

각자된 글자의 형태적 시각화를 이용한 금석문 판독방법

The Epigraph Reading Method using a Visualization Technique based on Morphological Characteristics of the Letters

최원호*, 고선우**

전주대학교 디지털헤리티지연구소*, 전주대학교 스마트미디어학과**

Won-Ho Choi(wonhosori@hanmail.net)*, Sun-Woo Ko(godfriend@hanmail.net)**

요약

금석문(金石文)이란 금속이나 석재에다 새긴 글씨 또는 그림을 말한다. 금석문(金石文) 판독에 널리 사용되고 있는 탁본은 간편하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 해상도나 노이즈 관점에서 볼 때 탁본은 금석문 판독에 최적의 방법이라고 할 수는 없다. 본 연구에서는 각자된 글자의 입체적 특징을 반영하여 판독 가능성을 높여주는 새로운 조사기법을 제시하였다. 금석문에 각자된 글자의 정밀한 입체 데이터를 얻기 위해 3차원 스캐닝 기술을 적용하고 획득된 3차원 깊이 데이터에 따라 음영을 표현하는 Ambient Occlusion 시각화 기법을 적용하였다. 이 과정에서 훼손 및 마모가 포함된 바탕영역정보와 글자영역정보를 분리하여 판독 가능성을 향상시켰다. 개발된 방법은 국보318호인 포항중성리신라비의 판독에 적용하여 그동안 판독에 논란이 있어왔던 특정 문자의 판독 뿐 아니라 추독 범위를 좁히는데 기여하였다.

■ 중심어 : | 금석문 | 탁본 | 3차원 스캐닝 | Ambient Occlusion |

Abstract

The epigraphy is a text or a picture engraved on metal or stone. One of advantages of rubbing of ancient inscription has been used in epigraphic field is simple. But the rubbing is not an optimal method in viewpoints of resolution and noise to decode the inscribed characters. In this study, we proposed a new research method that increases the possibility of a reading by reflecting the 3D characteristics of the engraved letters. The proposed techniques apply 3D scanning technology to obtain three-dimensional and high quality data of each of the letters in the epigraphy and use Ambient Occlusion visualization techniques to express the shade according to the 3D form of the letters. Research result enhances the readability of the letters that removed the damaged and worn information from the letters information of surface. This research contributes to narrow the scope of a particular letter and read to the controversial letters on the Pohang Jungsoengri Silla Stone Monument(Korea's national treasure number 318)

■ keyword : | Epigraphy | Rubbing | 3D Scanning | Ambient Occlusion |

I. 서론

금석문이란 쇠붙이(金屬)나 돌붙이(石類)에다 새긴 글씨 또는 그림을 말하는데 이를 그냥 ‘금석’이라고도 한다. 각자된 금석문 자체와 화풍을 연구하고, 그 시대를 밝혀 인문발달의 연원을 캐며, 역사의 자료로 사용하여 미술·공예·사상 등 여러 방면의 학술적 탐구를 진행하는 것을 ‘금석학(金石學)’이라 한다[1]. 금석학 연구는 판독, 해석, 해석내용을 근간으로 하는 연구로 분류할 수 있으며 동양에서 금석문에 대한 조사방법은 탁본을 기본으로 조사가 이루어지고 있다. 탁본은 대표적으로 건탁(乾拓)과 습탁(濕拓) 두 가지 방법을 사용한다. 건탁(乾拓)은 대상물에 한지를 부착시켜 묵을 대상에 문질러 형태를 파악하는 방법이다. 건탁을 이용하여 세밀한 형태를 조사하기 위해서는 작은 형태의 탁본묵을 이용하여 디테일한 형태 정보를 확보 할 수 있다[2]. 습탁(濕拓)은 대상 문화재의 문양이나 글자가 음각이나 양각의 형태로 새겨져 있는 것을 먹과 한지를 이용하여 그 부조형태를 파악한다. 이는 작업자의 숙련도와 대상 문화재의 표면 마모와 훼손에 따라서 탁본결과에 영향을 미치게 된다.

금석문(金石文) 판독에 있어서 탁본은 현재 가장 일반적인 조사 방법이며 탁본은 문헌적 가치뿐만 아니라 예술품으로써 가치를 갖고 있다. 탁본은 금석문과 같은 대상 문화재가 갖고 있는 각자(刻字)된 글자에 대한 정보를 명확하게 추출하여 파악하는 것이 매우 중요하다. [표 1]은 문화재청의 한국금석문 종합영상정보 시스템에서 제공하는 판독문 결과에 대한 이본(異本) 조사 내용이다[3].

표 1. 금석문 판독 이본(異本) 조사내용

금석문의 예	판독 이본(異本) 수
영일 냉수리신라비[4]	10
울진봉평신라비[5]	13
단양신라적성비[6][7]	9
북한산신라진흥왕순수비	11
창녕신라진흥왕척경비	9
중원고구려비[8]	9

[표 1]의 결과는 우리나라 대표적인 금석문(金石文) 판독에 대한 이본(異本)의 수를 비교 분석한 내용이다. 실제 조사한 금석문(金石文)외에도 더 많은 금석문(金石文)에 대한 판독의 이본(異本)이 존재하는 것을 확인할 수 있다. [표 1]의 금석문은 각자(刻字)된 시기가 고려시대 이전의 비문으로 오랜 시간동안 자연환경에 노출되어 있어 풍화(風化), 박리박락(剝離剝落), 훼손(毀損)이 이루어진 비석(碑石)들이다. 이본에 대한 해결책으로 금석문 표면의 훼손과 마모를 제거하고 각자된 글자정보만을 분리하여 판독이 이루어져야 한다.

