



DLP 3D 프린터를 위한 형태학적 영상처리를 이용한 서포터 생성 방법

이승목*, 김영형**, 임재권***

Support-generation Method Using the Morphological Image Processing for DLP 3D Printers

Seung-Mok Lee*, Young-Hyung Kim**, and Jae-Kwon Eem***

이 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

요 약

본 논문은 서포터 생성 기법으로 형태학적 기하학 연산을 대신하여 층 단면 영상에 형태학적 영상 처리를 적용함으로 서포터를 생성하는 방법을 제안하였다. 기하학적 연산 비용은 일반적으로 형태에 의존적이지만 본 방법은 영상 내의 형태에 무관하게 적용된다. 돌출부에 대한 외부 서포터 영역을 얻는 방법으로 2개의 층 단면 영상에 대한 형태학적 영상 처리 방법 및 처리 과정의 예를 보였다. 내부 서포터 영역에 대하여 하나의 층 단면으로부터 침식과 열림을 통해 얻는 과정을 나타내었다. 그리고 이러한 서포터 영역을 얻고 서포터 구조를 통한 서포터를 생성하였다. 이어서 제작한 DLP 프린터에 서포터 구조를 가진 조형물을 제작하였다. 또, 서포터 형태에 따라 조형되는 소재의 특성이 조형에 주는 변화를 통해 소재에 따른 개별적인 서포터 구조를 통한 서포터 생성 방법의 필요성을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes a method of support-generation using morphological image processing instead of geometric calculations. The geometric computational cost is dependent on the shape, but our method is independent on the shape. For obtaining the external support area for extrusion shape, we represents morphological operations between two sliced layer images and shows results of each operation stages. Internal support area is evaluated from erosion and opening operations with the sliced-layer image. In these support areas, the supporter image is generated using the designed support structures. Also, we made a DLP printer and the STL model included supporter-structure is printed by the DLP printer. We confirmed the necessity of support-generation method with the support structures individually dependent on materials by looking at the printed results.

Keywords

supporter, support-generation, DLP printer, morphological image processing, sliced layer image

* (주)포유

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3703-5998>

** 금오공과대학교 IT융합학과

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5708-854X>

*** 금오공과대학교 전자공학과(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8506-9434>

· Received: Aug. 31, 2017, Revised: Oct. 11, 2017, Accepted: Oct. 14, 2017

· Corresponding Author: Jae-Kwon Eem

Dept. of Electronics Engineering, Kumoh National Institute of Technology, 1 Yangho-dong, Gumi, Gyeongbuk, 730-701, Korea,

Tel.: +82-54-478-7428, Email: jkeem@kumoh.ac.kr

I. 서 론

최근 3D 프린팅으로 불리는 첨가식 제조방식(Additive Manufacturing)은 4차 산업이라는 새로운 산업의 한 부분으로 주목되고 있고 이에 대한 산업적 경쟁력이나 생산 시스템의 사업 모델에 대한 연구가 이루어지고 있다[1][2]. 또한 다양한 응용 분야에 대한 연구 및 생산 시스템에 통합하는 연구도 이루어지고 있다[3][4]. 이러한 3D 프린팅 기술은 광조형 기술인 SLA(Stereo-lithography Apparatus) 방식, FDM(Fused Deposition Modeling) 방식 및 SLS(Selective Laser Sintering) 등의 다양한 기술로 발전하였다. 그리고 등장한 먼 조형 방식인 DLP 방식은 DMD(Digital Micro-mirror Device) 장치의 개발에 의하여 2000년 이후에 등장하였고, 최근에는 회전 수조 블레이드를 이용한 특수 장치를 이용한 세라믹 조형 방식이나 수조의 노광 면에 대한 산소-역제 광중합 특성을 이용한 층별 계단 효과가 없는 CLIP(Continuous Liquid Interface Production) 방식 등이 새롭게 등장하고 있다[5][6].

