

침수흔적조사를 위한 UAV 사진측량 기반 DEM의 추출 및 활용*

박정식¹ · 최용진² · 이진덕^{3*}

Extraction and Utilization of DEM based on UAV Photogrammetry for Flood Trace Investigation and Flood Prediction*

Jung-Sik PARK¹ · Yong-Jin CHOI² · Jin-Duk LEE^{3*}

요 약

본 연구에서는 UAV기반 항공사진측량에 의해 정사사진 및 DEM을 생성하고 이를 침수흔적도 제작을 위한 정밀조사에 적용하고자 하였다. 2012년 9월 제6호 태풍 산바(Sanba)의 영향으로 제방붕괴 및 내수침수 피해가 발생한 구미시 고아읍 농경지를 연구대상지역으로 선정하였다. UAV사진측량 성과의 최적 정확도를 얻기 위해 연구지역에 19점의 GCP 최적 배치상태에서 Pix4Dmapper 소프트웨어를 이용한 영상처리를 통하여 점군 데이터, DEM 및 정사영상을 생성하였다. CloudCompare의 CSF Filtering를 적용하여 지면요소와 비지면요소로 point cloud를 분리한 후 GRASS GIS 소프트웨어에서 비지면요소만을 사용하여 최종적으로 보정된 DEM을 생성하였다. 최종 생성된 DEM으로부터 추출한 침수위 및 침수심 데이터와 한국국토정보공사(LX)의 공공데이터 포털사이트를 통하여 제공된 2012년 당시 같은 지역에 대한 기존 자료의 침수위 및 침수심 데이터를 비교하여 제시하였다.

주요어 : UAV, 사진측량, 점군 데이터(포인트 클라우드), 수치표고모형, 침수흔적조사, 침수위, 침수심

ABSTRACT

Orthophotos and DEMs were generated by UAV-based aerial photogrammetry and an attempt was made to apply them to detailed investigations for the production of flood traces. The cultivated area located in Goa-eup, Gumi, where the embankment collapsed

2023년 11월 26일 접수 Received on November 26, 2023 / 2023년 12월 18일 수정 Revised on December 18, 2023 / 2023년 12월 26일 심사완료 Accepted on December 26, 2023

* 본 연구는 2021년 금오공과대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

1 금오공과대학교 대학원 졸업, 공학석사 Master, Dept.of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology

2 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정, 대구과학대학교 겸임교수 Ph.D. Course, Dept.of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Adjunct Professor, Taegu Science University

3 금오공과대학교 토목공학과 교수 Professor, Dept.of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology

※ Corresponding Author E-mail : jdlee@kumoh.ac.kr

and inundated inundation occurred due to the impact of 6th Typhoon Sanba in 2012, was selected as the target area. To obtain optimal accuracy of UAV photogrammetry performance, the UAV images were taken under the optimal placement of 19 GCPs and then point cloud, DEM, and orthoimages were generated through image processing using Pix4Dmapper software. After applying CloudCompare's CSF Filtering to separate the point cloud into ground elements and non-ground elements, a finally corrected DEM was created using only non-ground elements in GRASS GIS software. The flood level and flood depth data extracted from the final generated DEM were compared and presented with the flood level and flood depth data from existing data as of 2012 provided through the public data portal site of the Korea Land and Geospatial Informatix Corporation(LX).

KEYWORDS : UAV, Photogrammetry, Point Cloud, DEM, Flood Trace Investigation, Flood Level, Flood Depth

서 론

태풍 및 집중호우 등에 의한 자연재해는 매년 발생해 오고 있으며, 이러한 자연재해가 발행하는 경우 “자연재해대책법” 제21조 및 같은 법 시행령 제19조와 “지진·화산재해대책법” 제10조 및 같은 법 시행령 제9조에 따라 중앙행정기관의 장 및 지방자치단체의 장은 재해지도를 작성해야 한다. 본 연구의 대상인 침수흔적도는 재해지도의 한 종류로서 이는 침수흔적 조사를 통하여 만들어지는데 ‘재해지도 작성 기준 등에 관한 지침’에 따르면 침수흔적도의 작성에 필요한 조사는 초동조사와 정밀조사로 구분된다. 이중 초동조사는 침수피해 발생 즉시 피해지역을 현장 방문하여 침수위치, 침수범위, 침수심, 제방의 파괴지점 등을 도면에 표시하는 것으로 초동조사 후 정밀조사를 실시한다. 정밀조사는 문헌자료, 공공기관의 재해자료, 언론기관의 보도사진, 기사내용 등을 총 망라한 기초조사와 초동조사 자료, 현지 지형여건, 피해복구 상황, 침수면적, 침수원인, 피해내용, 피해액 등의 정보를 직접 조사하는 현지조사(직접조사), 그리고 홍수기간의 강우자료와 지형, 토양, 토지이용자료 등을 이용하여 홍수유출 모형 방법과 침수기간에 촬영된 사진자료 등을 이용하여 침수흔적에 대한 정보를 조사하는 간접조사 방법이 있다.