II. 관련연구 검토

1. 관련연구의 해외사례

해외 조사기관에서도 금석문과 같은 각자된 글자를 파악하는데 있어서 탁본을 활용한다. 하지만 탁본은 앞서 설명한 것처럼 탁본 부재료 및 탁본 숙련도, 금석문 표면의 훼손여부에 따라 판독 결과가 달라지는 것을 알 수 있다. 이를 해결하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다.

1999년 미국 존스 홉킨스대학은 수메르 췌기문자에 대한 디지털 함무라비 프로젝트를 진행하였다. 디지털 함무라비 프로젝트는 췌기문자에 대한 디지털 데이터 베이스 구축뿐만 아니라 진흙덩이에 새겨진 췌기문자에 대하여 3차원 스캐닝기술을 적용하고 확보된 입체 데이터를 이용한 분석을 수행하였다. 연구팀은 3차원 스캐너로 부터 확보된 입체데이터에 대하여 다양한 셰이딩(Shading) 기법을 적용하여 높은 판독결과를 확보할 수 있었다[9][10].

디지털 함무라비 프로젝트 결과는 문자에 대하여 3차원 스캐너를 적용한 입체데이터의 시각화 분석 가능성을 확인할 수 있는 계기가 되었다. 특히, 존스 홉킨스 대학 연구팀은 iClay Java applet[11]을 이용하여 웹상에서 췌기문자에 대한 셰이딩(shading) 기법[12] 적용 결과를 제공함으로써 해외의 췌기문자 관련 연구자가 공동연구가 가능토록 하였다.



그림 1. 쇠기문자 쉐이딩 기법

디지털 함무라비 프로젝트에서 확인하였듯이 금석문(金石文)이나 부조형태로 조각된 문양 등을 파악하기 위해서는 대상 문화재에 3차원 스캐닝 기술을 적용하여 입체 데이터를 확보하는 것이 필요하다. 대상 문화재에 대한 입체 데이터의 시각화 결과는 기존에 파악하지 못한 글자, 문양 등을 더욱 명확하게 파악 할 수 있다.

본 연구에서는 디지털 함무라비 프로젝트에서 제시한 글자의 입체데이터를 이용한 시각화 분석 방법을 적용하여 판독 가능성을 높이고자 한다. 특히, 석재에 기록한 금석문은 오랜 시간 야외에 노출되어 있는 경우가 많아 자연환경에 의한 표면 마모나 훼손이 존재한다. 이러한 표면 마모와 훼손을 배제한 글자 판독방법이 필요하다.

III. 연구방법

1. 3차원 스캐닝기반 입체정보분석

금석문(金石文) 판독에 있어서 가장 중요한 것은 판독하고자 하는 글자가 명확하고 형태 파악이 선명해야 한다. 이러한 요소를 충족시키는 것을 보통 고해상도의 글자 정보기반 금석문(金石文) 판독이라고 할 수 있다. 고해상도의 글자 정보를 확보하기 위해서는 대상체에 대한 측정이 정밀해야 하며 글자의 특징을 잘 표현해야 한다. 3차원 스캐너를 이용한 글자 입체정보분석 장점은 μm (micrometer)단위의 데이터 정밀도를 갖고 있으며 추출된 글자의 깊이 값에 따라 분석이 가능하다.

1.1 3차원 스캐닝 측정

본 연구에서 금석문에 각자(刻字)된 글자 판독을 위

한 방법으로 글자의 입체데이터를 이용한 시각화 분석 방법을 제시하고 있다. 탁본은 금석문 표면 훼손(毀損)에 의한 요철이 있을 경우 글자 정보와 표면의 훼손 정보에 의한 간섭으로 판독 오류를 발생한다. 따라서 훼손된 금석문 표면의 훼손정보를 수치적으로 배제하고 글자 정보를 파악하기 위해서 3차원 스캐닝 기술을 이용한 글자의 입체정보 분석이 반드시 필요하다. [그림 2]는 3차원 스캐닝 기술 분류[13]를 설명하고 있다. 3차원 스캐닝은 크게 접촉식 스캐닝과 비 접촉식 스캐닝 기술로 이루어진다. 금석문(金石文) 판독을 위해서는 표면에 2차적 훼손을 일으키지 않는 비 접촉식(non-contact) 방식의 3차원 스캐닝 기술이 필요하다. 비 접촉식 방식의 3차원 스캐닝 기술은 기존 탁본 조사가 갖고 있는 접촉에 의한 문화재 2차적 훼손(毀損) 문제점을 극복할 수 있으며 한 번에 다수의 3차원 좌표를 갖는 입체정보 취득이 가능하다.

