

# MOC-NA 영상의 영역기준 영상정합

## Area based image matching with MOC-NA imagery

윤준희<sup>1)</sup> · 박정환<sup>2)</sup>

Youn, Junhee · Park, Choung Hwan

### Abstract

Since MOLA(Mars Orbiter Laser Altimeter) data, which provides altimetry data for Mars, does not cover the whole Mars area, image matching with MOC imagery should be implemented for the generation of DEM. However, automatic image matching is difficult because of insufficient features and low contrast. In this paper, we present the area based semi-automatic image matching algorithm with MOC-NA(Mars Orbiter Camera-Narrow Angle) imagery. To accomplish this, seed points describing conjugate points are manually added for the stereo imagery, and interesting points are automatically produced by using such seed points. Produced interesting points being used as initial conjugate points, area based image matching is implemented. For the points which fail to match, the locations of initial conjugate points are recalculated by using matched six points and image matching process is re-implemented. The quality assessment by reversing the role of target and search image shows 97.5 % of points were laid within one pixel absolute difference.

Keywords : MOC-NA, MOLA, area based image matching, interesting point

### 초 록

화성의 고도정보를 제공하는 MOLA 센서는 화성전역에 대한 데이터를 제공하지 못하므로, 수치표고모형을 만들기 위해서는 MOC-NA 영상을 이용한 영상정합이 수행되어야만 한다. 그러나 특색(feature)이 적고 명암대비가 낮은 화성영상의 특성상, 자동 영상정합은 어려운 실정이다. 본 논문은 MOC-NA 영상에 대하여 영역기준 영상정합에 기반한 반 자동 영상정합의 알고리즘을 다룬다. 공액점을 나타내는 시드(seed)포인트들이 수동으로 스테레오 영상에 추가되고 이를 바탕으로 특징점들이 자동으로 삽입된다. 각 영상의 특징점들은 서로의 초기 공액점으로 사용되며, 영역기준 영상정합으로 정제된다. 영상정합의 과정 중 정합에 실패한 점들은 초기 공액점의 위치를 정합에 성공한 주변의 여섯 점들을 이용하여 재 계산한 후 정제된다. 타깃영상과 검색영상의 역할을 바꾸어 수행한 영상정합의 질적 평가 결과, 97.3%의 점들이 한 화소 이하의 절대거리를 나타내었다.

핵심어 : MOC-NA, MOLA, 영역기준 영상정합, 특징점

## 1. 서 론

화성 영상을 이용한 영상정합과 이를 통해 만들어지는 정확한 수치표고 모형은 화성의 탐사를 통한 다양한 과학적 조사를 위한 중요한 과제이다. 미 항공우주국에서는 화성표면, 대기, 자기장 등에 대한 자료를 수집하고 미래계획을 세우기 위한 목적으로 MGS(Mars Global Surveyor)위성을 통해 화성을 탐사해왔다(Albee 등, 2001). 미 항공우주국의 화성탐사 프로그램 중 첫 번째 미션인 MGS위성은 1996

년에 발사되어 1997년 9월에 화성에 도달하였다. 이후 안정적(stable)이며 태양동기(sun-synchronous)이고 근사 극(near polar)의 원 궤도에 진입하였다. MGS는 평균 375km의 표고에서 지난 수년간 화성표면의 매핑자료를 전송하여 왔다.

매핑을 위한 MGS의 센서는 크게 두 가지 타입이 있다. 하나는 영상을 제공하는 MOC(Mars Orbiter Camera)이고 다른 하나는 고도정보를 제공하는 MOLA(Mars Orbiter Laser Altimeter)이다. MOC는 선형 pushbroom 센서로서 화

1) 교신저자 · 정회원 · 삼성SDS 공공컨설팅그룹 수석컨설턴트 · 공학박사(E-mail:junhee.youn@samsung.com)  
2) 연세대학교 토목공학과 박사 후 과정 · 공학박사(E-mail:c142520@yonsei.ac.kr)