그동안 국내외에서 Park *et al.*(2016)에 의

해 항공사진 및 UAV 사진을 이용한 소규모지역의 정사영상 제작 및 침수흔적도 제작과 LiDAR 등 점군 데이터(point cloud)를 이용한 DEM 제작기법에 관한 연구가 국내외적으로 활발히 연구되어왔다. Lim *et al.*(2016)은 2006년 7월 제3호 태풍 ‘에위니아’의 영향으로 피해를 입은 경기도 안산시 가현동 일원과 공동읍 용두리 일원을 대상으로 UAV에서 촬영한 영상 자료를 이용하여 정사사진과 DSM을 생성한 후 GEOID사의 가상측량프로그램(VST, Virtual Survey Tools)을 활용하여 침수흔적도를 제작하고 기존 침수흔적도와와의 정확성을 비교하였다. Um *et al.*(2009)는 댐 상류지역의 정밀 3차원 지형모형을 구축하여 지형적 특성을 반영하고 강우발생시 유출특성을 조사하여 홍수시물레이션을 수행함으로써 상류지역의 침수피해양상과 침수취약지역을 분석하고 침수취약지역에 대한 침수예측도를 작성하였다. Petras *et al.*(2016)은 항공 및 지상 Lidar, 저가의 실내 스캐너, UAV 기반의 파생된 점군 데이터 등 4가지의 서로 다른 DATA를 사용하여 오픈소스 소프트웨어인 GRASS GIS 모듈을 통해 DEM을 생성하는 방안을 제시하였다. Wuming Zhang *et al.*(2016)은 점군 데이터를 이용한 DEM 제작 시 점군 데이터에서 건물이나 식생 등 비지면요소를 분리하는 방법으로 점군 데이터를 거꾸로 뒤집은 뒤 그 표면을 덮는 가상의 천(Cloth) 개념을 이용하여 지면요소(ground point)만을 추출할

수 있는 CSF Filtering 알고리즘을 개발하였다.

본 연구의 목적은 정사사진과 DEM의 생성에 UAV를 이용한 사진측량을 적용하고 침수흔적도 제작을 위한 정밀조사 단계에서 침수범위, 침수위, 침수심 등을 추출하고 그 정확도를 분석하는 것이다. 자료의 생성 과정은 연구지역 선정, UAV를 이용한 사진 촬영계획 및 사진 촬영, 정사사진 및 DSM 생성, 점군 데이터 편집, DEM 생성, 침수심 자료 생성, 기존 침수심 자료와의 비교를 통한 정확도 분석의 순으로 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 침수흔적 조사의 정밀조사 단계에서 많은 시간과 비용이 요구되는 현지측량(Total station 또는 네트워크-RTK를 이용한) 방식이 아닌 저사양의 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicles, 이하 UAV)에 의한 사진측량을 이용하였으며, 오픈소스 소프트웨어를 이용한 수치표고모형(Digital Elevation Model, 이하 DEM)을 구축하였다. 이를 통해 작성한 침수심 데이터를 침수흔적도 작성 전담 기관인 한국국토정보공사(LX공사)에서 공공데이터포털을 통하여 제공하고 있는 침수심 데이터와 비교를 통하여 침수흔적 조사에 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

UAV 항공사진 데이터 취득 및 영상처리

1. 연구지역 선정

연구지역은 정확도 비교를 위하여 이미 국토정보공사에 의해 침수흔적도가 제작된 지역 중 면적 약 1km²~2km² 미만의 지역을 대상으로 선택하였으며 그 결과 2012년 9월 “제16호 태풍 산바”의 영향으로 침수 피해를 입은 경북 구미시 고아읍 황산리 일대 약 1.13km²(이하 연구지역)을 선정하였다(그림 1). 연구지역은 국가하천인 감천 우안에 위치하여 태풍피해 당시 구미지역의 시간당 최대 강우량은 38.5mm, 일일 강우량은 171.5mm를 기록하였으며, 당시 낙동강 지류인 감천의 제방 붕괴로 인해 농경지 100ha가 한꺼번에 침수되는 피해를 입었다. 이 지역

은 전 8.46%, 답 73.32%, 과 4.17%로 이들 농지 면적이 전체의 86%를 차지하고 있다.



