

인공위성 화상데이터를 이용한 교량위치의 추출 Extraction of Bridge Status Using Satellite Image Data

안기원* · 조병진** · 서두천***

Ahn, Ki-Won · Cho, Byung-Jin · Seo, Doo-Chun

요 旨

본 연구에서는 SPOT XS데이터를 사용하여 교량위치(교량중심선, 교량폭)를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 경계화소들의 화소내 항목혼합비를 산정한 후, 항목혼합비를 고려하여 교량중심선과 폭을 추출하는 기법을 제안 적용하였다. 인공위성 화상데이터로부터 추출된 교량위치를 국립지리원 제작의 축척 1/5,000 수치지도 및 현장측량결과와 비교·검토하였다. 비교 결과, 교량중심선의 평면 위치는 ± 2.9 m, 교량폭은 ± 4.1 m의 오차로 측정할 수 있었다.

ABSTRACT

The aim of this study is to extract bridge location(center line and width of a bridge) from SPOT XS data with 20. The boundary pixels were computed to get the mixture proportions of classes and this mixture proportions were used to extract center line and width of a bridge. The accuracy was tested by comparing the extracted bridge center line coordinate and width to the existing 1:5,000 scale national digital map and field survey data. The results of the comparison show that the measuring accuracy of the bridge center line coordinates and width are ± 2.9 m and ± 4.1 m.

1. 서 론

북한과 같은 접근불가지역의 시설물 현황을 파악하기 위해서는 인공위성 화상데이터의 사용이 필수적이다. 특히, 북한지역의 간척시설(방조제 폭과 길이 등), 댐의 규모 및 저수지 면적과 같은 농지기반시설의 파악에 있어서는 접근지역에서의 사전 연구를 행하고 그 결과를 접근불가지역에 적용할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서도 우선 방조제의 재질과 모습이 유사한 교량을 대상으로 그 위치와 폭 등 규모를 파악하는 연구를 사전에 행하고자 하였다. 농지기반시설처럼 토지피복단위가 작아 인공위성 탑재센서의 공간해상력보다 작은 크기의 물질이 다양하게 분포하는 경우, 토지피복 특성이 혼합되어 분류 정확도뿐만 아니라 정보의 손실을

가져오게 된다.¹⁾

Landsat MSS 및 TM, SPOT HRV, MOS-1 MESSR 등의 인공위성 화상데이터를 구성하고 있는 화소는 1개의 토지피복항목으로 된 경우는 드물고, 일반적으로 여러 가지의 항목으로 구성되어 있다. 특히, 균질한(homogeneous) 영역간의 경계에 있는 불균질한(heterogeneous) 영역은 혼합화소(mixed pixel)로 구성되어 있고 이것은 화상분류정확도를 떨어뜨리는 원인이 되고 있다.^{2,3)}

인공위성 화상데이터의 분석시, 이러한 분류정확도 및 정보손실을 최소화하기 위해 여러 가지 노력이 있어 왔다. 이러한 노력의 구체적인 방법으로 혼합화소 개념을 도입한 화소세분화 방법이 있다. 화소 세분화 방법에는 texture analysis, feature mixing의 개념을 토대로 한 역행렬을 이용하는 방법, 일반화 역행렬을 이용하는 방법, 2차계획법에 기초한 방법, 최소제곱법에 의한 방법, 주변 8개 화소들의 상태를 고려하여 선형회귀에 의한 방법 등이 제안되었다.^{2,4)} 국내에서도 피지시그모이드함수, 역전파 신경망이론 및 정준상관분류기법등을 이용한 방법이 제안되고 있다.^{5,6)}

*경상대학교 공과대학 토목공학과 교수(경상대학교 부속 생산기술연구소 연구원)

**경상대학교 농과대학 농공학과 교수

***경상대학교 대학원 토목공학과 박사과정

본 연구는 공간해상력이 20 m인 SPOT XS 화상데이터로부터 교량위치(교량중심선 및 교량폭)를 추출하기 위하여, 먼저 인공위성 화상데이터 각 화소마다 존재되어 있는 여러 항목의 혼합비를 추출할 수 있는 기법을 제안 하였으며, 추출된 혼합비를 바탕으로 교량의 평면위치를 결정하는데 중요한 요소인 교량중심선 좌표와 교량폭을 효과적으로 추출할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

2. 항목혼합비를 고려한 교량위치추출기법

2.1 혼합비의 추출

인공위성 화상데이터는 래스터형식의 데이터를 제공하므로 각 화소는 위성센서의 공간해상력에 따라 지표의 일정한 면적만을 포함하게 된다. 이때 각 화소는 지표의 피복특성에 따라 한 개의 토지피복항목으로만 구성되는 경우는 드물고, 일반적으로 여러 개의 토지피복항목이 복합적으로 구성되는 혼합화소(mixed pixel)형태로 구성된다.²⁾ 특히, 인공위성 화상내 두 가지 이상 항목이 경계를 이루는 지역에서는 두 항목의 반사특성이 하나의 화소값으로 합쳐져 그 어느 하나의 항목도 정확하게 표현되지 않는다. 따라서, 인공위성 화상데이터에서 혼합되어 있는 화소는 어떠한 방법으로든 각 항목의 분광반사특성과 혼합화소의 혼합비를 찾아내어야 한다.