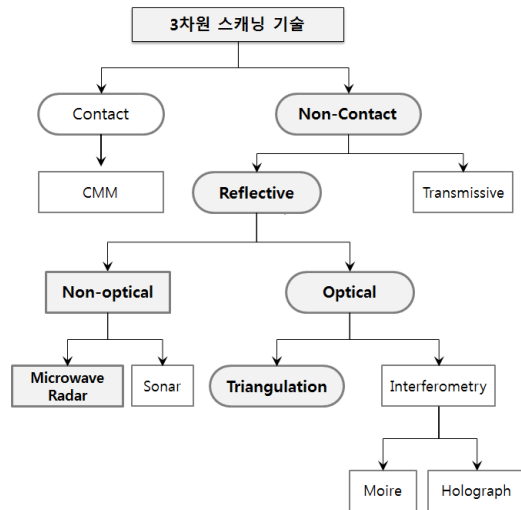


그림 2. 3차원 스캐닝 기술 분류

현재 문화재청에서 제시된 데이터 제작 처리지침을 살펴보면 3차원 스캐너는 광학(optical)방식의 광삼각(optical triangulation) 스캐너와 Time of Flight방식의 광대역 3차원 스캐너 적용을 기술하였으며, 대상 문화재의 특성에 따라 포인트 간격 및 정밀도를 구분 제시하고 있다.

본 연구에서는 데이터의 정밀도와 각자된 글자의 세밀한 정보를 취득하기 위하여 광삼각 측정방식의 3차원 스캐너를 적용하였다. 광삼각 측정방식에는 크게 두 가지로 구분한다. 광원을 조사하여 대상체 정보를 취득하는 프린지 프로젝션(Fringe Projection) 타입과 레이저를 분사하여 대상체 정보를 취득하는 광삼각(optical triangulation) 레이저 측정 타입이 있다.

[그림 3]의 Fringe Projection 타입의 3차원 스캐너는 광원, 조사렌즈, CCD(charge coupled device)카메라로 구성되어 있다.

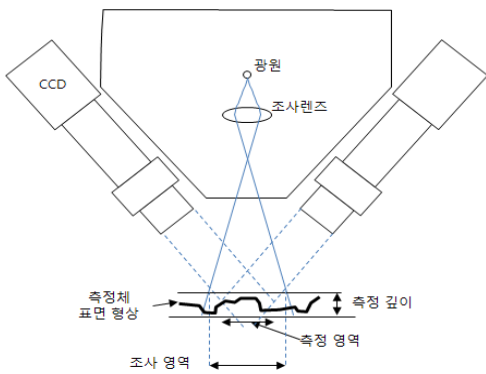


그림 3. Fringe Projection 측정방식

[그림 4]의 광삼각(optical triangulation) 레이저 측정방식은 Fringe Projection 방법과 유사하지만 대상체에 대하여 형상 정보와 위치 정보를 획득하기 위해 빛을 쏘는 대신 레이저를 쬐서 인식하는 차이점이 있다.

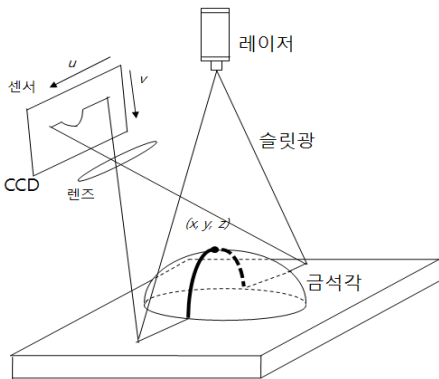


그림 4. 광삼각 레이저 측정방식

측정원리는 삼각법(triangulation method)측정 원리로서, 측정 금석문(金石文) 표면에 조사된 레이저 슬릿광(slit optics beam)의 위치를 측정기의 CCD(charge coupled device)카메라가 인식한 알고리즘에 의한 기하학적 관계를 계산하여 대상체 표면 접촉 위치에 대한 3차원 좌표(x, y, z)인 점군데이터를 얻는 방식이다[14].

1.2 3차원 스캐닝 분석 프로세스

3차원 스캐너를 이용한 금석문 판독 기술은 금석(金石)·기물(器物)·비석(碑石)과 같은 대상체에 대한 광삼각 측정기법을 적용하여 대상체가 갖고 있는 입체적 정보를 바탕으로 분석결과를 판독한다. 조사된 3차원 스캐닝 데이터는 각자된 글자의 깊이 특성을 3차원으로 표현하여 금석문 판독을 위한 가독성을 확보한다. 금석문(金石文)의 3차원 스캐닝 데이터는 정밀도에 따라 각자된 글자의 세밀한 형태를 획득하기 때문에 고정밀 분석이 필요하며 판독 향상에 매우 중요하다.

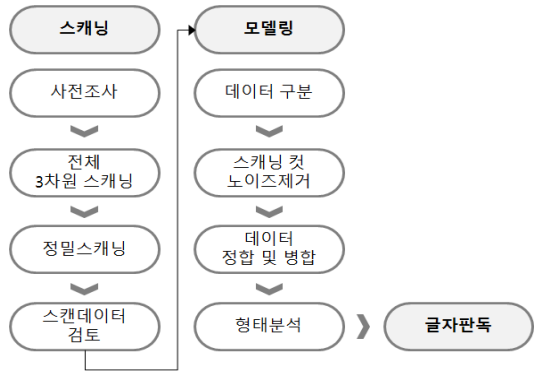


그림 5. 3D 구축프로세스

[그림 5]는 금석문(金石文) 판독을 위한 구축 프로세스이다. 작업 구분은 크게 스캐닝과 모델링으로 구분한다. ① 스캐닝 단계에서는 대상 금석문에 대한 사전 조사를 수행하여 주변의 환경요소와 대상 금석문이 갖고 있는 특성을 파악한다. 조사 시 재질, 크기, 각자(刻字)된 글자의 형태, 훼손(毀損) 상태 등을 파악하여 최적의 데이터 확보를 위한 3차원 스캐닝 기획을 수립한다.

