

문화재의 문자 복원을 위한 전문가 시스템 개발 : 영상처리 및 컴퓨터 그래픽스 활용을 중심으로*

문호석** · 손명호***

Developing Expert System for Restoration to the Original Character Form of Ancient Relics Based on Image Processing and Computer Graphics*

Ho Seok Moon** · Myung Ho Sohn***

■ Abstract ■

We propose expert system for restoration the original character form of ancient relics based on image processing and computer graphics. Letters engraved in relief like relics and intaglio like curved tombstones and letters engraved in plane or curved part of cultural asset may have been broken by a lot of rubbed copy, a long time and tide. In this paper, we suggest a new method for extracting and recovering the broken letters of cultural asset into an original form by using Z-map, morphological filter, and high frequency filter. Based on the suggested method, we develop the character recovering system.

Keyword : Expert System for Character Recovering, Z-map, Morphology Filter

논문투고일 : 2008년 10월 17일 논문수정완료일 : 2008년 12월 06일 논문게재확정일 : 2008년 12월 08일

* 이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-041-B00205).

** 육군사관학교 전자정보학과 조교수

*** 명지전문대학 경영학과 교수, 교신저자

1. 서 론

현재의 지식기반 사회에서 각 나라의 역사와 문화유산은 과거에 대한 기록과 자취로서 보존을 통하여 후손에게 물려주어야 할 자산이며 새로운 지식을 창출할 수 있는 기반으로 활용할 수 있다. 이러한 문화 원형을 관리하는 면에서 디지털 신기술을 적용하고 이러한 디지털 자료들을 데이터베이스화하게 되면, 문화 유산을 반영구적으로 보존하게 되며, 복원된 문화재는 고 부가가치 상품으로 변환시켜 활용할 수 있을 것이다. 세계적으로도 각 나라에서 보존 관리하는 문화 유산을 디지털 콘텐츠화하는 분야에 많은 관심을 가지고 적극적으로 육성하고 있으며, 우리나라에서도 차세대 10대 성장 동력 산업중 하나로 디지털 콘텐츠 산업을 선정하여 집중적으로 육성하고 있다. 산업자원부 보고에 따르면 디지털 콘텐츠 사업에 대한 2005년도 예상 국내 시장규모는 68억 불, 세계 시장규모는 897억 불이며 2008년에는 각각 125억 불, 1,267억 불에 달할 것으로 추정하고 있다. 그만큼 문화유산을 디지털 자료화하는데 대한 많은 지원과 투자가 이루어지고 있는 상황이다.

우수한 문화원형 콘텐츠를 보유한 우리나라는 문화원형 복원기술(컴퓨터 그래픽스 기술, 영상처리 기술 등)을 활용한 전문가 시스템을 개발하고 이의 다각적 활용을 통하여, 문화적 경제적 부가가치를 창출할 수 있다. 본 연구는 컴퓨터 그래픽스 및 영상처리 기술을 이용하여 지식 정보화 사회의 중요한 자산인 문화재의 원형을 복원하며 디지털 자료화하는데 필요한 기술을 개발하여 문화재 원형 복원용 전문가 시스템을 개발하는 목적을 가지고 있다.

본 연구에 대상이 되는 문화유산은 목조 경판과 비석 등으로 각 문화유산에 기록되어 있는 문자를 원형대로 복원하는 기술을 연구하고자 한다. 목조 경판과 금석문 등은 시간이 경과함에 따라 원형이 지속적으로 훼손되고 있다. 역설계 공학(Reverse Engineering)을 이와 같은 문화재에 응용하면 형

상과 색상을 수십 마이크로미터의 해상도로 디지털화 하여 보존할 수 있다. 또한 완성된 디지털 영상자료는 CAD 상에서의 변환, 강조, 해석을 통하여 훼손 부위의 문자를 추출 및 복원 등에 이용될 수 있다.

이 전문가 시스템 연구를 통하여 국내 훼손된 문화재 자료와 정보를 원형과 유사하게 디지털화 하고, 이를 바탕으로 실물로 문화재를 복원하는데 사용될 수 있을 것이다. 또한 이를 통해 우리나라가 나아가고자 하는 디지털 콘텐츠 기술을 발전시키는 데 기여할 수 있을 것이다[1].

문화재의 원형복원 중에서도 문자의 원형 복원 분야는 연구가 미진한 영역이다. 특히, 목조 경판, 금석문, 비석 등과 같은 문화재에 새겨져 있는 문자는 양각과 음각의 문자가 있다. 경판과 같은 평면에 새겨져 있는 문자가 있고, 원형비석과 같은 곡면에 새겨져 있는 문자도 있다. 이러한 문자는 시간이 흐름에 따라 마모되고 훼손되어 문자를 알아볼 수 없게 되는 경우도 있다. 평면에 양각 문자가 새겨져 있는 대표적인 문화재인 팔만대장경은 수세기 간의 탁본 작업으로 인하여 광택이 있는 검은색으로 변해 있다. 이러한 팔만대장경의 반야심경 부분의 양각된 글자는 마모로 인하여 탁본을 해도 원래 글씨를 해독하기 어려운 수준이다. 이 같은 현상은 수많은 목조 경판 문화재의 공통적인 문제이다.

