

자동 선구조 추출 알고리즘의 개발과 적용사례

최은영¹⁾ · 최동석¹⁾ · 최현석¹⁾ · 임태근¹⁾ · 정래철¹⁾ · 윤왕중¹⁾

A Development of Enhanced Automatic Lineament Extraction Algorithm and its Application

Eun-Young Choi¹⁾, Dong-Seok Choi¹⁾, Hyoun-Seok Choi¹⁾, Tae-Geun Lim¹⁾,
Lae-Chul Jung¹⁾ and Wang-Jung Yoon¹⁾

요 약 : 위성영상에 나타나는 선구조는 화소의 명암차에 바탕을 두어 육안판독이나 자동 추출 알고리즘을 이용하여 추출한다. 보통 육안판독은 다양한 보조자료와 연구자의 경험적 지식을 필요로 하기 때문에 더욱 객관적이고 신속한 자동 선구조 추출 알고리즘들이 필요하다. 산악지형 외에도 총적층 요소까지 고려하여 개발된 DSTA(dynamic segment tracing algorithm) 알고리즘은 총적층 지역이 산악지형에 대해 비교적 넓은 부분을 차지하고 있는 경우에 총적층 지역에서 노이즈가 나타난다. 본 연구에서는 이러한 노이즈를 감소시킬 수 있는 알고리즘인 AERA(alluvial effect reducing algorithm)를 개발하여 산악지형과 농경지와 도심지역이 넓게 분포되어 있는 지역에 이를 적용하였으며, 기존의 알고리즘만 이용하여 선구조를 추출한 결과와 비교하여 이의 적용 가능성을 알아보았다.

Abstract : The lineament extraction from satellite images is important in the geologic studies including groundwater and mineral exploration, groundwater survey, natural hazard analysis, and many others. The lineaments in remote sensing images are identified by the difference of pixel values or brightness. Since the visual interpretation is apt to be influenced by the knowledges and experiences, many of the automatic lineament detection algorithms are developed to ensure the objectives and efficient outputs. DSTA (dynamic segment tracing algorithm) is one of such algorithms, which can be applied to not only mountainous area but also alluvial area. However, when the alluvial area is wider than mountain region, somewhat severe noises are generated. To reduce such noises, AERA (alluvial effect reducing algorithm) is proposed and tested for the image which contains mountains, cultivated land and urban area. Upon the application of AERA, alluvial effects in lineament extraction from satellite image are substantially reduced.

서 론

지질학적 선구조는 직선에 가까운 배열을 이루면서 지표의 주변 지형 패턴과는 구분이 뚜렷한 단층, 파쇄대, 습곡축 등의 지질 구조선과 암석 경계를 따라 나타나는 구조적 연약대이다. 선구조는 지하 심부의 균열과 직·간접적인 연관이 있고 넓은 지역의 지질 상태를 파악하는데 도움이 되므로, 일반적인 지질 연구나 광물·광상 탐사, 지하수 탐사, 자연재해 원인 분석, 구조적 해석, 토목·건설 사업 등의 기초자료로 많이 활용되고 있다.

선구조 요소는 위성영상에서 지형의 기복변화 및 화소의 명암차에 의해 구분할 수 있으나, 실제 위성영상에서는 완벽하게 이어져 있는 선이라기보다는 지표상의 여러 가지 현상이나 물체에 의해 차단된 파선과 같은 형태로 나타난다.

위성영상으로부터의 선구조 추출 작업은 육안판독과 자동

추출 알고리즘을 이용한 방법이 이용되고 있다. 육안판독의 경우에는 영상 보정 작업 외에도 수치표고모형 등의 보조자료를 판독한 후에 선구조를 추출하므로 작업 소요 시간이 길어지고, 선구조 결과가 연구자의 연구경험이나 연구목적에 의해 좌우될 수 있으므로, 작업 소요 시간이 짧고 보다 객관적인 분석이 가능한 자동 선구조 추출 알고리즘의 이용이 필요하다.