이러한 3D 프린팅에 있어서 조형 형상에 따른 붕괴, 이동과 같은 변형이나 프린팅 효율 향상을 위해 서포터를 이용한다. 서포터 구조는 돌출 구조물에 대한 외부 서포터 구조나 내부 공간을 위한 내부 서포터 구조로 나누어진다. 3D 프린팅의 중요한 요소로써 슬라이스 그룹화, OBB(Oriental Bounding Box), 오프셋 및 이진연산을 이용하여 서포터를 생성하는 방법, 삼각형 기반의 이상 마킹 지원 알고리즘이나 형태학적 연산을 이용하여 외부 경사각 및 벽 두께를 이용하여 외부 및 내부 서포터 영역을 얻어서 서포터 구조를 생성하는 방법 등의 서포터 생성에 관한 연구도 지속적으로 이어지고 있다[7]-[9].

본 논문에서는 조형 형상의 층 단면 영상을 기반으로 조형하는 DLP 방식의 3D 프린터를 위한 형태학적 영상처리를 이용한 서포터 영역을 얻는 방법을 제안하고자 한다. 층 단면 영상을 이용한 형태적 영상처리 기법을 이용하여 서포터 영역을 얻고 이러한 서포터 영역과 서포터 구조의 영상 병합을 통하여 조형하는 방법이다. 이러한 제안된 방법을 적

용한 간단한 서포터 구조를 이용하여 조형 특성을 확인하였다. 2장에서는 형태적 영상 처리 방법을 간략히 기술하고 3장에서는 형태적 영상처리 기법을 이용한 서포터 생성 방법에 대하여 나타내었다. 4장에서는 자체 제작한 DLP 방식의 프린터를 이용하여 실제 조형 실험을 수행하고 생성된 조형품을 통하여 제안된 알고리즘에 대한 조형 결과를 확인하였다. 마지막으로 5장에서는 제안된 알고리즘의 성능에 대한 결론 및 앞으로의 연구 과제를 나타내었다.

II. 형태학적 영상 처리

본 연구에서 이용되는 DLP 방식의 3D 프린터는 조형 형상을 나눈 조형 층 단면 영상으로 구성되고 먼 영상은 이진 영상의 형태를 가지고 있다. 이러한 특징을 이용하여 형태학적 영상처리를 통하여 서포터를 생성할 수 있다.

우선 형태학적 영상처리는 집합론으로부터 온 개념으로 영상을 집합으로 보고 이를 활용하는 것으로 다양한 분야에 적용되고 있다[10][11]. 우선 서포터 생성을 위하여 기본적으로 사용하는 것은 집합 A 와 B 의 차집합은

$$A - B = \{w | w \in A, w \notin B\} \quad (1)$$

이러한 특성을 이용하여 형태학적 영상처리 기법이 있으며, $A, B \subset Z^2$ 이고 B 에 의한 A 의 팽창(Dilation)과 침식(Erosion) 연산은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} A \oplus B &= \{z | (\hat{B})_z \cup A = \emptyset\} \\ A \ominus B &= \{z | (B)_z \subseteq A \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $\hat{B} = \{w | w = -b, \text{ for } b \in B\}$ 이고, $(B)_z = \{w | w = b + z, \text{ for } b \in B\}$ 이다. 그리고 이를 이용한 열림(Opening) 및 닫힘(Closing) 연산으로 아래와 같이 팽창과 침식 연산을 이용한다.

$$\begin{aligned} A \circ B &= (A \ominus B) \oplus B \\ A \bullet B &= (A \oplus B) \ominus B \end{aligned} \quad (3)$$

조형 형상의 층별 영상에 대하여 상단에서부터 하단으로 진행하여 차집합을 생성하면 기본적으로 서포트 영역을 구성할 수 있다. 그리고 층간 높이에 대하여 경사각(Inclination Angle) θ 는 층간 두께 h 에 대한 영상의 경계 변화 폭 d 을 이용하여 식 (4)와 같이 계산되어진다.