소당 최고 1.4 미터의 지상 해상도를 제공하는 MOC-NA(Mars Orbiter Camera - Narrow Angle)와 화소당 최고 280미터의 지상 해상도를 제공하는 MOC-WA(Mars Orbiter Camera - Wide Angle)로 구성되어 있다(Shan 등, 2005). MOC-NA는 한 개의 센서가 흑백사진을 취득하며 MOC-WA는 두 개의 센서로 이루어져, 각각 청색 밴드와 적색 밴드를 가지고 있다(Shan 등, 2005). 화성표면의 지형과 지질학적 특성을 이해하기 위해 사용되는 MOLA는 1064 nm의 레이저 신호를 전송하고 산란된 신호를 수신하여 MGS와 화성표면의 거리를 측정한다(Smith 등, 2001). MOLA의 거리측정 해상도는 약 37.5cm 이고 트랙을 따라서 약 300m의 간격으로 관측을 하고 있으며 절대수직 정확도는 1m 이내로 알려져 있다(Smith 등, 2001).

MOC-NA와 MOLA의 데이터는 우수한 해상도를 가지고 있으나 각각 한계점이 존재한다. MOC-NA의 경우, 대부분의 영상이 서로 중첩되지 않도록 궤도설계 되어있어 중첩된 영상은 수십 장 정도만이 존재한다(Kirk 등, 2002). MOLA가 수집하는 데이터는 매우 높은 정확도를 갖고 있지만 그 해상도는 지표거리 300미터 이하의 트랙 폭 내에서만 유효하다(Kirk 등, 2002). 또한 적도부근의 여러 곳에서 MOLA의 지상 트랙들은 중첩하지 않은 채 서로 수 킬로미터의 간격이 있을 수 있는 단점이 있다(Kirk 등, 2002). 그러므로 화성 전역의 정밀 매핑을 위해서는 위의 한계를 극복할 만한 새로운 센서의 결과가 추가되어야 하며, 중첩된 데이터의 취득은 다른 행성의 탐사에도 동등하게 요구되는 사항이다. 이렇듯 MOLA의 데이터가 존재하지 않는 지역에 중첩된 MOC-NA 영상이 취득되었을 경우, 영상만을 이용한 수치표고모형취득의 알고리즘 개발이 요구된다.

MGS 미션으로 수치표고모형을 만들기 위한 시도는 주로 화성탐사로버(MER - Mars Exploration Rover)의 적합한 착륙지점을 찾기 위한 목적으로 진행되어 왔다. Ivanov와 Lorre(2002)는 MOC-NA 영상과 MOC-WA 영상으로부터 Gruen 상관계수 알고리즘으로 지형(topography)정보를 취득하였다. Ivanov와 Lorre(2002)는 초기 공역점의 위치를 센서 모델로 추론하고 이의 정제화(refine)에 Gruen 상관계수 알고리즘을 사용하였다. Gruen의 개념은 영상의 회전을 제한함으로써 선 방향으로 영상을 정렬할 필요가 없는 방법으로써 센서의 정보가 알려져 있을 때 적용하기 좋은 방법이다(Ivanov와 Lorre, 2002). Yoon(2004)과 Rengarajan 등(2004)은 각 스테레오 영상의 공역점을 수동으로 찾아내고 이 점들로부터 보다 밀집된 특징점(interesting points)을 삽입하고 영역기준 영상정합을 이용하여 공역점을 찾아

내었다. Kirk 등(2002)과 Anderson과 Parker(2002)는 MOLA 데이터를 유효한 최선의 수치표고모형 데이터로 간주하고, 식별 가능한 특색(feature)이 있는 곳을 찾아 MOC-NA의 표정요소를 달리하여 조정하였다. 저자들은 MOC-NA 스테레오 영상의 공역점을 자동과 수동의 방법을 병용하여 찾아냈다. 2004년 1월 화성탐사로버인 Spirit와 Opportunity가 화성표면에 도착한 이후, 화성표면의 수치표고모형은 화성탐사로버의 지상영상네트워크와 화성 궤도 영상의 조합(Li 등, 2007)을 통하여 만들어졌다.

