대해 다른 정보를 가지고 있기 때문에, 이를 결합할 경우 단일지표만을 활용하는 경우 보다 육화 확산에 관한 더 많은 정보를 도출해 낼 수 있었다(Table 6). NDVI와 MNDWI의 지수를 통합하여 추적된 결과는 기존의 현지조사의 결과와[11,12] 일치된다. NDVI와 MNDWI의 변화값을 이용하여 습지를 추적하면 장기간에 걸쳐 많은 변화를 보이는 지역만을 추출하여 집중적인 관리방안을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 위성영상에서 도출된 NDVI와 MNDWI를 통합하였고, 육화의 원인을 추적하는 데 수문환경지표를 통합하여 분석할 수 있는 가능성을 검증하였다. NDVI와 MNDWI는 개별적으로 사용되었을 때, 토지의 피복 변화만을 확인할 수 있을 정도의 감시능력은 있지만 NDVI와 MNDWI를 함께 사용하여 육화를 추적하면, NDVI와 MNDWI는 각각 상호 보완적인 역할을 한다는 객관적인 증거가 도출되었다. 우포늪에서 육화의 원인으로 알려진 인간의 활동에 의한 개간과 수문환경의 악화, 수분지수의 변화, 수문 객체의 변화 등 다양한 원인들의 시계열적 변화양상이 추적되어 지도로 표현될 수 있었다. NDVI와 MNDWI를 통합한 변화 양상 분석을 통해 미래에 육화가 어떻게 진행될지에 대한 단서를 얻을 수 있어, 장기적인 대응 방안 수립의 기초자료를 제시할 수 있었다.

수생식물 감소와 수문환경의 악화로 인한 내륙습지의 육화 현상은 우포늪의 NDVI, MNDWI 값 변화에 직접적인 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 우포늪은 2002년부터 2015년까지 NDVI와 MNDWI가 서로 상반되는 모습을 보이고 있다. 식생의 분포 밀도를 보여주는 NDVI의 평균값은 2002년 124, 2010년에 148, 2015년에는 156로 지속적으로 증가하는 반면, 수

분지수인 MNDWI 평균값은 2002년 139, 2010년 130, 2015년 120로 감소하고 있다. 본 연구의 결과는 향후 NDVI, MNDWI 통합접근을 통한 내륙습지의 육화에 대한 장기적 모니터링과 전반적인 육화 대응의 기초 자료로서 가치가 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 활용된 Landsat 영상은 공간 해상도가 30m로 육화의 미시적인 변화를 모니터링하는 데에는 한계가 있다. GeoEye, IKONOS 등 고해상도 위성영상을 활용하여 육화에 의한 NDVI와 MNDWI 지표의 통합접근에 대해 검증하는 후속연구가 필요하다. 본 연구는 우포늪이라는 단일 연구지역에서의 육화 양상에 대한 NDVI와 MNDWI 관계성을 검증한 바, 국내외 다양한 습지에 적용하여 실효성을 살펴 보는 후속연구가 필요하다. NDVI와 MNDWI의 등급 구분과정에서 수종별 NDVI 값과 수문 객체별 MNDWI 값에 대한 선행연구가 확인되지 않아, 본 연구에서는 평균값에 의거하여 객체를 구분하였다. 수종별 NDVI와 MNDWI 지표에 의거하여 천이를 모니터링 하지 못했다는 한계점을 가지고 있어, 이에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### References

- [1] Kang, D. H; Kim, S. S; Kwon, B. H; Kim, I. K. 2008, Observations of Variations in Soil Organic Carbon and Carbon Dioxide in the Constructed Wetland at Goheung Bay, Studies on Education of Fisheries and Marine Sciences, 20(1):58-67.
- [2] UNEP/GEF National Wetland Conservancy. 2008, The Evaluation of Economic Value of Korean Major Wetland:Seoul .
- [3] Lee, S. D; Kim, S. H; Kim, J. S. 2012, Analysis Actual Conditions of Arid Progress and Prevention Management of Hwaecom Wetland in Yangsansi, Korean Journal of Environment and Ecology, 26(4):498-511.
- [4] Kim, S. W; Yang, W. J. 2007, Present Status and Conservation Plan of Changnyeong's Natural Swamps: Focusing on the Upo Wetlands, Environmental Research Institute, Kyungnam University, 30:15-25.
- [5] Wang, C; Wang, H; Xarapat, A. 2011, Spatial and Temporal Changes of Lake Wetlands in Jiangnan Plain after the Implementing of 'Thirty-Six-Word' Policy, Procedia Environmental Sciences, 10:

