

## 고해상도 스테레오 DTM을 이용한 화성 Yardang의 지형학적 분석

박 경 (성신여자대학교 지리학과 조교수)

김 정 략 (Univ. Coll. London Mullard Space Science Laboratory)

### 1. 서론

#### 1) 연구 배경 및 목적

야당은 투르크 어원으로 스웨덴 탐험가인 스벤 헤딘에 의해서 소개된 지형학 용어로서 바람에 의해 침식된 능선부를 의미한다. 야르당은 최근 화성에서 그 존재가 알려짐으로서 많은 관심을 받기도 있는데, Ward(1979)는 화성의 적도부근에서 수십킬로미터에 달하는 여러 개의 능선을 찾아내고 계곡부의 폭이 1km에 달한다는 것을 밝혔다. 최근 이들의 존재는 지구의 여러 곳에서 발견되는 야당과 비교되어 연구되고 있다 (Goudie, 2007).

국내에서는 화성의 계곡 형성에 관한 연구 (이차복, 2007) 등이 있으나, 아직 대표적인 풍식 지형인 야당에 관한 연구는 거의 없으며, 최근 유럽 주도로 촬영된 고해상도 스테레오 영상이 이용 가능해진 상황에서 이를 통한 지형학적 분석을 시도하고자 한다.

#### 2) 이론적 배경 및 연구 방법

현재까지 지구의 메가야당의 분포에 대해서는 Goudie (2007)의 연구가 잘 요약하고 있으며 그 내용은 다음과 같이 요약할 수 있으며, 지질조건은 <표 1>과 같다.

메가야당은 극도로 건조한 지역에만 발생하고 있으며, 대부분의 메가야당은 연강수량이 50mm 이하인 지역에 분포하고 있다. 대형 야당은 취식은 최대이고 식생피복은 최소한에 그치는 지역으로 모래에 의한 마식작용이 일어날 수 있는 곳에 분포한다. 특징적인 것으로는 호주에선 발견된 않는다는 점이다. 둘째, 야당은 사구가 형성되고 있는 지역에 선 보기 어렵다는 것이다. 셋째, 대형야당은 무역풍대에서 대부분 발견된다. 이는 바람이 연중 한 방향으로 불거나 탁월풍의 방향이 매우 유사한 지역에 국한되는 특징을 보인다. 이는 북부나미브나, 중부 칠레, 이집트 등에서 때론 바르한 사구와 같이 출현하여 이를 증명하고 있다. 때론 메가야당은 모래사막의 풍상방향에 만들어지기도 하는데 이는 이란의 루트 사막이나 나미비아 혹은 사우디아라비아 등에서 확인된다.

하지만 바람에 관한 데이터는 이란의 경우와 마찬가지로 접근성의 어려움 때문에 신뢰하기 어렵다는 문제가 있다. 또한 메가야당은 구조가 복잡하지 않은 비교적 균질적인 암석에서 발달하는 특징을 보이며, 침식이 이루어질 수 있는 절리계를 가진 것으로 보인다. 이들은 반드시 부드러운 암질의 암석에만 나타나는 것은 아니다. 아직 이들의 형성 시나 형성 속도에 대한 자료도 매우 부족한 현실이다.

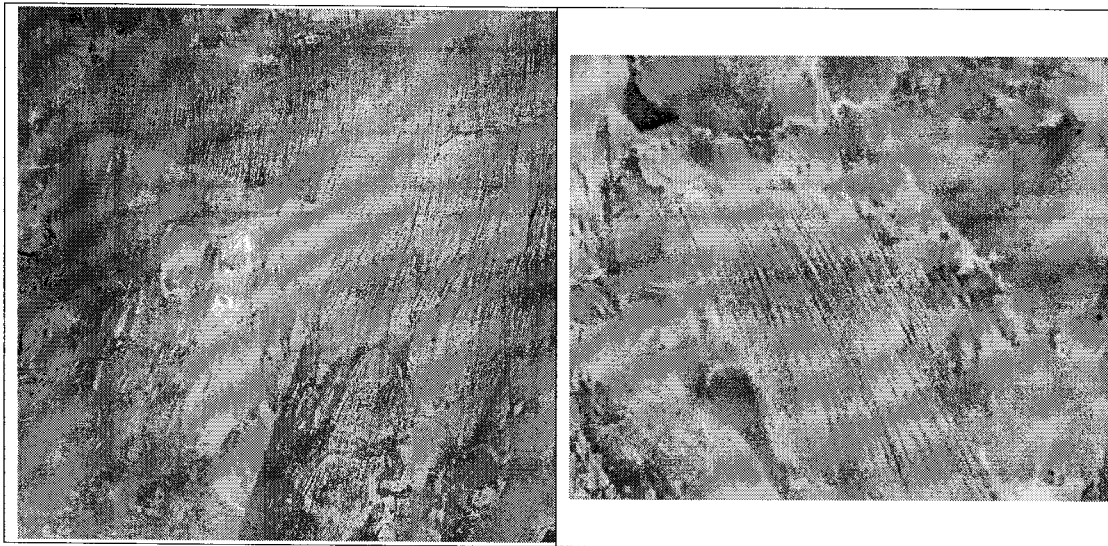


그림 1 Lop Nor 인근의 야당과 이란의 Lut Desert인근의 야당

표 14. 초대형 야당의 분포와 기반암의 특징 (Goudie, 2007에서 정리)