본 논문에서는 평면에 음각이나 양각으로 문자가 새겨져 있는 경우 문자 추출 및 복원하는 방법과 곡면에 글자가 음각으로 새겨져 있는 경우의 문자 추출 방법을 기반으로 한 문자 복원 전문가 시스템을 제안하고자 한다.

2. 문화재 복원 문헌연구

문화재복원과 관련된 연구로 조각난 문화재를 정합하는 연구와 유사한 연구로 조각난 물체를 정합하는 것에 대한 연구는 여러 연구자들에 의해 상당한 연구들이 진행되어 왔다. 주로 2차원 퍼즐을 대상으로 연구가 진행되었다[2, 11]. 그러나 이

러한 연구 결과를 그대로 이용하는 것에는 몇 가지 제약점이 있는데, 먼저는 현실성이 떨어진다는 것이다. 즉 실생활에서 다루어야 하는 문제는 3차원과 연관되어 있다. 또한, 퍼즐은 훼손된 부분이 없는 대상이어서 실생활의 조각에 비하여 비현실적인 대상이다.

보다 현실적인 연구로 문화재의 일부 조각이 손실된 경우도 고려하여 조각 정합을 할 수 있는 알고리즘이 연구되었다[8, 10]. 이 연구에서는 3차원 조각 물체들을 곡선으로 가정하고, 이 곡선들을 이산적으로 변환된 3차원 경계 곡선 모델링하여 각 곡선의 곡률과 비틀림 수치를 계산하여 데이터를 얻고, 이 데이터를 이용하여 각각의 3차원 조각을 표현하는 구조를 생성하고 각각에 연결되는 조각 쌍에 대하여 특징 부위 간의 Euclidean Distance를 이용한 유사도 값을 계산하여 조각 쌍에 대하여 정합 연산을 수행한다. 이 연구는 3차원의 조각난 물체에 대한 연구이며, 이산적인 특징 부위의 매개변수로 나타내어지는 두 개의 곡선을 안정적으로 정합하는 방법을 제시했다. 이러한 방안은 물체 복원을 위한 위치 탐색 과정의 곡선 정합 기법이 모든 조각에 대하여 수행되어 비교하므로, 물체의 원형을 복원하려면 상당한 연산 시간이 소요되게 된다. 물체의 원형을 복원하는 또 다른 연구로는 3차원 스캐닝을 통해 얻은 조각 데이터로부터 축 중심의 대칭이 되는 모습을 가진 수학적 모델을 자동으로 복원하는 기법이 연구되었다[6]. 이 연구는 조각을 정합하고 기하학적으로 조각들을 정렬하는 방법으로 Break-Curve를 정합하는 것을 토대로 원형을 복원하게 된다. 이 연구에서는 물체의 정합을 위해 Bottom-up Maximum Likelihood Performance 기반의 탐색 기법을 적용하였다. 이 알고리즘은 비교적 안정적인 결과를 얻어낼 수 있는 반면에 물체의 손실된 부분에 대한 고려가 거의 되지 않아 몇 가지 문제점들을 가지고 있다. 그리고 퍼즐 조각의 기하학적인 특징 부위를 정합함으로써 2차원 및 3차원의 퍼즐 문제를 해결하는 방법이 제시되었다. 이러한 방식도

퍼즐에 초점이 맞추어져 있으므로 손실된 부분에 대한 고려가 거의 되지 않았다는 것이 단점이다.

또 다른 문화재의 원형 복원 기법은 Moon et al.[7]에 의하여 연구되었다. 여기서 제안한 원형 복원 기법의 적용대상 문화재는 화엄석경이었다. 화엄석경[4]도 문자가 음각으로 새겨져 있는 문화재인데 이 연구에서도 문자 복원에 관한 부분은 다루지 않았다. 그러나 문화재를 정합 시에 문자를 추출하여 조각의 방향을 알아내는 데에 추출된 문자가 사용되었다. 즉 문자의 원형 복원에 초점을 맞추기 보다는 문자를 분석하여 물체의 원형을 복원하는데 활용하였다.

문화관광부가 주관하였던 2002년도 국가 문화유산 종합 검색사업 가운데 팔만대장경의 문자들을 복원하는 연구가 있었다. 팔만대장경은 모든 경판의 문자와 서체와 크기가 동일하다는 사실을 기초로 하여 팔만대장경 가운데 비교적 원형을 잘 보존하고 있는 경판의 문자를 3차원 디지털 데이터로 제작하고, 이를 훼손된 경판의 동일 문자와 대체하는 연구를 시도하였다.

