

단면형상 분석을 이용한 요철이 심한 금석문(金石文) 판독 향상 방법 연구

최원호* · 고선우**

A Study on Readability Improvement Method for Ancient
Inscription of Irregularity Surface using Cross Section Analysis

Won-Ho Choi* · Sun-Woo Ko**

■ Abstract ■

Outdoor cultural properties have been damaged by natural weathering and air pollution for a long time . For this reason, there are many characteristics it is hard to decipher some carved inscription on the surface of damaged outdoor cultural properties. Until now, Rubbed copy has been widely used to decode engraved inscription. A investigation for epigraph has been made by the rubbing that has resulted in a lower resolution from the viewpoints of extraction process and used materials. Rubbing's results are not satisfied in the damaged inscriptions which are weathered by natural environment and pollution for a long time and in the narrowed one. The main analysis presented in this paper is a cross section analysis method using 3d scanning technique for epigraph not read. Cross section analysis is a study on readability improvement method for ancient inscription of irregularity monument surface. Cross section analysis confirms information that separated the inscription information of monument and the ground information to read a ancient inscription and decode the inscription information. The proposed character identification method contributed to decoding an ancient inscription on Silla Monument in Jungseong-ri of Pohang

Keyword : Ancient Inscription, Readability, 3D Scanning, Resolution, Cross Section Analysis

1. 서론

금석문(金石文)은 고대 문헌이 부족한 상황에서 과거의 역사를 제대로 알기 위해 필요한 중요 문화유산이다[12]. 일부 금석문(金石文)은 야외에 노출되어 있어 글자의 훼손(毀損)이 진행되고 있고 시간이 지남에 따라 판독이 어려워지고 있다[13]. 이러한 상황에서 금석문(金石文)의 정확한 판독은 시급한 문제가 되고 있다.

금석문(金石文)을 판독하기 위한 방법으로 탁본이 널리 사용되어 왔다. 하지만 탁본은 해상도가 낮은 판독 방법이라서 금석문(金石文) 판독 시 <표 1>과 같이 많은 이견의 원인이 되고 있다.

<표 1> 포항 중성리신라비의 '干'과 '于'자 이견내용

학자	해석 내용
홍승우	실견 결과 자형상 '于'로 변경[14]
강종훈	자형상 '干'으로 파악[1]
박남수	자형은 '干'이나 문맥상 '于'로 판독[6]
이문기	자형은 '干'에 가깝지만 '于'로 판독하는 견해를 따름[11]
선석열	문맥상 '于'자 판독[8]
윤선태	자형상 '干'자로 판독[9]

<표 1>과 같이 이견이 발생하는 원인은 비석 표면의 박락(剝落)과 훼손(毀損)이 심한 경우 요철(凹凸)정보가 탁본결과에 그대로 반영이 되기 때문이다. 이러한 원인으로 글자와 요철(凹凸)에 대한 구분이 어려워져 판독 결과의 다양한 이견이 발생한다.

최근에 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 비접촉식 3차원 스캐닝 기술[7]을 적용한 금석문(金石文) 판독 방법이 연구되고 있다. 하지만 이 분야에 대한 연구는 3차원 데이터의 특성 및 금석문(金石文)의 특성을 충분히 반영하고 있지 못하고 스캔된 3차원 데이터를 단순히 분석하는 초기 단계에 머물고 있는 실정이다.

본 연구에서는 3차원 스캐닝 기술을 적용하여

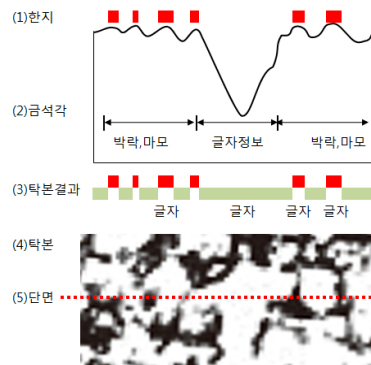
금석각 표면의 노이즈를 제거하고 바탕정보와 글자정보를 분리 후 글자를 판독하는 방법이다. 이 방법은 추출된 금석문(金石文) 3차원 데이터로부터 글자 영역을 결정하고 표면에 대한 기준평면을 설정한 후 깊이에 따른 슬라이스 분석을 이용한 금석문(金石文) 판독 연구방법이다. 본 연구의 결과는 국내 최초의 비석으로 알려진 포항 중성리신라비 판독에 적용하였다[3].