선구조 추출 시 연구지역에 산악지형이나 평야지대 또는 바다와 같은 지형이 포함되면 그에 대한 영향을 고려해 주어야 하는데, 지금까지 개발된 자동 선구조 추출 알고리즘들은 산악지형과 평지지형에 따라 선구조의 DN(digital number)값의 특성이 다르게 나타나는 원리를 이용하였다. 즉, 필터링 방법 (Ballard & Brown, 1982; Qari, 1991)에서부터 총적층 요소를 고려한 알고리즘에 이르기까지(김상완, 1998) 더 개선된 알고리즘들이 개발되고 있다.

Koike 등(1995)이 개발한 자동 선구조 추출 알고리즘인

*2002년 8월 2일 접수
1) 전남대학교

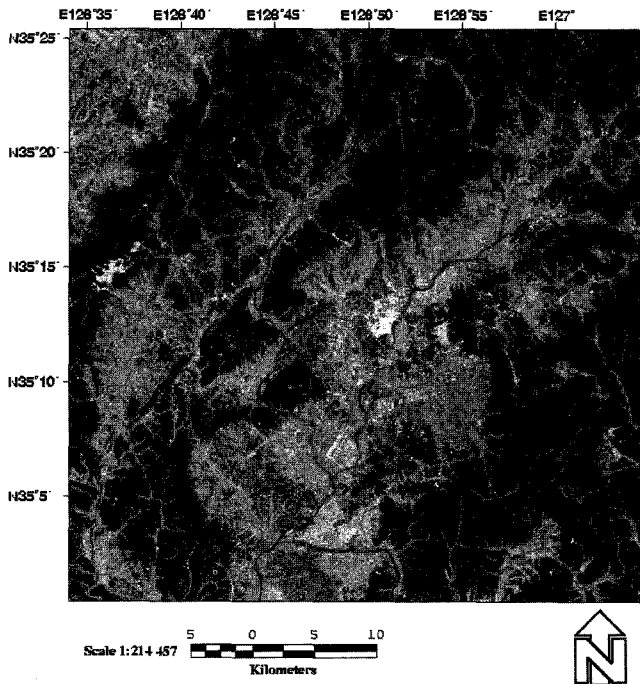


Fig. 1. RGB color composite image of Landsat 5 TM over the study area, Gwangju (1995/11/11).

STA(segment tracing algorithm)에 층적층을 고려하여 개발한 DSTA(dynamic segment tracing algorithm) 알고리즘(김상완, 1998)도 산악지대에 비해 층적층이 넓은 지역에서는 여전히 층적층 지역에 노이즈가 남아 선구조 추출 결과에 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 층적층 지역에 남아 있는 일부 노이즈를 제거해 주기 위해 AERA(alluvial effect reducing algorithm) 알고리즘을 개발하여 산맥이 평야지대와 도심지역을 둘러싸고 있는 분지지형인 광주 지역의 선구조 분석에 적용하고, 기존의 DSTA와 ALEGHT(automatic lineament extraction generalized hough transform) 알고리즘(김상완, 1998)만을 적용한 결과와 비교해 AERA 알고리즘의 효과를 살펴보았다.

연구지역 개황

한반도 남서부에 위치하고 있는 본역(本域)은 그 남동부가 소백산맥의 서측 연변부로, 북서부가 노령산맥의 남동측 연장부로 둘러싸여 있고 양 산맥 사이에는 영산강이 NE-SW 방면으로 관통하여 나주평야가 발달한다. 선캠브리아기로부터 백악기 말에 이르기까지 오랜 지질시대를 거처온 만큼 각종 암석들이 분포되어 있고 지질구조 또한 특색있고 복잡한데, 이 중에서 가장 지배적인 것은 연성 전단대와 광주단층 등이다.

