

# 항공 LiDAR 자료를 이용한 제방부지 추출 기법 개발

## Development of a method for extraction of a levee site using the airborne LiDAR data

정윤재\*, 박현철\*\*, 조명희\*\*\*

Yun Jae Choung, Hyeon Chul Park, Myung Hee Jo

### 요 지

제방은 유수의 원활한 소통을 유지시키고, 제내지를 보호하기 위하여 하천을 따라 흙으로 축조한 공작물로서, 일반적인 제방의 구조는 제외지와 앞비탈, 둑마루, 뒷비탈 및 측단 등을 포함하는 제방 부지 및 제내지로 구성된다. 제방은 평평한 둑마루를 가지는 선형 구조물이긴 하지만, 하천유역에 존재하는 다른 선형 형태의 구조물(도로, 교량 등)에 비해서 일정한 경사도를 가지고 있는 앞비탈 및 뒷비탈을 보유하고 있기 때문에 다른 선형 구조물의 형태와 구분된다. 따라서, 하천유역 매핑 작업 시, 제방부지를 도로 및 교량 등 다른 선형 구조물과 구별하여 추출할 필요가 있다. 본 연구에서는, 항공 LiDAR 자료로부터 형태학적 영상처리(Morphological Image Processing) 기법을 이용하여 제방부지를 추출하는 기법을 개발하였다.

**핵심용어 : 제방, 제방부지, 형태학적 영상처리, 경사도, 항공 LiDAR 자료**

### 1. 서론

제방은 유수의 원활한 소통을 유지시키고, 제내지를 보호하기 위하여 하천을 따라 흙으로 축조한 공작물로서, 구조적 안정성이 확보되어야 하며, 필요한 여유고와 단면 및 호안 등을 가진 완성 제방을 의미하며, 하구에 설치되는 해안보호 제방과는 구별된다(이종석, 2010). 일반적인 제방의 구조는 제외지와 앞비탈, 둑마루, 뒷비탈 및 측단 등을 포함하는 제방 부지 및 제내지로 구성되고, 제방의 종류는 설치 목적에 따라 본제(main levee), 부제(secondary levee), 놀둑(open levee), 윤중제(ring levee), 횡제(cross levee), 도류제(guide levee), 월류제(overflow levee), 역류제(back levee) 등으로 구분된다(이종석, 2010). 제방은 평평한 둑마루를 가지는 선형 구조물이긴 하지만, 하천유역에 존재하는 다른 선형 형태의 구조물(도로, 교량 등)에 비해서 일정한 경사도를 가지고 있는 앞비탈 및 뒷비탈을 보유하고 있기 때문에 다른 선형 구조물의 구조와는 확연히 구별된다. 그림 1은 테스트베드로 선정된 낙동강 함안보 부근에 위치한 제방들 중 하나인 증산제를 보여주는 항공 정사영상이다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 하천유역에서 제방은 도로 등의 다른 선형 구조물들과는 달리 앞비탈 및 뒷비탈을 보유하고 있다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서, 하천유역 매핑 작업 시, 제방부지를 도로 및 교량 등 다른 선형 구조물을 추출할 때에는 다른 방법을 사용할 필요가 있다. 본 연구에서는, 항공 LiDAR 자료로부터 형태학적 영상처리(Morphological Image Processing) 기법을 이용하여 제방 부지를 추출하는 기법을 개발하였다. 우선, 항공 LiDAR 점군 자료를 보간법을 이용하여 LiDAR 디지털 표면 모델로 변환한 뒤, 각 픽셀의 경사도를 구한다. 국토해양부가 발행한 하천 정비 기본계획서를 참고하여, 하천 제방의 앞비탈, 뒷비탈 및 둑마루폭을 구성하는 격자를 각각 추출한 뒤, 이진

\* 정회원 · 차세대홍수방어기술개발연구단 · E-mail : yunjae1030@hotmail.com

\*\* 정회원 · 차세대홍수방어기술개발연구단 · E-mail : phc1209@naver.com

\*\*\* 정회원 · 경일대학교 공과대학 위성정보공학과 교수 · E-mail : mhjo@kiu.ac.kr

영상으로 변환한다. 그리고, 형태학적 영상처리 기법 들 중에서 열기/닫기(Opening & Closing) 및 세선화(Thinning) 기법을 적용하여 선형 객체들의 끊어진 지점들을 연결하고 구멍을 메운 뒤, 이진 영상에서 굵은 선형 형태로 나타난 지역을 한 픽셀로 연결된 가는 선형 형태로 변환한다. 추출된 선들의 평균 길이 등을 고려하여 제방부지를 추출한다.