혼합화소 분광반사특성은 이것을 구성하고 있는 여러 가지 항목의 분광반사특성이 혼합되어 하나의 화소값으로 나타난다.

본 연구에서는 혼합화소의 혼합비를 추출하기 위해 관측벡터와 이 추정값의 잔차를 최소화 하는 조건으로 해를 구하는 최소제곱법의 원리를 적용하였다. 즉, N개의 항목으로 구성되어 있는 화소의 M차원 관측벡터를 I, 이들 항목의 혼합비 벡터를 B 그리고 각 항목에 대응하는 지상대상물의 분광반사율특성 즉, 분광공간상에서의 1개의 토지피복항목으로 된 경우의 분광벡터를 A라 하면 I는 식 (1)과 같은 선형결합함수로 표현된다.

$$I = AB \quad (1)$$

$$I = (I_1, I_2, \dots, I_M)^t \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1N} \\ A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2N} \\ \vdots \\ A_{M1}, A_{M2}, \dots, A_{MN} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$B = (B_1, B_2, \dots, B_N)^t \quad (4)$$

여기서, I는 관측벡터이기 때문에 알고 있는 값이다. A에 있어서는 미리 기본 항목을 설정하고 그 분광반사율특성을 측정해두어야 하는 기지값이다. 그러나 지상에서 측정된 대상물의 분광반사특성은 대기나 지표기복 등의 영향 때문에 인공위성 화상데이터의 화소값과 차이가 발생한다. 이를 피하기 위하여 본 연구에서는 인공위성 화상데이터에서 기본 항목의 분광공간상의 분포를 구하여 그 평균벡터를 각 항목의 분광반사특성의 대표값으로 선정하였다.

식 (1)을 식 (5)의 관측값과 추정값과의 차이를 최소화 할 때의 해를 구하면 식 (6)이 얻어지며 혼합화소내의 설정기본 항목의 혼합비가 구하여지게 된다.

$$\sqrt{\sum_{i=1}^M E_i^2} \rightarrow \min., \quad E = I - AB \quad (5)$$

$$B = (A^t A)^{-1} A^t I \quad (6)$$

$$\text{여기서, } \sum_{i=1}^N B_i = 1$$

$$B_i \geq 0$$

2.2 교량 위치의 추출

공간해상력이 20 m인 SPOT XS 화상데이터에서 교량으로 판독될 수 있는 경우는 왕복 4차선 이상, 교량폭 30 m 이상이 되어야만 하며, 이 정도 크기의 교량만이 화상에서 2~3개 정도의 화소로 나타난다. 따라서 2~3개 정도의 적은 화소로 교량중심선 및 폭을 정확하게 추출하기 위해서는 화소이하(sub-pixel)단위로 추출하는 것이 필수적이다.⁷⁾

이를 위해 본 연구에서는 화소내 항목혼합비를 산정한 후, 교량의 혼합비가 가장 우수한 화소만을 대상으로 센트roid기법을 적용하여 교량중심선의 좌표를 화소이하의 단위로 추출하였다. 식 (7) 및 식 (8)은 교량중심좌표를 추출하기 위해 적용된 식이다.

$$X = \frac{\sum (D_i \cdot I_i)}{\sum (D_i)} \quad (7)$$

$$Y = \frac{\sum (D_i \cdot J_i)}{\sum (D_i)} \quad (8)$$

여기서, X, Y : 교량 중심선 좌표

D_i : 혼합비

I_i, J_i : 화상좌표

본 연구 대상인 교량은 직선형태로 일정한 방향을 연속적으로 가지고 있다고 가정하였다. 따라서 교량중심의 경로추적도 직선의 형태로 이루어져야한다. 또한 교량의 방향이 일정하므로 window의 형태는 칼럼방향(x 방향), 또는 라인방향(y 방향)형태 중 하나만 사용하였다.

window는 그림 1과 같은 1차원 형태를 사용하였으며, window의 방향과 수직방향으로 진행하면서 교량중심과 교량폭을 추출하는 방법을 사용하였다.

그림 1은 교량폭 및 교량중심좌표를 추출하기 위해서 window선정과 window의 이동방향을 나타낸 것이다.