스캐닝 단계에서 확보된 입체데이터는 ② 모델링 단계에서 데이터에 대한 구분 및 분류 작업을 수행한다.

금석문(金石文) 판독을 목적으로 하는 각자(刻字)된 글자에 대한 정밀 데이터와 전체 형상에 대한 측정 데이터를 구분하여 정합 및 병합을 수행한다. 그리고 정합 및 병합된 데이터에 대한 형태 분석을 통하여 각자된 글자를 판독한다.

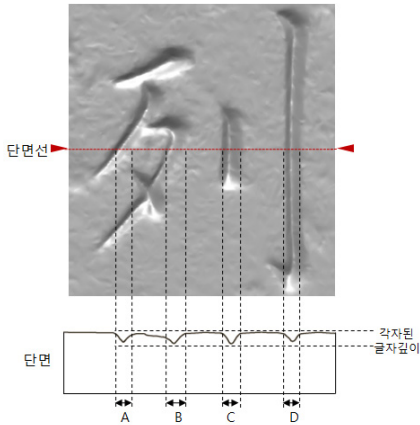


그림 6. 각자(刻字)된 글자의 깊이 정보 파악

[그림 6]에서 글자의 특정 위치에 대한 단면 결과는 각자(刻字)된 글자가 어느 방향으로 각자(刻字)가 되었는지를 파악할 수 있다. 또한 비석 표면의 마모와 각자(刻字) 할 때 조각가가 어떠한 깊이를 기준으로 각자(刻字) 하였는지를 파악할 수 있다.

1.3 3차원 스캐닝 측정거리와 데이터 확보 관계

3차원 스캐닝 측정은 각자된 글자 면과 3차원 스캐닝 측정 거리를 일정하게 확보하여 데이터의 품질을 확보하는 것이 중요하다.

[그림 7]은 측정 대상체 표면에 대하여 조사되는 레이저 포인트 수가 n 개이고 측정면에 카메라의 슬릿광(slit optics beam) 주사각도가 2δ 인 스캐너를 적용할 경우 그림과 같이 측정 영역에 대한 해상도 d_z 를 만족시킨다.

3차원 스캐너와 금석문 표면의 측정 포인트까지의 거리를 z 라고 할 때 측정면1의 포인트 간격 d_z 는 $z \tan(\delta)/n$ 가 되고 대상 측정체의 표면까지 거리 $z + \Delta z$ 로 대상 측정면 포인트까지의 포인트 간격 $d_{z+\Delta z}$ 는 $(z + \Delta z) \tan(\delta)/n$ 가 된다[15].

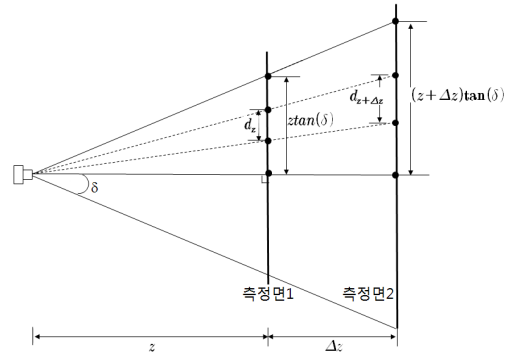


그림 7. 3차원 카메라와 측정대상체간의 거리

3차원 스캐닝은 데이터 품질확보를 위해 일정한 거리 유지가 매우 중요하다. 그렇지 못 할 경우 포인트 간격이 서로 고르지 못하여 대상체 형상을 제대로 확보하지 못한다. 따라서 대상체에 대한 고품질의 일정한 데이터를 확보하기 위해서는 목적하는 정밀도를 정의하고 그에 맞는 거리에 대한 기획을 바탕으로 측정하고자 하는 대상체와 3차원 측정 장비간의 최적 거리를 확보한다.

1.4 3차원 스캐닝데이터의 시각화

3차원 스캐닝 데이터를 이용한 이미지 시각화 분석의 목적은 3차원 스캐닝 데이터가 갖고 있는 입체 정보를 바탕으로 고해상도 시각화 결과를 도출하는 것이다.

각자(刻字)된 글자의 3차원 스캐닝 데이터는 글자의 깊이 정보를 갖고 있다. 본 연구에서는 3차원 스캐닝의 3D 데이터를 이용한 시각화 분석을 적용한다. 3D 데이터를 기반으로 하는 시각화 분석에는 물체의 형상에 대한 음영을 이용하여 효과적으로 표현하는 사실적 목적의 알고리즘과 비사실적 목적의 알고리즘을 구분할 수 있다[16].