본 연구는 국내·외에서 급속하게 발전하고 있는 IT기술에 맞춰 3차원 스캐닝 데이터 처리를 위한 S/W 개발 방향 설정을 마련할 것이다. 특히, 우리 문화재를 대상으로 하는 맞춤형 조사 분석 S/W 기술 개발이 이루어진다면 IT기술을 활용한 문화재 분야에 신산업 창출 계기가 마련될 것이다.

2. 관련 연구

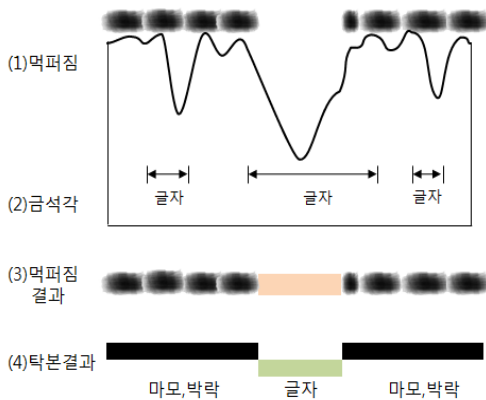
2.1 탁본에 의한 판독

오랫동안 금석문(金石文) 판독 방법으로 사용해진 탁본은 금석문(金石文)이 새겨진 자자정보를 탁본 종이에 먹의 명암정보로 변환하여 판독하는 방법으로 낮은 해상도를 가지는 판독방법이다[2]. 탁본에 의한 판독방법의 문제점을 보면 다음과 같다. 첫째, 비석 표면이 박락(剝落) 및 마모가 있는 경우 [그림 1]에서 보는 것처럼 박락(剝落) 부분을 글자로 인식하는 문제점이 있다.



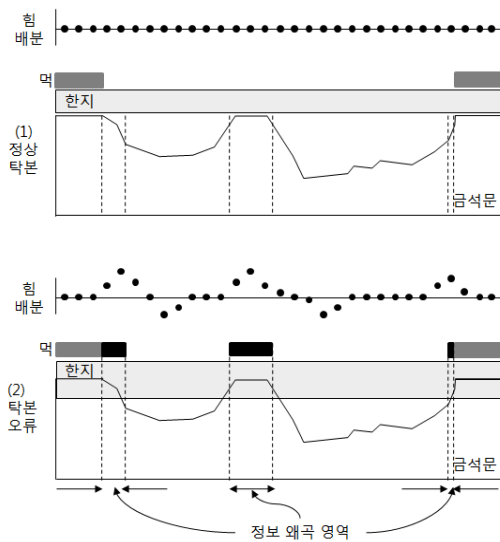
[그림 1] 요철이 많은 금석문 탁본결과 예

둘째, 탁본의 재료로 사용하는 한지는 한지 섬유
의 배열에 따라 불규칙한 먹퍼짐 현상이 발생한다
[5]. 이 경우는 금석문(金石文)의 세밀한 글자 표현
에 대한 왜곡을 가져올 수 있을 뿐만 아니라 글자
영역이 축소화되어 글자영역과 요철(凹凸)영역을
구분 할 수 없는 문제점이 발생한다.



[그림 2] 탁본 먹퍼짐에 의한 오류 예

셋째, 탁본은 [그림 3]과 같이 탁본의 명암정보
추출을 위해 가하는 힘의 크기에 따라 서로 다른
명암정보가 얻어지는 문제점이 존재한다.



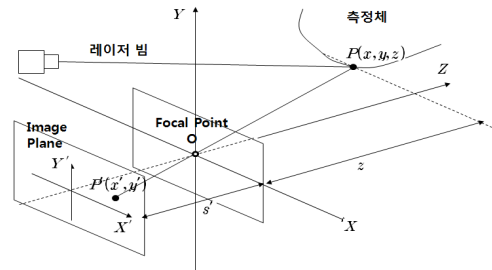
[그림 3] 탁본 시 힘의 배분에 의한 오류 예

2.2 3차원 입체분석을 이용한 판독 연구

탁본에 의한 금석문(金石文) 판독 방법의 대안으
로 3차원 스캐닝 기술을 이용한 입체분석이 사용되
고 있다.