연성 전단대는 옥천대 서남부지역에 발달되어있는데, 그 중 본 연구 지역은 전주-무안을 연결하는 전단대가 지나가는 곳으로, 북동에서 남서방향으로 폭 2~4 km 내외의 NE-SW 방향

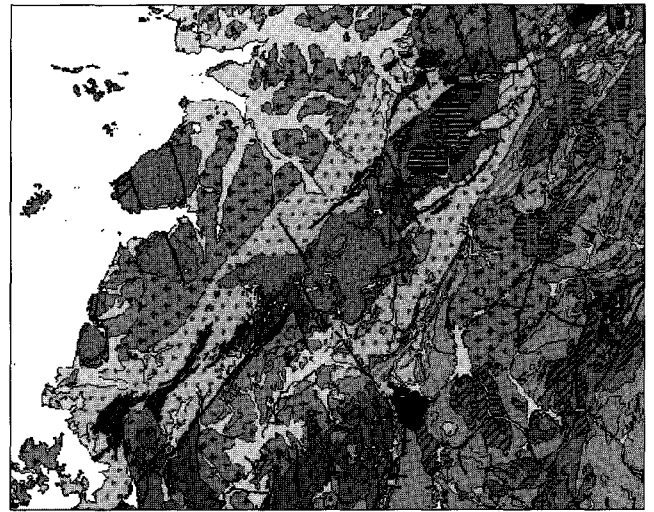


Fig. 2. Geological map of Gwangju (1:250,000) (after Lee et al., 1997).

의 압쇄대가 형성되어 있고, 장성 부근에 E-W 방향으로 폭 2~3 km 정도의 압쇄대가 나타난다. 남동쪽의 NE-SW 방향 전단대인 광주단층에서는 화강 압쇄암(quartz mylonite)으로 구성된 단층 각력암이 형성되어 있고, 응회암이나 중성화산암이에 의해 절단된 것은 후기에는 천부에서 취성 변형이 일어났음을 암시한다. 이 전단대의 발달 시기는 주라기 화강암류 관입 이후의 대보 조산운동과 밀접한 관련을 갖는 것으로 보이며 후기 백악기 산성화산 활동 직전에 그 활동이 종료되었다고 보고 있다.

이 전단대 내의 암석은 대부분 주라기 화강암류이며 연성 변형에 의해 압쇄되어 연변부에서 mylonite granite(즉, protomylonite)로, 중심부에서 입자의 크기가 매우 세립화된 granite mylonite로 점이적으로 변형되어, 압쇄엽리도 순차적으로 발달되어 중심부에서 매우 현저하게 나타난다.

선구조는 그 경향이 210°~250° 혹은 40°~80° 내외로서 압쇄엽리의 경향과 거의 평행하고 엽리의 경사가 80° 내외로 매우 급한데 비해, 그 plunge는 대부분 20° 이내의 경사를 보여주어 거의 수평적이라 할 수 있고, 이는 이 지역의 연성 변형이 수평이동 운동이었음을 시사하고 있다.

연구 방법

본 연구에서는 광주광역시 일대의 선구조를 분석하는데 있어서 DSTA와 ALEGHT 알고리즘만을 이용한 결과와 이 결과에 층적층 요소에 의한 잔여 노이즈들을 제거하는 AERA 알고리즘을 적용한 결과를 비교·분석해 보고, 이 지역의 지질구조 파악과 본 연구에서 개발한 AERA의 적용 가능성을 살펴보고자 하였다.

사용된 위성영상(Fig. 1)은 1995년 11월 11일에 관측된 Landsat TM(115-36) 영상으로, 촬영 당시의 태양 고도각은

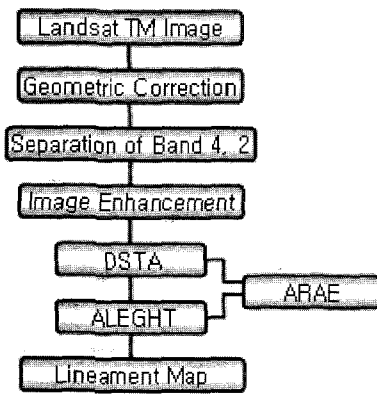


Fig. 3. Flow chart of the lineament extraction.