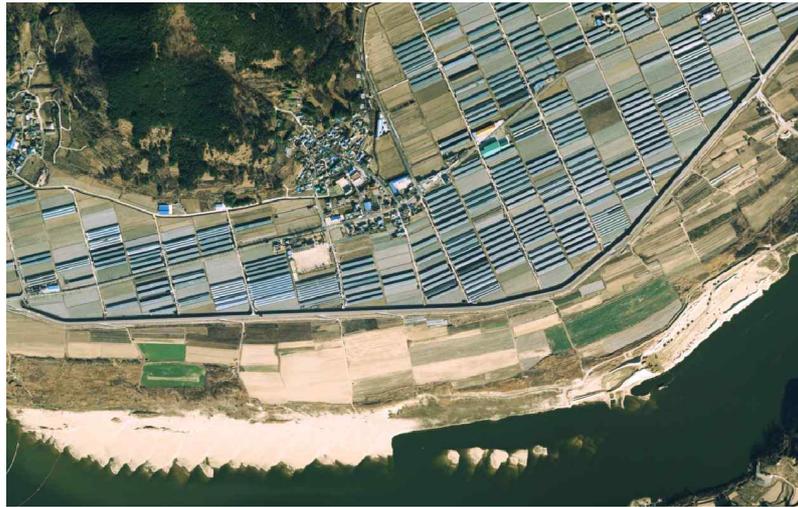


그림 1. 낙동강 함안보 부근에 위치한 증산제를 보여주는 항공 정사영상

## 2. LiDAR 자료를 이용한 제방부지 추출

### 2.1 전처리 과정

항공 LiDAR 점군 자료를 이용하여 제방부지를 추출할 경우, 다음과 같은 전처리 과정이 필요하다. 첫 번째, 항공 LiDAR 점군 자료를 TIN 보간법을 이용하여 LiDAR 디지털 표면 모델(LiDAR DSM (Digital Surface Model))로 변환한 뒤, LiDAR 디지털 표면 모델에 존재하는 메디안 필터링 (median filtering)을 적용하여 잡음을 제거해준다. 두 번째, LiDAR 디지털 표면 모델을 LiDAR 경사 래스터 구조 (LiDAR Slope Raster)로 변환한다. 변환된 LiDAR 경사 래스터에서 각 픽셀은 해당 지역의 경사도를 가진다. 그림 2, 3은 메디안 필터링을 이용하여 잡음을 제거한 LiDAR 디지털 표면 모델과 LiDAR DSM을 기반으로 변환한 LiDAR 경사 래스터를 보여준다. 그림 2에서 보는 바와 같이, LiDAR 디지털 표면 모델에서는 제방이 위치한 제방부지가 다른 선형 구조물들에 비해서 확연히 보이지 않는 반면에, LiDAR 경사 래스터에서는 제방의 앞비탈 및 뒷비탈이 육안으로 보인다는 것을 알 수 있다. 일반적으로, 제방을 구성하는 앞비탈 및 뒷비탈은 일정한 경사도를 가지고, 둑마루는 경사도가 낮은 편평한 면을 가지고 있다. 따라서, LiDAR 경사 래스터에서 둑마루에 위치한 픽셀은 낮은 경사도를 가지고 있기 때문에 상대적으로 어둡게 보이고, 앞비탈 및 뒷비탈에 위치한 픽셀은 높은 경사도를 가지고 있기 때문에 육안으로 확연히 확인할 수 있다는 것을 알 수 있다.