3. 문자 복원 시스템

3.1 문자 복원의 알고리즘

마모된 문화재의 문자를 복원하기 위해서는 3차원 데이터를 생성하여야 한다. 문화재 복원을 위한 실물의 측정 대상이 문화재이기 때문에 여러 가지 문제점들이 발생된다. 표면의 재질과 색채-특히 검은색-로 인한 스캐닝의 문제는 특수 조명 및 편광 필터 등을 이용한 측정 시스템으로 해결하여야 한다. 별도의 측정 시스템을 활용한 스캐닝 작업을 거쳐 만들어진 3차원 데이터에 영상처리 필터를 사용한다는 것은 어렵고, 또한 필터를 적용했을 때에 적용 결과에 대한 예측이 곤란하다. 그렇기 때문에 정보 훼손을 최대한 적게 하면서 3차원 데이터를 2차원 데이터로 변형하는 것이 필요하다. 여기에 Z-map이 이용된다. 2차원 데이터

를 생성한 후에 평면에 새겨져 있는 문자의 경우와 곡면에 새겨져 있는 문자의 경우에 따라서 영상처리 필터를 이용하여 판독할 수 있는 문자의 수준으로 데이터를 처리한 후 최종적으로 3차원 데이터로 복원한다.

문자 추출 및 복원을 위해서는 먼저 3차원 데이터에서 문자 영역을 추출하여야 하는데, 이에 두 가지 방법이 가능하다. 먼저는 Moon, et al.[7]이 제안하는 방법으로 평면에 새겨져 있는 음각 문자의 경우 평면과 평행한 임의의 평면을 만든다(수작업으로 세 점을 평면에 표시하여 만들게 됨). 이렇게 만들어진 임의의 평면과 글자가 새겨져 있는 평면과는 평행하기 때문에 평행한 평면에서부터 교차시키면서 데이터를 획득하면 문자 영역이 추출된다. 음각의 경우는 문자 영역의 복셀(Voxel)의 깊이가 평면을 기준으로 하였을 때에 문자가 새겨져 있는 평면보다 깊고, 양각 문자의 경우는 반대다. 이러한 Moon, et al.의 연구는 추출된 글자 정보를 가지고 Least Squares Fitting(LSF)의 기법을 이용하여 최적의 직선을 구하는 과정을 통해 문화재의 원형 복원에 활용하는 기법이고, 본 연구는 이러한 추출 글자의 정보를 기반으로 문화재에 새겨져있는 문자의 원형을 복원하고자 하는 연구이다.

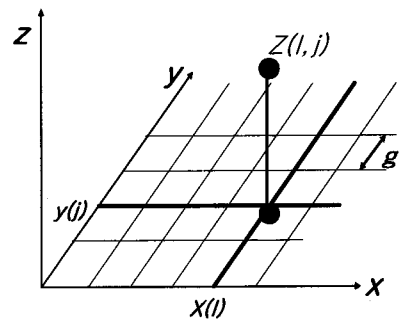
음각 또는 양각으로 문자가 새겨져 있는 평면과 평행한 임의의 평면을 이용하여 문자 영역을 추출하는 방법은 문자들의 높이에 따라 여러 개의 외곽선만을 추출하기 때문에 깊이에 따라 임의의 평면과의 교점으로 생긴 문자의 외곽선 정보들을 다시 깊이에 따라 연결하여 2차원 데이터로 변형하여야 한다. 이 과정에서 끊어짐이 발생하게 되고, 연결이 부드럽지 않게 된다. 또한, 이 방법으로는 곡면에 새겨져 있는 문자의 경우는 임의의 평면과의 교점을 이용해서 문자를 추출할 수도 없다. 또한, 문자가 새겨져 있는 곡면과 유사한 임의의 곡면을 만들어 교점을 구하는 것 자체도 곤란하다. 다른 방법은 Z-map을 이용한 방법이 있다. Z-map은 xy 평면에 정의된 일정한 간격의 격자점(i,

j)에서만 곡면의 z 값을 표현하는 방법으로 [그림 1]과 식 (1)이 그 개념을 보여 주고 있다[3, 5].

$$x(i) = x(0) + g * i, 0 \leq i \leq n_i \quad (1)$$

$$y(j) = y(0) + g * j, 0 \leq j \leq n_j$$

[그림 1]에서 g는 격자 간격을 나타내고 식 (1)에서 x(i)와 y(j)는 시작점에서부터 i, j 크기만큼 격자간격의 차이를 두고 정의된 값이다. i, j의 개수는 대상물체의 가로 세로의 크기를 각각 격자간격으로 나누워서 나온 값으로 g의 간격에 따라 i, j가 결정된다. z(i, j)는 x(i)와 y(j)에서의 z 값이다. Z-map은 3차원 데이터를 깊이가 z인 2차원 격자 값으로 만드는 것이다.