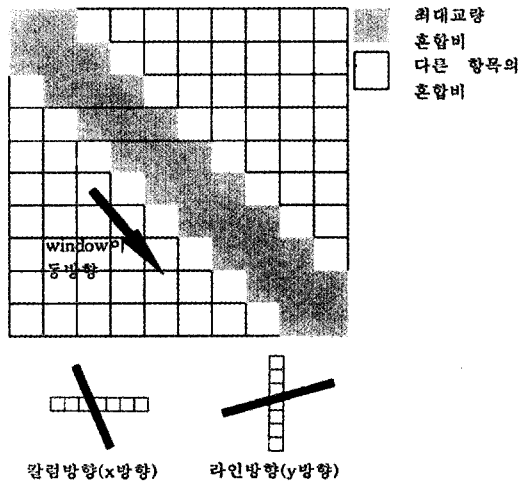


그림 1. Window의 이동방향 종류

위에서 언급한 내용을 바탕으로 본 연구에서는 아래와 같은 순서에 따라 교량위치를 추출하였다.

- 1) 화소내 항목혼합비를 산정한 후, 교량 혼합비가 최대인 화소의 추출
- 2) 센트로이드기법에 의한 교량 중심좌표 획득
- 3) 다음 중심점으로 window 이동 및 교량중심 좌표 획득
- 4) 두 중심 연결을 통한 교량사잇각 결정
- 5) 교량사잇각에 직각인 교량폭 산정

3. 실험 및 결과

본 연구는 SPOT XS 화상데이터로부터 교량위치를 추

출하기 위하여, 최소제곱법원리를 응용한 혼합화소해석 기법과 최대우도분류법으로 교량 후보영역을 생성하였으며, 이를 바탕으로 교량중심좌표 및 폭은 센트로이드기법과 window 중심선 추적기법을 적용하였다.

두 기법으로 추출된 교량위치를 상호 비교하여 혼합화소 해석기법이 교량위치를 좀 더 우수하게 추출할 수 있음을 제시하고자 한다.

3.1 연구대상지역의 선정 및 사용데이터

본 연구의 연구대상지역은 경남 진주시 일원이며, 교량 중심선 및 폭을 산정하기 위해 선정된 교량은 진주시 망경동에 위치한 천수교이다. 이 교량은 아스팔트포장으로 1995년 11월에 완공된 교량이다.

연구에 사용된 인공위성 화상데이터는 표 1과 같으며, 표 2는 천수교의 제원을 나타낸 것이다.

인공위성 화상데이터로부터 교량중심 및 폭을 추출하기 위해서는 먼저 기하보정을 실시하여 위성데이터를 우리나라 지도좌표체계로 맞추어야 한다. 이를 위하여 국립지리원 제작의 축척 1/5,000 수치지도를 참고하여 6점

표 1. 사용된 인공위성 화상데이터

| 구 분 | 위 성 | SPOT XS |
|---------------------|-----|---------------|
| Date of acquisition | | Sept. 5, 1995 |
| Path-Row | | 307-279 |
| Spatial resolution | | 20 m |
| Sun azimuth | | 147.6° |
| Sun elevation | | 53.2° |
| Data correction | | Level 2A |

표 2. 천수교 교량제원

| 상부구조 형식 | 차폭 | 교폭 | 교장 | 노선 번호 | 준공 년도 | 차선수 |
|---------|------|------|-------|-------|----------|-----|
| Slab | 24 m | 32 m | 284 m | 시도 | 1995.11. | 4차선 |



그림 2. 천수교 전경 및 측량

의 지상기준점(GCP)을 선정하였다. 선정된 지상기준점을 이용하여 연구대상지역의 화상(size: 300 columns×280 rows)을 기하보정하였다.

본 연구에 사용되는 교량의 폭은 32 m로서, SPOT XS 위성데이터의 공간해상력(20 m)을 고려할 때 교량으로 판독될 수 있는 화소가 2~3개 정도로 나타남에 따라 교량위치를 해석하는데 부적합하다. 따라서, 재배열에 있어서 한 화소에 해당하는 지상크기를 10 m×10 m가 되도록 하였다.

화소값의 재배열(resampling)방법에는 최근린내삽법(nearest neighborhood), 공1차내삽법(bilinear interpolation) 및 cubic convolution 등이 있다. 이중 공1차내삽법과 cubic convolution은 재배열하고자 하는 점의 주변에 있는 4개 또는 16개의 원화상 데이터로부터 화소값을 재생산하는 방법이며, 최근린내삽법은 가장 가까운 거리에 있는 인접 화소의 값을 택하는 방법이다. 이들 방법 중 최근린내삽법만이 원화상의 데이터를 변질시키지 않는 장점이 있으나 본 연구에서는 이러한 특성을 고려하지 않았으며, 향후 연구에서는 이러한 특성을 고려하여 혼합비를 추출하는 연구를 수행할 것이다.

