

3D 디지털 현미경으로 측정한 당백가시 인쇄본의 형상 특징

김혜경 | 오카다 요시히로¹
류코쿠대학 정보미디어학과

An Image Characteristics of Metal Movable Type Printing on One Hundred Poets of the Tang Dynasty by the Measurement of 3D Digital Microscope

Heakyoung Kim | Yoshihiro Okada¹

Digital Archives Research Center, Ryukoku University, Kyoto, 612-0021, Japan

¹Corresponding Author: t14d003@mail.ryukoku.ac.jp, +81-75-645-2184

초록 류코쿠 대학 소장 『당백가시』를 중심으로 3D 디지털 현미경으로 인쇄된 종이 표면에 남아있는 금속활자의 미세표면을 관찰하여 굴곡구조와 표면 거칠기를 정량화하는 측정 방법을 소개하고자 한다. 인쇄된 종이 표면을 기준으로 활자 표면의 굴곡 현상을 선으로 측정하고 활자의 미세표면은 면으로 측정하여 수치화하여 인쇄된 종이 표면의 특성을 제시하였다. 3D 디지털 현미경 측정 방법은 비접촉, 비파괴 방법으로 많은 자료 분석과 반사광에 의한 직접 관찰이 가능하다. 그리고 클리닝이나 배접 그리고 주름을 펴기 위하여 강한 힘으로 압력을 주는 과정에서 고문서에 함유된 정보가 손실될 수 있으므로 사전 조사 방법으로 종이 표면에 남아있는 인쇄 정보를 수집하는데 유용한 방법이라고 할 수 있다.

중심어: 금속활자, 비접촉, 비파괴, 표면거칠기, 3D 디지털 현미경

ABSTRACT The ancient paper document we chose as a case study for our research is 『One Hundred Poets of the Tang Dynasty』, which is housed in the Ryukoku University Library. The purpose of this research is to introduce a method to analyze the surface roughness and microstructure at a high resolution. In addition, we attempt to quantitatively measure the surface unevenness of the types and curve structure. We used a tridimensional digital microscopy as a non-contact and a non-destructive method to study ancient cultural paper. The information contained in the paper may be lost in the process of applying strong pressure to clean and lining or press. However, this microscopic measurement method can non-destructively analyze a large amount of data in old printed books. Moreover, it enables observing them directly with reflected light. Therefore, this method may be useful for collecting printed information remaining on the surface of the paper.

Key Words: Movable type, Non-contact, Non-destructive method, Surface roughness, 3D digital microscope

1. 서론

인쇄된 간행본으로 지금까지 현존하는 고문서는 역사, 서지학, 인쇄기술 등을 포함하여 다양한 정보를 가지고 있다. 우리나라 고문서 연구는 석가탑 출토 중수 문서의 접는 방법에 대한 고찰에서 한지를 대상으로 연구(Cheon, 2009)된 경우도 있지만, 대부분이 서지학을 중심으로 고찰자 인쇄의 역사와 발전(Hyun, 2000), 고찰자 형태와 주조 방법(Lim, 2013) 등에 한정된 편이다. 특히, 고대 금속활자는 활자 자체의 보존, 복원을 위한 연구와 서체에 대한 기록 연구(Kim, 1954; Lee, 2007)로 금속활자로 인쇄된 종이 표면에 남겨진 정보에 대한 조사는 거의 없는 편이다. 그 이유는 활자로 인쇄된 고문서에 대한 적합한 조사 방법이 제시되지 못했기 때문이다.

지금까지 금속활자의 인압에 관한 굴곡 연구는 인간의 감각 등을 이용한 주관적 평가에 의해 연구되어져 왔다. 이와 같은 관능 검사는 객관적 평가에 한계가 있다. 그러나 일본 교토대학 키와바타(川端季雄)박사의 기본 설계(Kawabata, 1975)와 나라여자대학 니와 마사코(丹羽雅子)박사의 연구(Kawabata et al., 1986)개발로 직물의 감촉을 관능 검사의 주관적 판단을 객관적인 자료로 대체를 시도하였고 이를 감촉계측장비로 개발하여 직물 이외에 종이, 필름 등을 연구 대상으로 확대해 나가고 있는 최근 측정 방법이다.