35°, 방위각은 128°NE이며, 중심 위도는 34°36'3.6", 중심 경도는 127°20'20.4"이다. 1:250,000의 광주 도폭의 지질도를 연구 지역의 전반적인 기초 지질자료와 영상의 기하보정에 이용하였다.

충적층 지역이 넓은 광주지역에 본 연구에서 개발한 알고리즘을 적용한 결과와 기존의 알고리즘만으로 선구조를 추출한 결과를 비교하기 위해 Fig. 3에서와 같은 작업을 수행하였다. 위성영상을 이용한 선구조 추출에서는 사용하는 자료의 축척에 따라 발생하는 축척편차(이봉주 외, 1997)와 Landsat TM과 같은 광학 영상에서 태양의 방위각에 따라 나타나는 선택적 증감효과(Ford, 1980)를 보정해야 하므로 위성영상에 전처리 작업을 하고, 위성영상을 DSTA의 입력 자료로 가공하기 위해 명암대비가 뛰어난 밴드와 충적층 요소를 보다 많이 가지고 있는 밴드를 상관계수를 이용하여 분리했다(Table 1). 이 두 밴드의 영상을 화상강조(image enhancement) 작업 후 DSTA를 적용한 결과에 ALEGHT 알고리즘을 적용하여 선구조를 추출해 내는 과정까지는 비교하는 두 작업 모두에 동일하게 수행하고, 두 번째 작업에서는 DSTA 결과에 AERA 알고리즘을 적용하여, DSTA 적용 후에도 남아있는 노이즈에 의한 결과와 비교하였다.

DSTA와 ALEGHT 알고리즘의 원리

DSTA

김상완(1998)이 개발한 DSTA는 명암차가 많은 산악지역의 선구조의 추출에 효과적인 STA(Koike 등, 1995)에 명암차가 적은 충적층에서의 효과를 고려하여 개발한 알고리즘이다. STA에서는 항상 11×11로 정해진 창을 이동시켜 선구조 요소를 검출했는데, 충적층에서는 명암차가 작으므로 16개의 방향의 분산값 차이도 작을 것이라고 가정하여 기준값 이하의 분산값을 갖는 화소에서는 창의 크기를 17×17까지 동적으로 증가시켜 분산값을 계산한다. 충적층을 고려하기 위해 충적층과 비충적층 영역만을 표시한 이진영상에 창 내의 16방향별 화소값의 합을 구하여 값이 최소가 되는 방향을 선구조 방향으로

인지하고, 창의 중심화소가 충적층 쪽의 중심부에 있는지를 판단하여 화소값의 합이 최대가 되는 방향으로 일정한 조건을 만족하는 선구조 요소가 될 수 있는 화소를 결정한다(김상완, 1998).

ALEGHT

이진영상으로부터 벡터화된 선구조를 추출하는 알고리즘으로, 이진영상을 영상의 중심점을 기준으로 0°에서 90°까지 일정한 간격으로 회전시키며 회전된 영상에서 수직방향과 수평 방향으로 연속되는 선구조의 끝점을 조사해 나감으로써 연속되는 수직 및 수평 선구조를 추출해 나간다. 이때 인접한 두선 사이의 간격이 작은 경우에는 하나의 선으로 인식하게 되며, 추출된 모든 선들은 결합 연산 과정을 통해 연결 또는 제거된다. 이렇게 조사된 선구조의 끝점을 다시 역변환하여 원래의 좌표를 구함으로써 이진영상으로부터 벡터화된 선구조를 추출한다(홍창기, 2000).