기하보정의 정확도는 최종적인 결과물인 교량위치에 많은 영향을 준다. 따라서 본 연구에서는 선정된 6점의 지상기준점을 ERDAS IMAGINE(ver. 8.3.1)의 Viewer상에서 cubic convolution 기법으로 확대시킨 후, 기준점의 정확한 위치를 화소이하 단위까지 득취하였다. 화상좌표와 지도좌표간의 좌표변환식은 1차다항식, 재배열방법은 일반적으로 널리 사용하는 공1차내삽법을 사용하였다. 기

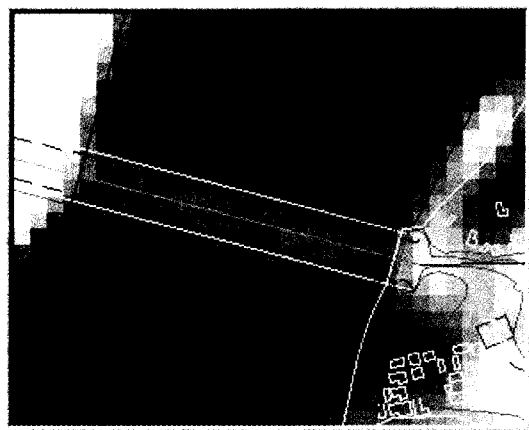


그림 3. SPOT XS데이터와 수치지도 중첩
하늘색: 교량중심, 흰색: 교량경계

하보정시의 평균제곱근오차(RMSE)는 ± 0.48 화소였다.

그림 3은 기하보정을 수행한 화상에서 천수교를 포함하는 연구대상 교량만을 31×25(columns×rows) 절출한 후, 1:5,000 수치지도와 중첩시켜 나타낸 것이다..

3.2 토지피복항목 및 Training field의 선정

본 연구는 교량위치를 추출하는 것이 주목적이므로 분류항목의 선정시에도 교량이 독립항목으로 선정되어야만 한다.

일반적으로 도시와 교량은 분광특성이 비슷하기 때문에 단밴드의 화상에서 이들 두 항목을 구별하는 것은 힘들다. 그러나 본 연구에서처럼 협소한 지역을 대상으로 다중밴드를 사용할 경우 판독이 가능하다. 교량은 일반적으로 아스팔트로 포장되어 있으며, 도시지역은 주로 콘크리트 구조물로 이루어져 있다. 이러한 표면을 가지는 피사체들은 흑백화상에서는 밝은색 계통으로 나타나지만 적외색영역에서는 화소값의 차이가 발생한다. 이러한 특성을 바탕으로 인공위성 화상데이터를 고해상도의 컬러 모니터(resolution: 1600×1200)에 출력시킨 화상과, 1/5,000 수치지도를 참고하여 분류항목을 선정하였다. 선정된 항목은 교량, 물, 산림, 도시의 4가지 항목이다.

선정된 항목을 바탕으로 training field의 선정에 있어서는 서로 이질적인 분광특성을 가진 화소들을 주어진 매개변수에 따라 자동적으로 추출하는 영역확장(region growing) 기법을 적용하였다. 영역확장 규칙을 위한 유사성 선정에 있어서는 영역에 대한 통계정보를 이용하는 것이 일반적인 방법이다. 본 연구에서는 두 영역을 합병하였을 경우의 표준편차가 임계치 보다 작은 경우에 합병하는 표준편차방법을 적용하였으며, 합병조건을 수식으로 나타내면 식 (9)과 같다.⁸⁾

$$\sigma_{\text{merge}} < T_{\sigma} \quad (9)$$

여기서, σ_{merge} : 두 영역을 합병한 이후의 표준편차
 T_{σ} : 임계치

표 3은 영역확장기법을 적용하여 추출한 training field의 기본매개변수로 도시와 교량 항목이 서로 구분될 수 있도록 선정하였다.

3.3 최대우도법에 의한 토지이용분류

선정된 분류항목과 training field에 따라 인공위성 화

표 3. 분류항목별 training field의 통계치

| 항목 | 밴드 | XS1 | XS2 | XS3 |
|------|------|-------|-------|------|
| | 교량 | Min | 109 | 61 |
| Max | | 121 | 67 | 39 |
| Mean | | 116.7 | 64 | 36.2 |
| 물 | Min | 89 | 47 | 17 |
| | Max | 98 | 53 | 22 |
| | Mean | 91.2 | 48.4 | 19 |
| 산림 | Min | 74 | 39 | 74 |
| | Max | 86 | 47 | 93 |
| | Mean | 79.2 | 43.2 | 86.2 |
| 도시 | Min | 141 | 97 | 70 |
| | Max | 150 | 107 | 96 |
| | Mean | 145.8 | 102.3 | 85.2 |

상데이터를 분류하기 위해서 본 연구에서는 교사분류중 하나인 최대우도법(Maximum Likelihood Classifier)을 사용하였다. 이 기법은 training field 데이터가 정규분포에 따른다는 가정 하에 데이터의 평균벡터와 공분산행렬을 계산한 후, 확률밀도함수를 이용하여 각 화소를 확률이 가장 높은 항목으로 분류하는 기법이다.