연구 대상은 류코쿠대학(龍谷大学) 소장 『당백가시(唐百家詩)』를 선정하여 인쇄된 종이 표면의 형상을 고찰하고

자 한다(Figure 1). 당백가시는 룡경(隆慶) 4년(1570년) 9월에 당나라 시인 100명의 시를 수집하여 관에서 만든 간행본이다. 내사기(內賜記)를 기록하여 표지 안쪽에 날짜와 대상, 즉 중앙관서의 현직 고관, 퇴임 고관, 지방 관료 등을 기록한 당백가시는 중종(1506)부터 명종(1567)까지 간행된 고서로 출판시기와 소장처가 알려진 희귀본이다(Kim, 1954). 당백가시는 성종 15년(1484년)에 착수하여 이듬해 3월에 완성하였다. 갑진자(甲辰字)는 대·소자를 합쳐 약 30만자를 주조한 금속활자로 작은 자는 가로와 세로가 1cm 정도로 조선시대 주조된 가장 작은 크기이다. 이를 통하여 금속활자의 주조기술이 뛰어난 시기임을 알 수 있다(Ok, 2013). 당백가시는 12행, 19자, 20자로 납전지 표지에 오침, 장정하였고 간행본 크기는 200 × 328 mm이며, 닥지를 사용하였다.

본 연구에서는 고문서에 인쇄된 종이 지면을 3D 디지털 현미경을 이용한 비접촉, 비파괴 방법으로 굴곡 표면 형상의 관찰하고 이를 굴곡, 높이, 깊이, 거칠음 등으로 규격화 및 정량화를 시도하였다. 인쇄된 고문서는 종이 표면에 인쇄기술에 대한 정보를 가지고 있으므로 이에 대한 기초 조사는 유용한 정보 습득이 가능하므로 고문서의 인쇄본의 활자연구에 대한 활용 방안이 높다고 할 수 있다.

2. 연구 방법

금속활자가 인쇄된 종이 표면의 활자 형상은 3D 디지털



Figure 1. The cover and inside of 『One Hundred Poets of the Tang Dynasty』.

Table 1. Parametric moment of ISO standard

Parameters	Detail item	Abbreviation
Amplitude	Maximum peak height	Sp
	Maximum valley depth	Sv
	Maximum height of surface	Sz
	Average roughness	Sa
	Root mean square roughness	Sq
	Skewness	Ssk
	Kurtosis	Sku
Function	Dale void volume	Vvv
	Core void volume	Vvc
	Peak material volume	Vmp
	Core material volume	Vmc
	Areal material ratio	Smr (e)
Lateral	Autocorrelation length	Sal
	Texture aspect ratio	str
Complex	Root mean square surface slope	Sdq
	Developed interfacial area ratio	Sdr
Geometric parameters	Volume-scale plot	Svs (s)
Etc parameters	Texture direction	Std

**Figure 2.** The measurement of 3D microscope.

현미경(VR 3100, Keyence, Japan)을 사용하여 조사하였다(Figure 2). 3D 디지털 현미경의 측정 방법은 레이저 광을 조사해서 물체에 의해 생기는 그림자를 시간에 따라 연산하는 방식과 CCD 이미지 센서로 점, 선, 면을 수치화하여 굴곡 구조를 형태적으로 관찰하고 표면 거칠기를 수치화할 수 있다(Sato, 2015). 3D 디지털 현미경은 투광부보다 구조화된 조명에 의해 고화질·고속 센서로 촬영되고 투

영 이미지를 표면 형상으로 측정한다(Häusler and Ettl, 2011). 수치화는 삼각 측량법에 근거한 빛 측정법으로 빛을 절단하는 측정 원리이다(Srinivasan *et al.*, 1984). 즉, 조명을 렌즈계로 확대된 슬릿 형상으로 대상물을 조사하여 삼각 측량법으로 깊이를 측정하고 조명을 이동하면서 연속 촬영으로 표면 형상과 요철을 측정한다. 이 방법은 현미경 배율 20배, 시야 면적 30 mm로 조사할 수 있으며 최대 300배에서 1 mm 평방까지 측정이 가능하다. 그리고 정지 촬영과 약 0.1 μm 의 3D 측정으로 미세표면에 대한 굴곡 측정도 가능하다.

