

스마트 팜을 위한 UAS 모니터링의 자연재해 작물 피해 분석 Analysis of Crop Damage Caused by Natural Disasters in UAS Monitoring for Smart Farm

강준오¹⁾ · 이용창²⁾

Kang, Joon Oh · Lee, Yong Chang

Abstract

Recently, the utility of UAS (Unmanned Aerial System) for a smart farm using various sensors and ICT (Information & Communications Technology) is expected. In particular, it has proven its effectiveness as an outdoor crop monitoring method through various indices and is being studied in various fields. This study analyzes damage to crops caused by natural disasters and measures the damage area of rice plants. To this end, data is acquired using BG-NIR (Blue Green_Near Infrared Red) and RGB sensors, and image analysis and NDWI (Normalized Difference Water Index) index performed to review crop damage caused by in the rainy season. Also, point cloud data based on image analysis is generated, and damage is measured by comparing data before and after the typhoon through an inspection map. As a result of the study, the growth and rainy season damage of rice was examined through NDWI index analysis, and the damage area caused by typhoon was measured by analysis of the inspection map.

Keywords : UAS, NDWI, Inspection Map, Rainy Season, Typhoon

초 록

최근 다양한 센서 및 정보통신 기술(ICT: Information & Communications Technology)을 융합·활용한 스마트 팜을 위한 UAS (Unmanned Aerial System)의 활용성이 기대되고 있다. 특히, 다양한 지수를 통한 실외 작물 모니터링 방안으로 효용성이 입증되며 여러 분야에서 연구되고 있다. 본 연구는 벼를 대상으로 자연재해 작물 피해를 분석하고 피해량을 계측하는 것이다. 이를 위해, BG-NIR (Blue Green_near Infrared red) 및 RGB 센서를 통해 데이터를 획득하고 영상해석 및 NDWI (Normalized Difference Water Index) 지수를 활용하여 장마에 의한 작물 피해를 검토한다. 또한, 영상해석 기반 포인트 클라우드 데이터를 생성, 인스펙션 맵을 통해 태풍 전·후 데이터를 비교하여 피해량을 계측한다. 연구결과, NDWI 지수 분석을 통해 벼의 성장 및 장마 피해를 검토하였고, 인스펙션 맵 분석으로 태풍에 의한 피해 면적을 계측하였다.

핵심어 : UAS, NDWI, 인스펙션 맵, 장마, 태풍

Received 2020. 11. 16, Revised 2020. 11. 25, Accepted 2020. 12. 09

1) Member, Dept. of Civil Engineering, Ph.D. student, Incheon National University. (E-mail: gnss@inu.ac.kr)

2) Corresponding Author, Member, Professor, Incheon National University. (E-mail: yclee@inu.ac.kr)

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.

1. 서론

최근 농업, 임업, 축산업, 수산물 등의 생산, 가공, 유통 단계에서 다양한 센서 및 정보통신 기술을 활용하여 원격으로 생산물의 생육 정보 데이터를 수집, 관리 및 예측하는 농업 시스템인 스마트 팜에 대한 관심이 높아지고 있다. 스마트 팜은 다양한 센서를 활용하여 생산 환경을 모니터링하고 적절한 생산 환경을 조성, AI와 로봇을 접목하여 자동으로 생산하는 농업 테크의 한 분야로 실내 작물에 주로 활용되며 최근에는 실외에 접목하기 위한 연구가 수행되고 있다. 실외 스마트 팜을 위한 모니터링 기술은 환경적 요인에 의해 실내에서 활용되는 설치형 센서 사용이 제한되어 원격 운용에 의한 모니터링 기술이 요구되고 있으며 다양한 센서 부착이 가능하고 넓은 면적에도 활용 가능한 UAS 모니터링이 주목되고 있다. UAS 모니터링은 UAS에 장착된 센서를 통해 데이터를 획득 및 분석하는 것으로 도심지 상록수 분포면적을 검토하기 위해 식생지수 중 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)와 SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) 기반의 식생지역과 비식생 지역 및 상록수 분포지역을 추출하고 식생의 활력도가 상대적으로 낮은 겨울철의 상록수 분포 특성을 분석하여 겨울철 상록수 분포를 파악하기 위한 NDVI와 SAVI 경계값의 범위를 특정하고 UAS의 식생 분석 업무에 대한 효용성이 입증되었다(Lee, 2017). 또한, 기존 식생 분석에 활용되는 다양한 파장대의 영상획득이 가능한 인공위성 영상을 대체할 수 단으로 UAS기반의 RGB센서, BG-NIR센서, 근적외 영상 센서를 활용하여 다양한 파장대의 데이터를 획득하고, 식물의 엽록소, 질소 및 수분 함유량 등을 검토할 수 있는 식생지수를 선정하여 식생상태 검측 수행능력을 검토, 과거의 식생조사 방식 대비 UAS 모니터링의 효용성이 입증하였으며(Lee, 2018), UAV기반 농작물에 대한 식생지수의 정확도를 평가하여 NDVI 식생지수가 우수하다고 판단되었다(Lee and Choi, 2019). 실외 작물에 대한 모니터링은 NDVI를 활용하여 식생 성장을 검토하고 분석이 가능하며 그 외의 다양한 지수를 활용하여 특정 환경에 대한 모니터링이 가능하다. 특히, NDWI는 식생의 수분량에 따른 분광 특성을 나타내며 이를 활용하여 위성영상 기반 한반도 지역의 NDWI에 대한 anomaly를 산출하고 등급화 하여 각 등급별 산불 위험 정도를 분석하고 한반도 지역 산림 캐노피의 watet stress 반영도를 평가한 바 있으며(Seong *et al.*, 2015), NDVI 및 NDWI가 수정된 MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)의 통합분석을 통해 늪의 육화상태를 분석하였다(Hwang and Um, 2015). 또한, NDWI는 수생식물의 성장 모니터링에 활용되며 우리나라