Dakhla Region, Egypt	Palaeogene limestones	Brookes (2001)
Southern Namibia	Gariiep Complex rocks (volcanics intrusives, schists, rhyolite, etc.)	Goudie (2007) and Corbett (1993)
	Nama System dolomites	Krenkel (1928)
Cunene Erg, Namibia	Damara rocks (schists, marbles, phyllites, etc.)	Goudie (2007)
Bahrain	Aeolianite and dolomite	Doomkamp et al. (1980)
Central Peru	Tertiary shales, siltstones, and sandstones	McCauley et al. (1977)
Borkou, Sahara	Palaeozoic and Lower Mesozoic sandstones	Mainguet (1972)
Saudi Arabia	Cambrian sandstones	Goudie (2007)
Lut Desert, Iran	Pleistocene clays, silts etc.	Gabriel (1938)

## 2. 본론 : 화성의 야당 분석과 원격 탐사기술의 검토

지난 수 십 년간 행성 표면의 지질학적 해석/지도화는 광학 영상의 시각적 분석에 의존해 왔으나 지질/지형학적 연구에서의 GIS응용 추세와 더불어 행성 표면 특히 상당한 지각 변화를 거친 화성의 경우 수치 지형 모델 (DTM)과 같은 정량적 데이터의 필요성이 대두되었다. 화성 표면의 첫 stereo 분석에 의한 DTM은 미국지질조사국(USGS)의 1km 해상도 DTM이며 USGS Astro-geology팀에 의해 Viking stereo image pair에 의해 추출되었다. 2003년 Mars Global Surveyor 의 MOLA(Mars Orbiter Laser Altimeter)는 화성 전역에 대한 직접 고도 측정을 수행 하였는데 Active sensor로서의 MOLA 의 수직 해상도는 cm레벨로서 충분한 수준 이지만 개개 MOLA 관측점의 footprint size는 150m, 그

리고 track간 gap은 km을 넘는 수준으로서 적절히 raster화되었다 할지라도 그 수평해상도는 대부분의 지질 / 지형 연구의 입력 자료로서 적합하지 않다. 2003년 이후 화성 궤도상에서 영상 획득을 시작한 Mars Express의 HRSC (High Resolution Stereo Camera)는 획기적 stereo 영상 취득 장비로서 12.5-25m 해상도로 화성의 상당 영역을 커버하며 영상의 압축과정에서 발생하는 문제에도 불구하고 12.5m HRSC 영상으로는 최대 30-50m DTM 추출이 가능함이 입증 되었다. 2007년 이후 화성 궤도상에서 전개된 MRO(Mars Reconnaissance Orbiter)의 CTX(Context Camera) 와 HiRISE(High Resolution Imaging Science Experiment) sensor는 각각 6m과 0.25m의 초고해상도를 가지고 있으며 HRSC로는 불가능한 화성 표면의 미소 지형에 대한 관찰이 가능하다. CTX와 HiRISE stereo pair로부터 DTM을 추출하기 위한 노력은 USGS의 Krik et al., (2008)에 의하여 상업용 BAE Socet S/W을 개조하여 이루어졌으며 최대 해상도 1m의 DTM 추출이 가능한 것으로 알려져 있다. 이외에 Li et al., (2008)과 Broxton and Edward (2008)이 각각 HiRISE와 CTX DTM 추출에 대한 몇 가지 사례를 보고한바 있으나 실제적으로 지질/지형 분석에 유용한 data가 산출되었음을 증명하지는 못하였다. Kim and Muller (2008)은 non-rigorous sensor model에 기반한 새로운 stereo photogrammetric tool을 개발하였는데 이는 보다 저해상도 stereo 영상 분석의 결과를 고해상도 영상의 geomatic control을 위해 재사용 함으로서 동일 지역 내에서 24-50m HRSC 중해상도 DTM, 24-10m 고해상도 CTX DTM, 3.5-0.5m HiRISE DTM을 함께 추출하며 대상 지역을 3차원 상에서 Zoom-up 시켜가는 것이다. 이 stereo 루틴은 화성 표면 hydrological analysis, lake sediment, crater morphology 등의 연구에 응용되었으며 본 연구에서는 적도 부근 Medusa Fossae Formation 의 yardang 연구에 사용되었다. 화성의 풍성지형들(사구, TAR (Transverse Aeolian Ridges), wind streaks etc..)은 여러 해상도의 광학 영상으로부터 조사되어 왔으나 DTM을 사용한 수직 구조상의 연구는 가용한 stereo 영상의 해상도 (Viking , MOC-NA (narrow angle), HRSC)가 충분치 못했으므로 시도되지 않았었다. 고로 본 연구는 martian Aeolian feature중 하나인 야당의 구조를 고해상도/초고해상도 DTM을 이용하여 분석하는 최초의 사례이다.