연구대상영역에 대한 토지피복분류의 최종적인 결과는 그림 4와 같다. 본 연구에서는 교량은 노랑, 물은 파랑, 산림은 녹색, 도시는 하늘색으로 표현하였다.

3.4 혼합화소해석기법에 의한 화소의 혼합비 추정

교량 경계 부분의 화소는 교량의 분광특성의 다른 항목의 분광특성이 합쳐져 하나의 화소값으로 나타나며, 이러한 경계화소의 주위에는 여러 종류의 설정항목 화소가

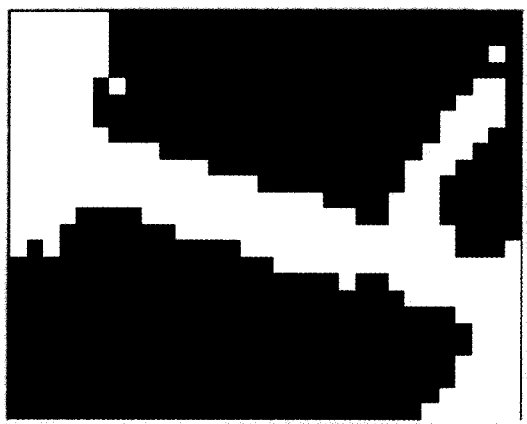


그림 4. 토지이용분류결과

존재한다.

일반적으로 항목 혼합비의 추정에 있어서 항목수가 많으면 혼합비 추정 정확도가 나빠지게 되므로 그 수를 한정시킬 필요가 있다.

식 (6)에 기초하여 항목 혼합비를 추정할 때에 설정 항목 수가 작은 경우 즉, 미지수의 수가 작으면 추정 정확도가 양호해지므로 교량 등의 경계화소에 대한 것을 대상으로 할 때에는 항목 수를 크게 할 필요가 없다.

본 연구에서 임의화소에 영향을 미치는 항목수는 최대 3가지 항목으로 결정하였으며, 항목의 빈도는 식 (10)의 Bayesian가중거리법(Bayesian weighted distance)을 적용하였다.

$$D = \ln(a_c) - [0.5 \ln(|Cov_c|)] - 0.5[(X-M_c)(Cov_c^{-1})(X-M_c)] \quad (10)$$

여기서, c : 항목

X : 화소값

M_c : Training field 평균벡터

a_c : 선행확률($a_c=1.0$)

Cov_c : Training field의 공분산벡터

$|Cov_c|$: 행렬식

Cov_c^{-1} : 역행렬

t : 전치행렬

그림 5는 4가지 항목에 대하여 혼합비를 추출한 후 이들 각각을 조합하여 하나의 화상으로 나타낸 것이다. 여기서 교량은 노란색의 명암 단계, 물은 파란색 명암단계, 산림은 녹색 명암단계, 도시는 보라색 명암단계로 혼합비를 표현하였다. 표 4는 임의 화소에서 Bayesian가중거리가 최소인 항목과 이 항목의 혼합비를 나타낸 것이다.

혼합비를 추출하기 위해 작성한 프로그램의 처리과정

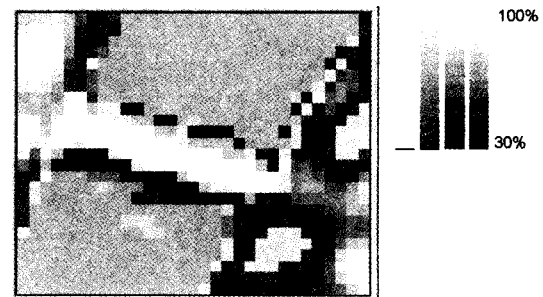


그림 5. 혼합비 추출 화상

표 4. 각 항목별 혼합비 통계값(단위: %)

| 항목 | 교량 | 물 | 산림 | 도시 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 최소값 | 46 | 53 | 39 | 39 |
| 최대값 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 평균값 | 78.03 | 97.35 | 74.11 | 69.02 |
| 표준편차 | 15.71 | 7.853 | 16.74 | 16.8 |