3D 디지털 현미경을 이용한 인쇄 종이면의 높낮이를 평가하는 측정법은 아직 국내에 소개되지 않은 방법으로 외국에서는 국제표준화기구(ISO, International Organization for Standardization)에서 특허를 받고 시작하는 단계이다. 빛을 절단하여 투영된 빛을 삼각으로 분할된 카메라의 각 센서에 역 투영하여 측정 깊이를 알 수 있다. 이를 통하여 투영된 빛의 라인 수와 삼각 측량에 의한 높이와 굴곡을 측정할 수 있다. 3차원 측정은 임의 2점사이의 간격을 선으로 측정하는 것이 아니고 30~224 mm 측정 범위에서 3D 형태로 측정하기 때문에 초점을 최하점에서 최고점까지 50

장에서 100장 이상의 사진을 합성하여 얻어진 정확한 측정 자료이다. 굴곡 측정은 테레센트릭 렌즈(Telecentric Lens)를 사용하여 높이, 폭, 각도, 단면, 단사, 면적, 질량, 표면 요철 등을 렌즈 거리와 상관없이 동일한 관찰 앵글로 볼 수 있으므로 굴곡을 평평하게 볼 수 있다. 또한, 75 mm의 위치에서 비접촉으로 측정이 가능하므로 굴곡 관찰과 이에 대한 정량화가 가능하다. 따라서 금속활자로 인쇄된 종이 표면에서 활자의 굴곡과 거칠기가 차이를 보이며 이에 대한 인쇄압의 흔적 뿐 만 아니라 표면 거칠기에 의한 인쇄된 종이 표면에 대한 평가가 가능하다.

국제표준화기구에서 인정하고 있는 표준 파라미터와 굴곡 형상은 실제로 점과 점을 연결하는 직선을 미가공 표면으로 선으로 측정하는 것과 선이 아닌 면적을 미가공 표면으로 면으로 측정한다. 금속활자로 인쇄한 종이 표면의 굴곡 형태와 미세 깊이와 높이를 측정하고 이를 기초로 국

제표준화기구에서 정의한 인자 요소로 표기한다(Table 1).

3. 연구 결과

금속활자로 인쇄된 종이 표면의 굴곡 측정은 당백가시 인쇄된 ‘三’의 인쇄면을 관찰하였다(Figure 3). 먼저 ‘三’의 인쇄면에서 가장 아래 일자 ‘一’에 대한 굴곡 형태를 3D 디지털 현미경으로 관찰하고 측정한 결과에서 지정한 직선에 따라 굴곡 차이를 보이는 것으로 나타난다. 굴곡이 가장 낮은 적색 위치와 가장 굴곡이 높은 청색 위치에서의 굴곡 차이는 84.98 μm 으로 나타난다(Figure 4). 이와 함께 ‘三’의 인쇄면에서 가장 아래 일자 ‘一’에서 인쇄면의 명암 차이를 보이는 부분, 즉 금속 표면의 불균일성이 가장 높은 부위를 A점에서 B점까지 선으로 측정하고 이 부위를 3D 디지털 현미경으로 25배로 관찰하였다(Figure 5). 이 인쇄

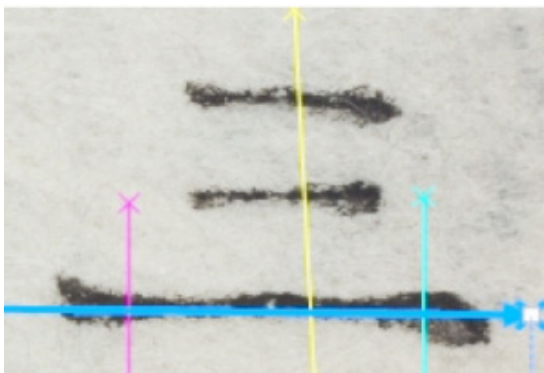


Figure 3. Metal movable type printing of ‘三’.

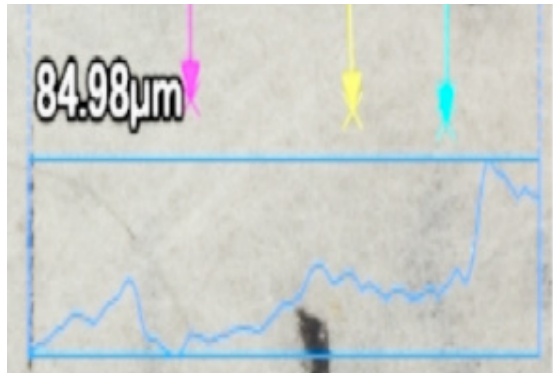


Figure 4. Measurement of Figure 3.