본 논문은 Yoon(2004)과 Rengarajan 등(2004)의 알고리즘을 발전시켜, MOLA 데이터의 이용 없이 수치표고모형을 만들기 위한 MOC-NA 영상의 반자동 영상정합 알고리즘을 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 우선, 좌우 영상에 수동으로 공역점들을 찾아 이들을 시드(seed)포인트로 이용한다. 이 시드포인트는 Delaunay 삼각망을 구성하여, 좌측 영상의 세 개의 시드포인트는 한 개의 삼각형을 구성하고 이 세 점의 공역점에 해당하는 우측 영상의 세 점도 삼각형을 구성한다. 기하학적 특성을 이용한 간단한 점 삽입 알고리즘으로 특징점들이 더해지며, 좌우의 특징점들은 영역기준 영상정합으로 정제된다. 영상정합의 결과가 수렴하지 않는 점들에 대해서는 주변의 수렴된 공역점을 이용하여 공역점의 초기값을 다시 계산하는 방식을 이용하였다. 본 논문에서 제안하는 점 삽입 알고리즘이 Yoon(2004)과 Rengarajan 등(2004)의 점 삽입 알고리즘보다 개선된 부분은 첫째, 점 삽입 알고리즘이 매우 간단하여 계산시간이 짧아진다. 둘째, 점간의 거리에 대한 제어가 가능해짐으로써 균등하게 분배된 매칭점을 찾을 수 있다. Rengarajan 등(2004)의 점 삽입 알고리즘은 점간의 제어가 불가능하다. 즉, 추가로 삽입되는 점들의 간격은 시드포인트들 간의 간격에 의존하므로 시드포인트 간의 거리가 가까운 지역은 상대적으로 밀집된 매칭점들이 찾아지므로 전체적으로 균등하지 못하다.

본 논문은 다음의 세 장으로 구성된다. 다음 장에서는 기하학적 특성을 이용한 특징점 삽입 알고리즘이 제안된다. 다음으로 화성의 두 영상을 이용한 실험결과가 제시되고 그 정확도가 평가된다. 마지막으로 이에 따른 결론을 도출한다. 사용된 스테레오 영상은 화성의 Gustev Crater 부근으로 화성탐사로버인 Spirit의 착륙지점이기도 하다. 그 위치는  $-14.82^{\circ}$  N과  $185.85^{\circ}$  W 이다. 좌측영상은 2001년 3월 8일에 촬영되었고 해상도는 화소 당 4.4 미터 가량이다. 우측영상은 2001년 3월 17일에 촬영되었고 그 해상도는 화소 당 4.9 미터 가량이다.

## 2. 시드포인트를 이용한 특징점 삽입

Yoon(2004)은 화성의 수치표고 모형을 만들기 위한 영상정합이 지구상의 영상정합보다 어려운 이유로 다음의 두 가지 이유를 제시하고 있다. 첫째는 많은 인공구조물들이 있는 지구와 달리 화성표면에는 분화구나 바위를 제외하고는 눈에 띄는 독특한 특색(feature)이 없다는 사실이다. 둘째는 화성으로부터 취득된 영상은 충분한 명암대비를 갖고 있지 않다는 것이다. 이렇듯 자동방식으로는 화성지역의 양 사진의 초기 공액점을 찾기가 어렵다는 사실에 근거하여 수동으로 시드포인트를 제공하고 이를 바탕으로 자동으로 특징점을 삽입하여 정합하는 반 자동 방식이 연구되어왔다(Yoon, 2004; Rengarajan 등, 2004).