주요 작물 중 하나인 벼의 성장 초기에 활용할 수 있다. 벼는 물에 잠겨있는 농경지인 논에 주로 재배하며 5월~6월 사이에 모내기를 한다. 벼의 성장을 모니터링 하기 위해서는 물의 비중이 높은 모내기 이후인 6월~7월 경 NDWI를 활용하여 성장을 분석하고 그 후 성장 정도에 따라 NDVI를 활용하여야 한다. 벼의 생육 단계는 모내기 이후, 뿌리를 내리는 활착기와 새끼를 치는 유효분얼기, 헛새끼 치는 무효분얼기, 유수형성기, 출수기, 등숙기로 분류되며, 각 시기별로 필요 용수량이 다르다. 특히, 무효분얼기에 중간 물떼기를 하여 뿌리활력을 높여야 하며 중간 물떼기가 생략될 경우 물대기에 의한 토양환원으로 생긴 각종 유해물질이 뿌리에 침투하여 뿌리를 약화시키고 출수기가 되며 벼가 무거워질 때 벼 쓰러짐 현상이 발생하고 쌀의 품질이 저하될 수 있어 장마기간에 주의가 필요하다(Ryu, 2015). 또한, 우리나라 농작물 피해는 주로 집중호우와 태풍에 의한 피해가 크며 정부는 농가의 경영 불안요소 해소 및 소득안정을 위해 2001년 농작물재해보험을 적용하여 피해 농가에 보상하고 있지만, 피해량 계측에 의한 피해액 산정에 난항을 겪고 있다(Kim *et al.*, 2018). 실외 작물 재배에서 자연재해는 매우 영향이 큰 가해요소 중 하나이며 UAS 모니터링을 통해 자연재해에 의한 스마트 팜의 실외 작물 피해 계측 방안으로 활용 될 수 있다.

2. 연구 목적 및 방법

본 연구는 우리나라 주요 작물 중 하나인 벼를 대상으로 자연재해 중 농작물에 주로 피해를 입히는 장마와 태풍에 의한 벼의 피해를 분석하고 피해량을 계측하는 것이다. 이를 위해, 시흥 관곡지 인근의 논을 대상으로 2020년 6월 24일부터 8월 16일까지 진행된 장마기간 및 2020년 8호 태풍 바비, 9호 태풍 마이삭, 10호 태풍 하이선의 전·후에 맞춰 UAS에 RGB 센서 및 BG-NIR센서를 장착하여 영상을 획득하고 영상해석 및 NDWI 분석을 통해 장마에 의한 벼의 피해를 분석한다. 특히, 3가지 태풍 전·후 데이터를 비교하여 태풍에 의한 벼의 피해량을 계측한다.

