

3 차원 표면의 컬러 인쇄를 위한 공정 변수 영향 분석에 관한 연구

송민섭*, 이상호, 김효찬, 양동열(KAIST 기계공학과)

investigation of process parameter influence on 3D surface coloring

M. S. Song*, S. H. Lee, H. C. Kim, D. Y. Yang(Mechanical Eng. Dept., KAIST)

ABSTRACT

In the present industry, three-dimensional colored shape has required for realistic prototype in rapid manufacturing. Z-corporation developed 3D printer which can color three-dimensional prototype but this process can't be adopted to other rapid prototype products and spend much time and cost coloring 3D shape. In this study a new coloring process on three-dimensional surface is proposed for realistic prototype. Three-dimensional surface coloring apparatus is composed of HP ink jet head and X-Y plotter. Distance and angle between ink jet nozzle and 3D surface are set as process parameter. Based on the experiment of process parameters, it is shown that distance and angle affected on printed image on 3D surface. Circle and line shape are chosen as standard image shape because the shape has widely used as standard in 2D printing. Consequently, the distorted image on 3D surface is corrected by transformed input image data.

Key Words : 3D coloring, printing, image quality

1. 서론

3 차원 색소 조형 기술이 급속하게 발전하고 있는데 반해 3 차원 물체에 대한 채색 기술은 소비자의 요구를 만족시키지 못하고 있다.[1] 색소 조형 에서의 시작품의 색은 재료의 색을 따를 수밖에 없는 한계를 지니며, 후처리 작업을 할 경우에도 표면의 색은 달라질 수 있는 단점이 존재한다. 일반 3 차원 형상을 가진 제품들에 대한 인쇄는 수작업을 통하거나 여러 번의 스크린 인쇄를 거쳐 이루어지므로 많은 시간과 비용을 요한다. 이런 한계를 극복하기 위해 Z-corp.사에서 3D 프린터를 개발하였다. 하지만, 3D 프린터는 자체 시작품에만 채색을 할 수 있으며 고가의 재료와 장시간의 공정으로 3D 채색에는 적합하지 않다. 공업적으로는 작은 곡률에 접촉 식으로 인쇄를 하는 패드 식 인쇄기와 비 접촉 식으로 인쇄를 하는 평판 프린터가 있긴 하지만 곡률이나 거리를 벗어난 경우에는 정밀 인쇄를 하지 못한다는 단점이 존재한다. 이런 이유에 의해서 3 차원 물체에 대해서 자유롭게 채색을 할 수 있는 공정이 필요하지만

공정에 대한 개발 사례는 거의 없다.

1998 년 Kowalczyk, G. E.는 사무용 종이를 위한 잉크젯 품질 이미지 분석을 제안하였고[2], 1999 년 J.Tchan 은 인쇄 품질 인지를 위한 컴퓨터 모델에 관해 연구를 실시하여 객관적인 이미지 측정법을 개발하였다[3]. 1999 년 Dante, H.M. 은 안료 바탕의 잉크 방울 생성 기술에 대한 평가를 제안하였다[4]. 2002 년에 3 차원 물체에 채색 할 수 있는 입체 소재용 프린터가 특허 등록되었으며 2003 년 S.Daplin 은 투명과 폴리에스테르 위에 잉크를 분사하여 각 인쇄 형상에 관한 분석을 실시하였다 [6]. 2003 년에는 3 차원 물체의 표면에 직접 인쇄 할 수 있는 잉크젯 방식의 인쇄장치가 실용신안에 등록되었다. 하지만 입체 소재용 프린터는 높이 한계를 벗어날 경우 정밀 인쇄를 할 수 없으며 3 차원 물체의 표면에 직접 인쇄하는 방식도 다양한 물체의 형상 데이터에 적용할 수 없는 제약을 가진다. 3 차원 형상의 물체에 대한 인쇄 실험은 이루어지지 않았으며 이에 대한 적당한 이미지 분석 방법도 없다. 이에 따라 3 차원 자유 표면에 대한 실험과 그에 따른 이미지 분석 공정의 개발이 필

요하다.

본 연구에서는 범용 잉크젯 헤드와 헤드를 이동시키는 X-Y 플로터를 이용해서 3 차원 표면의 컬러 인쇄를 위한 공정 변수 영향성 분석에 관해 연구하였다. 잉크젯 노즐과 3 차원 표면 사이의 거리와 각도를 공정 변수로 선택하여 단속적 변화가 있는 거리, 각도 시편을 제작하였다. 제작한 시편에 대해 2 차원 이미지 평가의 기본이 되는 원(circle)과 선(line) 테이터를 인쇄하였다. 인쇄된 이미지에 대하여 분석을 실시하고 왜곡된 이미지를 보정해주기 위한 입력데이터의 변형이 필요함을 알게 되었다. 입력데이터의 이미지 변형으로 인해 3 차원 표면에 정밀한 인쇄가 가능하게 됨을 확인하였다.