[그림 1] Z-map 정의

임의의 평면을 이용해서 문자를 추출하는 방법의 이러한 문제점들을 Z-map을 이용하여 보완할 수 있다. 문자 영역을 추출하여 2차원 데이터로 만드는 방법으로 두 가지 방법을 사용함에 있어서 Z-map이 보다 효과적이다. 즉, Z-map에서는 평면에 문자가 새겨져 있는 경우에는 평면의 높이는 z(i, j) 값이 0이 되고, 양각문자는 z(i, j) 값이 음의 값, 음각문자는 양의 값을 갖게 된다. z(i, j) 값이 0이 되는 높이를 가진 부분을 배경으로 처리하고 나머지 값들의 문자 영역으로 동시에 데이터를 획득하게 되면 된다. 또한, 곡면에 문자가 새겨져 있는 영역에서도 Z-map을 이용하여 동시에 문자와 배경을 획득할 수 있고 영상처리 필터를 이용하여

문자 영역을 추출할 수 있다.

경판과 같은 문화재뿐만 아니라 문자가 새겨져 있는 문화재의 경우는 3차원 데이터에서 2차원 데이터로 변형하는 것이 몇 가지 중요한 의미가 있다. 먼저는 3차원 문자 데이터 상에서는 이것이 탁본 되었을 때에 어떤 모습인지를 바로 알 수 없다. 그러나 2차원 문자 데이터는 그 자체가 탁본의 모습을 보여준다. 다음으로 많이 개발되어 있는 2차원 영상 데이터에 대한 다양한 영상처리 기술을 사용하여 우리가 원하는 원형에 유사하게 데이터를 변형할 수 있게 된다.

추출된 데이터들 중에서, 문자의 높이 부분을 2차원(2D) 데이터 밝기 값으로 변환하는 Z-map을 이용해서 2차원 데이터를 생성한다. 문자의 높이 값이 2차원 데이터의 화소 값으로 변환된다. 2차원 흑백 데이터의 경우 0~255의 화소 값을 갖고 있으므로, Z-map 값을 화소 값으로 변화시켜 주는 과정이 필요하다. 이 과정은 식 (2)를 통해서 진행된다.

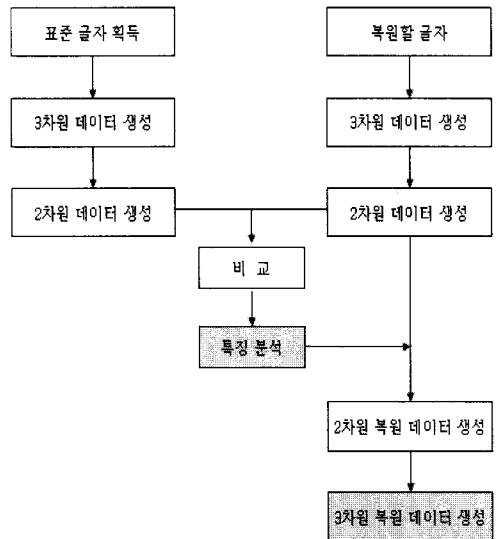
$$T_{x,y} = 255 * \frac{C_{x,y} - \min}{\max - \min} \quad (2)$$

식 (2)에서 max와 min은 각각 Z-map 값 중에서 최대값과 최소값이고 z(i, j)는 변환하려는 Z값을, T(i, j)는 2차원 데이터로 변환되는 화소 값을 의미한다. i와 j는 가로와 세로의 화소 수를 나타낸다(해상도 i×j). 식 (2)를 이용해서 3차원 데이터를 2차원 데이터로 변환한다. 3차원 데이터를 Z-map을 이용해서 처리하는 과정에 아이너스(주)사에서 개발한 Rapidform 2002 3차원 프로그램을 이용하였다.

3.2 문자 복원 시스템의 구성

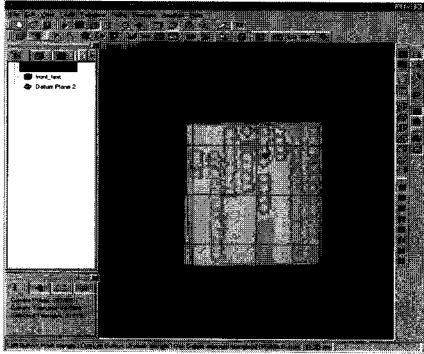
아래의 그림은 문자 복원 시스템을 통하여 진행될 문자 원형 복원 과정을 보여주고 있다. [그림 2]는 글자를 복원하는 알고리즘의 순서도이다. 팔

만대장경의 예를 들어서 작성한 순서도이다. 순서도 왼쪽에서 보이는 표준 글자는 팔만대장경 가운데 보존이 잘 된 글자들을 말한다.