2.1 UAS 영상해석

UAS 기반 사진측량에 의한 지형도 제작 작업의 경우 대상지에 대한 정보와 조정을 구역화 하여 번들(Bundle)방식으로 조정하는 방법이 효율적이다. 번들조정 기법은 공선조건, 공면조건, 또는 DLT (Direct Linear Transformation method)를 사용한다(Wolf and Dewitt, 2000). 영상해석은 SfM (Structure from Motion)기술을 기반으로 Fig. 1과 같이 UAS

에 장착된 카메라 센서를 활용하여 피사체를 충분한 중복도로 촬영하고, 영상 내 특징점을 추출, SfM 기반 정렬·정합과정을 반복하면서 상호표정 및 내부표정 요소를 초기 입력값 없이 독립적으로 산출한다. 특히, 지상기준점 또는 수직기준점의 절대좌표를 활용한 실세계 3차원 지형을 재현하며 Depth map 기반의 수치표면모형(DSM), 수치표고모형(DEM) 및 정사영상(Ortho Photomap)등을 종합적으로 재현한다(Lee and Kang, 2019).

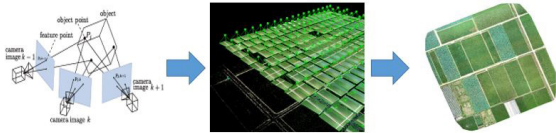


Fig. 1. SfM Based image analysis process

2.2 NDWI 분석

NDWI는 식생 캐노피의 수분 함량에 따른 분광특성을 이용한 것으로, 근적외선(NIR) 영역의 반사도와 단파 적외선(SWIR) 영역의 반사도 차이를 이용한 지수로 그 식은 Eq. (1) 과 같다(Gao, 1996).

$$NDWI = \frac{X_{NIR} - X_{SWIR}}{X_{NIR} + X_{SWIR}} \quad (1)$$

이 지수의 SWIR 반사율은 식생 캐노피의 식생 수분 함량과 해면질 구조 변화를 반영하며 NIR 반사율은 잎 내부 구조 및 잎 건조 물질 함량의 영향을 받지만 수분 함량의 영향은 받지 않는다. 다만, NIR 반사율과 SWIR 반사율의 조합은 잎 내부 구조 및 건조물질 함량으로 인한 변화를 제거하여 식생의 수분 함량 검색의 정확도를 향상시킨다(Ceccato, 2001).

$$NDWI = \frac{X_{green} - X_{NIR}}{X_{green} + X_{NIR}} \quad (2)$$

다만, 본 연구대상지의 벼는 물과 식생, 토양이 함께 분포되어 있어 각 개체 간에 명확한 구분이 필요하다. 본 연구에서 활용한 Eq. (2)의 NDWI 지수는 식생과 물을 구분하기 위해 RGB 삼원색 중 녹색(green) 및 근적외선(NIR) 스펙트럼을 활용, 녹색 스펙트럼의 물 반사율을 최대화하고 물 특성에 의한 NIR의 반사율을 최소화하여 식생 및 토양 특성에 의한 NIR의 높은 반사율을 기반으로 물의 특징을 강조하고 식생 및 토양의 특성을 억제하여 구분이 명확하고, 장마에 의한 수위 변화에도 민감하다(Mcfeters, 1996).

3. 연구내용

3.1 데이터 획득 및 처리

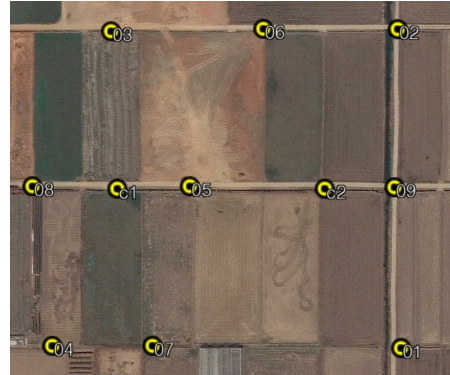


Fig. 2. GCP and check point location

연구대상지인 관곡지 인근 논에 Fig. 2와 같이 기준점 및 검사점 11점을 설치하고 70m의 고도에서 격자 Grid 및 80%의 중·형 중복도로 Fig. 3(a)의 Inspire 1 장비에 Table 1 제원의 Zenmuse X3 장비의 센서를 BG-NIR로 개조하여 GSD (Ground Sample Distance) 3cm의 NIR 영상 데이터를 획득하고, Fig. 3(b) 및 Table 2 제원의 팬텀 4 Pro 장비를 사용하여 GSD 1.92cm의 RGB 데이터를 획득하였다.