2. 잉크젯 헤드를 이용한 3 차원 표면에 대한 인쇄 공정

2.1 장치 구성

3 차원 자유 표면에 컬러 인쇄를 하기 위한 장치는 Fig. 1 에 나타난 것과 같이 HP 잉크헤드(C4800A 모델)와 X-Y 플로터를 가지면서 Z 축으로 받침대가 이동할 수 있는 베드를 가진 Z-corp. 사의 Z406 장치이다. 장치의 구성은 Table. 1 과 같다. HP 잉크 헤드는 600dpi resolution 을 가지며 하나의 잉크 헤드당 304 개의 노즐이 있다. 각 노즐마다 한번에 분사되는 잉크의 양은 35 피코리터(pico liter) 이다.

2.2 공정 변수 선정

잉크젯 헤드를 이용하여 3 차원 표면에 인쇄를 할 때에 노즐과 표면 사이의 거리와 각도는 3 차원 공간 상에서 노즐과 표면이 이룰 수 있는 모든 조건을 포함하는 인자가 된다. 때문에 거리, 각도를 공정 변수로 택하였으며, 캐속 소형 공정으로 거리와 각도가 단속적인 변화를 갖는 시편을 설계하여 제작하였다. 제작된 시편은 Fig. 3 와 같으며 각각에 대한 정보는 Table. 2 와 같다. 시편과 함께 이미지의 적절한 측정을 위하여 시편에 엡손 잉크젯 전용 종이를 부착하였다.

3. 이미지 분석을 위한 측정법 제안

2D 인쇄 품질 측정은 세계적으로 널리 쓰이고 있는 보편화된 기술이다. 하지만 3 차원 표면에 대한 인쇄 품질 측정 방법은 거의 연구된 사례가 없다. 2D 인쇄 품질 측정 기술을 도입하여 3 차원 표면에 종이를 부착하여 인쇄 실험을 실시하고 종이

위에 인쇄된 이미지를 CCD 카메라로 촬영 후 이미지 분석을 실시하였다.

CCD 카메라로 썬텍社의 아이캠스코프 ICS 305 모델을 이용했다. 촬영된 이미지는 색 추출 프로그램을 통해 흑백 이미지(gray scale)로 변환된다.



Fig. 1 Z406 system and HP ink head cartridge

Table. 1 Specification of Z406 System

Ink Head	4 Head (Hewlett Packard) - C4800A / 1200 jets
Print area	254 mm X 203 mm
Accuracy	X/Y Axis : 0.5%
Dimension	1020 X 790 X 1120 mm (210kg)
File format for printing	VRML

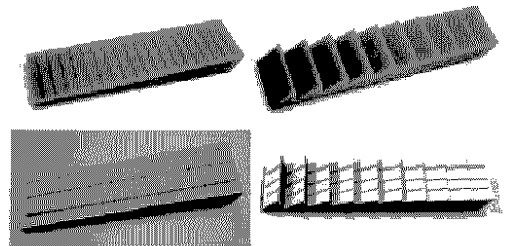


Fig. 3 Specimen of distance, angle variables

Table. 2 Specification of specimen

	distance variable specimen	Angle variable specimen
dimension	200 X 55 X 30 mm	200 X 45 X 30 mm
discrete value	1mm / step	5 / step

흑백 이미지의 각 픽셀은 0 - 255 사이의 값을 가지면서 추출된 색의 농도 값을 대표하게 된다. 이것을 명암 농도(tonal density)라고 한다. 흑백 이미지를 명암 문턱값(tonal threshold)에 의해 이치화(binartization)시킨다. 이치화된 이미지의 각 픽셀은 모두 0 또는 1의 값을 갖게 되고 이미지 분석은 0, 1의 갯수에 따라 계산되게 되며 각 과정은 Fig. 4

와 같다.