AERA(Alluvial Effect Reducing Algorithm)

입력 영상에 충적층이 넓게 분포되어 있는 도심지나 경작지에서는 충적층 영향을 고려한 알고리즘을 적용해도 Fig. 4와 같은 노이즈들이 발생하게 된다. 이러한 노이즈들이 포함된 결과를 선구조 요소들의 끝점을 추출해내는 알고리즘에 적용하면 선구조와는 무관한 에러들이 발생하게 된다(최동석, 2001).

본 연구에서는 이러한 노이즈를 감소시키는 알고리즘을 다음의 세 단계의 원리에 의해 개발하였다.

Step 1. 먼저 0과 255로만 이루어진 원 영상보다 행과 열의 크기가 4만큼 큰 영행렬을 만들고 (3, 3)번째 픽셀 값에 원 영상의 처음 값이 위치하게 한다.

Step 2. 각 픽셀 위치에서의 값을 비교하여 행렬의 중심값이 part 1에서처럼 [0, 0, ...]일 때에는 0값을, part 2의 좌측 픽셀을 중심으로 할 경우와 같은 [255, 0, ...]이나 [0, 255, ...]일 때에는 선구조로 인정해 255값을 할당한다.

Step 3. 충적층의 영향이 노이즈로 남아 있는 부분의 픽셀들은 255값이 묻혀있는 형 태로, 입력이 [255, 255, ...]와 같은 값을 갖는 part 3과 같은 지역을 0으로 만들어 준다. 그러나 255값을 갖는 픽셀들이 모여있다고 해서 그 값들을 모두 0으로 만들면, part 3 지역 이외에도 part 2의 오른쪽 화소를 중심으로 할 경우와 같이 원 영상에서 선구조로 인식될 수평, 혹은 수평에 비스듬한 값마저 비 선구조 요소로 판단하는 결과를 초래할 것이다. 그러므로 입력값이 [255, 255, ...]가 될 경우 해당 화소를 중심으로 5×1 window를 구성하여 이 값들의 합이 1020 이상 즉, 네 화소 요소가 255값을 가지면 part 3과 같은 지역으로 보고 이를 비 선구조 요소로 간주해 0값을 할당하고, 1020 이하의 값을 가지면 수평 선구조에 의한 영향으로 판단하고 선구조에 포함하도록 하였다.

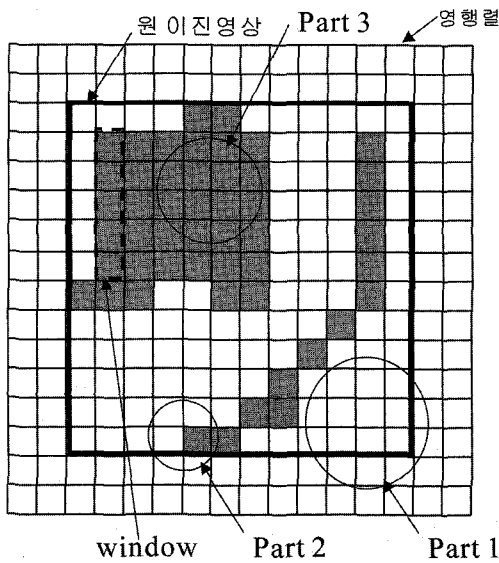


Fig. 4. Principle of the AERA.