그림 2. LiDAR 디지털 표면 모델

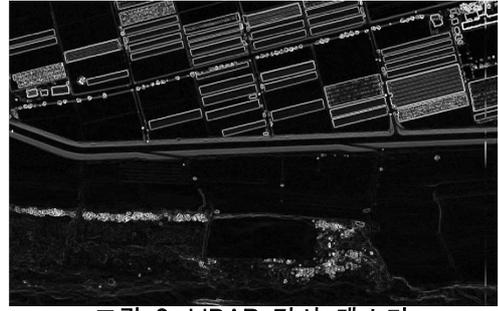


그림 3. LiDAR 경사 래스터

그림 3의 LiDAR 경사 래스터의 픽셀들이 가지고 있는 경사도를 이용하여 제방의 앞비탈 및 뒷비탈이 위치한 비탈 경사에 위치한 픽셀들 및 제방의 둑마루에 위치한 픽셀들을 추출하도록 한다. 제방의 비탈 경사가 가지는 경사도는 일반적으로 1:2 (26.56°)이며, 소규모 제방 등 제방의 종류 및 위치에 따라서 1:3 (33.82°) 또는 1:1.5 (18.26°)의 경사를 가진 제방 또한 존재한다(국토 해양부, 1991; 윤광석, 2004). 본 연구에서는 침식 및 월류로 인한 제방 붕괴 등의 원인으로 인해서 제방의 비탈 경사가 가지는 경사도가 최대 10° 정도 변화할 수 있다고 가정한다. 따라서 제방의 비탈경사에 위치한 픽셀들은 최소 8.26° 이상, 최대 43.82° 이하의 경사도를 가진다고 가정하며 이를 비탈 경사에 위치한 픽셀들의 경사도 범위라고 가정한다. 제방의 둑마루는 편평한 면으로 구성되어 있기 때문에, 둑마루에 위치한 픽셀들은 비탈 경사에 위치한 픽셀들과 비교하였을 때, 상대적으로 낮은 경사도를 가진다. 따라서 본 연구에서는 제방의 둑마루에 위치한 픽셀들의 경사도 범위를 0° ~ 6°라고 정의하였다. 그림 4, 5와 같이 LiDAR 경사 래스터에서 비탈 경사를 구성하는 픽셀들과 둑마루를 구성하는 픽셀들을 각각 추출하여 두 개의 새로운 영상을 생성한 뒤, 각 영상을 그림 6, 7과 같이 이진 영상으로 변환한다.

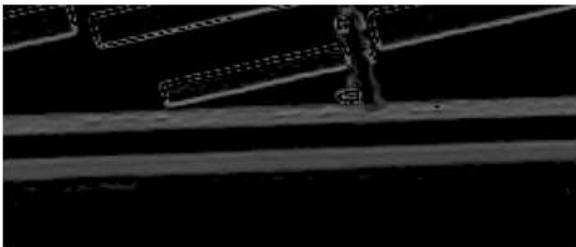


그림 4. 비탈경사의 경사도 범위에 해당되는 픽셀들을 추출하여 생성된 영상

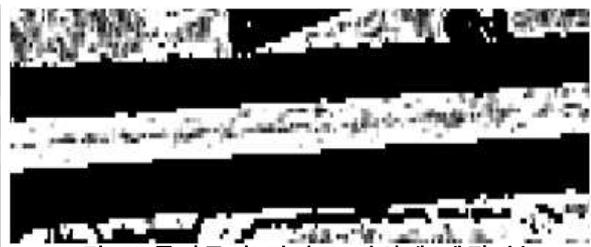


그림 5. 둑마루의 경사도 범위에 해당되는 픽셀들을 추출하여 생성된 영상



그림 6. 그림 4의 이진 영상



그림 7. 그림 5의 이진 영상

## 2.2 형태학적 영상처리 기법을 적용한 제방부지 추출

형태학적 영상 처리는 이진 영상(Binary Image) 또는 그레이-스케일 영상 (Gray-scale Image)에서 구조 요소(SE (Structuring Element))를 사용하여 입력 영상에서 특정한 모양을 가지는 객체를 추출하는 처리 기법을 의미한다. 형태학적 영상 처리 기법들은 침식과 팽창이라는 기본 연산에 기반하며, 침식은 입력된 이진 영상의 객체를 축소 또는 가늘게 만드는 기능을 가지고 있으며, 팽창은 입력된 이진 영상의 객체의 틈을 메우고, 객체들을 커지게 또는 두꺼워지게 만든다(Gonzalez and Woods, 2008). 형태학적 영상처리 기법의 두 기본 연산들인 침식(Erosion)과 팽창(Dilation)은 아래 두 식을 이용하여 정의된다(Gonzalez and Woods, 2008).

