

3 차원 곡면에 정밀 인쇄를 위한 공정 변수에 따른 이미지 보정에 관한 연구

송민섭*(한국전력기술㈜), 김효찬(한국과학기술원 기계공학과), 이상호(LG 생산기술원),
양동열(한국과학기술원 기계공학과)

A study of correction dependent on process parameters for printing on 3D surface

M. S. Song(Mechanical Eng. Group, KOPEC), H. C. Kim(Mechanical Eng. Dept., KAIST),
S. H. Lee(Production Eng. Center, LG), D. Y. Yang(Mechanical Eng. Dept., KAIST)

ABSTRACT

In the industry, three-dimensional coloring has been needed for realistic prototype from rapid prototyping. Z-corporation developed a 3D printer which provides three-dimensional colored prototype. However, the existing process cannot be adopted to models from other rapid prototyping process. In addition, time and cost for manufacturing colored prototype still remain to be improved. In this study, a new coloring process using ink-jet head is proposed for color printing on three-dimensional prototype surface. Process parameters such as the angle and the distance between ink-jet nozzle and the three-dimensional surface should be investigated from experiments. The correction matrix according to sloped angle to minimize the distortion of 2D image was proposed by analysis of printing error. Therefore, approximated method for angle and discrete length according to the radius of curvature for printing on the curved surface was proposed. By printing image on the doubly curved surface, the method was verified. As a practical example, helmet was chosen for printing images on the curved surface. The character images were applied with approximated method for angle and discrete length and was printed on the helmet surface.

Key Words : three-dimensional printing(3 차원 곡면 프린팅), coloring(채색), process parameter(공정변수), image correction(이미지 보정)

1. 서론

오늘날 쾌속조형기술이 도입되어 3 차원 형상조형 작업을 빠르게 할 수 있지만^[1], 실감 재현을 하는 데 있어서 한계를 가진다. 3 차원 형상 채색 기술이 개발되어 있지 않기 때문에 쾌속 조형 제작품의 색은 재료 자체의 색을 가지게 되며, 후처리 과정 속에서 조도를 위한 재료의 도포나 사상작업을 통해 색의 변질이 있을 수도 있다. 따라서 쾌속 조형 공정에서 실감 재현을 하기 위한 채색 공정의 개발이 필수적이다.

Z-corp. 사에서는 채색 기술의 한계가 있는 기존 쾌속 조형기술의 단점을 보완해주는 3D 프린터를 개발하였다. 하지만, 3D 프린터는 자체 제작된 시작품에만 채색을 적용 할 수 있는 공정이며 타 쾌속 조형 공정의 시작품에는 적용 할 수 없으며 고가의

재료와 장시간 채색으로 인해 3 차원 채색 기술로서의 한계를 지니고 있다^[4].

3 차원 인쇄에 있어서 실크 스크린이나 패드 프린터, 레이저 마킹기등의 기존 산업 기술들이 존재한다. 하지만, 기존 기술들은 트루 컬러를 재현하는데 한계가 존재하며 곡률에 대한 적응성이 매우 낮다.

기존 기술들이 가진 단점을 보완하는 잉크젯 프린팅 기술은 매우 값이 싸면서도 인쇄 하는 영역에 원하는 색을 분사함으로써 해서 트루 컬러를 재현 할 수 있는 특징과 장점이 있으며 표면에 대한 접근성도 뛰어나다^[2]. 잉크젯 프린팅 기술에 관한 측정이나 비중이 재료에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. S.Daplyn 은 종이가 아닌 직물 위에 잉크젯 인쇄를 통해서 인쇄 품질에 관한 연구를 하였고^[6], J.Tchan 은 CCD 카메라를 이용하여 인쇄 농도에

다른 인쇄물 측정에 관한 연구를 하였고^[3], Miroslav는 인쇄측정 시 문턱값을 제안하여 색 추출에 관한 연구를 하였다^[7].

잉크젯 프린팅 기술에 관한 연구는 매우 활발하지만, 2차원에 국한되어 있으며 3차원 프린팅에 대한 연구는 전무하다. 따라서, 본 연구에서는 잉크젯 프린팅 기술을 이용하여 공정변수 분석과 입력 이미지의 보정을 통하여 3차원 곡면에 정밀 인쇄를 하기 위한 곡률 반지름 별 단속거리를 제안하고 이중 곡률면에 대한 실험을 수행하였다. 이에 대한 개념도는 Fig. 1 과 같다.