3차원 스캐닝 방법 중 정밀도가 높은 고해상도
데이터 확보방법으로 광삼각 레이저 측정방법이 널
리 사용되고 있다[10].

광삼각 레이저 측정 장치의 기본 원리는 [그림
4]와 같이 금석문(金石文)을 포함하고 있는 비석면에
주사한 레이저 포인트 $P(x, y, z)$ 는 내장된 카메라
렌즈를 통과하여 CCD(Charge-Coupled Devide)
에 맺힌 상 $P'(x', y')$ 의 위치좌표와 기하학적 분
석을 통한 투영된 입체 $P(x, y, z)$ 좌표정보를 계
산한다[15].



[그림 4] 금석문(金石文) 적용 광삼각 레이저 측정원리

[그림 4]에서 측정체 표면의 임의의 측정 점 P 에
대한 공간 좌표값 x, y, z 를 다음과 같이 구할 수
있다.

$$x = \frac{\xi x'}{x' - s' \tan \theta} \tag{1}$$

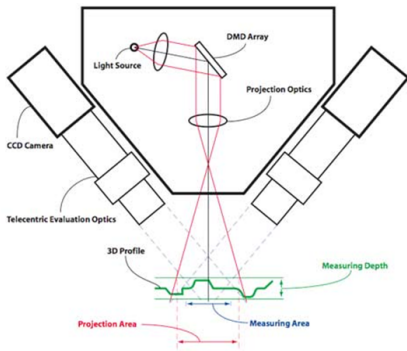
$$y = \frac{\xi y'}{x' - s' \tan \theta} \tag{2}$$

$$z = \frac{\xi s'}{x' - s' \tan \theta} \tag{3}$$

여기서 ξ 는 원점에서 렌즈의 광축과 수직으로
통과하는 직선과 레이저빔이 조사되는 직선과 만
나는 점의 x 좌표값, θ 는 레이저 빔과 카메라 렌즈
의 광축이 이루는 각도이고 s' 는 렌즈에서 카메라

영상 면까지 거리이다.

광삼각 측정방식에 의해 측정된 3차원 데이터를 이용한 금석문(金石文) 판독 국내 연구사례는 지난 2009년 국립 경주문화재연구소에서 진행한 포항 중성리신라비에 대한 판독사례[7]가 있으며 해외사례로는 존스홉킨스대학이 수행한 함무라비 프로젝트를[15]가 있다. 스메르인이 사용한 췌기문자 판독을 위한 함무라비 프로젝트에서는 [그림 5]에 제시된 Fringe Projection 방법을 적용하여 고해상도의 정밀데이터를 확보하였다[10].



[그림 5] Fringe Projection 측정 방법

이러한 3차원 측정 방법은 3차원 데이터의 깊이 정보를 직접 정밀 측정하여 판독하는 방법으로 기존 탁본에 의한 판독방법에 비해 판독의 정밀도가 향상된 방법이지만 각자된 영역이 일부 훼손(毀損)되었거나 표면 요철(凹凸)이 심한 각자된 문자에 대해서는 여전히 판독 문제가 발생하고 있다.

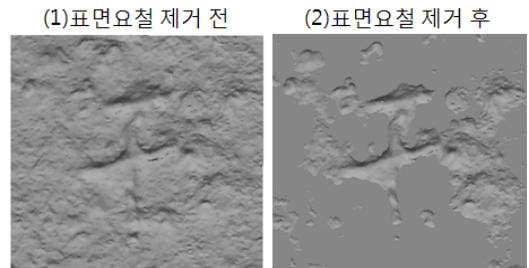
본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 금석문(金石文)의 각자 영역에 대한 기준평면을 설정하고 기준평면을 평행 이동하여 표면 요철(凹凸)에 의한 판독오류를 최소화하기 위한 3차원 단면분석 방법을 개발하였다.