광주지역 선구조 추출

본 연구에서는 전체 연구 지역 영상을 같은 크기의 9개 영역으로 나누고 각 영역별로 선구조를 추출해 소규모 지역에서 선구조의 발달 방향을 살펴보았다. 사용한 DSTA 알고리즘은 명암대비가 뚜렷한 밴드와 층적층요소를 나타내는 밴드를 입력영상으로 사용하는데, 각 밴드간 상관관계를 분석하여 상관관계가 가장 낮은 밴드들을 이용했다. 본 연구에서 사용한 영상의 각 밴드별 상관관계를 구해본 결과(Table 1), Band 4와 Band 2의 상관관계가 가장 낮게 나타나 이 두 밴드를 입력 영상으로 이용하였다. 이렇게 선택된 Band 4에 히스토그램 평활화(histogram equalization)를 적용하여 영상에서의 명암차를 높여 주고, 3×3 median filter를 사용하여 노이즈를 제거하였다. 그리고 band 2는 이러한 작업 후에 층적층과 비층적층을 0과 255값으로 적용해 층적층이 분리된 상태의 이진파일로 만들고, 이렇게 얻어진 두 파일을 DSTA 알고리즘에 입력하였다.

DSTA 알고리즘을 적용한 결과(Fig. 5)를 원 영상인 Fig. 1과 비교해 보면, 산악지형과 층적층 지역이 좁은 지역에서는 DSTA가 효과적으로 적용이 되었음을 알 수가 있으나, 중앙부, 좌상단 그리고 좌단의 층적층, 특히 도심부분의 경우 포장이나 건물 등의 영향에 의해 많은 노이즈가 남아 있음을 볼 수 있



Fig. 5. The result of DSTA to original image.

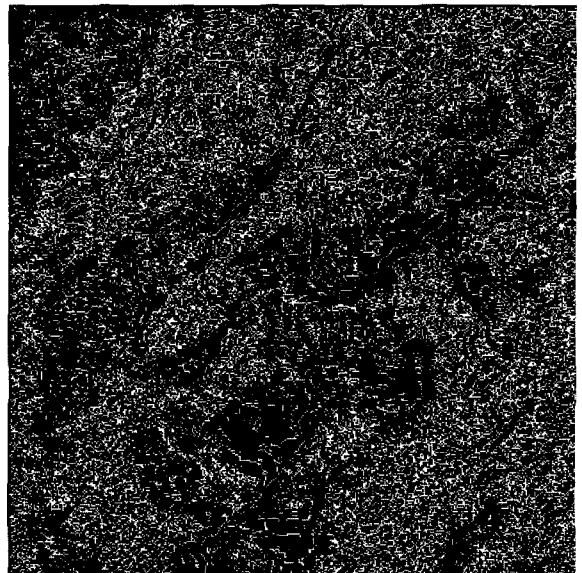


Fig. 6. The application of AERA to DSTA result of fig. 5. Most of alluvial effects are efficiently removed.

다. 이는 DSTA 알고리즘에 의해 층적층 요소로 나타나는 노이즈가 많이 감소되었으나, 화소의 명암차가 거의 나타나지 않는 도심지 혹은 개간된 농토나 인공지물 밀집지역의 경우에

Table 1. Correlation coefficients between Landsat TM bands used in this study (raw data/limit to actual data)

	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Band 1	1					
Band 2	0.1773/0.1946	1				
Band 3	0.0968/0.0866	0.1862/0.1744	1			
Band 4	-0.0115/-0.0168	0.0058/0.0040	0.0232/0.0215	1		
Band 5	-0.1558/-0.1481	-0.1166/-0.1372	-0.0476/-0.0542	0.1204/0.0913	1	
Band 7	0.0635/0.0607	0.1365/0.1275	0.1571/0.1469	-0.0057/-0.0082	-0.0114/-0.0248	1