$$\text{침식: } B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (1)$$

$$\text{팽창: } A \oplus B = \{z | (B)_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 A는 입력된 이진 영상이고 B는 구조 요소를 의미한다. 식 (1)에서 침식은 B에 의한 A의 침식이 z에 의해 이동된 B가 A에 포함되는 모든 점 z의 집합임을 의미하고, 식 (2)에서 팽창은  $\hat{B}$ 와 A가 적어도 한 요소라도 겹쳐지게 만드는 모든 이동 z의 집합임을 의미한다(Gonzalez and Woods, 2008). 형태학적 영상처리의 기본적인 개념인 침식과 팽창 이론을 기반으로 열기와 닫기(Opening & Closing) 기법을 위 그림 6과 7의 두 이진 영상에 각각 적용한다. 열기(Opening)는 일반적으로 객체의 윤곽을 부드럽게 만들고, 좁은 지협을 끊고 가느다란 돌출부를 제거하며, 닫기(Closing)는 일반적으로 윤곽의 좁은 끊김과 길고 가는 깊은 틈을 붙이고, 작은 홀을 제거하고, 간극을 채운다(Gonzalez and Woods, 2008). 구조 요소 B에 의한 집합 A의 열기 및 닫기는 아래 식 (3)과 (4)를 이용하여 정의된다(Gonzalez and Woods, 2008).

$$\text{열기: } A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$\text{닫기: } A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

식 (3), (4)를 이용하여 열기 및 닫기 기법을 적용시켜서 이진영상에서 나타난 객체들의 윤곽선을 부드럽게 하고, 가느다란 돌출부를 없애고, 작은 홀들을 제거한 뒤, 세선화(Thinning) 기법을 이용하여 이진영상에서 나타난 두꺼운 객체들을 한 화소 두께의 에지(Edges)로 변환한다. 그림 8, 9, 10은 열기/닫기 기법 및 세선화 기법을 이용하여 그림 6의 이진영상에서 두꺼운 객체들이 한 화소 두께의 에지들로 변환되는 과정을 보여준다.



그림 8. 열기(Opening) 기법을 적용시킨 결과

그림 9. 닫기(Closing) 기법을 적용시킨 결과

그림 10. 세선화(Thinning) 기법을 적용시킨 결과

세선화 기법을 이용하여 추출된 에지들의 길이를 고려하여 제방부지를 선택하도록 한다. 제방은 하도를 따라 축조된 구조물로서 일반적으로 상당히 긴 길이를 가지고 있다. 본 연구에서는 세선화 기법을 이용하여 두 영상에서 추출된 에지들 중에서 독마루를 표현하는 이진 영상에서 500m 이상 길이를 가지는 에지들, 비탈 경사를 표현하는 이진영상에서 200m 이상의 길이를 가진 에지들

을 각각 추출한다.

### 3. 테스트베드 선정과 데이터 확보

본 연구에서는 낙동강을 테스트베드로 선정하고, 테스트중점대상(test feature)으로 함안보 부근의 증산제를 선택하였다. 연구에서 사용된 라이다 데이터는 Optech의 ALTM Gemini 167가 2009년 12월부터 2010년 1월까지 취합한 데이터이다. 이 라이다 데이터는 일반적으로 1m 수치지표고모델(Digital Elevation Model: DEM)에 대해 1m<sup>2</sup>당 1.5개의 평균 점밀도를 갖는다.

### 4. 결과 및 결론

본 연구에서 사용된 모든 기법들을 이용하여 테스트 베드에서 추출된 에지들(독마루폭을 표현하는 에지(파랑)) 및 비탈경사를 표현하는 에지들(빨강)을 보여준다. 테스트 중점대상으로 선정된 증산제는 약 3km의 길이를 가지고 있으며, 본 연구를 통하여 실험한 결과 증산제가 가지고 있는 독마루 및 비탈경사면을 구성하는 에지들이 전부 추출된다는 것을 아래 그림 11에서 확인할 수 있다.



그림 11. 테스트 베드에서 추출된 에지들

본 연구에서는 제방의 구조적인 특징을 고려한 형태학적 영상처리 기법을 이용하여 항공 LiDAR 자료로부터 제방부지를 추출해보았다. 본 연구의 결과는 향후 제방법선의 매핑 등에 중요하게 이용될 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 수행한 건설기술혁신사업(08기술혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

1. 국토 해양부(1991), 낙동강 하천정비 기본계획(보완).
2. 윤광석 (2004). 하천제방 붕괴 유형분석 및 설계방안. 한국수자원학회지, v.37, no.5, pp.50-60.
3. 이종석 (2010). 하천공학 및 설계, chap. 7, pp. 282-291 새론.
4. Gonzalez, R.C. and R.E. Woods. (2008). *Digital Image Processing (Third Edition)*, Pearson Education, Inc.