시드포인트에 기반한 Yoon(2004)과 Rengarajan 등(2004)의 반 자동 영상정합은 수동으로 공액점을 찾고, 삼각망의 형성과 특징점의 삽입과정을 반복하여 밀집된 특징점을 얻고, 이의 정제화에 영역기반 영상정합을 이용하는 세 부분으로 설명될 수 있다. 본 논문에서는 세 부분 중 좌우 영상의 특징점을 삽입하는 과정을 개선한다. Yoon(2004)과 Rengarajan 등(2004)의 특징점 삽입 방식은 첫째, 수동으로 탐지된 시드포인트들을 이용하여 좌우 영상에서 Delaunay 삼각망을 형성한다. 둘째, 타깃 영상의 각 삼각형의 내접원의 중심에 특징점을 삽입한다. 셋째, 삽입된 특징점에 대응하는 검색 영상의 특징점은 가까운 여섯 점으로 결정된 변수로 이루어진 bilinear polynomial 변환을 이용한다. 좌우 영상에서 특징점을 삽입하고 난 후, 다시 새로운 삼각망을 형성하고 특징점을 삽입하는 과정이 반복된다. Delaunay 삼각망은 어떠한 점들도 다른 삼각형의 외접원 안으로 들어오지 않도록 한다는 기준 하에 형성되며, 그렇게 구성된 각 삼각형들은 정삼각형에 가까워서 최소 각이 최대가 되도록 만드는 장점이 있다(Ding, 1991). Delaunay 삼각망을 만들기 위해서는 주변의 점들을 모두 검색하여 적합한 조합을 찾아낸다. 그런데 MOC-NA 영상으로 만들어질 DEM의 특징점간 목표거리는 매 3 화소이므로(Kirk 등, 2002), 특징점이 삽입될 때 마다 망을 형성한다면 매 스텝마다 새로운 검색을 수행하여야 하므로 상당한 계산시간이 소요된다. 또한 Delaunay 삼각망의 형성으로 삽입되는 특징점 들은 삼각형의 크기에 상관없이 내접원의 중심에 위치하게 되므로 기존의 점간 거리를 고려하지 않는다. 그러므로 수동으로 찾아진 공액점간의 간격이 좁은 지역은 넓은 지역보다 상대적으로 밀집한 특징점들이 삽입되어 전체적으로 특징점이 균등하게 배열되지 못

하는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 Yoon(2004)과 Rengarajan 등(2004)의 방식보다 상대적으로 계산시간이 적으면서 특징점이 보다 균등하게 배열되는 점 삽입 알고리즘을 제안한다.

제안되는 점 삽입 알고리즘은 수동으로 좌우 영상에서 공액점을 찾는 것에서 시작된다. 찾아진 공액점은 각 영상에서 Delaunay 삼각망을 구성한다. 그림 1은 제안된 점 삽입 알고리즘의 개념을 표현한다. 그림 1에서 점 1, 2, 3은 Delaunay 삼각망의 한 삼각형의 꼭지점을 나타낸다. 첫째 스텝에서 세 꼭지점으로 이루어지는 세 조합의 산술평균 점 세 점이 특징점으로 더해진다. 즉, 각 꼭지점의 영상좌표의 벡터를  $X_1, X_2, X_3$  이라고 하면, 첫째 스텝에서 더해지는 세 특징점의 벡터는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} X_4 &= \frac{(X_1 + X_2)}{2} \\ X_5 &= \frac{(X_2 + X_3)}{2} \\ X_6 &= \frac{(X_3 + X_1)}{2} \end{aligned} \quad (1)$$

세 점이 삽입되고 나면, 점 1, 2, 3으로 이루어진 삼각형은 다시 네 개의 작은 삼각형으로 나누어지는데 이는 점 4, 5, 6으로 이루어진 삼각형, 점 1, 4, 6으로 이루어진 삼각형, 점 4, 2, 5로 이루어진 삼각형, 점 6, 5, 3으로 이루어진 삼각형이다. 새로 조합을 이루는 네 개의 삼각형에는 다시 식(1)을 이용하여 새로운 특징점들이 더해지고, 인접 삼각형과 겹치는 점은 중복계산하지 않는다. 다시 말하자면, 점 4, 5, 6으로 만들어진 작은 삼각형에는 점 7, 8, 9의 세 개가 삽입되지만, 점 1, 4, 6으로 만들어진 작은 삼각형에는 점 10, 11의 두 점만이 삽입된다. 두 번째 스텝에서 삽입된 특징점을 통하여 다시 더 작은 삼각형이 구성되고 같은 방식으로 특징점이 삽입된다. 위와 같은 과정은 원하는 밀도의 특징점이 삽입될 때까지 반복된다. 스텝이 진행되면서 얻어지는 점 밀도  $D_n$ 을 구하기 위해서 우선 삼각형의 넓이를 구한다. 삼각형의 넓이  $S$ 는 외적의 정의를 통해서 다음과 같이 구한다.