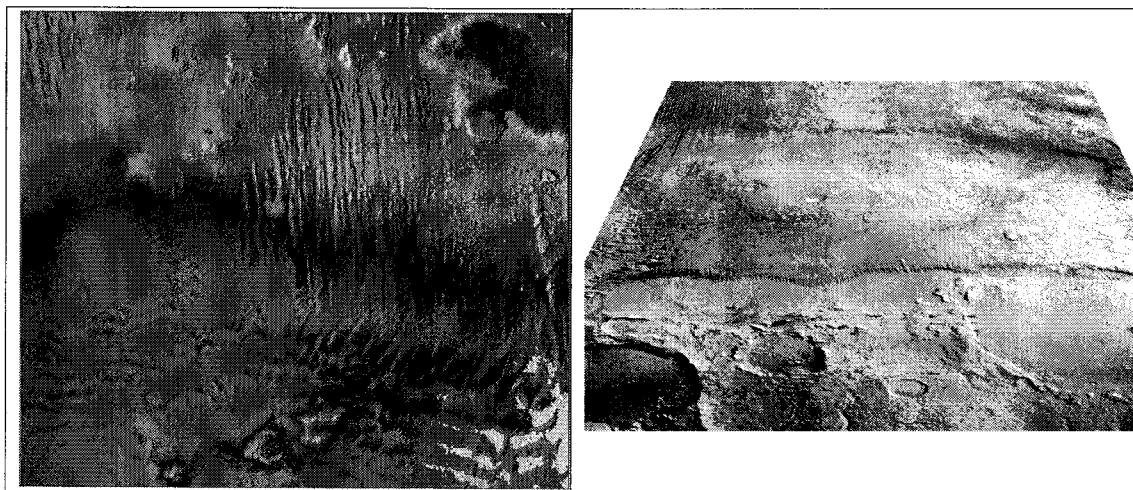


그림 2. 화성의 야당 지역의 음영기복도와 3차원으로 구성된 표면

### 3. 결론 및 제언

화성의 야당의 존재는 몇 가지 사실을 보여준다. 첫째 화성의 대기층의 존재이다. 마식 작용이 일어날 만큼 충분한 대기밀도를 가졌었다는 점을 보여주는 것이다. 이러한 사실은 최근 모래폭풍에 의한 사구의 이동이 관찰되는 것에 의해 증명되고 있다. 둘째는 화성에 대한 제한적인 자료에도 불구하고 풍화작용 또는 아직 밝혀지지 않은 이유에 의해 입자 상태의 물질이 화성 표면에 충분한 양으로 존재한다는 점이다. 또한 이들 야당의 크기는 지구 어느 곳에서 발견된 메가야당보다도 그 규모가 더 크게 나타난다는 것이다.

추후 연구는 화성에서 나타난 야당 구조에 대한 지형학적 형태분석(Morphometry)이 이루어질 것이며, 이를 분석하여 지구상에서 나타나는 야당과 비교하여 분석하는 연구가 진행될 것이다. 또한 지질학적 분석을 통해 기반암에 대한 정보를 도출할 수 있을 것으로 기대한다. 이러한 연구를 통해 태양계 내의 타행성의 지형 형성 작용에 대한 연구와 더불어 접근이 곤란한 중동이나 기타 지역과 같은 사막지역에 관한 연구가 진행되는 계기를 만들어갈 수 있으면 한다.

#### < 참고문헌 >

- 이차복, 2007, 화성(Mars) 벨리네트워크의 발생 프로세스에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문
- Ansan, V. , Mangold, N, 2006, New observations of Warrego Valles, Mars: Evidence for precipitation and surface runoff, *Planetary and Space Science*, 54, 219 - .242
- Cook, R. U., Warren, A., and Goudie, A. S., 1993. *Desert geomorphology* (London: University College London Press Limited).
- Goudie, A. S., 2007, Maga-Yardangs: A Global Analysis, *Geography Compass* 1/1, 65-81.
- Zimbelman, J. R. and , Griffin, L. J., 2009, HiRISE images of yardangs and sinuous ridges in the lower member of the Medusae Fossae Formation, Mars, *ICARUS*, (In Press)