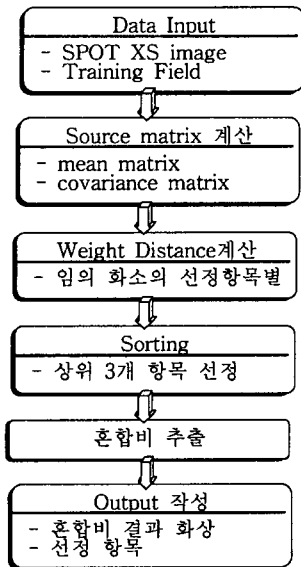


그림 6. 혼합비 추출 흐름도

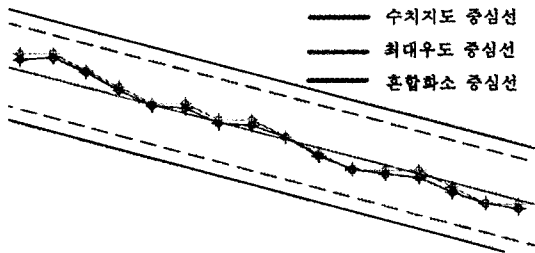


그림 7. 생성된 교량 중심선

은 그림 6과 같다.

3.5 교량 중심선 및 교량폭의 추출

교량 중심선 및 폭은 혼합화소해석기법과 최대우도법의 결과화상에서 교량만을 추출한 후, 이들 각각의 화상에서 추출하였다. 추출방법은 “2.2 교량 위치의 추출”에서 언급한 방법을 사용하였다.

추출된 교량 중심 좌표는 상호 연결하여 벡터형식으로 변환하였다. 그림 7은 혼합화소해석으로 추출한 중심선

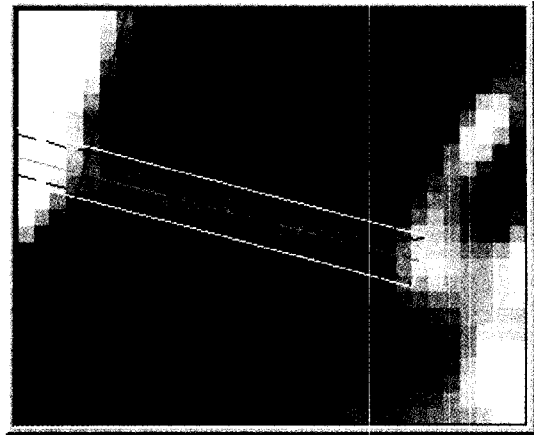


그림 8. 교량중심선과 SPOT XS데이터 중첩

은 빨간색, 최대우도법으로 생성한 중심선은 연두색으로 표시한 후, 1/5,000 수치지도와 중첩시킨 것이다.

그림 8은 두 가지 기법에 의해서 생성된 중심선, 1/5,000 수치지도 및 SPOT XS데이터를 각각 중첩한 모습이다.

4. 평가 및 고찰

본 연구는 교량 위치를 추출하기 위해서 혼합화소 해석기법과 MLC 해석기법을 적용하였다. 두 기법으로 획득한 교량 중심선좌표와 교량폭의 정확도는 1/5,000 수치지도와 실제 천수교에서 실측한 데이터로 상호 비교 평가하였다.

교량폭의 기준데이터는 Geodimeter 620 M 토탈스테이션을 사용하여 측량한 결과와 1/5,000 수치지도에서 추출한 결과 모두 32m로 측정되어 이를 교량폭 기준데이터로 사용하였다.

본 연구대상인 천수교는 진주시내에 위치하여 교통량이 많아 차량통과에 의한 교량진동오차가 많이 발생하며, 교량 중심선의 지도좌표를 생성하기 위해서는 국가삼각점을 이용한 삼각측량을 행하여야 한다는 어려움이 있다. 또한 1/5,000 수치지도의 평면위치오차가 ±2.0m로서 사용된 위성데이터의 공간해상력 20m 보다 작다.

따라서, 교량중심선의 기준좌표는 1/5,000 수치지도에서 10m 간격으로 추출한 값을 사용하여 기준값으로 채택하였다.

표 5는 MLC 해석기법과 혼합화소 해석기법을 인공위

표 5. 교량중심좌표 및 교량폭(단위 : m)