표 2. 효과적인 형태 전달을 목적으로 하는 사실적/비사실적 음영 알고리즘[17]

사실적		비사실적	
BRDF	현실세계의 조명환경을 반영하여 사실적으로 표현	Cool-to-Warm	형태를 강조하기 위해 사용되는 비사실적 음영 표현 모델
Phong	물리적으로 존재할 수 없는 조명이지만 사실적으로 표현하는 목적 가장 일반적으로 사용되는 음영표현모델	Toon	생략,요약 등을 통해서 대상의 복잡한 형태를 단순화시켜 효과적인 정보 전달
		Line-Art (Pen-and-ink/Pencil)	라인아트를 이용한 음영표현은 형태 및 재질을 효과적으로 전달

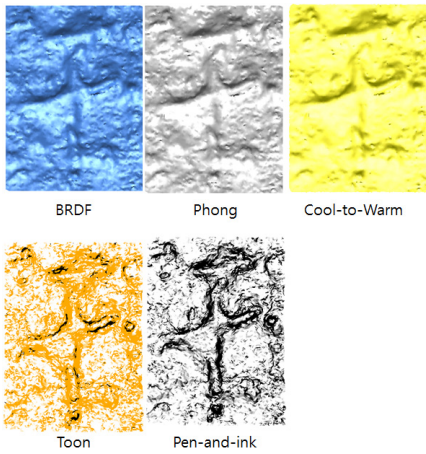


그림 8. 음영 알고리즘 적용 결과

[그림 8]의 음영 알고리즘 적용 결과 각자된 글자에 대한 사실적 표현을 확인하기 위해 본 연구에서 제안한 분석방법은 Phong 알고리즘처럼 물리적으로 존재할 수 없는 조명을 이용하여 사실적 표현을 위해 Ambient Occlusion 분석 방법을 적용한다.

Ambient Occlusion 분석 방법은 [그림 9]에서 R과 E의 거리인 r값이 줄어들면 줄어들수록 θ 의 각이 줄어들고 이로 인해 배경된 음영단계에 따라 표현되는 셰이딩 기법이다[17]. 따라서 비석(碑石)에 각자(刻字)된 글자의 경우 글자 깊이가 깊으면 깊을수록 어두워지고 넓으면 넓을수록 밝게 표현된 결과를 제공한다.

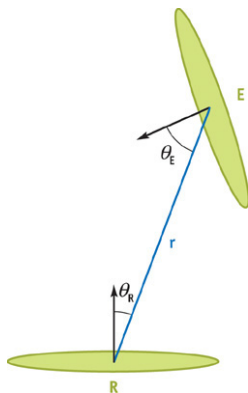


그림 9. Receiver와 Emitter의 관계

Ambient Occlusion 기법은 음각의 조각 형태뿐만 아니라 양각의 형태에 대하여 빛에 영향을 받지 않고 입체 정보를 기준으로 깊은 영역과 낮은 영역에 대하여 명암(明暗) 차이를 구분 표현한다. 특히, 깊이 값의 명암(明暗) 표현에 따른 분석 결과는 양각의 부조보다 음각으로 각자(刻字)된 글자에 대하여 더 좋은 고해상도 결과를 제공한다.

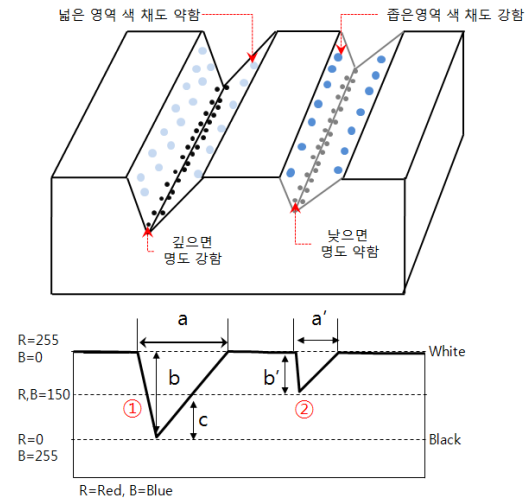


그림 10. Ambient Occlusion 분석 원리

[그림 10]에서 ①과 ②처럼 글자 영역에 깊이 값이 ①의 c만큼 깊어지게 되면 깊이 정보만큼 명도가 낮아져 검은색에 가깝게 된다. 그래서 b'의 경우에는 회색 톤으로 바뀌게 된다. 명도 강약의 차이와 채도 강약의 차이는 시각화된 이미지 데이터에서 글자 영역과 바탕 영역 구분을 명확하게 한다.



그림 11. Ambient Occlusion 기법 결과의 영역구분

[그림 11]은 금석문의 각자된 개별 글자에 대한 시각화 결과로서 글자 정보 영역과 바탕 영역의 구분을 명확하게 보여주고 있다. 하지만 Ambient Occlusion을 이용한 시각화 결과 또한 훼손에 의한 요철과 같은 노이즈가 심할 경우에 경계 파악이 어렵다. 따라서 훼손정보를 포함하는 바탕영역정보와 글자영역정보를 분리하여 글자만을 판독해야한다.

[그림 12]에서는 ① 글자와 바탕 영역의 구분이 어려울 경우 기준 평면을 기준으로 글자 영역의 경계점을 증폭하여 글자를 판독하는 방법이다. 글자와 바탕 영역의 경계점을 찾아 글자 폭을 증폭하게 되면 Ambient Occlusion을 적용할 경우 글자에 대한 흰색 표현이 명확해져 글자와 요철(凹凸)간의 정보를 구분할 수 있다. ② 글자와 바탕 영역의 구분이 어려울 경우 앞서 제시된 단면을 이용하여 글자 정보 영역과 바탕 정보 영역을 분리하여 Ambient Occlusion 기법을 적용하면 육안으로 명확한 판독이 가능해진다.