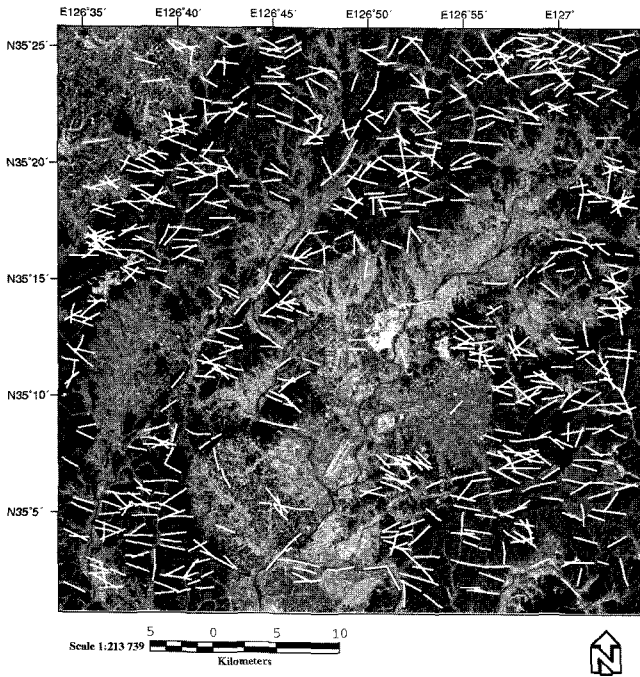


Fig. 7. The resulting lineament map of the study area. For the further comparison, total area is subdivided into 9 domains.

정도의 차이가 있지만, 선구조 추출 결과에 영향을 미치는 노이즈를 포함하고 있음을 시사한다. Fig. 6은 DSTA를 적용한 영상에 AERA 알고리즘을 적용한 결과로, Fig. 5의 DSTA 알고리즘만을 수행하였을 때의 결과와 비교해보면 충적층 지역에 의한 노이즈들이 대부분 감소되었음을 알 수 있다.

이 결과들에 ALEIGHT 알고리즘을 적용하여 선구조를 추출해야 하는데, 전체 영상 그대로 입력하게 되면 프로그램 실행 시간이 많이 소요되고, 소규모 지역에 대한 선구조의 방향성을 알아볼 수 없으므로 전체 영상을 같은 크기의 9개의 소영역으로 나누어 입력하였다. Fig. 8은 DSTA만 적용한 결과와 AERA를 적용한 결과를 가지고 각각 ALEIGHT 알고리즘에 입력하여 얻은 선구조 추출 결과로, 노이즈에 의한 영향이 크게 나타난 Fig. 7의 a, d 및 h 영역만을 비교하였다. DSTA만 적용한 Fig. 8의 (a), (c) 및 (e) 세 영역에서는 마을과 농경지가 밀집되고 넓은 충적층이 발달한 영역에 노이즈에 의한 여러 선구조가 포함되어, AERA를 적용한 Fig. 8의 (b), (d) 및 (f) 영상과 뚜렷한 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 산악 지형에서는 역시 AERA를 적용한 영상이나 DSTA만의 영상이 거의 같은 선구조 결과가 나타나는 것을 볼 수 있다.

결 론

본 연구에서는 Landsat TM 위성 영상을 이용하여 자동 선구조 추출 프로그램을 적용할 때, 적용 대상지역의 지형적, 지질적 특징에 따라 나타날 수 있는 노이즈를 감소시켜 보다 효