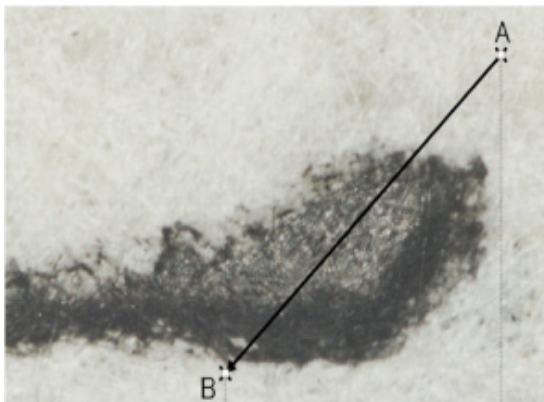


Figure 5. Detail position of ‘三’ (Figure 3).

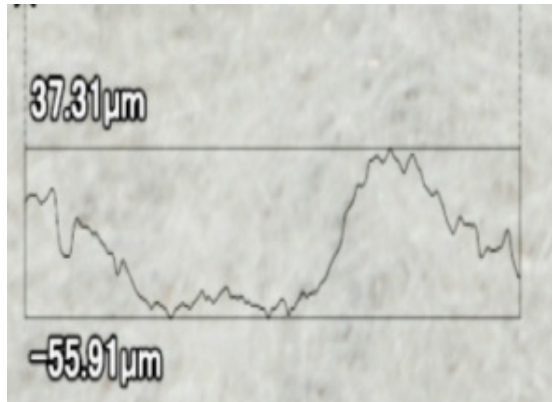


Figure 6. Measurement of Figure 5.

지면에 대한 관찰에서 금속활자의 먹으로 인출한 곳은 움푹 들어간 모양으로 종이 여백과 경계선으로 이루어져 'V'형태로 보인다. 금속활자는 목판과 목활자와 비교하여 마모된 부분이 없으므로 'V'형태는 금속활자의 인쇄면이 약간 돌출된 부분으로 이는 금속활자의 특징으로 볼 수 있다. 이에 대한 굴곡 높이는 움푹 들어간 부분이 -55.91 μm 이고

돌출 부분이 +37.31 μm 로 전체 깊이 차이는 93.22 μm 로 나타난다(Figure 6). 이와 같은 인쇄면의 굴곡측정은 종이 지면에 대한 굴곡 상태도 함께 관찰할 수 있다. 한 예로 '今'에 대하여 선이 아닌 면에 대한 굴곡 현상을 측정할 결과에서도 돌출 부위는 붉은색으로, 들어간 부위는 푸른색으로 구분되는 점으로 보아 종이 표면에 대한 굴곡 차이도

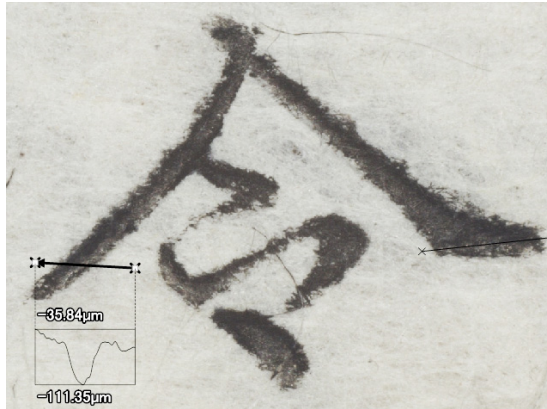


Figure 7. Metal movable type printing of '今'.

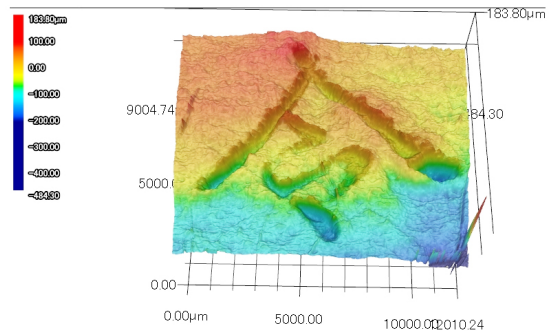


Figure 8. Measurement of Figure 7.