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{h}{d}\right) \quad (4)$$

우리는 여기서 경계 변화 폭을 이용하여 경사각에 따른 서포터 유지 방법은 식 (5)와 같이 표현되어질 수 있다.

$$\begin{aligned} D &= S_n - S_{n-1} \\ \bar{D} &= D \circ B_d = (D \ominus B_d) \oplus B_d \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 D 는 영상간의 차이를 의미하고, \bar{D} 는 외부 서포터 영역을 나타낸다. S_n 은 n 번째 층의 면 영상 집합이며, B_d 는 경사각 처리를 위한 층 두께에 대한 경계 변화 폭에 대한 필터 요소로서 경계 침식 및 팽창 처리를 통해 서포터가 필요하지 않는 경계 폭에 대한 서포터 영역을 제거하게 된다.

그리고 내부 서포터 영역의 경우, 층 단면 영상으로 침식을 통해 내부 영역은 쉽게 얻을 수 있다. 그리고 열림 처리를 통하여 충분하지 못한 면적에 대한 내부 영역 배제 또한 쉽게 이루어진다. 또한 층 별 두께에 대한 외벽을 위하여 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{S}_n &= S_n \ominus B_t \\ \bar{S}_n &= \hat{S}_n \circ B_A = (\hat{S}_n \ominus B_A) \oplus B_A \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 \hat{S}_n 은 n 층 내부 서포터 영역이고 B_t 는 내부 서포터를 위한 두께 t 의 외벽을 의미하는 요소이다. 그리고 \bar{S}_n 은 외벽 두께 d 를 고려한 층 범위의 영상의 연산이 포함된 n 층 내부 영역을 의미하고, B_A 는 제거할 최소 폭 영역의 면적 요소 필터를 나타낸다.

형태학적 영상처리 기법을 통하여 DLP 방식의

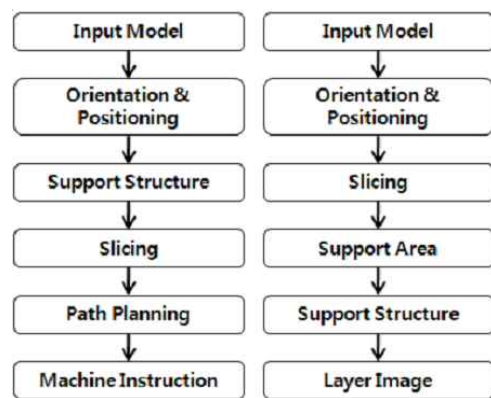
면 영상을 이용한 서포터 생성 방법에 대한 기본적인 연산 방법을 식 (5)와 식 (6)에 나타내었다.

III. 제안된 서포터 생성 알고리즘

3D 프린팅은 기계 가공의 한 부분으로 첨가식 가공으로 기계적 툴의 경로를 제어하는 방식으로 조형하는 방식에 원리를 두고 있기 때문에 3차원 모델로부터 온 것으로 기하학적 접근을 통하여 처리하고 있으면 그림 1(a)와 같은 방식의 과정을 통해 일반적으로 진행되고 있다. 반면 제안하고자 하는 방법은 슬라이스를 통해 층 단면 영상을 구한 후 이를 이용하는 방법으로 그림 1(b)에 나타난 과정을 통해 진행 될 수 있다. 그리고 제안된 방법은 DLP 방식의 3D 프린팅에 초점이 맞춰짐으로 마지막 단계에서 약간의 차이를 가진다.

기존의 형태학적 연산을 이용하여 기하 구조에 기반해 적용하는 것에 비해 영상을 기반으로 이용하는 경우, DLP 방식의 프린팅은 형태학적 영상처리에 기반한 방법을 직접 이용할 수 있으므로 이를 이용한 알고리즘을 제안하였다[9].