FIGURE 1. Pilot area

2. 지상기준점측량

연구지역의 지형과 넓이 등을 고려하여 그림 2에 나타난 바와 같이 지상기준점(GCP) 19점과 검사점 17점, 즉 총 36점을 연구지역에 고르게 배치하였다. GCP 및 검사점 측량은 CHC사의 i80 GNSS 수신기를 이용하였고 UAV 사진촬영 전에 실시하였다.

항공삼각측량에 의한 처리 결과, 연구지역의 GCP 평균 RMSE는 $\pm 0.007\text{m}$ ($X=\pm 0.003\text{m}$, $Y=\pm 0.004\text{m}$, $Z=\pm 0.015\text{m}$)로 분석되어 1/1,000~1/1,200 축척의 평면기준점 허용오차 $\pm 0.1\text{m}$ 이내에 해당되며, 검사점에 대한 평균 RMSE는 $\pm 0.063\text{m}$ ($X=\pm 0.065\text{m}$, $Y=\pm 0.051\text{m}$, $Z=\pm 0.070\text{m}$)로 1/1,000~1/1,200 축척의 표고기준점 허용오차 $\pm 0.10\text{m}$ 이내에 해당되었다.

3. UAV 사진촬영

촬영에 사용된 기체는 DJI사의 Phantom 4를 사용하였고 자동비행에 의해 계획된 중·횡중복도를 유지할 수 있는 DJI사의 Pilot 프로그램을 이용하여 사진 촬영계획을 수립하였다. ‘무인비행장치 이용 공공측량 작업지침’ 제3장 제13조에 따르면 평탄한 저지대 지역의 경우 촬영 방향 중복도 65% 이상, 인접 코스 중복도 60%

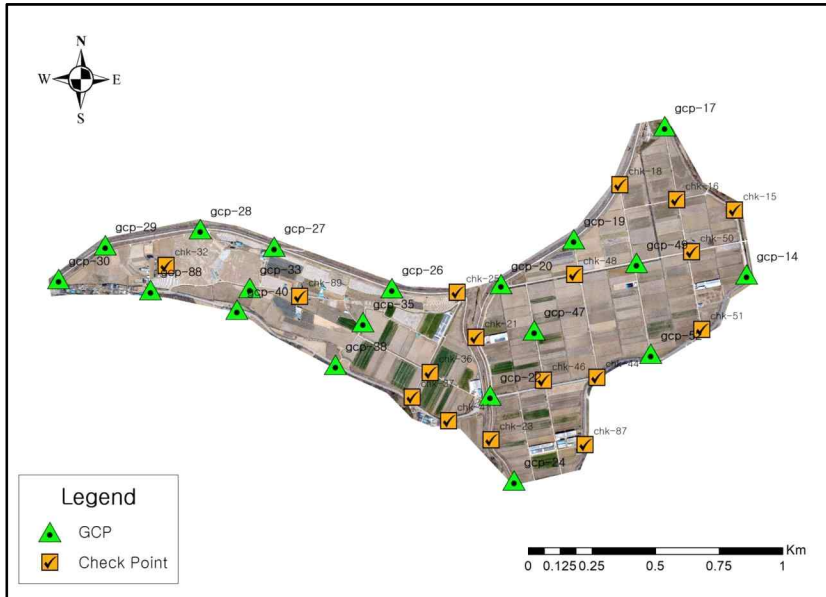


FIGURE 2. Arrangement of ground control points and check points

이상으로 촬영하도록 제시되어있으나 본 연구에서는 이보다 높은 촬영 방향 중복도 80%, 인접 코스 중복도 70%로 계획하였으며, 대지촬영고도 100m로 설정하여 획득한 이미지 수는 총 1,386장이다. 지상표본거리(GSD; Ground Sample Distance)는 4.27cm/pixel, 사용된 GCP의 평균 RMSE는 $\pm 0.007\text{m}$ 로 양호한 결과를 보였다.

DEM 및 정사사진 생성

1. 정사사진과 수치표면모형(DSM) 생성

카메라 정렬 등 초기처리를 마친 이미지를 사용하여 83,862,072점의 점군 데이터를 생성하고 정사사진(그림 3)과 수치표면모델(DSM; Digital Surface Model)(그림 4)을 생성하였다.