- 2574-2580.
- [6] Park, E. J; Ku, C. Y. 2003, Efficiency Assessment of Analysing Coastal Geomorphic Landscape Change by Satellite Image Interpretation, *Journal of the Korean Geographical Society*, 38(5): 822-834.
- [7] ian, B; Zhou, Y. X; Tomas, R. M; Diefenderfer, H. L; Youan, Q. 2015, Detecting Wetland Changes in Shanghai, China Using FOR -MOSAT and Landsat TM Imagery, *Journal of Hydrology*, 529:1-10.
- [8] Ghosh, M. K; Kumar, L; Roy C. 2015, Monitoring the Coastline Change of Hatiya Island in Bangladesh Using Remote Sensing Techniques, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101:137-144.
- [9] Mcfeeters, S. K. 1996, the Use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features, *International Journal of Remote Sensing*, 17:1425-1432.
- [10] Xu H. 2006, Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27(14):3025-3033.
- [11] National Institute of Environmental Research. 2010, The Research of Freshwater Water Ecology Changes and Conservation According to the Climate Change(1).
- [12] National Institute of Environmental Research. 2006, Scrunity of Wetland Sanctuary : The Mouth of Nakdong River,Upo Wetland, Moojechi Wetland.
- [13] Changnyeong-Gun. 2007, Changnyeong-Gun Environmental Conservation Plan (2007-2015).
- [14] Kwon, O. B. 2015, CEO, Assum Ecological System INC., Accessed October 3, <http://www.latimes.kr/news/articleView.html?idxno=10830>.
- [15] Upo Wetland Cyber Ecological Park. 2015, Accessed October 3, [http://www.upo.or.kr/01info/02\\_01.asp](http://www.upo.or.kr/01info/02_01.asp)
- [16] Joo, S. M; Heo, M. H; Kim, J. D; Um, J. S. 2015, Evaluating Monitoring Condition for Forest Carbon Offset Project to Demonstrate CSR in North Korea, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 23(2):11-20.
- [17] Kim, S. W; Jeong, J. C. 2002, Ecological Effect Area Research of DMZ Using NDVI, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 5(4):24-34.
- [18] Lee, H. R; Kim, H. M. 2005, A Correlation Analysis between Land Surface Temperature and NDVI in Kunsan City Using Landsat 7 TM/ETM+ Satellite Images, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 8(2):31-43.
- [19] Joo, S. M; Um, J. S. 2014, Exploring Sub-watershed Suitable to UN-REDD/AR-CDM byComparative Evaluation of Carbon Stock in Baekdu Mountain, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 22(2):1-9.
- [20] Harrison, B. A; Jupp, D. L. B. 1993, Micro Brian Resource Manual, CSIRO Water Resources, Canberra.
- [21] Specht, A; Pathirana, S; Luker, G. 2014, The Use of Satellite Image Analysis in Long-term Monitoring of the Effects of Water Extraction from a Oastal Subtropical wetland, Paper presented at the 2014 34th International Symposium for Remote Sensing of the Environment(ISRSE).
- [22] Kang, J. H; Suh, M. S; Kwak, C. H. 2009, Classification of Land Cover over the Korean Peninsula Using MODIS Data, *Atmosphere*, 19(2): 169-182.
- [23] Gao, B. C. 1996, NDWI-A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space, *Remote Sensing of Environment*, 58(3):257-266.
- [24] Myneni, R. B; Hall, F. G; Sellers, P. J; Marshak, A. L. 1995, The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33:481-486.
- [25] Choi, K. K; Koh, J. K. 1989, Studies on Moor Vegetation of Mt. Daeam, East - Central Korea, *Korean Journal of Ecology*, 12(4):237-244.
- [26] Kim, J. W; Han, S. U. 2005, Moor Vegetation of Mountain. Shinbul in Yangsan, *Korean Journal of Ecology*, 25(2):85-92.
- [27] Zhou, W; Li, Z; Ji, S; Hua C; Fan, W. 2015, New Index Model NDVI-MNDWI for Water Object extraction in hybrid area, *Communications in Computer and Information Science*, 482:513-519.
- [28] Arvidson, T; Goward, S; Gasch, J; Williams, D.

- 2006, Landsat-7 Long-term Acquisition Plan: Development and Validation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 72:1137-114.
- [29] Park, J. S; Kim, K. T. 2009, Evaluation of MODIS NDVI for Drought Monitoring : Focused on Comparison of Drought Index, The Journal of GIS Association of Korea, 17(1):117-129.

---

Received : 2015.10.02

Revised : 2015.12.07

Accepted : 2015.12.22