제안한 서포터 생성 방법은 연산 과정의 차이를 제외하면 전체적인 진행 과정의 흐름은 일반적인 서포터 생성 흐름을 따른다. 상층에서부터 하층으로 층 간 연산을 통하여 서포터 영역을 추출하면서 진행하게 된다.



(a) 기존 방법 (b) 제안 방법

그림 1. 3D 프린팅의 공정 계획

Fig. 1. Process planning of 3D printing,

(a) Conventional method, (b) Proposed method

그림 2는 이를 나타낸 것으로 STL 모델을 분할할 층 두께에 따라 층 단면 슬라이스 이미지로 나누어지고 이를 이용하여 상층에서 하층으로 진행하면서 식 (5)에 의하여 외부 돌출부에 대한 외부 서포터 영역을 추출하게 된다. 마찬가지로 식 (6)에 의하여 내부 서포터 영역을 추출하게 된다. 이렇게 추출된 외부 서포터 영역과 내부 서포터 영역은 각각의 서포터 구조에 대한 영상을 생성함으로써 슬라이스 영상과 합치는 과정을 거치고 이에 통하여 층 단면 조형 면 영상을 얻게 된다.

그림 2의 과정을 통해 서포터 영역을 얻고 이에 대한 적용을 위해 서포터 구조를 생성하였다. 이는 3D 프린팅 방법 및 프린팅 소재에 따른 조형 특성을 고려하기 위한 것이다. DLP 방식에서 소재의 점성과 서포터 구조의 조밀성에 따라 서포터 조형의 문제점이 발생하므로 이를 해결하기 위하여 적절한 구조를 서포터 영역에 대해 적용함으로써 이를 보완할 수 있다.

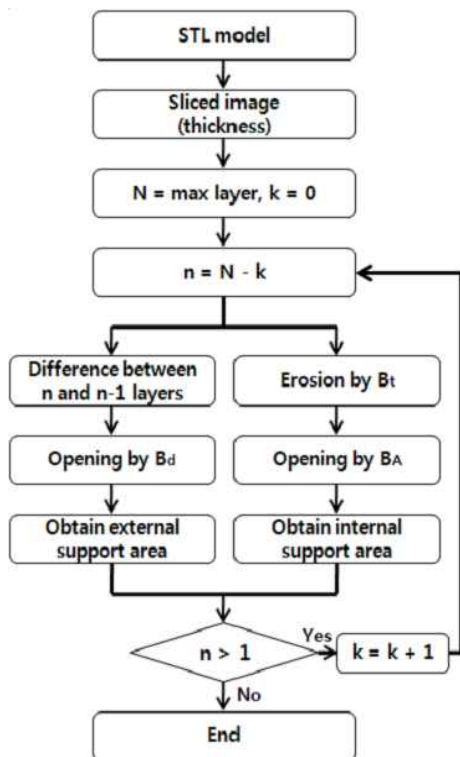


그림 2. 제안된 서포터 생성 알고리즘의 흐름도
Fig. 2. Flowchart of proposed support-generation

IV. 실험 및 고찰

형태학적 영상처리를 사용함으로써 서포터 영역을 얻을 수 있음을 앞서 언급하였다. 그림 3은 이러한 층 별 서포터 영역을 얻기 위한 연산의 예를 보여주기 위하여 간단한 형태로 설계되었다. 그림 3(a)는 이러한 전체적인 조형 형상에 대한 STL 모델을 나타내었고 이에 대하여 외부 서포터 생성을 위한 2개의 층 단면을 그림 2(b)에서 볼 수 있다. 그리고 그림 2(c)는 내부 서포터 영역 연산을 위한 층 단면이다.

그림 4는 이러한 층 단면을 영상으로 나타낸 것으로 그림 3(a)에 나타낸 외부 서포터를 위한 2개의 층 단면은 그림 4(a)에 위쪽 단면 영상과 아래쪽 단면 영상을 나타내었다. 그리고 내부 서포터를 위한 그림 3(b)에 표시된 층 단면에 대한 영상은 그림 4(b)에 나타낸다.