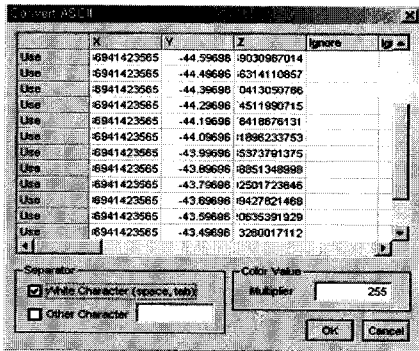
[그림 2] 문자 복원 시스템 구성도

문자복원 전문가 시스템에 적용하여 복원할 자료는 팔만대장경 대장경 연구소에서 획득하였고 3차원 디지털 자료화 되어 있다. 이러한 3차원 데이터를 Z-map을 이용하여 2차원 데이터로 만든다. [그림 2]의 구성도 오른쪽에서 보이는 복원할 글자는 글자가 마모되거나 훼손되어 복원이 필요한 글자들이다. 이 글자를 표준 글자를 2차원 데이터로 변환시키는 과정과 동일하게 2차원 데이터로 변환시킨다. 그리고 표준 글자의 2차원 데이터와 복원할 글자의 2차원 데이터를 비교하여 차이가 나는 부분의 특징을 분석한다. 이를 토대로 복원할 글자를 표준 글자로 변환 시킬 수 있는 필터를 유추해내고 이를 복원할 글자에 적용한다. [그림 3]은 훼손이 심한 경판 일부 3차원 디지털 데이터를 나타내는 화면이다. 본 데이터는 약 340만 개의 폴리곤으로 이루어져 있다. 그림에서 복원될 문자들의 영역을 붉은 색으로 표시하여 구별하였다.



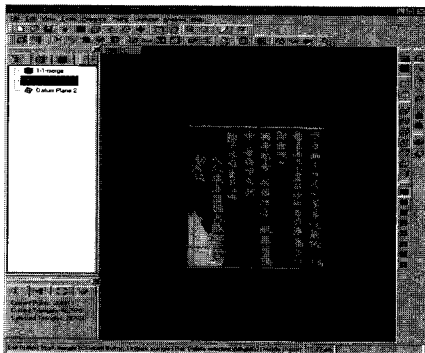
[그림 3] 팔만대장경을 스캔한 정보를 나타내는 초기 화면

[그림 4]는 스캔한 데이터들을 수치상으로 보여주는 화면이다.



[그림 4] 스캔한 팔만대장경의 데이터 값

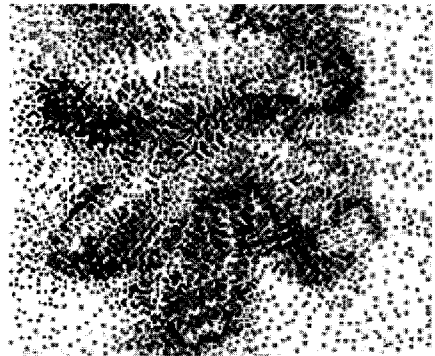
[그림 5]는 문자 발체용 경판의 3차원 데이터를 나타내는 화면이다. 여기서 원형으로 사용될 문자



[그림 5] 문자 발체용 3차원 데이터 표시 화면

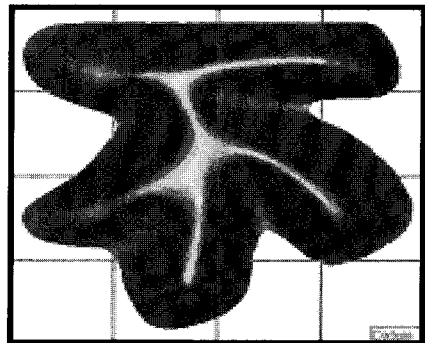
만을 분리하고, 분리된 각각의 문자는 3차원 디지털 자료화하여 향후 복원용 마스터 데이터로 사용하게 된다.

[그림 6]은 스캐닝된 초기의 점군 데이터(Point Clouds)의 예를 보여준다. [그림 6]에서 나타난 바와 같이 미세한 높이차가 Point 밀도 차이에 의해 어느 정도 윤곽을 나타내고 있다. 이것은 탁본에서는 나타나지 않는 현상이다.



[그림 6] 스캐닝된 문자의 예

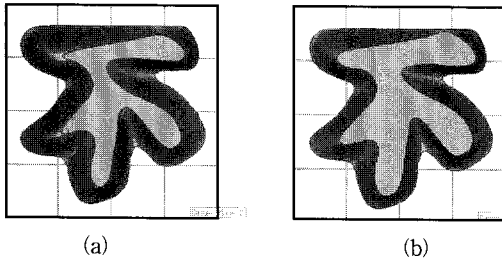
[그림 7]은 점군 데이터를 폴리곤 데이터로 변환 후, 문자 높이의 비례에 따라 전체 높이를 증대시켜, 영상 자료를 강조한 것으로 어느 정도 문자의 형태를 구별할 수 있다. 이 과정은 정밀 실측된 3차원 원형 데이터로부터 절단면(Section)을 추출한 후, [그림 7]과 같이 상대 높이에 따라 가중치(Weight)를 달리하여 높이를 증대시키면 이는 원



[그림 7] 깊이에 따른 문자 정보

형에 비하여 음각의 형태가 강조되기 때문에 문자 판독의 기본 자료가 될 수 있다.

[그림 8(a)]의 붉은 부위는 문자 상면으로부터 0.3mm 깊이 부위의 절단면을 보여준다. 이 과정을 0.1mm 간격으로 반복하여 문자 판독이 가능한 수준까지 진행한다. [그림 8(b)]는 0.7mm 절단면을 보여주는데, 문자 판독 뿐 아니라 서체의 경향까지 볼 수 있다.