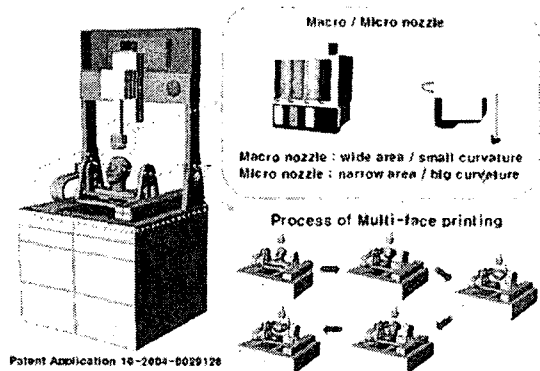


Fig. 1 Concept of 3D coloring

2. 공정변수 선정과 기초실험

2.1 공정 변수 선정

본 공정에서는 잉크젯 헤드를 이용하여 3차원 표면에 채색을 한다. 2차원 인쇄와는 달리 Z축이 추가됨으로 Fig. 2와 같이 잉크젯 노즐과 표면 사이에는 거리가 존재하고 표면의 곡률에 따른 3차원 표면의 각도가 존재하게 된다. 인쇄 이미지에 대하여 영향력을 가지는 거리와 각도에 대하여 공정 변수로 택하였다.

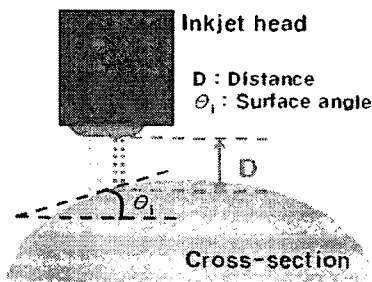


Fig. 2 Two variables of 3D coloring

2.2 거리 및 각도에 따른 실험 결과

노즐과 인쇄 표면간의 인쇄 적정 거리에 대해 실험을 수행하기 위하여 3 mm 지름을 가진 원(circle)을 거리변수 6 mm 에서 25 mm 시편에 실험을 실시한 결과 인쇄 적정 거리(D)는 10 mm 임을 확인할 수 있었다. 이때 정밀 인쇄의 기준은 사람이 25 cm(근점)에서의 육안 분해능인 60 μm 로 설정 하였다^[10].

각도 실험은 원 형태의 데이터로 각 5° 50 의 시편으로 실험을 실시하여 타원형태의 결과를 얻었다 각변화가 있는 X 축으로의 지름 변화에 따라 가로-세로 지름비가 정원(circle)일 경우 1 값을 가지지만 X 방향으로의 지름이 증가하여 가로-세로 지름비값도 선형적으로 감소함을 볼 수가 있었다. 50° 경사면에서는 가로-세로 지름비 값이 0.6 까지 감소함을 확인할 수가 있다.

2.3 왜곡된 이미지에 대한 보정식 제안

경사면에 대한 왜곡된 이미지의 결과는 인쇄 노즐로부터 분사되는 잉크 입자가 각도를 가진 표면에 투영되는 결과라고 예상할 수 있다. 위의 실험 결과 수치(L_x)와 기하학적인 관계에 의해 예상된 수치(G_x)를 비교한 결과 왜곡된 이미지의 길이(G_x)는 삼각함수의 관계를 이용하여 cosθ 값을 도입함으로 얻어졌으며 이미지 보정을 위해 제안된 식의 적용 과정은 Fig. 3 과 같고, 보정식은 (1)과 같다. 보정식으로 일반 캐드 상에서의 일차원 변환 매트릭스를 사용하였다.

$$\begin{bmatrix} X1 & Y1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U1 & V1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

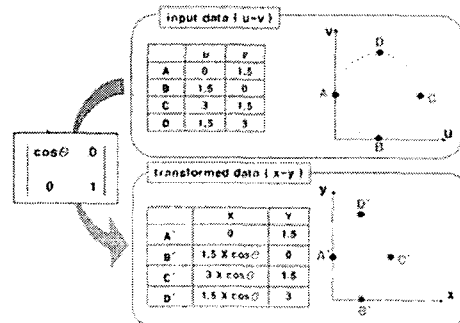


Fig. 3 Theoretical result of 3D printing on a sloped surface

3. 곡면 인쇄를 위한 단속거리 제안

3.1 단속거리 개념

일반 물체의 경우 곡률을 가진 면이 존재하기 때문에 곡률을 가진 시편을 제작하여 기초 실험을 실

시하였다. 시편은 곡률 반지름 15 mm 의 원 단면을 갖도록 제작하였다. 실험에서 노즐과 표면 사이의 거리는 6 mm 로 하였고, 실험 데이터는 제 2장에서와 같이 3 mm 지름의 사이언(cyan)색의 원을 X 축 1 mm 간격으로 인쇄를 실시하였다. 실험 결과를 보면 일방향 경사면에서의 결과와 매우 비슷한 경향을 가짐을 알 수 있다. Fig. 4 에서 볼 수 있는 것처럼 곡면의 직선 거리 근사화가 가능함을 알 수 있었다.