$$S = \frac{|(X_1 - X_2) \times (X_1 - X_3)|}{2} \quad (2)$$

k번째 스텝이 진행될 때 더해지는 특징점의 수  $P_k$ 는 새로운 스텝에서 고려되는 작은 삼각형조합의 삽입되는 특

정점에서 중복되는 점을 빼서 구해지며 다음의 식을 이용한다.

$$P_k = 3 \times 4^{k-1} - 3(2k-3)(k-1) \quad (3)$$

총 n 스텝이 진행되었을 때의 점의 밀도는 면적 나누기 존재하는 모든 점의 개수로 구해지며 다음과 같다. 식 (4)의 밀도를 제어함으로써 특징점들이 균등하게 배열될 수 있다.

$$Dn = \frac{S}{3 + \sum_{k=1}^n P_k} \quad (4)$$

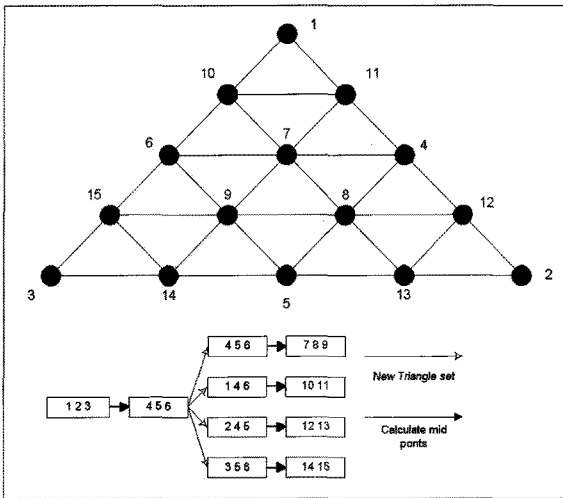


그림 1. 점 삽입 알고리즘의 개념

### 3. 실험결과 및 질적 평가

최소제곱을 이용한 영상정합은 위치 정밀도는 가장 높으나 초기 근사치가 틀릴 경우 잘못된 결과를 도출할 수도 있다. 따라서 일반적인 영역기반 영상정합은 상관계수 영상정합의 방법과 최소제곱 영상정합의 방법을 순차적으로 이용한다. 먼저, 상관계수 영상정합을 이용하여 공액점의 좌표를 계산한다. 이후 상관계수 영상정합에서 얻어진 공액점의 좌표는 다시 최소제곱 영상정합의 초기값으로 이용하여 정밀한 공액점의 위치를 측정한다. 이들 공액점의 좌표는 사진좌표로 변환되어 전방교회법으로 3차원 위치정보를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 3차원 위치정보를 얻기 전 과정, 즉 삽입된 특징점을 바탕으로 영역기준 영상

정합을 수행하여 이의 정확도를 평가한다.

실험의 흐름도는 그림 2에 나타나 있다. 좌측의 타깃영상과 우측의 검색영상에서 각자 시드포인트를 수동으로 구하고, 2장에서 설명된 점 삽입 알고리즘으로 특징점을 삽입한다. 타깃영상의 특징점을 대상점으로, 검색영상의 특징점을 해당 초기 공액점으로 간주하여 영역기준 영상정합을 실시한다. 영역기준 영상정합은 상관계수 영상정합과 최소제곱 영상정합이 연속적으로 시행된다. 최소제곱 영상정합의 과정에서 반복계산이 이루어지는데 파라미터의 증감분이 점차 작아지며 수렴할 경우에는 정합의 과정을 끝낸다. 반면 수렴하지 않거나 씨치윈도우의 범위를 벗어날 경우에는 정합에 실패하였다고 판단한다. 정합에 실패한 점은 초기 공액점의 위치가 잘못된 것으로 간주하여 정합에 성공한 주변의 6점을 이용하여 부등각 사상변환으로 초기 공액점의 위치를 재 계산한 후 영상정합을 실시한다. 특징점 자동삽입, 영역기준 영상정합, 그리고 초기 공액점의 재 산정 등 모든 알고리즘은 MATLAB 언어를 이용하여 구현하였다.