Fig. 3. Data acquisition equipment (a) inspire 1 (b) phantom 4 pro

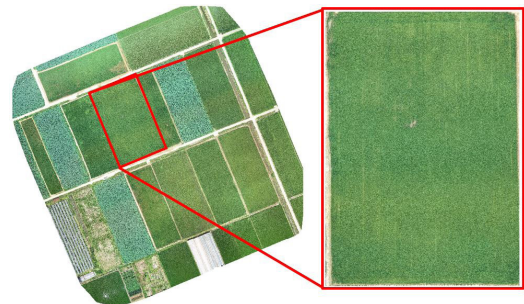


Fig. 4. Partial extraction of research objects

Table 1. Inspire 1 and camera specifications

Inspire 1		Camera	
Weight	2,935 g	Sensor	1/2.3" CMOS
Size	438x451x301 mm	FOV	94°
Maximum flight time	18 min	ISO range	100~1600
Satellite system	GPS	Resolution	4000×3000

Table 2. Phantom 4 pro and camera specifications

Phantom 4 pro		Camera	
weight	1388 g	Senser	1" CMOS
Size	350 mm	FOV	84°
Maximum flight time	30 min	ISO	100 ~ 12800
Satellite system	GPS / GLONASS	Resolution	5472 * 3648

특히, 장마가 시작되기 전 6월 17일과 장마기간 중 7월 1일, 7월 15일, 7월 28일, 8월 6일 및 장마종료 후 8월 20일 데이터를 획득, 기준점 8점을 사용하여 Pix4D mapper를 통해 영상 해석 후 Fig. 4와 같이 논 일부를 추출하고 NDWI 지수를 활용하여 분석하였다. 또한, 8호 태풍 바비 종료 후 8월 27일과 9호 태풍 마이삭 종료 후 9월 4일 및 10호 태풍 하이선 종료 후 9월 10일에 데이터를 획득하여 Pix4D mapper를 통한 영상 해석 후 포인트 클라우드 데이터를 생성하였다.

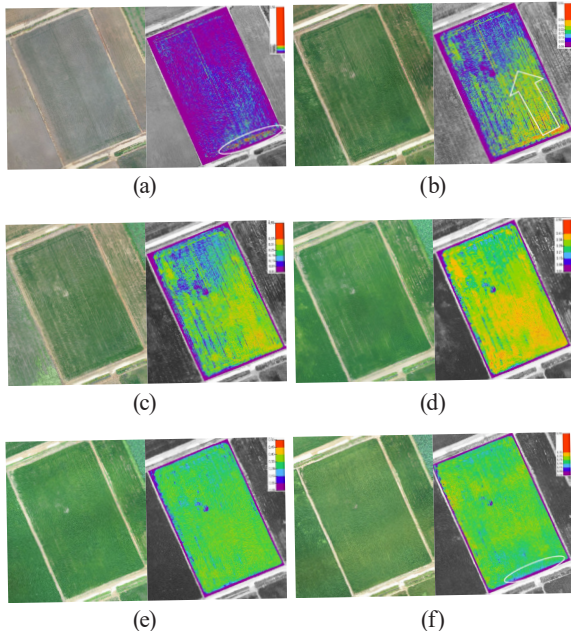


Fig. 5. RGB orthophoto and NDWI index map (a) June 17 (b) July 1 (c) July 15 (d) July 28 (e) Aug 6 (f) Aug 20

3.2 장마 피해 검토

2020년 장마는 중부지방 기준 6월 24일 시작하여 8월 16일에 종료되었으며 54일간 이어졌다. 이는 2020년 기준 우리나라 최장 장마기록으로 작물의 광합성 작용이 원활히 수행되지 못해 탄저병, 도열병 등의 작물 병충해가 발생하여 피해가 크게 나타났다. 영상해석 후 NDWI 분석을 통해 물과 식생의 구분이 6개의 데이터 모두 명확하게 나타나는 7개의 클래스로 분류, 인덱스 맵을 구성한 결과 Fig. 5와 같이 나타났다. 무지개 컬러 분류로 붉은색에 인접할수록 식생 활력도가 높으며 보라색에 가까울수록 수분함유량이 높다.