2. 수치표고모형(DEM)의 생성

Pix4D mapper에서 연구지역의 점군 데이터를 *.las 파일 형식으로 추출한 후 오픈소스 소프트웨어인 CloudCompare, GRASS GIS 등을 이용하여 DEM을 생성하였다. Pix4D mapper에서는 점군 데이터 생성 시 클래스 분류를 통

하여 Unclassified, Disabled, Ground, Road Surface, High Vegetation, Building, Human Made Object 등 6개의 점군 데이터 그룹을 자동분류로 얻을 수 있다. 이를 이용하여 DSM과 DEM을 생성할 수 있으나 자동분류된 그룹은 분류오류를 포함하고 있으므로 점군 데이터의 편집 과정을 거쳐야 한다. 자동분류 방식은 그림 5에서 확인할 수 있듯이 도로 부분의 데이터 공백이 보이고 우측 이미지에서는 건물의 지붕과 비닐하우스 등의 분류오류를 나타내었다. 점군 데이터의 편집은 많은 시간과 노력이 필요하고 넓은 지역에 적용하기에는 무리가 있으므로 본 연구에서는 Pix4D mapper에서의 자동 Class 분류방식을 사용하지 않고 지면요소(ground point)와 비지면요소(off-ground points) 분류에 좋은 결과를 보여준 CloudCompare 프로그램의 CSV Filter를 적용하였다.

CSF Filter는 Cloth Simulation을 기반으로 LiDAR 데이터를 설정하기 쉬운 정수 몇 가지와 Boolean 매개변수만을 설정하여 지면 요소와 비지면 요소로 분류한다. 이 알고리즘은 LiDAR 데이터에서 나무 측정값을 제거하고 산림 지역



FIGURE 3. Orthophoto mosaic

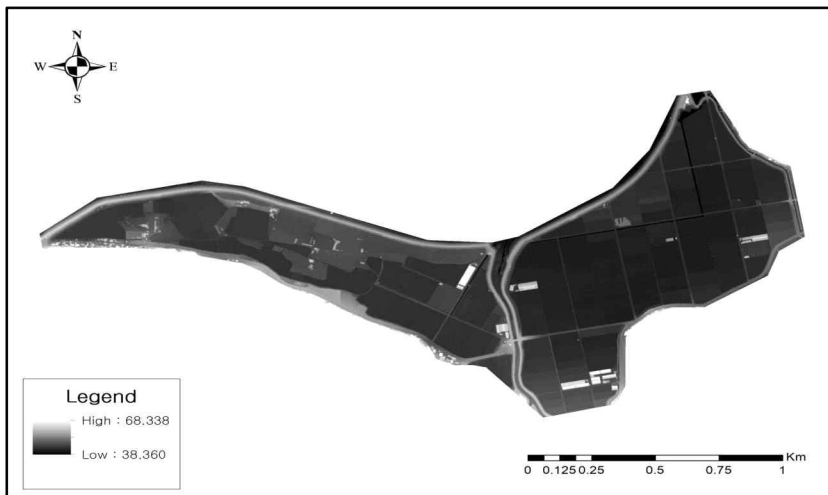


FIGURE 4. Digital surface model(DSM)

에서 DTM을 생성하는데 사용되었으며 이후 계층적 접근방식을 통합하여 일반적으로 많은 비지면 요소를 포함하는 도시지역에서의 LiDAR 지점을 처리하도록 확장되었다(Zhang, 2016). CSF Filter의 개념은 점군 데이터 위에 달라붙을 정도로 부드러운 천(cloth)이 덮여있다가 중력에 의하여 천(cloth)이 떨어진다고 가정할 때

최종모양은 DSM이 되며 점군 데이터를 거꾸로 뒤집고 천을 덮었다고 가정하면 최종모양은 DTM이 되는 Cloth Simulation(Weil, 1986.)을 이용하여 접지 지점을 추출하는 Filtering 알고리즘이다(<https://www.mdpi.com>).

본 연구에서 점군 데이터 및 mesh 데이터 처리 기능을 갖는 CloudCompare로 불러온 후



FIGURE 5. Class classification error in point cloud



FIGURE 6. Classification results of ground points

CSF Filter 기능을 사용하여 지면요소(ground points)와 비지면 요소(off-ground points)로 구분된 2개의 데이터를 생성하였다. CSF Filter 적용은 General parameter setting 탭의 Relief, Slope processing Option을 사용하였으며 Advanced parameter setting 탭의 Cloth

resolution 값을 0.5, 0.8, 1.0까지 변경하며 3회 반복 실행하였다. 그림 6은 CSF filter 기능을 사용하여 ground points만을 분류한 이미지로 그림 5와 비교 시 건물과 인공구조물, 식생 등이 상당히 잘 제거된 결과를 보여준다. 다만 그림 6의 우측 아래에서 보듯이 비닐하우스 등