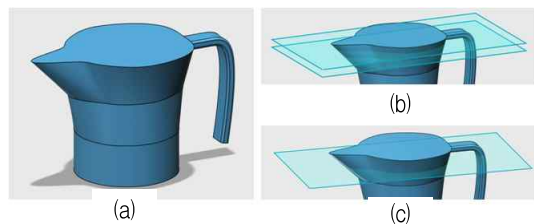


그림 3. 서포터 생성을 위한 예시, (a) STL 모델, (b) 외부 서포터 생성을 위한 층 평면들 및 (c) 내부 서포터 생성을 위한 층 평면들

Fig. 3. Example for support-generation, (a) STL model, (b) Layer-planes for external support-generation and (c) Layer-planes for internal support-generation

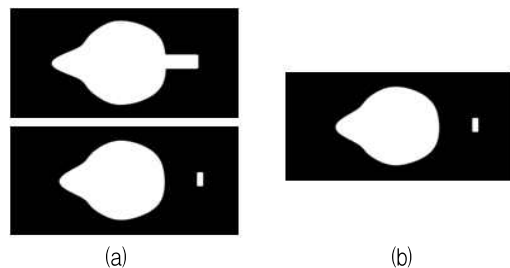


그림 4. 슬라이스된 단면 영상들, (a) 외부 서포터 생성을 위한 단면 영상, (b) 내부 서포터 생성을 위한 단면 영상
Fig. 4. Sliced layer images, (a) Layer-plane images for external support-generation (b) Layer-plane images for internal support-generation

내부 및 외부 서포터 영역을 얻기 위한 형태학적 영상처리를 그림 4에 표시한 영상에 대하여 적용하면 식 (4)에 의해 원하는 경사각에 맞게 필터 요소인 B_d 를 반지름 d 를 가지는 원형으로 결정한다.

외부 서포터 영역을 구하기 위하여 식 (5)에 나타난 연산 과정을 수행하며, 그림 5는 그림 4에 나타난 연속적인 층인 $n, n-1$ 층에 대한 형태학적 영상처리 과정을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 두 층 단면 영상 간의 차를 나타낸 것으로 경사각에 대해 경계의 폭 차이를 나타낸 것이다. 그림 5(b)는 그림 5(a)에 대한 침식 연산의 결과이고 그림 5(b)는 그림 5(a)에 대한 열림 연산의 결과를 보인 것이다.

그림 6은 내부 서포터 영역을 얻는 과정을 나타낸 것으로 식 (6)의 과정을 따른다. 그림 6(a)는 그림 4(a)로 단면 영상을 나타내었고 그림 6(b)는 이에 대하여 두께에 대한 필터 요소(B_t)에 의해 침식된 결과이다. 그리고 그림 6(c)는 내부지지 구조의 기본적인 면적을 고려하기 위한 필터 요소(B_A)에 의해 열림 처리한 결과로 설계 모델의 손잡이에 해당 하는 영역이 제거된 것을 알 수 있다.

제안된 방법의 서포터 생성을 통해 조형품을 제작하기 위하여 제작된 시스템은 그림 6에 나타내었다. 시스템의 구조는 PDMS 코팅된 수조, 리코터 블레이드, 조형판, DLP 투사기와 운용 시스템으로 구성된다. 조형 과정은 수조의 소재 평탄화를 위한 리코팅, 조형 판의 조형 위치 이동, 조형 면 영상의 조사 및 조형품을 수조로부터 이격하여 위치 상승으로 이루어진다. 그리고 조형이 완료될 때까지 이를 반복하게 된다.