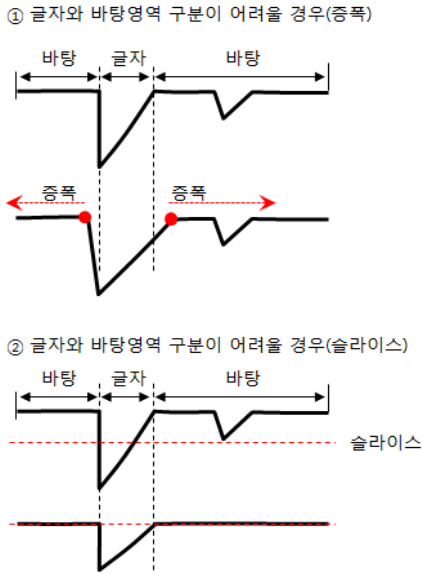


그림 12. 불명확한 영역구분에 단면적용

본 연구에서 제시하는 이미지 시각화에 의한 Ambient Occlusion 분석은 육안으로 판독이 어렵고 3차원 데이터의 이미지 상에서도 글자 파악이 어려울 경우 적용된다. 따라서 각자(刻字)된 글자가 명확하고 비석 표면의

훼손이나 마모가 없을 경우는 기존 조사방법으로도 충분히 가능하지만 글자 판독에 이견이 생기고 경계 부분이 모호한 경우에는 3차원 스캐닝을 이용한 이미지 시각화 분석 방법을 제시한다.

[그림 13]은 3차원 스캐닝 데이터를 이용한 Ambient Occlusion 분석 프로세스이다. Ambient Occlusion 분석 프로세스는 포인트로 형성되어 있는 3차원 스캐닝 데이터를 메쉬 구조의 폴리곤 데이터로 변환한다. 폴리곤 데이터는 각자된 글자의 볼륨정보와 깊이 값을 갖는 입체정보 데이터이다. 폴리곤 데이터는 각자된 글자의 정각 렌더링을 위하여 수직 수평의 위치조정을 수행한다. 기준 뷰가 설정되면 시각화 기법인 Ambient Occlusion 기법을 적용한다.

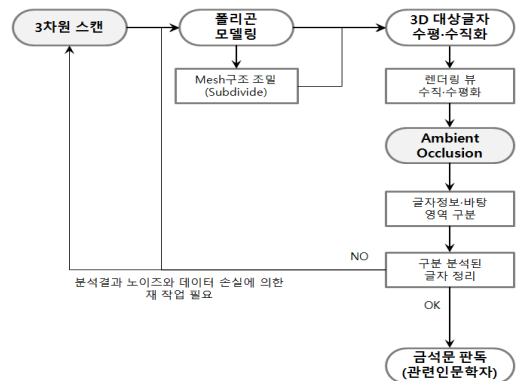


그림 13. Ambient Occlusion 분석프로세스

Ambient Occlusion 분석프로세스에서 3차원 스캔 포인트 데이터를 확보하고 메쉬 구조의 폴리곤 데이터로 변환한다. 3차원 Ambient Occlusion 시각화분석을 위해서는 표면정보의 폴리곤 데이터가 필요하다.

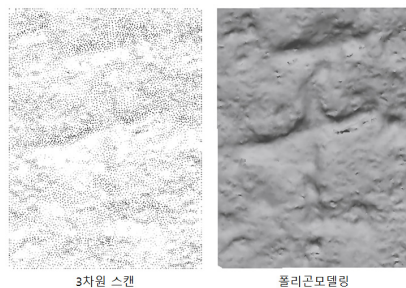


그림 14. 3차원 스캔 및 폴리곤 모델링데이터

폴리곤 데이터로 변환 한 이후에는 대상 데이터에 대한 수평·수직화를 수행한다.



그림 15. 대상 글자의 수평·수직화

대상글자에 대한 수평 및 수직 조정을 하는 이유는 왜곡된 각도를 배제하여 정확한 형태 정보에 따른 시각화 결과를 확보할 수 있기 때문이다.

Ambient Occlusion 기법을 적용하면서 깊이에 따른 범위를 지정하고 시각화를 위한 렌더링 영역을 설정하는 것은 원하는 영역에 있는 각자된 글자에 대한 정보를 명확히 파악할 수 있을 뿐만 아니라 영역안에 포함되어 있는 부조형태의 문양을 파악하는데도 매우 유용하다. [그림 16]처럼 Ambient Occlusion의 특성상 수평면에 평행하지 않은 상태에서 렌더링(rendering)을 하게 되면, 보여 지는 글자 각에 대한 음영 값의 차이가 발생하고 이러한 결과는 금석문(金石文) 판독에 또 다른 오류를 제공하게 된다. 즉 정면 뷰에 대한 정각 렌더링이 이루어져 데이터에 대한 음영 값이 동일하게 적용되어야 제대로 된 데이터 값이 산출된다. (1)은 정상 렌더링(rendering)이 가능한 방법을 제시하고 있다. 대상

체와 뷰가 수평면과 평행한 각자(刻字)된 글자에 대한 렌더링 결과는 각자된 글자에 대한 정확한 시각화 결과를 제공해 준다.