3. 3차원 단면분석에 의한 판독 향상방법

3.1 Slice에 의한 노이즈 제거

박락(剝落)과 마모로 금석문(金石文) 표면에 요

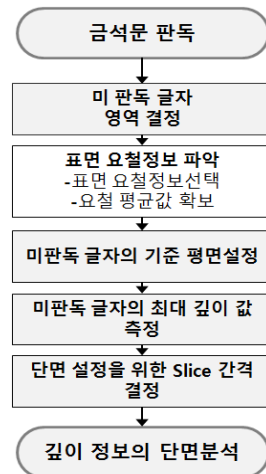
철(凹凸)이 심할 경우 금석문(金石文) 표면의 요철(凹凸)은 판독 오류의 중요한 원인이 된다. 판독오류의 원인인 요철(凹凸)을 제거하는 동시에 금석문(金石文)의 각자 영역의 정보손실을 최소화하는 3차원 단면분석을 이용하여 판독력을 향상시킬 수 있다.



[그림 6] 비석 표면 요철(凹凸) 제거 전 · 후

3.2 전체구축 프로세스

본 연구에서는 미판독자로 분류된 금석문(金石文)의 표면 요철(凹凸) 등에 의한 노이즈 간섭을 최소화하기 위하여 3차원 스캐닝을 수행하고, 3D 데이터를 이용한 단면분석으로 글자의 판독 향상을 가져왔다. 글자에 대한 분석 및 판독 프로세스는 다음 [그림 7]과 같다.

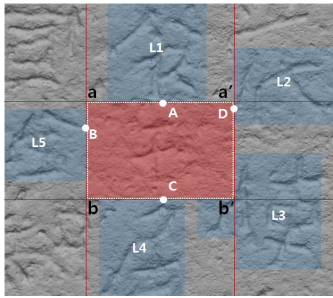


[그림 7] 단면분석을 이용한 판독 프로세스

3.2 미 판독 글자의 영역 결정

미 판독 글자에 대한 영역을 결정하는 이유는 각 자된 대상 글자에 대한 분석을 위해서 주변의 다른 글자영역의 영향을 최대한 배제하고 대상 글자의 충분히 많은 정보를 획득하기 위한 목적이다.

표면 요철(凹凸)이 심한 금석문(金石文)의 판독을 위해서는 각자된 글자별로 기준평면을 설정하고 기준평면으로부터의 깊이 정보를 기준으로 각 글자를 판독하게 된다. 기준평면을 정하고 깊이에 대한 분석을 하기 위해서는 미판독자의 영역을 설정하여야한다.



[그림 8] 미판독자의 영역설정

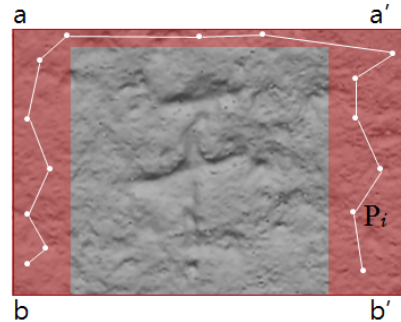
미판독자의 영역은 [그림 8]과 같이 미판독자의 주변의 판독된 글자 끝 획 경계를 이용하여 다음과 같이 사각형 a, a', b, b'의 영역을 설정한다.

- 상단 경계 : L1의 아래쪽 끝 획을 통과하는 수평선 A의 결정
- 좌측 경계 : L5의 우측 획의 끝 획을 통과하는 수직선 B 결정
- 하단 경계 : L4의 상단 끝 획을 통과하는 수평선 C의 결정
- 우측 경계 : L2와 L3의 좌측 끝 획 중 미판독자의 영역을 침해하지 않는 끝획을 통과하는 수직선 D의 결정
- 미판독자의 영역 : 4개의 직선 A, B, C, D의 교차점으로 구성되는 a, a', b, b'의 4각형영역

3.3 미판독자의 기준 평면설정

미 판독 글자에 대한 기준 평면을 설정하는 이유는 제시된 분석 방법이 글자의 깊이정보를 이용한 분석 방법이기 때문에 글자의 표면 정보값을 기준으로 기준평면을 설정하여 기준평면을 기준으로 깊이에 따라 단계적으로 분석이 이루어진다. 특히, 표면의 요철(凹凸)정보와 요철(凹凸) 평균값을 구해 기준평면을 잡는 것이 중요하다.