| No. | MLC | | | | | MLC | | | | | | | |
|------|----------|----------|------|----------|----------|------|----------|----------|------|-------|------|------|------|
| | X | Y | X | Y | 교량폭 | X | Y | 교량폭 | 좌표차 | 교량폭차 | 좌표차 | 교량폭차 | |
| 1 | 115796.0 | 187702.1 | 32.0 | 115796.0 | 187707.0 | 40.0 | 115796.0 | 187705.3 | 32.6 | 4.9 | 8.0 | 3.2 | 0.6 |
| 2 | 115806.0 | 187699.5 | 32.0 | 115806.0 | 187707.0 | 35.8 | 115806.0 | 187705.9 | 31.2 | 7.5 | 3.8 | 6.4 | -0.8 |
| 3 | 115816.0 | 187696.9 | 32.0 | 115816.0 | 187702.0 | 44.7 | 115816.0 | 187701.4 | 36.4 | 5.1 | 12.7 | 4.5 | 4.4 |
| 4 | 115826.0 | 187694.3 | 32.0 | 115826.0 | 187697.0 | 35.8 | 115826.0 | 187696.0 | 31.9 | 2.7 | 3.8 | 1.7 | -0.1 |
| 5 | 115836.0 | 187691.7 | 32.0 | 115836.0 | 187692.0 | 50.0 | 115836.0 | 187691.4 | 40.7 | 0.3 | 18.0 | -0.3 | 8.7 |
| 6 | 115846.0 | 187689.1 | 32.0 | 115846.0 | 187692.0 | 44.7 | 115846.0 | 187690.7 | 36.4 | 2.9 | 12.7 | 1.6 | 4.4 |
| 7 | 115856.0 | 187686.5 | 32.0 | 115856.0 | 187687.0 | 40.0 | 115856.0 | 187686.1 | 33.6 | 0.5 | 8.0 | -0.4 | 1.6 |
| 8 | 115866.0 | 187683.9 | 32.0 | 115866.0 | 187687.0 | 35.8 | 115866.0 | 187685.4 | 30.9 | 3.1 | 3.8 | 1.5 | -1.1 |
| 9 | 115876.0 | 187681.3 | 32.0 | 115876.0 | 187682.0 | 44.7 | 115876.0 | 187682.0 | 33.4 | 0.7 | 12.7 | 0.7 | 1.4 |
| 10 | 115886.0 | 187678.7 | 32.0 | 115886.0 | 187677.0 | 35.8 | 115886.0 | 187676.2 | 30.9 | -1.7 | 3.8 | -2.5 | -1.1 |
| 11 | 115896.0 | 187676.1 | 32.0 | 115896.0 | 187672.0 | 50.0 | 115896.0 | 187672.3 | 38.8 | -4.1 | 18.0 | -3.8 | 6.8 |
| 12 | 115906.0 | 187673.5 | 32.0 | 115906.0 | 187672.0 | 50.0 | 115906.0 | 187670.9 | 38.5 | -1.5 | 18.0 | -2.6 | 6.5 |
| 13 | 115916.0 | 187670.9 | 32.0 | 115916.0 | 187672.0 | 44.7 | 115916.0 | 187669.8 | 33.8 | 1.1 | 12.7 | -1.1 | 1.8 |
| 14 | 115926.0 | 187668.3 | 32.0 | 115926.0 | 187667.0 | 35.8 | 115926.0 | 187665.4 | 29.0 | -1.3 | 3.8 | -2.9 | -3.0 |
| 15 | 115936.0 | 187665.7 | 32.0 | 115936.0 | 187662.0 | 50.0 | 115936.0 | 187662.1 | 37.7 | -3.7 | 18.0 | -3.6 | 5.7 |
| RMSE | | | | | | | | | ±3.4 | ±11.9 | ±2.9 | ±4.1 | |

성 화상데이터에 적용하여 추출한 교량 중심선 좌표와 폭 그리고 산출된 기준데이터와 차이를 나타낸 것이다.

표 5에서 No. 1과 No. 15의 좌표를 이용하여 교량길이를 산출하면 MLC 해석기법에서는 147.1 m, 혼합화소 해석기법에서는 146.5 m로, 표 2에서 나타낸 실제 천수교의 교량의 길이인 284 m와 차이가 나타난다. 이는 본 연구에 사용된 인공위성데이터의 공간해상력이 20 m로 화상에서 실제 교량의 양 끝점을 구분하는 것은 힘들며, 교량 주변환경과의 교량의 분광반사특성의 차이가 발생되는 부분만을 고려하여 산출된 결과이기 때문이라 생각된다.

표 5의 평균제곱근오차(RMSE)는 식 (11)로 계산한 결과이다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{n}} \quad (11)$$

여기서, X_i : 좌표차 또는 교량폭차
 n : 좌표점수

표 5의 좌표차와 그림 9는 각 지점마다 교량중심선의 기준좌표와 제안된 기법으로 추출한 중심좌표값 사이의 차이를 나타낸 것으로 RMSE가 MLC 해석기법에서는 ±3.4 m, 혼합화소 해석기법에서는 ±2.9 m로 나타난다.