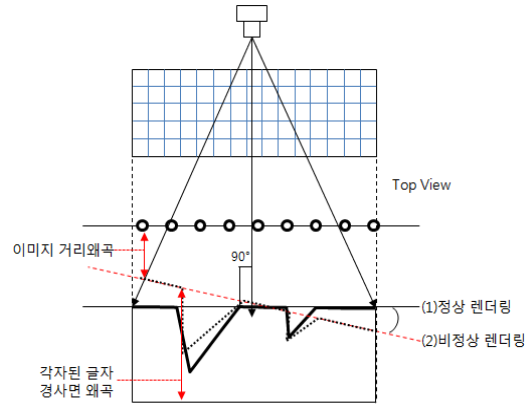


그림 16. 수평면에 대한 수직상의 Top 뷰 렌더링

(2)는 뷰가 수평면과 평행하지 못한 각자(刻字)된 글자에 대한 렌더링 결과로서 비정상 렌더링에 의한 왜곡이 발생한다. 따라서 글자 판독을 명확하게 하기 위해서는 기준평면에 평행한 각자(刻字)된 글자 면을 배치하여 렌더링을 수행할 필요가 있다.

[그림 17]에서 탁본 시 글자정보영역과 마모 및 훼손을 포함하는 바탕 영역정보가 함께 포함되어 있어 탁본 이미지만을 가지고는 판독이 어려운 것을 확인할 수 있다. 특히, 마모가 진행된 상태의 금석문이라면 더욱 판독이 어렵게 된다. 따라서 [표 3]처럼 학자들마다 ‘干’자 또는 ‘干’자로 판독하는 것을 확인할 수 있다.

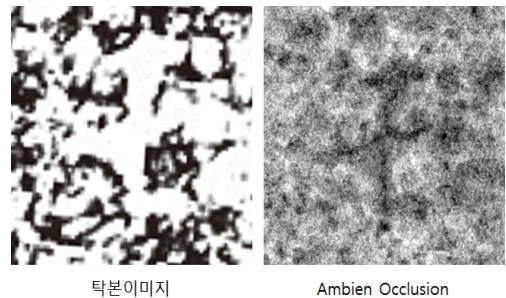


그림 17. 탁본조사 대비 Ambient Occlusion 분석차이

표 3. 포항중성리신라비 ‘于’ 자, ‘干’ 자 이견내용[19]

글자	학자	해 석 내 용
于	홍승우	초기 ‘干’ 으로 판독, 비문 실건 결과 ‘于’ 자로 변경 판독
	강종훈	자형상 ‘干’ 으로 판독되지만 기존 판독문에서 ‘于’ 자로 판독
	박남수	각자(刻字)된 글자는 ‘干’ 로 판단됨. 문맥상 ‘于’ 가 더 적당하여 ‘于’ 자로 판독
	이문기	‘干’ 에 가깝지만 ‘于’ 로 판독
	선석열	자형상 ‘于’ 자, ‘干’ 자로 볼 수 있으나, 문맥상 ‘于’ 자로 판독
干	윤선태	자형상 세로획이 ‘丨’ 획이 분명해 ‘干’ 로 추정

하지만 [그림 17]의 Ambient Occlusion 분석 결과 표면 훼손이 존재함에도 불구하고 각자된 글자의 형태가 명확하게 구분되어 아래의 빠침 획이 없는 것을 알 수 있다.



그림 18. 포항중성리신라비 판독사례

[그림 18]은 국립경주문화재연구소와 공동으로 포항중성리신라비에 대한 3차원 스캐닝 데이터 기반의 시각화 기법을 적용하여 각자된 글자의 가독성을 확보한 사례이다.

표 4. 포항 중성리 신라비 판독 가능성[20]

이견글자	기존 이견글자	시각화 적용 시	
只,中	2	中	1
折,斯	2	折,斯	미판독
德,使	2	德	1
牟,牟,卒	3	牟,牟,卒	미판독
旦,品	2	旦	1
未,走,朱	3	未	1
波,波	2	波	1
伐,代	2	伐	1
于,干	2	于,干	미판독
岳,步,𠂔	3	岳	1

走,乞	2	走	1
斤,介	2	斤	1
昔,普,書	3	昔,普,書	미판독
牟,至이체자	2	牟	1
旦,目이체자	2	旦	1
伐,代	2	伐	1
果,卑	2	果	1
口,占,公이체자	3	口	1
18자			14자

국립경주문화재연구소의 조사결과 초기 이견이 있던 글자는 약 18자였다. 본 조사방법 결과를 가지고 전문가에게 판독 의뢰한 결과 약 14자는 추독이 가능해졌다.