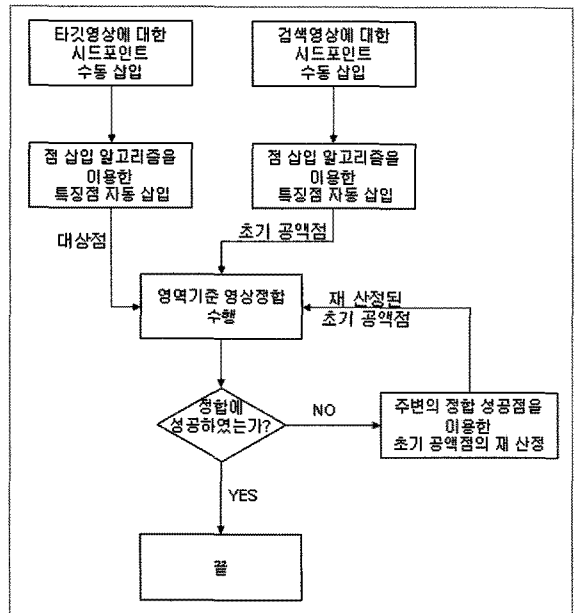


그림 2. 실험의 흐름도

그림 3은 좌우 MOC-NA 영상 중 실험을 위하여 선택된 다섯 실험지역의 개략적 푼트포인트를 보여주고 있다. 그림 4는 실험지역 1의 시드포인트와 삽입된 특징점의 위치를 나타낸다. 그림 4(a)는 좌측영상이며 그림 4(b)는 우측 영상

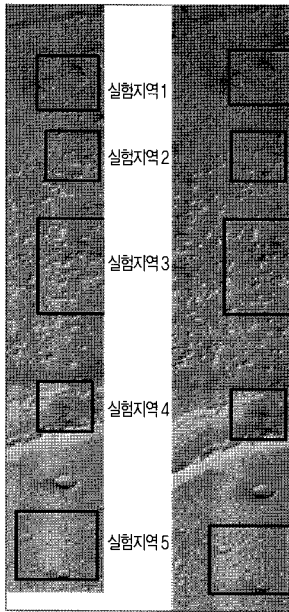


그림 3. 실험에 사용된 MOC-NA 영상과 다섯 개의 실험지역

이다. 그림 4에서 삼각형 형태의 점들의 모임 중 삼각형의 꼭지점에 해당하는 각 영상의 세 점이 수동으로 찾아낸 시드포인트이고 나머지 점들이 2장의 알고리즘을 이용하여 삽입된 특징점들이다. 본 논문에서는 각 실험지역에 일률적으로 3 스텝까지 특징점 삽입 알고리즘을 적용하였으므로 각 실험지역에 45점씩 총 255 점을 대상으로 사용하였다. 실험지역 1의 좌측영상의 특징점을 대상으로 간주하고 이에 대응되는 우측영상의 특징점을 초기 공액점으로 간주하여 영역기반 영상정합을 수행한 결과는 그림 5에 나타나 있다. 상관계수 영상정합에서 사용된 템플릿의 크기는  $31 \times 31$  pixel이며 씨치윈도우의 크기는  $51 \times 51$  pixel 이다.

그림 5는 그림 4의 특징점 중 우 중앙부분의 정합 결과를 확대한 그림으로써, 그림 5(a)는 좌측영상의 대상점을 나타내고 그림 5(b)는 우측영상으로써 'u' 표시는 초기 공액점의 위치, 'x' 표시는 영상정합의 결과인 계산된 공액점이다. 실험지역 1의 경우는 처음 계산된 초기 공액점으로 모두 정합에 성공하였다. 실험지역 2,3,4의 경우는 처음 계산된 초기 공액점으로 영상정합한 결과 각각 2점, 1점, 10점이 정합에 실패하였으나 주변의 정합 성공 점을 이용한 초기 공액점의 재 산정 과정을 거친 두 번째 영상정합에서 모두 정합에 성공하였다.