FIGURE 7. Point clouds before (Left) and after (Right) modification

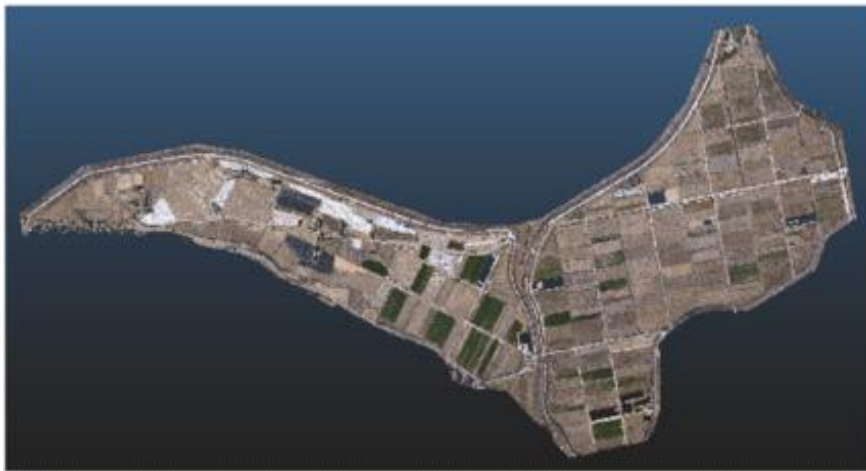


FIGURE 8. Point cloud data

은 완전히 분류되지 못한 것을 확인할 수 있다.

이러한 분류 오류는 CloudCompare의 segment 메뉴를 사용하여 점군 데이터 편집을 통하여 보완하였다(그림 7).

CloudCompare의 CSF Filter 적용 및 점군 데이터의 편집을 통하여 연구지역에서 59,261,698 개의 point를 얻었으며(그림 8) 이러한 점군 데이터를 사용하여 오픈소스 소프트웨어인 GRASS GIS에서 DEM을 생성하였다(그림 9).

침수위 및 침수심 데이터 추출

한국국토정보공사는 매년 전국단위의 침수위 선 자료 및 침수심 자료를 공공데이터 포털에 제공하고 있으며 본 연구에서는 연구지역에 대하여 추출한 침수심 데이터 결과와 비교하기 위해 관련 자료를 다운로드 받아 사용하였다. 공공데이터 포털의 다운로드 화면으로 제공되는 자료는 침수지역의 침수위 정보를 제공하는 FL_CHIMWL.shp (<https://www.data.go.kr/data/>

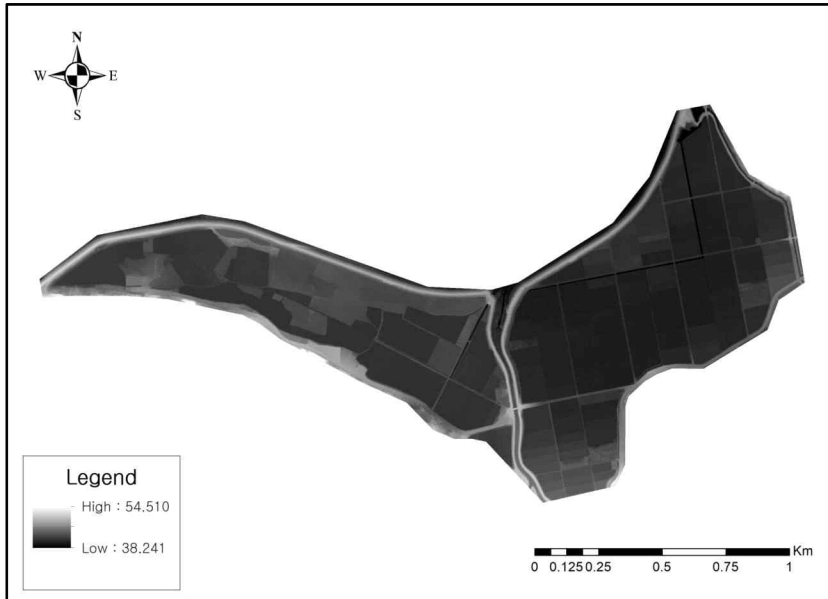


FIGURE 9. Finally created DEM

15048627/fileData.do)과 침수심 정보를 제공하는 FL_CHIMSL.shp(www.data.go.kr/data/15048628/fileData.do) 파일이다.

1. 침수위 데이터 추출

다운로드 자료(그림 10)에 의하면 연구지역의 침수위는 El. 43.6m이므로 본 연구에서도 El. 43.6m로 설정하여 분석을 진행하였다.