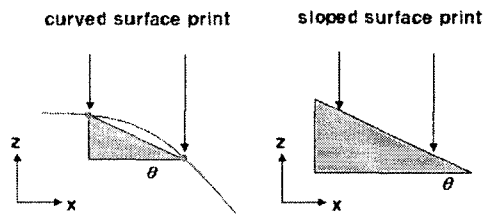


Fig. 4 The comparison of curved surface printing and sloped surface printing

곡면의 일정 거리를 직선거리로 근사화하여 인쇄를 할 경우 곡면 오차에 대하여 보정식을 적용시킬 수 있음을 예상하였다.

3.2 단속거리 방법에 대한 수학적 검증

실제 원주 길이와 근사화한 길이의 차이는 정밀 인쇄를 위한 기준인 0.06 mm 를 만족해야 한다. 그 이유는 실제 원주에 인쇄된 길이를 근사화한 길이로 가정하고 오차를 보정해야 하기 때문이다. Fig. 5 에서와 같이 근사된 길이와 원주길이의 차이를 계산할 수 있다. 또한 이 때 변수는 곡률 중심에서의 각도 Φ_d 와 곡률 반지름 r 이 되겠다.

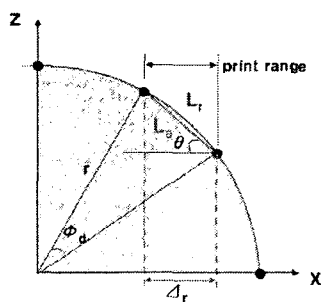


Fig. 5 Calculation of the circumference and the discrete length

정밀 인쇄 가능각 Φ_d 내에서 r 에 따른 단속거리 (Δr)는 Fig. 6 과 같다. Δr 은 L_a 를 X축(또는 Y축)으

로 투영 시킨 길이이다.

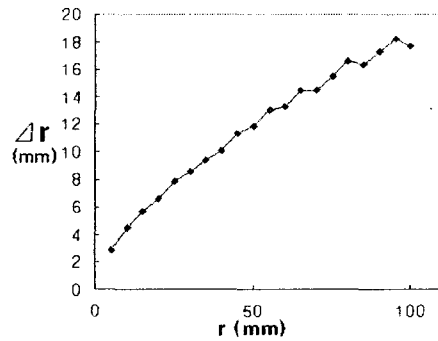


Fig. 6 Discrete lengths according to radius of curvature

4. 이중 곡률 면을 가진 형상에 보정 이미지 인쇄

본 장에서는 이중 곡률을 가진 실제품을 사용하여 일반 컬러 인쇄 이미지를 단속 거리 법을 적용하여 인쇄를 실시하였으며 실험에 사용된 이중곡률을 가진 헬멧 형상은 245 x 210 x 180 mm 이며 곡률 반지름은 100 120 mm 이다. 원본 이미지로써 가로 세로 80 mm, 100 mm 크기를 가진다. 보정된 데이터는 곡률 반지름에 따른 단속거리 17 mm 를 적용하여 이미지 노드를 30 개로 하고 보정을 실시하였다. 굽은선을 단속거리의 기준으로 하고 보정 해준 결과 상단부가 넓고 하단부가 좁은 보정 데이터가 생성되었다. 이유는 하단부의 양 끝단은 이중곡률의 영향으로 가장 많은 인쇄 왜곡이 일어나는 부분이기 때문이다. 원본 데이터와 보정 데이터는 Fig. 7 과 같다.

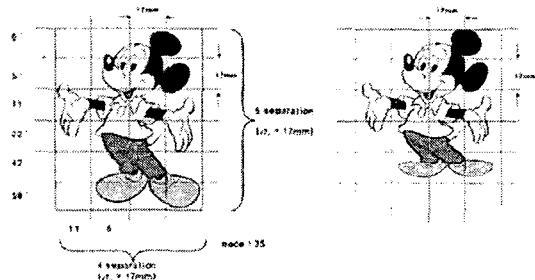


Fig. 7 Original image and corrected image of example Mickey Mouse?

인쇄된 각 데이터에서 각 위치에 따른 오차정규화 데이터를 나타낸 결과는 Fig. 8 과 같다.