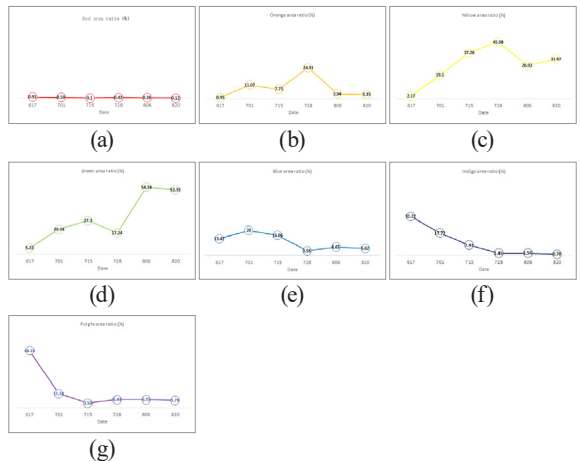


Fig. 6. NDWI area ratio of classified class (a) red (b) orange (c) yellow (d) green (e) blue (f) indigo (g) purple

특히, Fig. 6은 NDWI 클래스 분류별 면적으로 실제 강수량과 유사한 비율로 변동된 Fig. 6(d)의 데이터 기준, Fig. 6(a), (b), (c)는 식생활력 클래스, Fig. 6(d), (e), (f), (g)는 수분함유량이 높은 클래스로 판단하여 Table 3과 같이 나타내었다.

Table 3. Vegetation vitality and juicy area of the data (%)

Acquisition date	Vegetation active area	Juicy area
june 17	4.03	95.99
july 1	30.76	69.24
july 15	45.11	54.88
july 28	71.31	28.69
aug 6	31.12	68.88
aug 20	35.44	64.55

Fig. 5(a)는 모내기 후 1일이 경과된 6월 17일 영상 데이터로 표시된 하단 잡초에 의한 붉은빛 지역 외에 식생 활력이 높게 표시된 지역은 없으며 수분함유량이 높은 지역이 95.99%로 가장 높게 나타났다. 날씨 데이터는 기상청 데이터를 기준으로 하였으며 Fig. 5(b)는 7월 1일에 영상 데이터로 바로 전날 6월 30일 동부지역에 폭우가 쏟아졌으나 실험대상지인 중부는 상대적으로 적은 비가 내렸다. 표시와 같이 데이터를 하단을 기준으로 상단을 향해 식생 활력도가 높아졌다. 이는 유효분얼기가 시작되며 하단에 위치한 물펌프를 통해 하단을 중심으로 물이 순환되어 식생 생장도가 높은 것으로 판단되며 (Crossley *et al.*, 2002), 수분함유량이 높은 지역이 69.24%로 나타났다. Fig. 5(c)는 7월 15일 영상 데이터로 7월 10일 남부지역에 폭우가 쏟아졌으며 중부지방에는 적은 비가 내렸다. 우렁이 농법으로 표시된 지역의 잡초가 제거되며 하단의 식생 활력 지역이 Fig. 5(b)대비 낮아졌으며 논 전체적인 식생 활력 지역은 유효분얼기가 진행되며 45.11%로 상승하였다. Fig. 5(d)는 7월 28일 영상 데이터로 7월 23일 전국적으로 폭우가 쏟아지며 벼락과 강풍이 동반되었다. 7월 23일 이전까지 연구대상지의 장마 피해는 경미하여 유효분얼기가 양호하게 진행되었으며 식생 활력 지역이 71.31%로 가장 높게 나타났다. Fig. 5(e)는 8월 6일 영상 데이터로 7월 30일 호우경보가 발효되며 8월 6일 오전까지 폭우가 지속되었으며 데이터 촬영 이후 다시 폭우가 시작되었고 Fig. 5(d)와 비교하여 전체적으로

식생 활력 지역이 31.12%로 하락하였다. Fig. 5(f)는 중부지방의 장마가 종료된 후인 8월 20일 데이터이다. 8월 8일부터 폭우가 계속되었으며 8월 10일 5호 태풍 장미가 경남지역을 통과하였으나 중부지역의 태풍 피해는 미비했다. 비는 연구대상지에 8월 16일까지 지속적으로 내려 표시된 하단 지역에서 물이 범람하였으며 식생 활력 지역은 35.44%로 Fig. 5(e)와 비교하여 높아졌다. 반면, 식생 활력도가 가장 높았던 표시된 하단 지역의 수분함유량은 높게 나타났다.