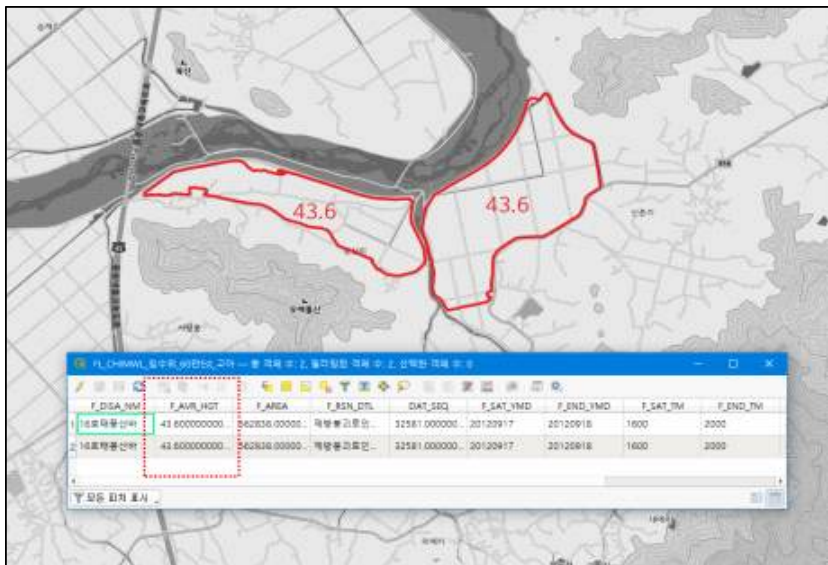


FIGURE 10. Flood level value in the study area (FL_CHIMWL.shp)



FIGURE 11. Creation of flood level line based on DEM

연구지역의 DEM과 다운로드 자료의 침수위 값을 이용하여 그림 11과 같이 침수위선을 생성하였다.

공공데이터 포털에서 다운로드 받은 FL_CHIMSL.shp 파일의 F_SHIM 필드값과 DEM 자료에서 생성된 침수심 데이터의 값을 비교하였다. 침수심 값은 FL_CHIMSL.shp 파일의 폴리곤 경계를 이용하여 DEM 자료와의 공간분석

2. 침수심 데이터 추출



FIGURE 12. Average flood depth data

을 통해 폴리곤 별 평균표고 데이터를 생성한 후 연구지역별 침수위 값을 차감하여 침수심 자료를 생성하였다(그림 12).

3. 기존 침수위선(CHIMWL.shp) 자료와의 비교

공공데이터 포털에서 다운로드한 침수위선과 본 연구에서 생성한 침수위선을 중첩하여 분석한 결과, 일치하는 부분도 다수 있었지만 일치하지 않는 부분도 나타났다. 이러한 불일치의 원인은 기 구축자료의 경우 현장조사 결과 등이 반영될 수 있으며 침수흔적도 제작 이후 시간의 경과로 지형의 변화 등이 반영되었기 때문으로 판단된다. 본 연구자료의 경우는 점군 데이터 분류 및 편집에서 제거되어야 할 포인트가 완전히 제거되지 않고 DEM 값에 반영되어 나타난 것으로 판단된다.

그림 13에서 ①, ②, ③, ④번의 위치는 기 구축자료와 비슷한 선형을 이루고 있어 일치한다고 판단되며, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧번은 기 구축자료와 차이를 보이는 지역이다. ①, ④는 다운로드 자료의 침수위선과의 거리가 0.5~2m 이내의

오차를 보이고 있으며 ②, ③은 4~7m의 차이를 보이지만 전체적인 선형은 유사한 형태를 보이고 있다. 반면에 ⑤, ⑥, ⑦, ⑧은 다운로드 자료와 일치하지 않는 부분으로 점군 데이터 분류 및 편집 과정에서 데이터가 삭제되거나 잘못 분류된 지역으로 DEM 값에 영향을 미친 것으로 판단된다.