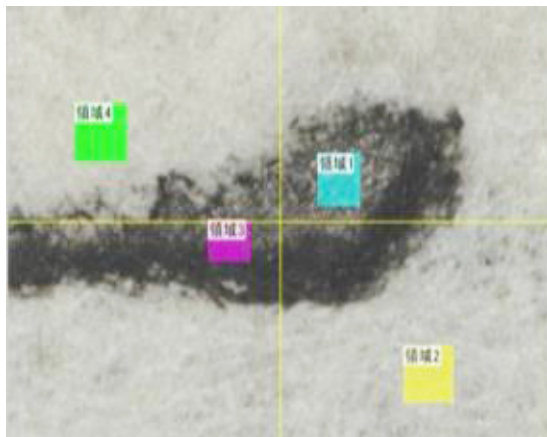


Figure 9. Surface measurement of '三' (Figure 3).

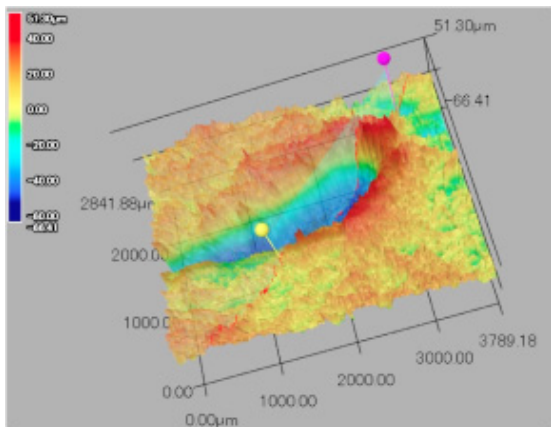


Figure 10. Surface roughness measurement of Figure 9.

Table 2. Surface roughness parameters measuring of positions in Figure 9

Position	Sq (μm)	Ssk (μm)	Sku (μm)
Range 1	1.03	-0.21	3.81
Range 2	1.72	0.00	4.93
Range 3	0.68	-0.08	3.14
Range 4	1.25	-0.11	3.31

관찰할 수 있음을 알 수 있다(Figure 7, 8)

인쇄의 압력에 대한 정보와 함께 표면 거칠기와 인지면의 활자 굴곡에 대한 미세구조를 측정하여 국제표준화기구가 정의하고 있는 파라미터를 기준으로 종이 표면의 인쇄 특성을 면으로 평가할 수 있다. 앞서 직선으로 측정된 동일한 '三'의 종이 부위(영역 2, 4)과 인쇄 부위(영역 1, 3)에 대하여 면으로 관찰하여 금속활자가 인쇄된 압력에 의하여 종이 섬유층의 평균 거칠기가 차이를 보이는 것으로 나타난다(Figure 9, 10). 금속활자의 인쇄면과 여백을 4부분으로 구분하여 표면 굴곡과 거칠기를 수치화로 평가한 결과이다(Table 2). 국제표준화기구에서 제시하는 인자 중에서 Sq(거칠음도), Ssk(비대칭도), Sku(첨도)를 중심으로 미세표면과 굴곡 특성을 평가하였다(Geng, 2011). Sq는 평균거칠기, Ssk는 표준편을 기준으로 굴곡 대칭성(Ssk=0기준) 그리고 Sku는 표준편을 기준으로 가장 돌출부의 정점을 나타낸다.

각 위치별 측정 결과에서 여백 지면(영역 2, 4)과 활자 지면(영역 1, 3)은 인쇄 압력에 따라 종이섬유가 측정 수치가 명확히 차이를 보인다. 이 중에서 영역 2의 Sku는 $4.93 \mu\text{m}$ 로 다른 종이 면에 비하여 돌출된 경향을 보인다. 이와 같은 경향은 금속활자의 굴곡 이외에 종이 두께, 굴곡, 먹의 입자와 함께 다양한 변수에 따라 차이를 보인다. 즉, 금속활자의 굴곡측정은 종이 표면의 거칠기와 인쇄된 지면과 영향 관계가 있음을 알 수 있다.