주) (a) 문자 상면에서 0.3mm 깊이의 절단면
(b) 문자 상면에서 0.7mm 깊이의 절단면(원형 문자 판독 가능)

[그림 8] 문자 복원 과정

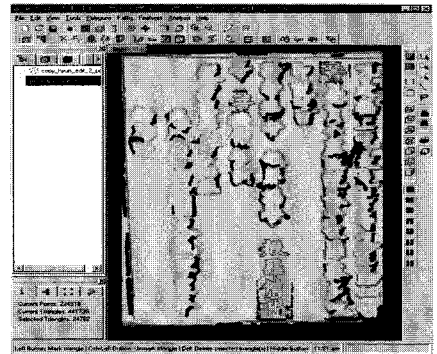
양각으로 문자가 새겨져 있는 팔만대장경의 일부분을 Z-map을 이용해서 3차원 데이터에서 2차원 데이터로 변환하는 과정을 거치게 된다. 음각 문자의 경우에도 Z-map 값이 양각과 반대인 경우만 다르고 동일한 방법을 사용한다. 여기서, 2차원으로 변환된 경판 데이터를 이용하여 마모된 부분의 특징을 추출해 내고 마모되지 않은 데이터와의 차이를 영상처리를 적용하여 마모된 부분을 복원한다. 마모된 부분은 2차원 상에서 경계가 불분명하고 인쇄되는 면적이 줄어든 상태이다. 이것을 영상처리를 통해 복원하는 것이다. 복원된 Z-map 데이터는 다시 3차원 데이터로 변환되고 마모된 경판은 3차원 데이터로 복원된다.

새겨진 문자의 고해상도 3차원 영상데이터를 CAD상에서 깊이 조정, 강조 및 표면 박리 등의 과정을 통하여 문자 원형을 디지털 복원하고, 문자 판독을 할 수 있다. 스캐닝된 초기의 점군(Point Clouds) 데이터에서, CAD 처리를 통한 문

자 복원 과정은 다음과 같다. 먼저 스캐닝된 초기의 점군 데이터를 표시하게 된다. 미세한 높이차가 Point 밀도 차이에 의해 어느 정도 윤곽을 나타내어진다. 이러한 것은 탁본에서는 나타나지 않는 현상이다.

문자의 높이 부분을 2차원(2D) 데이터 밝기 값으로 변환하는 Z-map을 이용해서 2차원 데이터를 생성한다. 높이 값이 2차원 데이터의 화소 값으로 변환되는데 이 때 2차원 흑백 데이터의 경우 0~255의 화소 값을 갖고 있으므로, Z-map 값을 화소 값으로 변화시켜 주는 과정이 필요하다. 꼭면에 문자가 새겨져 있는 경우에도 Z-map을 이용해서 문자 정보를 추출할 수 있다. 오랜 세월로 인해 많은 훼손이 있는 문자는 기존의 임의의 평면을 이용해서는 복원이 불가능하다.

[그림 9]는 복원용 문자를 훼손된 경판에 정합시키기 위하여 정렬하는 과정을 나타내는 화면으로, 훼손된 문자와 복원용 문자를 겹쳐서 두 문자들의 외각선 간에 오차가 최소가 되도록 CAD상에서 수동으로 위치를 찾고 데이터를 정합시킨다.



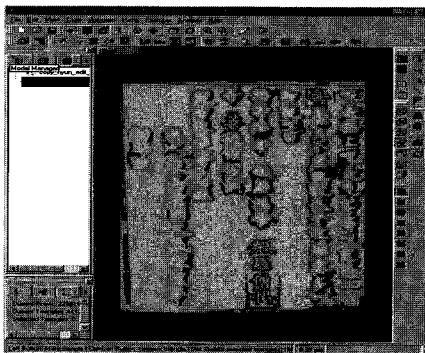
[그림 9] 복원용 문자의 정렬 과정 화면

이 방법은 원형이 비교적 잘 보존 되어진 글자들을 발췌해 내고 이를 DB에 보관하여 훼손되어 있는 경판의 글자들을 바꾸는 작업이다. 비교적 원형이 잘 보존되어져 있는 글자들을 잘 발췌하게 되면 팔만대장경 글자 복원에 유용하게 잘 사용되어 질 수 있다. 그러나 비교적 잘 보존되어 있는

글자들이 존재할 때만 훼손된 글자들을 복원할 수 있고, 또 수동으로 작업을 일일이 해야 한다. 또 위 방법은 팔만대장경에만 사용이 가능하고 일반적인 글자 복원에는 사용이 불가능하다.