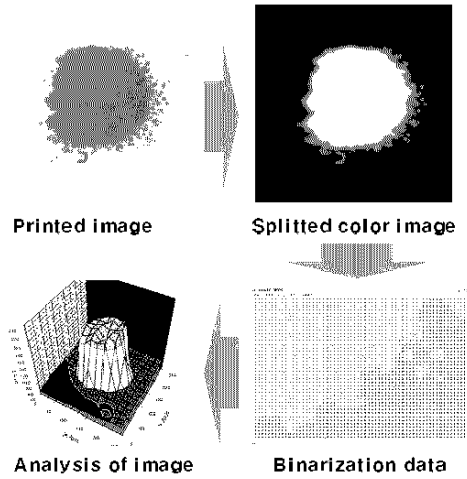


Fig. 4 Process of image analysis

4. 거리와 각도에 따른 인쇄 형상

4.1 거리 변수 실험

실험에서 연동하는 2 축을 가진 잉크 헤드부와 Z 축이 별개로 움직이는 장치를 가졌기 때문에 시편에 각도와 거리의 단속적 변화를 주어 잉크 분사 시 노즐과 표면 사이에 거리, 각도를 변화시킬 수 있도록 하였다. 인쇄형상의 샘플은 2D 인쇄 품질 평가시 기본이 되는 원(circle)과 선(line)으로 선택하였다. 원(circle) 테이터는 가로, 세로 지름이 3 mm 되는 정원이며 거리 변수는 6.0 - 25.0 mm 까지 1 mm 씩 총 20 단계로 변화를 주었다. 선(line) 테이터는 폭이 2 mm 되는 직선으로 거리 변수는 위와 같은 조건으로 하였다. 결과는 Fig. 5 와 같다.

실험 결과로 부터 거리 10 mm 내에서 입력 데이터 값과 출력값 오차가 $\pm 60 \mu\text{m}$ 내에 위치한다. $60 \mu\text{m}$ 기준은 일반적으로 사람이 25 cm 거리에서 인식할 수 있는 분해능이므로 거리 10 mm 내에서 정밀 인쇄가 가능함을 확인 할 수 있었다.

4.2 각도 변수 실험

3 차원 표면의 인쇄에서 노즐과 표면과의 각도에 대한 인쇄 실험을 실시하였다. 실험 조건은 시편의 끝단과 노즐사이가 6.4 mm 거리에 위치하게 하고 실시하였다. 원(circle) 테이터는 거리 실험에서와 동일한 형상을 가지고 인쇄를 하였으며 실험 결과는 Fig. 6 과 같다.

실험 결과에서 각도 방향으로 타원형의 원이 인쇄되었다. 10° 이상의 각도에서는 점차적으로 각도

방향 지름이 증가하여 50° 에서는 가로:세로 지름비가 0.6 까지 낮아진 타원 형상을 얻었다. 각도 변수를 통해 이미지 왜곡이 각도 방향으로 생긴다는 사실을 확인 할 수 있었다.

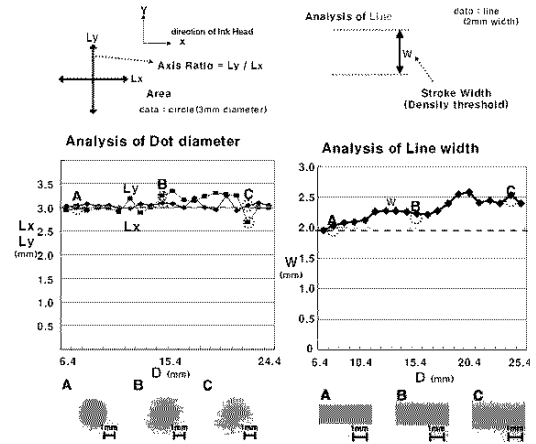


Fig. 5 Result of 3D printing for various distance

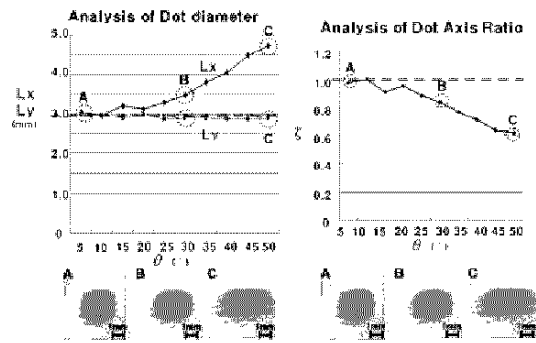


Fig. 6 Result of 3D Printing for various angle

3 차원 표면상에 인쇄된 이미지는 2 차원 입력 테이터의 투영된 이미지 결과물인 것이 수치적으로 계산되었다. 따라서 2 차원 입력 데이터를 보정해 줌으로써 3 차원 표면에서의 이미지를 왜곡 없이 인쇄하였으며 보정식은 Fig. 7 과 같고 인쇄 결과는 Fig. 8 과 같다. 보정식은 각도방향으로의 $\cos\theta$ 만큼의 좌표변환을 통해서 이루어짐을 알 수 있으며 그를 통한 인쇄 결과는 가로:세로 지름비가 0.9 - 1.0 사이의 값을 가질 정도로 정원에 가깝게 인쇄 결과를 얻었다.