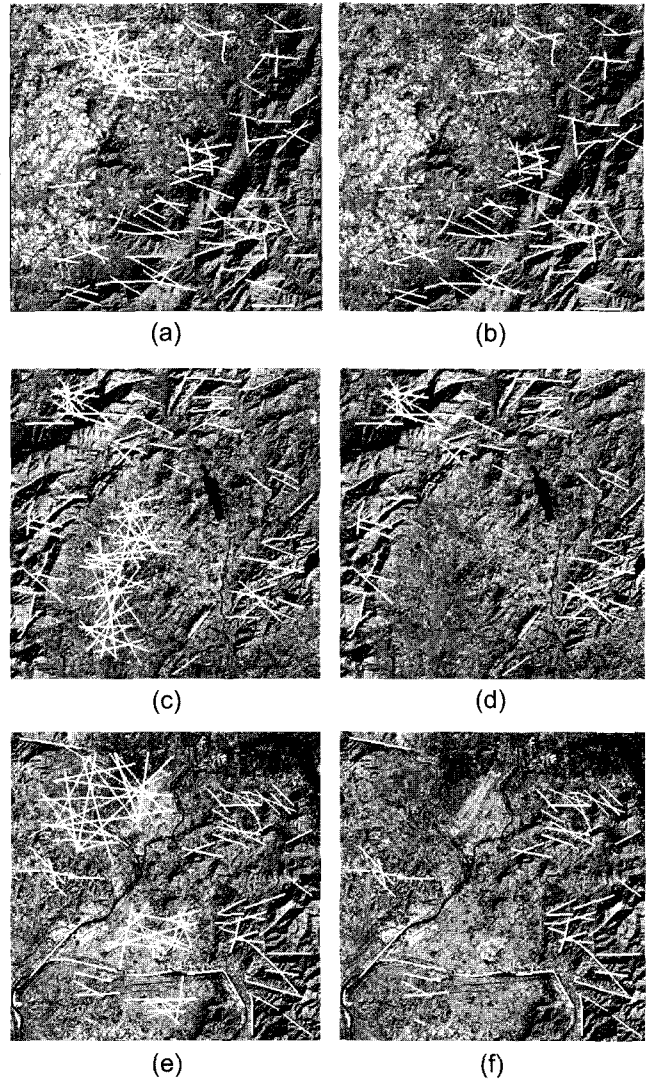


Fig. 8. Comparison of DSTA algorithm (left) and AERA algorithm (right). (a) and (b), (c) and (d), and (e) and (f) correspond to a, d and h district of fig. 7, respectively. By applying the AERA algorithm, alluvial effects are greatly reduced.

과적이고 정확한 선구조 추출 결과를 얻고자 하였다.

연구 지역 내에 충적층이 넓게 분포되어 있을 경우에는 충적층 지역에 많은 노이즈가 발생하게된다. 자동화 알고리즘을 이용하여 선구조를 추출할 때는 이러한 노이즈를 줄이기 위해 연구 영역 내에 충적층 지역을 최소로 잡는 것이 보통이나, 본 연구에서는 충적층 지역에 남은 노이즈를 제거할 수 있는 AERA 알고리즘을 개발하여 적용함으로써 넓은 충적 지역 및 도심지역의 영향에 의한 뭉침 효과를 제거하여 보다 향상된 선구조도를 얻을 수 있었다.

참고문헌

김상완, 1998, 자동화된 선구조 추출 알고리즘 개발과 이의 경북

- 의성 지역에서의 적용 연구: 연세대학교 석사학위 논문.
- 이봉주, 최위찬, 강필중, 1997, 한반도 동남부 지역의 선구조선: 지질학회지, **33**(1), p. 18-26.
- 최동석, 2001, 개선된 선구조 추출 알고리즘을 적용한 광주지역 선구조추출 연구: 전남대학교 석사학위 논문.
- 홍창기, 2000, SAR 영상에서 지질학적 선구조의 방향편차에 대한 정량적 분석: 연세대학교 석사학위 논문.
- 이병주, 김성찬, 김유봉, 조등룡, 최현일, 전희영, 김복철, 1997, 광주 지질도폭 설명서(1:250,000): 과학기술부, p. 9-12.
- Ballard, D. and Brown, C., 1982, *Computer Vision*, Prentice-Hall Inc., New York.
- Ford, J. P., 1980, Analysis of Seasat orbital radar imagery for geologic mapping in the appalachian valley and ridge province, Tennessee-Kentucky-Virginia, Radar Geology, JPL publication.
- Koike, K., Nagano, S., and Ohmi, M., 1995, Lineament analysis of satellite images using a segment tracing algorithm (STA): *Computers & Geoscience*, **21**(9), p. 1091-1104.
- Qari, M. Y. H. T., 1991, Application of Landsat TM data to geological studies, Al-Khabt Area, Southern Arabian Shield: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **57**(4), p. 421-429.