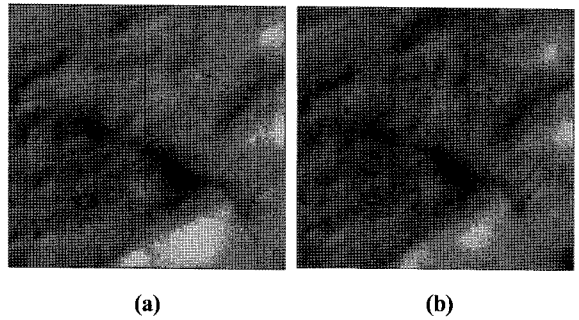


그림 5. 실험지역 1의 부분확대 (a)대상점 (b)초기 공액점과 영상정합 결과

그림 6은 정합에 실패한 점이 초기 공액점의 재 산정 과정을 거친 후 정합에 성공한 예를 보여주고 있다. 그림 6은 실험지역 3의 부분확대 그림으로써, 그림 6(a)는 좌측영상의 대상점을 나타내고 그림 6(b)는 우측 영상의 초기공액점(+)과 재 산정된 초기 공액점( $\oplus$ ), 그리고 영상정합의 결과인 계산된 공액점( $\otimes$ )을 나타내고 있다. 한편, 반복된 초기공액점 재 산정 과정에도 불구하고 실험지역 5에서 1점이 정합에 실패하였다. 따라서 총 225점 중 224점이 정합에 성공하여 99.6%의 정합 성공률을 나타내었다.

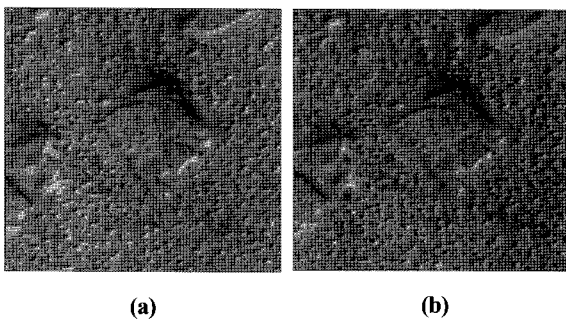


그림 4. 실험지역 1 (a) 대상점 (b) 초기공액점

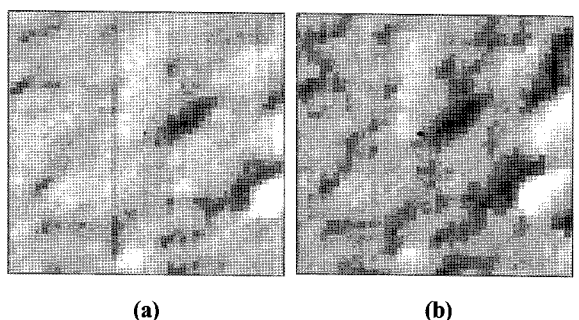


그림 6. 실험지역 3의 부분확대 (a)대상점 (b)초기 공액점과 영상정합 결과

MOC-NA 영상의 영상정합의 결과를 질적으로 평가하기 위해 Rengarajan 등(2004)은 타깃영상과 검색영상과의 역할을 바꾸어서 영상정합을 한 후 대상점과의 거리차이를 계산하였다. 본 논문에서도 같은 방법을 사용하여 결과를 평가하였다. 좌측영상을 타깃영상으로, 우측영상을 검색영상으로 간주하여 영상정합을 실시하는 것을 forward matching 이라 정의하고 반대로 우측영상을 타깃영상으로, 좌측영상을 검색영상으로 간주하여 영상정합을 실시하는 것을 reverse matching이라 정의한다. Forward matching에서 대상점으로 사용되었던 점들은 reverse matching에서 초기 공액점으로 사용된다. 또한 forward matching의 결과로 대상점의 공액점으로 계산되었던 점들은 reverse matching에서 대상점으로 사용된다. Forward matching의 대상점과 reverse matching의 계산된 공액점과의 절대거리를 계산하여 본 논문이 제안한 방법의 결과를 평가한다. 계산결과, 총 225점의 대상점 중, 절대거리가 1화소 이상인 점은 5점으로써 97.3%의 점들이 1화소 이하의 절대거리를 나타내었다. Rengarajan 등(2004)의 결과는 약 90%의 점들이 1화소 이하의 절대거리를 나타내었으므로 본 논문이 제안한 방법이 더 신뢰도가 높았다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 MOC-NA 영상의 반자동 영상정합 알고리즘을 다루었다. 수동으로 좌우 영상에 시드포인트를 추출하고 시드포인트를 이용하여 제안된 점 삽입 알고리즘으로 특징점을 삽입하였다. 좌측 영상의 특징점을 대상점으로 하고, 대응하는 우측영상의 특징점을 초기 공액점으로 간주하여 영역기준 영상정합을 실시하였다. 영상정합에 실패한 점들은 주변의 정합 성공 점들을 이용하여 초기 공액점의 위치를 재 산정한 후 영상정합을 실시하였다. Forward matching의 결과인 계산된 공액점을 대상점으로 하고 좌측영상의 특징점을 초기 공액점으로 간주한 reverse matching을 수행하여 좌측영상의 특징점과 reverse matching의 계산된 공액점과의 거리차이를 계산한 결과 97.3%의 점들이 1화소 이하의 절대거리를 나타내었다. 본 논문을 통하여 MOC-NA의 영상에 대한 영상정합을 다른 Rengarajan 등(2004)이 제안한 방법보다 계산시간이 적고 특징점들이 균등하게 배열되며, 신뢰도가 높은 결과를 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