IV. 결론

본 연구에서는 금석문에 각자된 글자를 판독하기 위해 기존 조사 방법인 탁본의 장단점을 파악하고 탁본을 대체하여 금석문의 가독성을 높일 수 있는 방안을 제시하였다. 탁본은 금석문 표면 훼손이나 마모가 적을수록 글자 판독이 쉽지만 표면 훼손이 많으면 많을수록 훼손 정보를 글자정보에 포함시킴으로써 글자판독이 어려운 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 탁본의 가독성이 떨어지는 문제점을 해결하기 위해 각자된 글자의 입체적 특징을 이용한 가독성 확보 방안을 제시하였다. 이는 3차원 스캐닝 기술을 적용하여 각자된 글자의 깊이 정보를 획득하고 깊이 에 따른 음영을 표현하여 최초 각자 당시의 글자 본연의 정보를 파악할 수 있는 계기가 되었다. 실제 시각화 결과는 금석문의 훼손 및 마모가 포함된 바탕영역정보와 글자정보영역을 갖고 있더라도 최초 각자된 글자의 깊이를 구분할 수 있어 가독성이 확보되는 것을 알 수 있다. 또한 시각화 결과는 각자된 글자의 음각 및 양각 형태를 세밀하게 표현함으로써 각자(刻字)방향, 조각수법 등을 확인하는데도 유용하다. 특히, 금석문뿐만 아니라 다른 문화재에 대한 세밀한 조각형태, 문양 등의 특징을 파악하는데도 도움이 되리라 본다.

개발된 방법은 국보318호인 포항중성리신라비의 판독에 적용하여 그동안 판독에 논란이 있어왔던 특정 문자의 판독 뿐 아니라 추독 범위를 좁히는데 기여하였다.

참 고 문 헌

[1] 이웅백, 김원경, 김서풍, 한국국문학자료사전, 한국사전연구소, 1998.

[2] <http://www.doopedia.co.kr>

[3] 한국금석문 종합영상정보 시스템 http://gsm.nricp.go.kr/_third/user/main.jsp

[4] 김창호, “迎日冷水里新羅碑의 建立 年代,” 한국고대사연구, 제3집, pp.87-112, 1990.

[5] 임세권, “蔚珍鳳坪新羅碑의 金石學的 考察,” 한국고대사연구, 제2집, pp.59-87, 1989.

[6] 한병일, 최희수, “北漢山 新羅 眞興王巡狩碑 복제에 대한 研究,” 한국문화사학회 문화사학, 제26권, pp.5-22, 2006.

[7] 변태섭, “단양신라적성비 특집호 < 좌담회주제발표 및 좌담회록 > 단양진흥왕적성비의 건립년도와 성격,” 사학지, 제12권, pp.32-35, 1978.

[8] 박찬홍, “중원고구려비의 건립 목적과 신라의 위상,” 한국사학보, 제51권, pp.145-165, 2013.

[9] S. Anderson and M. Levoy, “Unwrapping and Visualization Cuneiform Tablets,” IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.22, No.6, pp.82-88, 2002.

[10] D. V. Hahn, D. D. Duncan, K. C. Baldwin, J. D. Cohen, and B.Purnomo, “Digital Hammurabi: Design and Development of a 3D scanner for Cuneiform Tablets,” in Three-Dimensional Image Capture and Applications VII, Proc. SPIE 6056, 60560E-1-12, 2006.

[11] J. Cohen, D. Duncan, D. Snyder, J. Cooper, S. Kumar, D. Hahn, Y. Chen, B. Purnomo, and J. Graettinger, “iClay: Digitizing cuneiform,” in Proceedings of the Fifth International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage pp.135-143, 2004.

[12] <http://pages.jh.edu/~dighamm/iclay/iclay.html>

[13] 고선우, “3차원 레이저스캐닝 기술과 정보처리 기술을 활용한 금석문(金石文) 가독성 향상방법,” 인문콘텐츠, 제21권, pp.178-195, 2011.

[14] 고선우, “한국종의 형상 및 합금성분 분석을 위한 제안,” 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, 제4호,

pp.428-439, 2011.

[15] 이근호, 고선우, 최원호, “광삼각법 측정 원리를 이용한 금석문(金石文) 가독성 향상 방법,” 한국 IT서비스학회지, 제11권, pp.103-110, 2012.

[16] 공달용, 임종덕, 원광연, 안재홍, 김경수, “천연기념물 화석산지의 3차원 디지털 기술 적용,” 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, pp.492-502, 2011.

[17] 변혜원, 박윤영, “사용자 인지 실험 기반 웨이딩 알고리즘 평가,” 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, pp.106-115, 2011.

[18] http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_chapter14.html

[19] 이기동, 이상화, 윤진석, 윤선태, 홍승우, 신라 최고의 금석문 포항 중성리비와 냉수리비, 주류성, 2012.

[20] 국립경주문화재연구소, 포항중성리신라비 도록, 국립경주문화재연구소, 2012.

저 자 소 개

최 원 호(Won-Ho Choi)

정회원



- 2004년 2월 : 상명대학교 디지털 영상학(석사)
- 2014년 8월 : 인하대학교대학원 융합고고학과(박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 전주대학교 디지털헤리티지연구소 연구교수

<관심분야> : 문화재, 3차원스캐닝, 디지털콘텐츠

고 선 우(Sun-Woo Ko)

정회원



- 1985년 8월 : 고려대학교 산업공학과(학사)
- 1988년 2월 : KAIST 산업공학과(석사)
- 1992년 8월 : KAIST 산업공학과(박사)

• 2005년 3월 ~ 현재 : 전주대학교 스마트미디어학부 교수

<관심분야> : 문화재, 3차원스캐닝, 디지털콘텐츠