각 클래스의 NDWI지수 평균 및 표준편차를 Table 4와 같이 나타내었다. Yellow, Green, Blue 클래스에서 면적 변위가 크게 나타났으며 Red, Orange, Indigo, Purple 클래스에서 상대적으로 변위가 적게 나타났다.

3.3 태풍 피해량 계측

2020년 우리나라 최장기록의 장마가 끝나고 8월 26일 우리나라 기상청 기준 풍속 45m/s의 태풍 바비가 상륙하였다. 이후, 9월 3일 49m/s의 태풍 마이삭 및 9월 7일 55m/s의 태풍 하이선이 상륙하였다. RGB 센서 기반 영상해석을 통해 생성된 포인트 클라우드를 Realworks 프로그램을 활용하여 태풍 상륙 전인 8월 20일 데이터를 기준으로 태풍 후 데이터와 비교하고 고도차에 의한 해상도 1.92cm의 인스펙션 맵을 생성하여 Fig. 7과 같이 나타내었다.

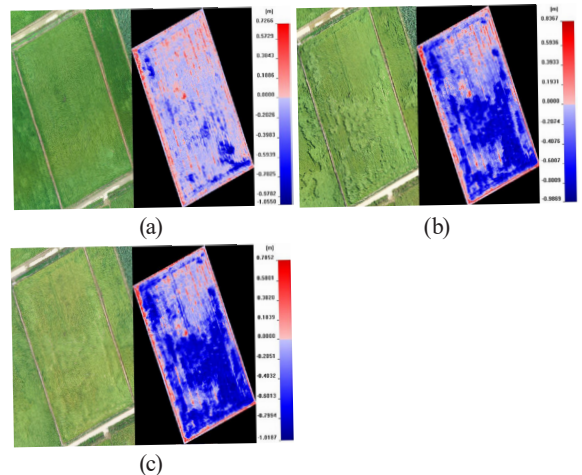


Fig. 7. Inspection map created by comparing the data before the typhoon on aug 20 and the data after the typhoon in (a), (b), and (c). (a) aug 27 (b) Sep 4 (c) Sep 10

Table 4. Mean and standard deviation of NDWI index for each class (%)

Class	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Indigo	Purple
Mean	0.40	8.66	27.23	29.47	10.88	10.11	13.25
Standard Deviation	0.31	8.72	15.29	19.84	6.57	12.20	16.30

Table 5. Typhoon properties and damage area

Typhoon name and landing date	Typhoon's maximum wind speed	Damage area	Applied area
Agu 26 / BAVI	45 m/s	733.529 m ²	733.529 m ²
sep 3 / MAYSAK	49 m/s	3410.5219 m ²	2676.9929 m ²
sep 7 / HAISHEN	55 m/s	3855.2002 m ²	444.6783 m ²

8월 20일 데이터 기준으로 Z축이 높아진 지역은 붉은색, 낮아진 지역은 파란색으로 나타내었으며 연구대상지의 면적은 5730.9808m²이다. Fig. 7(a)는 8월 20일과 8월 27일 데이터를 비교한 것으로 Z축 최대 상승값은 0.7266m, 최대 하락값은 1.0550m로 나타났으며 하락된 면적은 733.529m²로 나타났다. 특히, 식생 활력도가 상대적으로 높았던 하단 지역의 피해가 크게 나타났다. 이는, 다른 지역에 비해 활력도가 높아 무효 분얼기를 일찍 맞이했던 벼가 장마로 인해 중간 물떼기가 불가능하여 각종 유해물질에 의해 뿌리가 약화되고 수분 함유량이 많아지며 벼가 무거워져 벼 쓰러짐이 발생한 것으로 사료된다. Fig. 7(b)는 8월 20일과 9월 4일 데이터를 비교한 것으로 최대 상승값은 0.8367m, 최대 하락값은 0.9869m로 나타났으며 하락된 면적은 3410.5219m²로 나타났다. Fig. 7(c)는 8월 20일과 9월 10일 데이터를 비교한 것으로 최대 상승값은 0.7852m, 최대 하락값은 1.0187m로 나타났으며 하락된 면적은 3855.2002m²로 나타났다. Table 5는 태풍의 발생일, 이름, 최대풍속, 종합 피해면적 및 각 태풍이 가한 피해면적으로 9월 3일 발생한 태풍 마이삭에 의해 큰 피해가 나타났고 최대 풍속이 가장 큰 태풍 하이선의 피해가 낮게 나타났다. 이는, 태풍 마이삭에 의한 벼 쓰러짐이 이미 많이 진행되어 하이선의 피해가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 사료된다.