제작된 시스템에 2~12mm 외경 출력을 실험하였고, 이에 대한 3초 노출을 통한 경화에 있어서 외경의 과성장은 평균적으로 0.40mm이다. 외부 영역에 대하여 간단한 구조인 기둥 구조물을 통하여 프린팅 실험을 수행하였다. 기둥의 형태에 대해 3가지 방식으로 진행되었다. 우선 상단의 출력물은 10 x 10 화소면적을 가진 사각 기둥으로 소재의 점성에 의해 서포터 간의 공간에 침투된 소재의 경화가 두드러지게 나타났다. 중간의 출력물은 10 화소의 지름을 가진 원기둥을 서포터 구조로 사용하였고 약간의 서포터 사이에 침투된 소재 경화가 있지만 출력물이 잘 출력되었다.

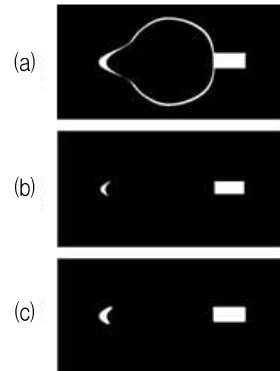


그림 5. 외부 서포터 영역에 대한 연산 과정, (a) 영상차, (b) 침식, (c) 열림
Fig. 5. Operations in external support-generation, (a) Difference, (b) Erosion, (c) Opening

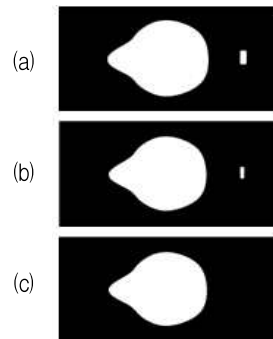


그림 6. 내부 서포터 영역의 연산 과정, (a) 단면 영상, (b) 침식, (c) 열림
Fig. 6. Operations in internal support-generation, (a) Difference, (b) Erosion, (c) Opening

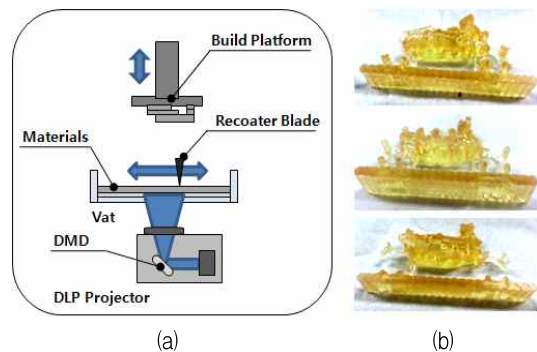


그림 7. DLP 3D 프린팅 시스템과 출력물
Fig. 7. DLP 3D printing system and results

마지막으로 하단의 출력물은 6x6 화소면적의 사각 기둥을 사용한 것으로 서포터의 면적이 작음으로 배치된 서포터 사이에 침투된 소재의 경화 현상

및 출력물이 형성되지 않는 부분이 있다.

소재의 특성이나 프린터의 특성에 맞게 서포터 구조를 설계하여 그림 2에 제안된 서포터 영역으로부터 적용할 서포터를 생성할 필요가 있음을 실험을 통해 확인하였다.

V. 결 론

본 논문은 STL 모델에 대한 기하학적 관점의 형태학적 접근에 대하여 단면 영상을 이용하여 형태학적 영상처리를 통한 서포터 영역을 얻는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 적용하여 제작한 프린터를 이용하여 서포터 구조의 적용하여 레진 소재에 대한 서포터 조형 실험을 수행하였다. 그리고 실험을 통해 서포터 구조의 적용 필요성을 확인하였다.

DLP 방식의 3D 프린팅은 면 조사를 이용하는 방식이므로 제안된 형태학적 영상처리를 이용한 방법은 이에 직접 이용될 수 있다. 그리고 제안된 알고리즘이 기하학적 연산에 비해 연산 과정이 간단하다. 또한 형태의 복잡성에 따라 연산 비용이 증가하는 기하학적 연산에 비하여 제안된 방법의 연산 비용은 면 영상에 나타나는 형태에 무관하다.