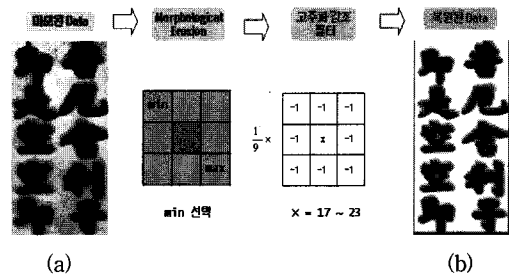
Z-map을 이용해서 2차원 데이터로 변형할 경우에, 마모되고 훼손된 문자 자체에 두 가지 특징이 있음을 발견할 수 있는데, 첫째는 폐곡면의 내부가 선명하지 않다. 폐곡면 내부가 선명하지 않으면 탁본을 했을 때에 문자가 분명하지 않을 수 있게 된다. 둘째는 경계가 뚜렷하지 않고 둥글게 마모되어 있다. 이와 같은 원인들은 문자 부분의 마모로 인하여 발생하는 것인데, 모폴로지 확장(Morphology Dilation) 필터와 고주파 강조(High Frequency Emphasis) 필터를 이용하여 보완하였다. 모폴로지 확장 필터는 2차원 데이터에 윈도우(마스크)를 적용했을 때에, 윈도우 내의 데이터 가운데 가장 큰 값을 선택하는 필터이고, 고주파 강조 필터는 윈도우(마스크)를 2차원 데이터에 적용하게 되면 영상의 경계 부분을 선명하게 하는 필터이다. 고주파 강조 필터의 중앙의 x값에는 17에서 23까지의 값을 사용할 수 있는데, 값이 클수록 데이터의 고주파 성분(윤곽선)이 더 강하게 강조된다.

이 두 필터를 적용한 후에 복원된 2차원 데이터를 살펴보면, 폐곡면과 경계부분이 보다 선명해진 것을 알 수 있다. 이렇게 복원된 2차원 문자 데이터는 3차원 데이터로 전환되기 위해 ASCII 파일로 저장이 되어 3차원 데이터로 변형된다. [그림 10]은 복원되어진 팔만대장경을 보여준다.



[그림 10] 복원된 문자 최종 결과 화면

[그림 11]은 Z-Map을 통해 3차원의 경판데이터를 2차원 데이터로 변환한 후 영상처리 필터를 통해서 처리하는 과정을 종합적으로 나타낸다[12]. [그림 11(a)]에서 보듯이 마모된 경판은 경계가 불명확하고 영상 배경에 잡음이 많이 있음을 알 수 있다. 이를 제거하기 위해서 Erosion 필터와 고주파 강조필터를 연속적으로 사용하였다. Erosion 필터를 통해서 마모된 경판의 영상을 평활화시키고 고주파 강조 필터를 통해서 외곽선을 분명하게 드러나게 한다. 이렇게 변형된 데이터를 역 Z변환을 통해서 3차원 데이터로 변환시킨다. 변환된 데이터를 이용하여 컴퓨터 그래픽스 기술을 통해 원형으로 조정한다[9]. 역변환시에는 양자화 에러를 제외하고는 에러는 거의 없다.



주) (a) z-map통해 획득한 데이터
(b) 영상처리필터를 통해 변환된 데이터

[그림 11] 문자 복원의 처리 과정

3.3 성능평가 방법

본 연구에서 제안한 마모된 팔만대장경 경판 복원 알고리즘을 적용했을 때 2차원 Z-map 상에서 복원된 Z-map 데이터를 정량적으로 평가하기 위하여 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 값을 사용한다. 여기서 PSNR은 복원 영상의 객관적인 화질의 척도로 사용되며, 마모되지 않은 경판의 Z-map 데이터와 비교하여 얻어지는 품질을 나타내는 값이다. 이 때 기준이 되는 원본 데이터는 팔만대장경 3차원 데이터 가운데 문화재 전문가에 의해서 훼손이 없다고 판단되는 문자데이터이다. 아래의 식 (3)은 PSNR의 정의를 나타낸 수식으로

X, Q는 두 영상을 나타내고, (i, j)는 영상에서의 좌표를 의미한다.

$$PSNR = 10 \log \frac{255 \times 255}{\frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} |X[i, j] - Q[i, j]|^2} \quad (3)$$

대략 PSNR이 40dB 이상이면 대단히 우수한 품질, 즉 원본과 거의 유사한 정도를 의미하며, 30~40dB인 경우는 어느 정도 괜찮은 품질을, 20~30dB인 경우는 원본과 차이가 많이 나는 경우를 나타낸다. 이러한 성능 평가를 거쳐 복원된 문화재에 대한 최종 평가를 문화재 전문가(대장경 연구소 및 국립민속박물관)에 의해 평가 감수한 후 활용하게 된다.