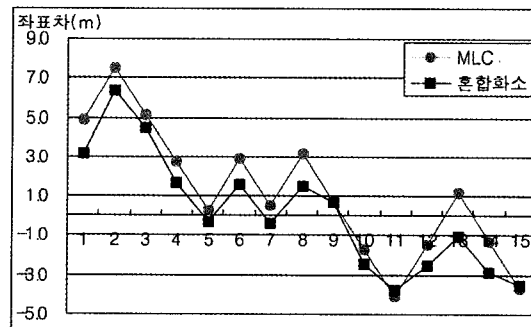


그림 9. 교량중심좌표의 차이

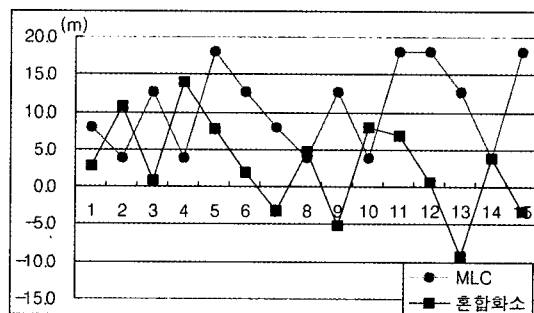


그림 10. 교량폭 차이

표 5의 교량폭차와 그림 10은 교량폭을 각 지점마다 기준값과 추출된 값 사이의 차이를 나타낸 것으로 RMSE

가 MLC 해석기법에서는 ± 11.9 m, 혼합화소 해석기법에서는 ± 4.1 m로 나타난다.

이들 두 결과를 살펴보면 교량중심좌표값 차이에 있어서는 혼합화소 해석기법이 MLC 해석기법 보다 RMSE가 0.5 m 정도 향상되었으며, 교량폭 차이에 있어서는 혼합화소 해석기법으로 추출된 교량폭이 MLC 해석기법기법에 비해 3배정도 RMSE가 더 향상된 것으로 나타난다.

이는 MLC기법이 하나의 화소에 대해서 선정된 분류항목중 무조건 하나를 할당하는 full membership 또는 no membership으로만 표현되기 때문이다. 즉 두 항목의 경계부분에 있어서는 개연성이 큰 화소들에 오직 한가지만의 휘도값을 부여함으로써 한가지 분류항목에만 할당되도록 하기 때문에 MLC의 교량폭 의 경계부분이 실제보다 더 왜곡되어 나타나기 때문이다.

추출된 교량중심의 좌표치에 있어서는 두 기법이 거의 비슷하다. 이는 교량중심의 좌표값은 기본적으로 기하보정의 정확도와 많은 관련성이 있기 때문이라 생각된다.

즉 교량중심의 좌표는 인공위성 화상데이터에서 교량으로 판단되는 총 화소수보다는 교량으로 분류되는 화소의 방향성과 형태가 더 많이 고려되기 때문이라 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 공간해상력이 20 m인 SPOT XS데이터로부터 교량위치 파악을 위해, 경계화소들의 화소내 항목혼합비를 산정한 후, 항목혼합비를 고려하여 교량중심선과 폭을 추출하는 기법을 제안하였으며, 추출된 교량 위치는 1:5,000 수치지도와 폭은 실측데이터와 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 화소내 항목혼합비를 산정하고 센트로이드기법 및 중심선 추적기법의 적용을 통하여 인공위성 화상데이터로부터 교량위치를 추출할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

(2) 측정된 교량위치와 폭을 축척 1/5,000 수치지도 및 실측자료와 비교한 결과, 교량중심선좌표는 ± 2.9 m, 교량폭은 ± 4.1 m의 오차를 보였다.

감사의 글

본 연구(과제번호:1998-001-G00001)는 한국학술진흥재단의 자유공모과제지원금에 의한 연구결과임의 일부임을 밝히며 본 연구의 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 안기원, 서두천, "IRS-1C PAN 데이터와 Landsat TM 데이터의 중합방법 비교분석", 대한원격탐사학회지, Vol. 14, No. 2, 1998, pp.149-164.
2. 新井康平, 寺山康教, 松本雅雄, 九浩基, 土屋 清, "隣接する境界畫素内のクラス混合比推定を伴うコンテキスト分類, 日本リモートセンシング學會誌, Vol. 11, No. 4, 1991, pp. 33-40.
3. S. E. Marsh, P. Switzer, W.S. Kowalik and R. J. P. Lyon, "Resolving the percentage of component terrains within single resolution elements", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 46, No. 8, 1980, pp. 1079-1086.
4. F. Wang, "Improving remote sensing image analysis through fuzzy information representation", PE&RS, Vol. 56, No. 8, 1990, pp. 1163-1169.
5. 김진일, 박민호, 김성천, "위성탐사 이미지에서 혼합화소의 해석에 관한 연구", 한국지형공간정보학회논문집, 제3권, 제2호, 1995, pp. 91-100.
6. 박민호, "정준벡터분석에 의한 混合畫素 解釋技法에 관한 研究", 한국측지학회지, 제16권, 제1호, 1998, pp.75-74.
7. 안기원, 1994, "CCD Camera Scanner의 스캐닝 왜곡 보정기법 연구", 한국측지학회지, 제12권, 제2호, pp. 173-180.
8. R. G. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital image processing", Addison-Wesley Publishing Company, 1993, pp. 458-465.