4. 결론

우리나라 주요 작물 중 벼를 대상으로 UAS를 활용하여 자연재해 중 농작물에 큰 피해를 입히는 장마와 태풍에 의한 피해를 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

첫째, 영상해석 및 NDWI 지수 분석을 통해 벼 분얼기의 식생 성장 및 장마에 의한 영향을 확인하였다. 특히, 새끼치기가 진행되는 중 지속적인 폭우로 물관리가 불가능해 벼의 수분이 상승되어 새끼치기 확장도가 낮아지며 벼의 생장이 장마에 의해 억제되는 것을 확인하였다.

둘째, 영상해석 및 데이터 비교를 통한 인스펙션 맵 생성 분석으로 태풍에 의한 벼 쓰러짐 피해 면적을 계측하였다. 특

히, 연구 대상지 하단의 벼는 물순환 효과로 인해 상대적으로 빠르게 성장하여 무효분얼기 기간에 장마를 맞이하였고 생육 단계에 필요한 물떼기가 장마로 인해 원활히 수행되지 못해 뿌리 활력이 낮아지고 벼의 수분이 크게 증가하여 벼 무게가 무거워진 상태로 태풍을 맞이해 피해가 크게 나타난 것으로 판단된다. 또한, 데이터 비교를 통해 각 태풍에 의한 피해 면적을 계측하였다.

셋째, 실외 스마트 팜을 위한 UAS 모니터링의 효용성을 판단하였다. 실외 작물의 원활한 모니터링 방안으로 UAS를 활용하여 데이터를 획득하고, 영상해석 및 다양한 지수를 통한 분석·비교로 생장 모니터링이 가능하였다. 특히, 자연재해에 취약한 실외 농작물의 피해량을 계측하여 농작물재해보험에 적용, 피해보상금 산정에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2020년 한국연구재단의 스마트 팜을 위한 오픈소스 융합기반 식생 분석 플랫폼 개발 연구사업 지원으로 수행된 기초연구사업임.

References

- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S. and Grégoire, J.M. (2001) Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 77, No. 1, pp. 22-33.
- Crossley, M.N., Dennison, W.C., Williams, R.R. and Wearing, A.H. (2002) The interaction of water flow and nutrients on aquatic plant growth, *Hydrobiologia*, Vol. 489, No. 1, pp. 63-70.
- Gao, B.C. (1996) NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 58, No. 3, pp. 257-266.

- Hwang, Y.S. and Um, H.S. (2015) Monitoring the desiccation of inland wetland by combining MNDWI and NDVI: a case study of upo wetland in south korea, *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 23, No. 6, pp. 31-41.
- Kim, S.j., Hong, S.J., Jung, W.Y., Kim, D.G., Um, H.R. and Cho, H.M. (2019) *Establishment of Standards for Calculating Damage to Crops in Natural Disasters*, Service Report, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong Special Self-Governing City.
- Lee, G.S. (2017), The analysis of evergreen tree area using UAV-based vegetation index, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol. 47, No. 1, pp. 15-26.
- Lee, Y.C. (2018) Vegetation monitoring using unmanned aerial system based visible, near infrared and thermal images, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol 48, No. 1, pp. 71-91.
- Lee, G.S. and Choi, Y.W. (2019), Accuracy assessment of crop vegetation index using UAV image data, *Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography-2019*, 11-12 September, Gwangju, Korea, pp.211-212.
- Lee, Y.C. and Kang, J.O. (2019) The precise three dimensional phenomenon modeling of the cultural heritage based on UAS imagery, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol. 49 No. 1, pp. 85-101.
- Mcfeeters, S.K. (1996) The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, No. 7, pp. 1425-1432.
- Ryu, J.O. (2015) *Organic Rice Cultivation*, Report, Sangji University, Department of Green Plants_Organic Ecology, Gangwon.
- Seong, N.H., Seo, M.J., Lee, K.S., Lee, C.S., Kim, H.J., Choi, S.W., and Han, K.S. (2015) A water stress evaluation over forest canopy using NDWI in korean peninsula, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, No. 2, pp. 77-83.
- Wolf P. and Dewitt B. (2000), *Elements of Photogrammetry with Application in GIS.*, McGraw Hill, New York, N.Y.