미판독자의 기준평면을 설정하기 위해 [그림 9]와 같이 각자영역이 아니라고 판단되는 영역에서 n 개의 점 $P_i = (X_i, Y_i, Z_i)$, $i = 1, \dots, n$ 을 랜덤 샘플링한다. 각 점 P_i 와의 거리의 합이 최소가 되는 평면이 기준 평면이 된다.



[그림 9] 글자 바탕영역에 대한 임의의 점 선택

3.4 미판독 글자의 최대 깊이 값 측정

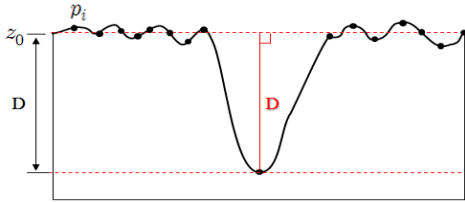
최대 깊이 값을 측정하는 것은 초기 비석에 각자된 글자가 불규칙한 깊이로 각자되기 때문에 각자된 글자의 최대 깊이 값을 파악하여 그 범위 내에서 단계별로 분석하는 것이 중요하다.

미판독자 영역에서 측정된 모든 3D 스캔 측정값 $p_i = (x_i, y_i, z_i)$, $i = 1, \dots, N$ 중 설정된 기준평면을 기준으로 각자된 영역의 최대 깊이 값을 찾는다. 이때 N 은 미판독자의 영역에서 측정된 모든 3D 점의 수이다.

$p_i = (x_i, y_i, z_i)$ 라 할 때 최대 깊이 값 D 는 다음과 같이 결정된다.

$$D = \max_{i=1, \dots, N} |z_i - z_0| \quad (4)$$

여기서 z_0 는 기준평면의 높이 값이다.



[그림 10] 각자 된 글자의 깊이정보 파악

3.5 단면 설정을 위한 Slice 간격 결정

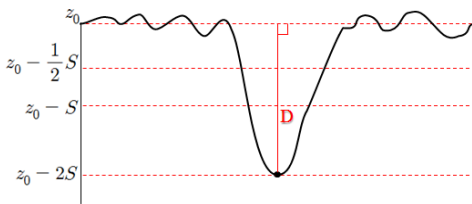
기준 평면과 최대 깊이 값이 결정되면 이 범위에서 글자 판독이 가능하도록 일정한 Slice 간격을 적용한다. 간격에 대한 결정은 각자 된 글자의 판독이 가능한 범위에서 최적의 Slice 값을 찾게 된다.

표면 요철(凹凸)에 의한 오차를 추정하기 위해 기준평면상의 글자영역이 아닌 영역에서 랜덤 샘플링된 $P_i = (X_i, Y_i, Z_i), i = 1, \dots, n$ 의 깊이 값 Z_i 를 이용하여 표면 요철(凹凸)에 의한 표준편차 값을 추정하면 다음과 같다.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (5)$$

여기서 $\bar{Z} = 1/n \sum_{i=1}^n Z_i$ 이다.

[그림 11]과 같이 각자 된 금석문(金石文) 표면의 노이즈 제거를 위한 최적 Slice 간격을 결정하게 된다.



[그림 11] 최적의 Slice 결정

최적의 Slice 간격을 결정하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

최적의 Slice값 선택 알고리즘(Algorithm)

```

Step 0 기준평면의 높이값  $z_0$ ,
      표면 요철(凹凸)의 표준편차  $S$ ,
      최대 깊이 값  $D, i=0, j=0$ 

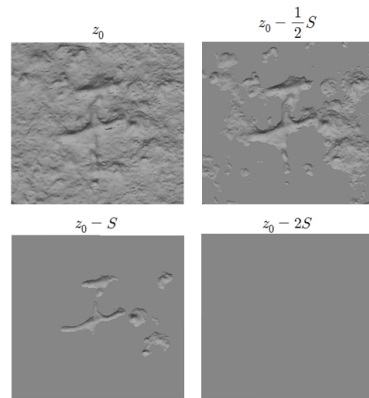
Step 1  $Slice = z_0 - \frac{j+1}{i+1} S$ , 판독
if 판독가능 then if(개선량 >  $\delta$ ) then  $i=i+1$ ,
                then  $i=i+1$ , goto Step 1
                else(개선량 >  $\delta$ ), stop
else  $j=j+1$ , if( $\frac{j+1}{i+1} > D$ ), then  $i=i+1$ ,
                goto Step1
                else stop
    
```

3.6 깊이정보의 단면 분석

깊이정보에 대한 단면분석은 각자 된 글자의 깊이 범위에 따른 각 각의 Slice 간격 중에서 글자를 명확하게 판독이 가능한 최적의 Slice를 선택하여 분석된 결과에 따라 판독이 이루어진다.