- Albee, A. L., Arvidson, R. E., Palluconi, F. and Thorpe, T. (2001), Overview of the Mars Global Surveyor mission, *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, Vol. 106, No. E10, pp. 23291-23316.
- Anderson, F. S. and Parker, T. J. (2002), Characterization of MER landing sites using MOC and MOLA, *The 33<sup>rd</sup> Lunar and Planetary Science Conference*, Lunar and Planetary Institute, March 11-15, 2002, League City, Texas, unpaginated CD-ROM.
- Ding, Y-C (1991), *Spatial Accuracy Estimation in the Geometric Correction of Digital Photomaps*, PhD Thesis, University of Washington, Washington, US.
- Ivanov, A. B. and Lorre, J. J. (2002), Analysis of Mars Orbiter Camera Stereo Pairs, *The 33<sup>rd</sup> Lunar and Planetary Science Conference*, Lunar and Planetary Institute, March 11-15, 2002, League City, Texas, unpaginated CD-ROM.
- Kirk, R. L., Soderblom, L. A., Howington-Kraus, E. and Archinal, B. (2002), USGS High-resolution topomapping of Mars with Mars orbital camera Narrow-angle images, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol.34, Part 4, unpaginated CD-ROM.
- Li, R., Di, K., Hwangbo, J. and Chen, Y. (2007), Integration of Orbital and Ground Images for Enhanced Topographic Mapping in Mars Landed Missions, *Annual NASA Science Technology Conference*, NASA, College Park, Maryland, June 19-21, 2007, unpaginated CD-ROM.
- Rengarajan, R., Yoon, J. and Shan, J. (2004), Triangulation Based Hierarchical Image Matching for Mars DEM Generation Using MOC NA Stereo Images, *ASPRS Annual conference*, ASPRS, Denver, Colorado, May 23 to 28, 2004, unpaginated CD-ROM.
- Shan, J., Yoon, J., Lee, D. S., Kirk, R. L., Newmann, G. A. and Acton, C. H. (2005), Photogrammetric analysis of the Mars Global Surveyor mapping data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 71, No. 1, pp. 97-108.
- Smith D. E., Zuber, M. T., Frey, H. V., Garvin, J. B., Head, J. W., Muhleman, D. O., Pettengill, G. H., Philips, R. J., Solomon, S. C., Zwally, H. J., Banerdt, W. B., Duxbury, T.

C., Golombek, M. P., Lemoine, F. G., Neumann, G. A., Rowlands, D. D., Aharonson, O., Ford, P. G., Ivanov, A. B., Johnson, C. L., McGovern, P. J., Abshire, J. B., Afzal R. S. and Sun, X. (2001), Mars Orbiter Laser Altimeter: Experiment summary after the first year of global mapping of Mars, *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, Vol. 106, No. E10, pp. 23,689-722.

Yoon, J. (2004), *Combined MARS Global Surveyor data processing for precise topographic mapping*, PhD Thesis, Purdue University, Indiana, US.

---

(접수일 2010. 08. 06, 심사일 2010. 08. 17, 심사완료일 2010. 08. 20)