간단한 서포터 구조를 적용한 실험을 통해 다양한 소재를 지원하는 서포터 구조를 설계하는 방법은 어려워 보이며, 향후 소재의 개발에 따라 특정 소재에 맞게 연구되어야 할 것이다.

References

- [1] S. Ford and M. Despeisse, "Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 137, pp. 1573-1587, Nov. 2016.
- [2] M. Bogers, R. Hadar, and A. Bilberg, "Additive manufacturing for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing", *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 102, pp. 225-239, Jan. 2016.
- [3] S. Lee, U. Choi, Y. Kim, S. Kim, and J. Eem, "Implementation of a Coffee Drip-machine with Dual Water Heaters using G-code Based Drip Method through 3D Printer Platform", *Journl of KIIT*, Vol. 14, No. 12, pp. 171-177, Dec. 2016.
- [4] E. Asadollahi-Yazdi, J. Gardan, and P. Lafon, "Integrated Design in Additive Manufacturing Based on Design for Manufacturing", *Int'l Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, Vol. 10, No. 6, pp. 1104-1111, Jun. 2016.
- [5] G. Mitteramskogler, R. Gmeiner, R. Felzmann, S. Gruber, C. Hofstetter, J. Stampfl, J. Ebert, W. Wachter, and J. Laubersheimer, "Light curing strategies for lithography-based additive manufacturing of customized ceramics", *Additive Manufacturing*, Vol. 1-4, pp. 110-118, Oct. 2014.
- [6] R. Januszewicz, J. R. Tumbleston, A. L. Quintanilla, S. J. Mecham, and J. M. DeSimone, "Layerless fabrication with continuous liquid interface production", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 113, No. 42, pp. 11703-11708, Oct. 2016.
- [7] X. Huang, C. Ye, J. Mo, and H. Liu, "Slice Data Based Support Generation Algorithm for Fused Deposition Modeling", *Tsinghua Science & Technology*, Vol. 14, No. S1, pp. 223-228, Jun. 2009.
- [8] B. Qian, L. Zhang, Y. Shi, and G. Liu, "Support Fast Generation Algorithm Based on Discrete Marking in Rapid Prototyping", *Affective Computing and Intelligent Interaction*, Vol. 137, pp. 683-695, Feb. 2012.
- [9] Y. Jin, Y. He, and J. Fu, "Support generation for additive manufacturing based on sliced data", *The Int'l Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 80, No. 9-12, pp. 2041-2052, Oct. 2015.
- [10] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing", 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc., New Jersey, pp.

627-639, 2008.

- [11] J. Kim and Y. Kim, "Context-Awareness of Motion Object Using Skeleton Algorithm", Journal of KIIT, Vol. 13, No. 9, pp. 75-80, Sep. 2015.

저자소개

이 승 목 (Seung-Mok Lee)



1996년 2월 : 금오공과대학교
전자공학과(공학사)
1998년 2월 : 금오공과대학교
대학원 전자공학과(공학석사)
2016년 2월 : 금오공과대학교
대학원 전자공학과 (공학박사)
2016년 4월 ~ 현재 : (주) 포유

연구소장

관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 임베디드, 자동화

김 영 형 (Young-Hyung Kim)



1992년 2월 : 금오공과대학교
전자공학과(공학사)
1996년 2월 : 금오공과대학교
대학원 산업경영학과(경영학석사)
2010년 2월 : 금오공과대학교
대학원 산업경영학과(경영학박사)
2014년 ~ 현재 : 금오공과대학교

IT융합학과 교수

2016년 ~ 2017년 : 3D 프린팅 산업협회장

관심분야 : 산업조직, HRD, 리더십, 3D 프린팅

임 재 권 (Jae-Kwon Eem)



1977년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1979년 2월 : 경북대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1991년 5월 : 미국 Texas A&M 대
전기및전자공학과(공학박사)
1979년 ~ 1986년 : 국방과학연구소

선임연구원

1991년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수

2010년 ~ 현재 : 금오공과대학교 DTV연구소 소장

관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 칼라재현