4. 기존 침수심(FL_CHIMSL.shp) 자료와의 비교

다운로드 자료의 침수심 데이터(그림 14), 그리고 이와 동일한 폴리곤 경계상 추출한 DEM을 기반으로 (홍수위고-지반고)에 의해 구한 평균 침수심 값(그림 15) 사이의 차이를 분석한 결과를 그림 16과 표 1에 나타냈다. 11개 소구역(zone)별 기존 자료와의 차가 0.087~0.75m의 범위에서 나타났으며 이를 RMSE로 계산한 결과는 $\pm 0.351\text{m}$ 이다. 이러한 차이는 전술한 바와 같이 침수피해가 발생하여 침수흔적도를 기 작성한 당시의 현장조사와 본 연구에서의 현장조사의 방법의 차이, 그리고 2012년 침수피해 시점과 본 연구를 위한 현장조사 시점

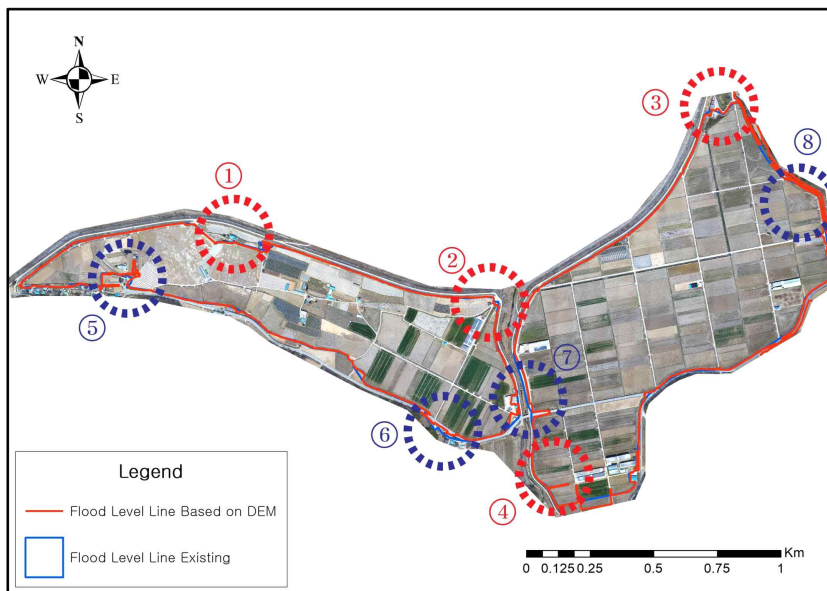


FIGURE 13. Overlap analysis of flood level lines from the existing public portal site and from extracted DEM

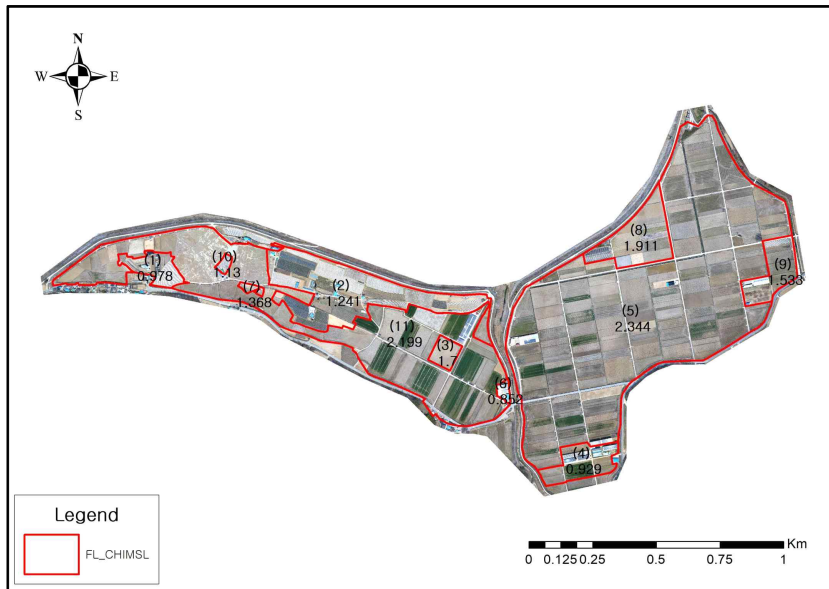


FIGURE 14. Flood depth data from public data portal(FL_CHIMSL.shp)



FIGURE 15. Average flood depth value obtained from DEM

(2021년) 간의 시간의 경과로 지형 변화 등이 반영된 데도 원인이 있을 것이고 점군 데이터 분류 및 편집상 오류가 DEM 값에 포함된 데도 원인이 있을 것으로 사료된다.