[그림 12]에서는 금석문(金石文)에 대한 최적의 Slice 분석을 위한 단계별 결과를 확인 할 수 있다.

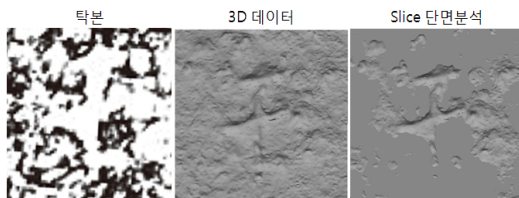
본 논문에서 제시된 표면 요철(凹凸)의 노이즈 제거를 위한 단면분석을 통해 글자정보를 단계별로 명확하게 파악이 가능하다.



[그림 12] 각자 된 글자의 최적의 Slice선택

4. 포항 중성리신라비에 대한 분석 기술 적용 결과

본 연구는 포항 중성리신라비의 금석문(金石文) 판독과정에서 학자들의 이견이 있는 글자에 대한 단면분석을 적용한 사례이다. 각각의 이견 있는 글자에 대하여 Slice 단면분석을 적용한 결과 다음과 같다.



[그림 13] 이견글자 단면분석

분석결과 표면의 요철(凹凸)로 인해 탁본이나 3D 데이터에서 판독이 어려운 글자에 대하여 Slice 단면분석으로 요철(凹凸)을 제거한 후 글자정보를 파악이 가능한 것을 확인 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 요철(凹凸)이 많은 금석문(金石文) 표면에 대한 기존 탁본 및 3D 데이터를 이용한 판독조사를 수행 할 경우 요철(凹凸)로 인해 경계선 추출의 모호함과 낮은 해상도 결과로 금석문(金石文) 판독에 대한 오류가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Slice 단면분석방법을 제시하였다.

Slice 단면분석방법은 추출된 글자데이터의 표면요철(凹凸)에 의한 노이즈를 제거함으로써 글자 정보와 바탕정보를 구분하여 글자 판독을 향상 시켰다.

본 연구에서 제시된 분석방법은 국립경주문화재연구소가 주관한 포항 중성리신라비 학술심포지엄에서 판독 참고 자료로 제시하여 금석문(金石文) 판독에 기여하였다. 특히, 기존 탁본조사만을 가지고 판독을 수행한 초기에는 학자들마다 다양한 이

견이 존재 하였는데 분석 제시된 결과로 최대한의 이견을 좁히는데 기여하였다. 그리고 북한 개성 고려궁성 만월대에서 출토된 명문 기와에 대한 명문 판독 분석[4]에 적용하여 육안으로 파악했던 오류를 수정·보완하였다. 또한, 경주 월성 석빙고비의 판독 가능성 확인에 적용하였는데, 이는 경주 월성 석빙고비가 지금까지 문화재청의 한국금석문 종합영상정보시스템에서 판독불가로 판명이 났지만, 제시된 분석결과를 바탕으로 금석문(金石文) 판독이 가능해져 내용을 파악할 수 있는 중요한 계기를 마련하였다.

금석문(金石文) 판독에 있어서 3차원 스캐닝 기술을 이용한 분석은 비석에 각자된 글자가 갖고 있는 깊이 값을 이용한 분석방법으로 글자의 정확한 정보를 정밀하게 분석할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 하지만 3차원 스캐닝의 포인트 간격 조밀도와 정밀도가 보장이 안 될 경우에는 정확한 데이터 추출에 문제가 존재한다. 이는 곧 분석 결과에 대한 오류를 제공하며 판독의 오류를 유발하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서 제안된 기술 분석이 제대로 잘 이루어지기 위해서는 3차원 스캐너의 포인트 간격 조밀도와 데이터 정밀도 확보가 관건이며 이를 확보하기 위한 방안이 필요하다.