4.3 보정된 이미지에 따른 3차원 인쇄

앞에서 보여진 보정식에 따라 글자를 인쇄하였다. 글자 'KAIST' 를 각도 시편에 인쇄하였다. 글

자 'K'의 크기는 높이 30 mm, 가로-세로비의 변화 없이 학교 로고 데이터를 이용하였다. 각도에 따라서 $\cos\theta$ 값을 적용하여 기울어진 시편에도 입력 데이터와 같은 높이 30 mm 글자를 인쇄하였다. 실험 결과 각도의 변화에도 이미지의 왜곡 없이 인쇄가 이루어짐을 확인 할 수 있었다. 단, 각도가 커질수록 거리가 멀어져 인쇄 밀도가 낮아지는 현상이 발생하였다. 실험 결과는 Fig. 9 와 같다.

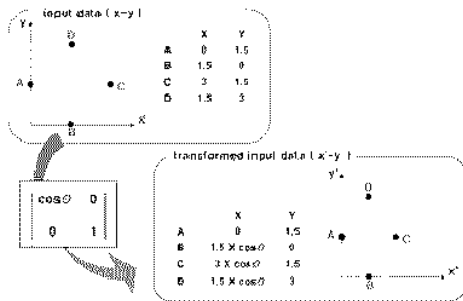


Fig. 7 transformation matrix

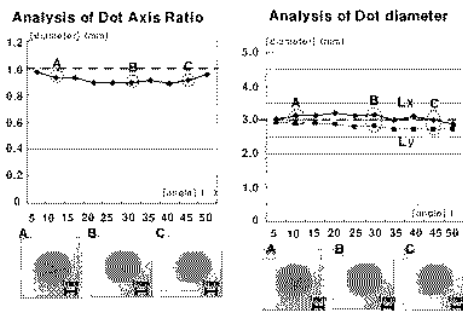


Fig. 8 result of transformed input data printing

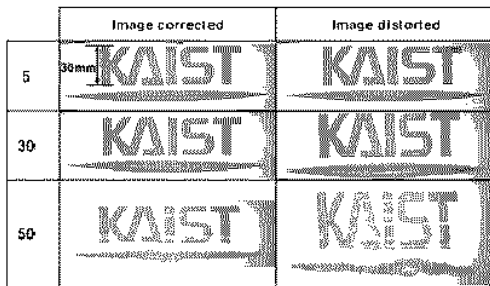


Fig. 9 Result of printing 'KAIST' on angled surface

6. 결론

본 연구에서는 2 차원 인쇄에 쓰이던 잉크젯 프린터 헤드를 이용하여 거리와 각도를 공정 변수로 두고 3 차원 표면에 인쇄 실험을 수행하였다. 노즐 표면간 거리가 10 mm 이내 일 경우, 정밀 인쇄가

가능함을 보였으며 그 이상의 간격을 가질 경우 퍼짐 현상에 의해 인쇄 품질이 급격히 떨어짐을 확인할 수 있었다. 각도가 주어진 경우에는 각도의 방향으로 이미지의 왜곡을 볼 수 있었다. 이것을 보정 하기 위하여 입력 이미지를 각도 방향의 변환식으로 수정하여 기울어진 3 차원 면에 왜곡되지 않은 이미지를 인쇄할 수 있었다.

향후에는 연속된 거리와 각도를 가진 곡률 시편을 이용하여 곡률 위의 인쇄 패턴에 관하여 연구를 수행해야 할 것이다.

참고문헌

1. 양동열, 손현기, “패속제품개발(RPD)을 위한 패속조형 기술의 최근 동향, “한국 정밀공학회지, 제 17 권, 제 10 호, pp. 5-10, 2000.
2. Kowalczyk, G E., & Trksak, R. M., “Image analysis of inkjet quality for multi use office paper” Tappi journal, Vol. 81, No. 10, pp. 181-190, 1998.
3. J. Tchan, R.C. Thompson, A. Manning “A computational model of print-quality perception”, Expert Systems with Application 17 pp. 243-256, 1999.
4. Dante, H. M., Basak, A.K. and Karles, G (1999), “Imaging and evaluation of droplet generation technologies for pigment based inks”, International Conference on Digital Printing Technologies, pp. 102-105, 1999.
5. Miroslav Friber “Seperation model of colour regions in a halftone print”. Computers & Graphics 27. pp. 801-806, 2003.
6. S. Daplyn, L. Lin “Evaluation of pigmented ink formulations for jet printing onto textile fabrics “, Pigment & Resin Technology, pp. 307-318, 2003.
7. Ian Gibson and Ling Wai Ming “Colour RP”, Rapid Prototyping journal, Vol. 7, No. 4, pp. 212-216, 2001.