결론

연구지역에 UAV를 이용한 사진측량 결과물을 이용하여 침수흔적조사에 활용 가능성을 연



FIGURE 16. Difference between public data portal flood depth value and DEM average flood depth

TABLE 1. Difference between public data portal flood depths and DEM average flood depths

Zone	F_SHIM	DEM	Difference: A-B (m)
	A (m)	B (m)	
1	0.978	0.783	0.195
2	1.241	0.955	0.286
3	1.700	1.187	0.513
4	0.929	0.657	0.272
5	2.344	2.431	-0.087
6	0.852	0.102	0.750
7	1.368	1.264	0.104
8	1.911	2.019	-0.108
9	1.533	1.321	0.212
10	1.130	1.022	0.108
11	2.199	1.697	0.502
RMSE			±0.351

구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Pix4D mapper에서 연구지역의 점군 데이터를 추출한 후 Pix4D mapper에서의 자동 Class 분류 방식을 사용하지 않고 지면요소(ground point)와 비지면요소(off-ground points) 분류에 좋은 결과를 보여준 CloudCompare 프로그

램의 CSV Filter를 적용하여 개선된 점군 데이터를 얻을 수 있었으며, 오픈소스 소프트웨어인 GRASS GIS에서 비교적 정확한 DEM 자료를 추출할 수 있었다.

국토정보공사의 포털데이터에서 제공하는 기존 침수심 데이터와 본 연구에서 T생성한 DEM

을 기반으로 추출한 침수심 데이터의 비교를 통해 RMSE $\pm 0.351\text{m}$ 로 분석되었다. 비록 과거 자료와의 비교이지만 DEM을 통해 생성된 자료를 도면화 하여 정밀조사를 실시한다면 피해지역의 침수심 확인, 침수구역 경계 확정, 침수면적 확인 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 침수흔적 조사에 UAV를 이용한 사진측량과 GIS 분석기법의 적용은 정밀 조사에 대한 정확성을 유지하면서도 직접측량에 비해 시간과 비용 등을 획기적으로 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 피해 발생 초기 침수흔적이 남아있을 때 적극적으로 UAV 등을 이용해 피해지역의 항공사진을 촬영한다면 향후 이를 바탕으로 침수흔적조사 및 침수흔적도의 제작에 도움이 될 것으로 사료된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Han, S.H. 2019. Project Design Plan for Drone Photogrammetry. Division of Surveying and Geo-Spatial Information Engineering. Journal of the Korean Society of Civil Engineers. 39(1):239-246 (한승희. 2019. 드론사진측량을 위한 프로젝트 설계방안. 대한토목학회논문집 측량 및 지형공간정보공학분야. 39(1):239-246).
- Korea Land and Geospatial Informatix Corporation(LX). 2021. Flood Trace Information Flood Level Line. <https://www.data.go.kr/data/15048627/fileData.do> (Accessed Oct. 21, 2021) (한국국토정보공사(LX). 2021. 침수흔적정보 침수위선(연간) <https://www.data.go.kr/data/15048627/fileData.do>. (접속일:2021년10월21일).
- Korea Land and Geospatial Informatix Corporation(LX). 2021. Flood Trace Information Flood Level Line. <https://www.data.go.kr/data/15048628/fileData.do> (Accessed Oct. 21, 2021) (한국국토정보공사(LX). 2021. 침수흔적정보 침수위선(연간) <https://www.data.go.kr/data/15048628/fileData.do>. (접속일:2021년10월21일).
- Lim, H.T., S.W. Ahn, J.S. Kim, S.Y. Park and Y.S. Kim. 2016. A Study on the Application of Unmanned Aerial Vehicle for Improvement Method of the Making Inundation Trace Map. Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 16(2):223-231 (임현택, 안승우, 김정수, 박성용, 김용성. 2016. 침수흔적도 작성 방법 개선을 위한 무인항공기 적용 연구. 한국방재학회논문집 16(2):223-231).
- Park, J.H. and W.H. Lee. 2016. Orthophoto and DEM Generation in Small Slope Areas Using Low Specification UAV. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography. 34(3):283-290 (박진환, 이원희. 2016. 저사양 무인항공기를 이용한 소규모 경사지역의 정사영상 및 수치표고모델 제작. 한국측량학회지 34(3):283-290).
- Petras, V., A. Petrasova, J. Jeziorska, and H. Mitasova. 2016. Processing UAV and LIDAR Point Clouds in GRASS GIS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 41:945-952.
- Um, D.Y. and J.H. Kim. 2009. Analysis of the Vulnerable Area about Inundation on the Upriver Basin of Dam by Flood Simulation Using GIS, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography. 27(6):723-731 (엄대용, 김지혜. 2009. GIS 홍수시뮬레이션에 의한 댐 상류 유역의 침수 취약지역 분석. 한국측량학회지 27(6):723-731).
- Weil, J. 1986. The synthesis of cloth objects. Computer Graphics. 20(4):49-54.

Zhang, W., J. Qi, P. Wan, H. Wang, D. Xie, X. Wang, and G. Yan. 2016. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering

Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing. 8(6):501. **KAGIS**