본 연구는 금석(金石)·기물(器物)·비석(碑石)과 같은 문화유산에 각자된 문양이나 문자 등에 대한 판독 및 분석에 대한 새로운 방안을 제시하였다.

본 연구는 국내·외에서 급속하게 발전하고 있는 IT기술에서 3차원 기술을 이용한 분석의 중요성을 확인하는 계기가 되었다. 우리나라는 다양한 분야에서 축적된 IT기술 노하우를 갖고 있다. IT 기술 노하우는 우리 문화재를 대상으로 하는 맞춤형 조사 분석 S/W개발을 가능케 할 것이다. 특히, IT기술을 이용한 3차원 형상분석의 가시화 연구와 각자(刻字)된 글자의 자형(字形) DB통합 연구가 이루어진다면 현재 판독불가로 남아있는 많은 금석문(金石文) 판독을 가능케 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 강종훈, “포항중성리신라비의 내용과 성격”, 『한국고대사연구』, 제56권(2009), pp.131-169.
- [2] 고선우, “3차원 레이저스캐닝 기술과 정보처리 기술을 활용한 금석문 가독성 향상방법”, 『인문콘텐츠학회지』, 제21권(2011), pp.177-198.
- [3] 국립경주문화재연구소, 『浦項中城里新羅碑』, 국립경주문화재연구소, (2009), pp.15-16.
- [4] 국립문화재연구소, 『개성 고려궁성 남북공동 발굴조사 보고서』, 제1권(2012), pp.62-63.
- [5] 민춘기, 조중연, 이석호, “화상분석을 통한 삼국 수륙지의 서화 특성비교”, 『한국펄프·종이공학회 학술발표연구집』, 제1권(2000), pp.30-35.
- [6] 박남수, “『浦項 中城里新羅碑』의 新釋과 지증 왕대 정치 개혁”, 『한국고대사연구』, 제60권(2010), pp.117-158.
- [7] 박동진, 윤동훈, 심현용, “3D 스캔을 이용한 비석의 모형제작연구”, 『경주문화연구』, 제10권(2008), pp.19-36.
- [8] 선석열, “인명표기 방식을 통해 본 포항중성리 신라비”, 『인문학논총』, 제14권 제3호(2009), pp.119-123.
- [9] 윤선태, “<포항 중성리 신라비>가 보여주는 소리”, 『신라 최고의 금석문 포항 중성리비와 냉수리비』, 주류성, (2012), p.160.
- [10] 이근호, 고선우, 최원호, “광삼각법 측정 원리를 이용한 금석문 가독성 향상 방법”, 『한국IT서비스학회지』, 제11권(2012), pp.103-110.
- [11] 이문기, “포항중성리신라비의 발견과 그 의의”, 『한국고대사연구』, 제56권(2009), p.11.
- [12] 최영성, “한국금석학의 성립과 발전”, 『동양고전연구』, 제26편(2007), pp.381-412.
- [13] 한국 금석문 종합 영상정보시스템, <http://gsm.nricp.go.kr>.
- [14] 홍승우, “<포항 중성리 신라비>의 분쟁과 판결”, 『신라 최고의 금석문 포항 중성리비와 냉수리비』, 주류성(2012), p.205.
- [15] Anderson, S. and M. Levoy, “Unwrapping and visualization cuneiform tablets”, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 22, No.6(2002), pp.82-88.

◆ 저 자 소 개 ◆

**최 원 호 (wonhosori@gmail.com)**

상명대학교 디지털영상학과 컴퓨터그래픽 이학석사 후 인하대학교 융합 고고학과 박사과정중이며, 현재 사단법인 남북학술교류협회에서 문화재 관련 3차원 실측을 담당중이며, 관심분야는 문화유산 보존복원, DB 구축, 3D Scanning 등이다.

**고 선 우 (godfriend@jj.ac.kr)**

고려대학교 산업공학과 졸업하여 한국과학기술원 산업공학과 공학석사 및 공학박사 취득하여, 현재 전주대학교 스마트미디어학부 조교수로 재직 중이며, 관심분야는 문화원형복원, 3D Scanning 등이다.