4. 결론

금속 활자본 『당백가시(唐百家詩)』를 연구 대상으로 선정하여 3D 디지털 현미경으로 조사한 인쇄된 종이 표면에서 나타나는 금속활자의 형상과 종이 표면의 미세구조를 3D 디지털 현미경을 이용하여 검토한 결과는 다음과 같다.

지금까지 고문서에 대한 종이의 특성 연구는 일반적으로 촉감을 위주로 하는 관능검사로 평가되고 있었으나 전반적으로 객관성이 부족하여 다양한 변수로 평가하기에 한계를 보인다. 이에 대한 과학적이고 객관적인 평가를 위하여 3D 디지털 현미경을 이용한 인쇄 종이 표면의 굴곡 측정과 미세 표면에 대한 형상 측정은 측정 자료를 정량화할 수 있다는 측면에서 객관성과 다양한 비교 분석이 가능하다는 것을 확인하였다. 이와 같은 굴곡과 미세표면 측정은 고문서의 수리수복에서도 작품 안에 남겨진 정보들을 활용할 수 있다. 또한 활자 표면의 미세구조를 굴곡 정도와 측정 파라미터로 평가할 수 있다는 점에서 고문서의 인쇄

기술을 비파괴 방법으로 제시할 수 있다는 측면에서 활용 가능성이 높은 조사 방법으로 제시해 볼 수 있다.

3D 디지털 현미경 측정 방법은 고문서의 인쇄 종이 표면에 남겨진 정보를 체계적인 수치로 제시할 수 있다는 점과 앞으로 고문서의 비교 연구를 통한 특성 평가가 가능하다는 점에서 필요성이 제시될 수 있다. 이와 같은 정보는 지금까지 고서의 보존 방법의 하나로 종이 전체를 물을 포함한 용매를 사용하여 클리닝하거나 종이 주름을 제거하기 위하여 강한 외부 힘으로 압력을 가하는 행위에 포함되어 있는 다양한 정보를 물리적으로 손상할 수 있으므로 주의해야 한다. 또한, 고문서의 인쇄정보를 체계적으로 수치화하여 고서의 비교 연구를 통한 특성 연구가 가능하다는 점에서 3D 디지털 현미경을 이용한 측정방법은 앞으로 활용성이 높아질 것으로 기대할 수 있다.

REFERENCES

- Cheon, J.H., 2009, The study of the separation process and folding technique of papers in the texts documenting the remodeling of the Seokgatap. in National Museum of Korea(ed.), Renovation document - Bulguksa Seokgatap relics. National Museum of Korea, Seoul, 2, 136-157. (in Korean)
- Geng, J., 2011, Structured-light 3D surface imaging: A tutorial. *Advances in Optics and Photonics*, 3(2), 128-160.
- Häusler, G. and Ettl, S., 2011, Limitations of optical 3D sensors. in Leach, R.(ed.), *Optical measurement of surface topography*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 23-48.
- Hyun, Y.A., 2000, The earliest movable metal type printing. *Journal of the Institute of Bibliography*, 20, 413-424.
- Kawabata, S., 1975, HESC standard of hand evaluation. The Textile Machinery Society of Japan, Osaka. (in Japanese)
- Kawabata, S., Postle, R. and Niwa, M., 1986, Objective measurement: applications to product design and process control. The Textile Machinery Society of Japan, Osaka. (in Japanese)
- Kim, W.Y., 1954, Early movable type in Korea. Eulyoo Publishing Co., Seoul. (in Korean)
- Lee, J.S., 2007, A study on the 17th century's Gakpil document -Gakpil marks engraved in Byeophwagyeong-. *Studies in Korean Music*, 41, 263-288. (in Korean with English abstract)

Lim, I.H., 2013, A research on the restoration of the traditional technology of casting metal movable types. Mater's thesis, Dongguk University, Seoul, 68-69. (in Korean with English abstract)

Ok, Y.J., 2013, Early printings in Korea. The Academy of Korean Studies Press, Seongnam, 2, 45-57.

Sato, A., 2015, Non-contact measuring methods for areal surface texture. Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 81(10), 922-925. (in Japanese)

Srinivasan, V., Liu, H.C. and Halioua, M., 1984, Automated phase-measuring profilometry of 3-D diffuse objects. Applied Optics, 23(18), 3105-3108.