4. 결 론

본 논문은 문자가 새겨져 있는 팔만대장경과 같은 문화재가 많은 탁본과 세월로 인해 문자들이 훼손되어 있을 때에, 이를 복원하기 위해 문자를 추출하는 방법과 복원하는 전문가 시스템을 제안하였다. 문화재에서 문자를 추출하는 기존 연구를 확인 결과 이 분야에 대해서는 연구가 많이 진행되고 있지는 않았다. 문자를 복원하기 위해서는 먼저는 문자를 추출하는 방법이 필요한데, 임의의 평면을 이용해서 문자를 추출하는 기존 방법으로는 글자를 재구성하는 것과 3차원으로 획득한 데이터를 처리하는데 있어서 처리간의 문제와 효과에 있어서 문제가 예상되었다. 또한 곡면에 문자가 새겨져 있는 문화재의 경우는 이 방법으로는 곤란하였다. 본 논문에서는 Z-map을 이용해서 평면과 곡면에 문자들을 모두 추출하는 방법을 제시했고, Z-map을 통해서 3차원 문자 데이터를 2차원 문자 데이터로 변형시킴으로써 마모된 문자들의 특징을 분석하여 적절한 영상처리 필터를 이용하여 문자들을 복원하는 것을 시스템을 통하여 구현하였고 문화재에 적용하여 보았다. 본 연구에서

는 원본 데이터의 부족으로 많은 데이터에 대한 시스템 적용을 실시하지 못하고 일부 문화재에 적용하는 수준이었으나 앞으로 많은 데이터를 수집하여 분석하고 문자 복원 시스템의 기능을 개선한다면 다양한 분야에서 문화재 복원에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

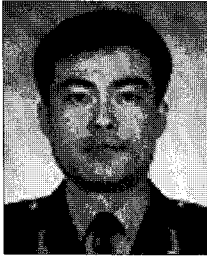
기존 연구는 훼손된 글자를 표준 글자들로 교환하는 정도의 연구로 일반적으로 적용될 수 있는 것은 아니고 또 표준 글자가 없거나 대상이 다를 경우에는 적용에 어려움이 존재하였지만, 본 연구에서 제안한 전문가 시스템은 이러한 부분을 보완하여 실제의 문화재 복원에 적용하였다. 이러한 시스템은 지속적인 개선을 통하여 국내의 다른 문화재도 폭넓게 적용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 문호석, 손명호, “문화재 원형 복원 시스템”, 한국 경영정보학회, 「춘계학술대회」, 2005, p p.907-911.
- [2] 문호석, 손명호, “컴퓨터 그래픽스 및 영상처리를 이용한 문화 원형 복원 전문가시스템 개발”, 「한국 컴퓨터 정보 학회지」, 제11권, 제6호(2006), pp.269-277.
- [3] 최병규, 정연찬, “Z-map을 사용한 모의가공과 NC-code의 검증”, 「대한 산업공학회지」, 제8권, 제3호(1995), pp.155-169.
- [4] Cultural Properties Administration, *Cultural properties yearbook*, Daejeon, Korea, 1991.
- [5] Held M., Lukacs G., and Andor L., “Pocket Machining Based on Contour-parallel Tool Paths Generation by means of Proximity Maps”, *Computer Aided Design*, Vol.26, No.3(1994), pp.189-203.
- [6] Kong, W., and Kimia, B. B., “On solving 2-D and 3-D puzzles using curve matching”, *Proceedings of the IEEE Computer*

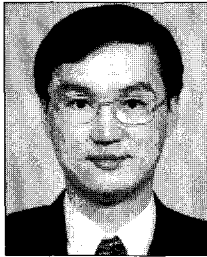
- Vision and Pattern Recognition*, Vol.2 (2001), pp.583-590.
- [7] Moon, H. S., You, T. W., Yoo, H. W., Sohn, M. H., and Jang, D. S., "A Recovery System of Broken Relics Using Least Squares Fitting and Vector Similarity Techniques", *Expert Systems with Applications*, Vol.28 (2005), pp.469-481.
- [8] Radack, G. M. and Badler, N. I., "Jigsaw puzzles matching using a boundary-centered polar encoding", *Computer Graphics Image Processing*, Vol.19(1982), pp.1-17.
- [9] Schroeder, W. J., Zarge, J. A., and Lorensen, W. E., "Decimation of triangle meshes", *Proceedings of the SIGGRAPH*, Vol.26, No.2(1992), pp.65-70.
- [10] Ucoluk, G. and Toroslul, I. H., "Automatic Reconstruction of Broken 3-D Surface Objects", *Computers and Graphics*, Vol.23, No. 4(1999), pp.573-582.
- [11] Wolfson, H., "On curve matching", *IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.2(1990), pp.483-489.
- [12] Zhou, J. M., Shao, K. R., Zhou, K. D., and Zhan, Q. H., "Computing constraint triangulation and delaunay triangulation : A new algorithm", *IEEE Transaction Magnetics*, Vol.26, No.2(1990), pp.694-697.

◆ 저 자 소 개 ◆



문 호 석 (bawooi@korea.ac.kr)

고려대학교 산업시스템 정보공학과에서 박사학위를 취득하고 현재 육군사관학교 전자정보학과 조교수로 근무하고 있다. 관심 분야로는 컴퓨터 비전 시스템, 워터마크, 문화재 복원 전문가 시스템 개발 등이 있다.



손 명 호 (totalsol@mjc.ac.kr)

한국과학기술원 테크노경영대학원에서 석사 학위 및 박사 학위를 취득하고 현재 명지전문대학 경영학과 교수로 근무하고 있다. 관심 분야에는 CAD/CAM, 전문가 시스템 개발, 지식 경영 등이 있다.