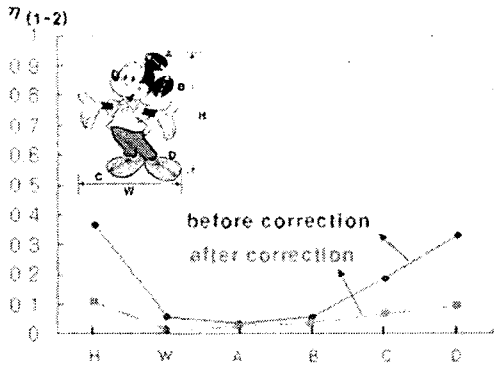


Fig. 8 The comparison of original image printing and corrected image printing

Fig. 8 의 오차 정규화 그래프에서 관찰할 수 있듯이 이미지 보정을 수행하였을 때 인쇄 오차가 상당히 감소함을 알 수 있다. 각 위치에 따른 오차 보정의 효과가 차이가 있음을 알 수 있는데 이는 인쇄된 면의 형상에 의해 나타난 결과임을 알 수 있다. A, B 부분의 인쇄영역의 형상은 거의 평면에 가까워 이미지 보정을 수행하지 않은 이미지와 오차의 차이가 거의 없으나 H, C, D 부분은 인쇄 형상의 표면의 거리와 각도가 매우 크기 때문에 이미지 보정에 의한 오차 감소 효과가 매우 큼을 알 수 있다.

이러한 결과를 통해 본 연구에서 3 차원 곡면에 정밀인쇄를 위해 제안한 이미지 보정식이 오차 감소의 효과가 있으며 인쇄면의 거리와 각도에 따라 그 효과가 극대화됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 3 차원 곡면에 정밀 인쇄를 하기 위하여 공정 변수 거리와 각도에 따른 실험을 통해 이미지 보정을 위한 실험식을 제안하였다. 이러한 보정식을 곡면에 적용하기 위해 곡률에 따른 단속 거리를 제안하였으며 제안된 개념을 수학적 방법과 실험적인 방법을 통해 검증하였다. 최종적으로 이중곡률을 가진 실제 제품인 헬멧의 표면에 보정된 이미지를 인쇄하고 오차를 분석함으로써 제안된 개념에 대한 검증을 수행하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

첫째, 3 차원 곡면에 선행 실험을 통해 제안된 보정식을 적용하기 위해 곡면을 최소단위의 직선 구간으로 나누는 단속거리 개념을 제안하였으며 이를 다양한 방법으로 검증을 수행하였다.

둘째, 본 연구에서 제안된 개념을 이중 곡률을 가진 실제 제품에 적용함으로써 타당성을 검증할

수 있었다.

참고문헌

1. H.Haneishi, N.Shimoyama, Y.Miyake, "Digital Halftoning for Colorimetric Color Reproduction," IS&T's 10th International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, pp.380-385, 1994.
2. Ping-Hei Chen, Wen-Cheng Chen, Pei-Pei Ding, S.H. Chang, "Droplet formation of a thermal sideshooter inkjet printhead," Journal of Heat and Fluid, Vol 19, pp. 382-390, 1998.
3. J.Tchan, R.C. Thompson, A. Manning, "A computational model of print-quality perception," Expert Systems with Applications, Vol 17, pp. 243-256, 1999.
4. Ian Gibson, Ling Wai Ming, "Colour RP," Rapid Prototyping Journal, Vol. 7, No. 4, pp. 212-216, 2001.
5. S. Elsayad, F. Morsy, S. El-Sherbiny, E. Abdou, "Some factors affecting ink transfer in gravure printing," Journal of Pigment and Resin Technology, Vol. 31, pp. 234-240, 2002.
6. S. Daplyn, L. Lin, "Evaluation of pigmented ink formulations for jet printing onto textile fabrics," Pigment & Resin Technology, Vol. 32, No. 5, pp. 307-318, 2003.
7. Miroslav Fribert, "Separation model of colour regions in a halftone print," Computers & Graphics, Vol. 27, pp. 801-806, 2003.
8. J. Luo, Z. Zhang, "Automatic colour printing inspection by image processing," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 139, pp. 373-378, 2003.
9. Martin Heule, Urs P. Schonholzer, Ludwig J. Gauckler, "Patterning colloidal suspensions by selective wetting of microcontact-printed surfaces," Journal of the European Ceramic Society, Vol. 24, pp. 2733-2739, 2004.
10. 장영애, 광학, 상학당, 1993.
11. 양동열, 손현기, "패속제품개발(RPD)을 위한 패속조형기술의 최근동향," 한국정밀공학회, 제 17 권, 제 10 호, pp. 5-10. 2000.