

3D프린터 활용의 열쇠가 되는 복셀 베이스 (voxel-base)의 데이터 포맷 「FAV」

후지이 마사히코(藤井雅彦)*

머리말

3D프린터 즉 재료를 부가함으로써 입체물을 조형하는 기술은 Additive Manufacturing이라고도 불리며 현재 7가지 방식이 ISO/ASTM 표준에서 분류되어 있다¹⁾. 7가지 방식에 속하지 않은 새로운 방식도 제안되어 실용화되고 있으나 대부분의 방식은 층을 순차적으로 적층함으로써 입체물을 조형하는 과정을 채택하고 있다. 이 때문에 입체물의 외형형상뿐만 아니라 사출성형이나 절삭가공에서는 어려웠던 복잡한 내부구조 실현이 가능해졌다. 또 재료의 혼합에 따라 부분적으로 경도를 조절할 수 있는 프린터나 조형물의 표면이나 내부의 컬러화가 가능한 제품도 도입되고 있다.

한편 3D프린터용 데이터포맷으로서 표준적으로 사용되는 STL^{*1}은 1988년 3D Systems에서 3D CAD용으로 제안된 것이다. STL은 폴리곤(polygon)이라고 불리는 삼각형이며 입체물의 외형을 근사(近似)하는 것으로, 복잡한 내부구조를 표현할 수 없을 뿐만 아니라 재료정보나 색채정보를 보유하고 있지 않다. STL 제안당시는 설계된 3D데이터를 최종가공용 데이터로 사

용했다고 해도 단색, 단일재료, 외형만 가공할 수 있는 절삭이나 사출성형에서는 문제가 없었다. 그러나 복잡한 내부구조 실현 등 성능이 진화된 현재의 3D프린터 기능을 그대로 활용할 수 있는 데이터형식이 아니라 3D프린터 능력을 살리는 출력(조형물)을 얻기 위한 과정은 복잡한 것이었다.

이 때문에 최근 3MF^{*2}, AMF^{*3}와 같은 새로운 데이터포맷이 제안되고 있다. 3MF 및 AMF는 내부의 색채나 재료정보는 표면정보에서 연산에 의해 부여할 수 있지만 구조내부에 독자적으로 정보를 갖게 할 수는 없다. 또 STL과 마찬가지로 외형을 폴리곤으로 근사하는 것이므로 복잡한 내부구조를 표현하기는 어렵다.

본고에서는 후지제록스와 게이오기주쿠대학이 공동개발해서 2016년에 제안한 새로운 복셀 베이스 3D데이터포맷 FAV^{*4}의 해설 및 FAV에 의한 3D데이터 워크플로상의 과제해결과 새로운

가능성을 소개한다.

1. 복셀에 의한 3D표현과 FAV포맷

복셀(Voxel)이란 입체물(3차원모델)을 구성하는 기본요소이며 <그림 1>, 2차원화상에서 사용되는 픽셀(Pixel)과 Volume을 합친 조어이다.

<그림 2>에 지금까지 STL 및 복셀에 의해 표현된 입체물(토끼)을 제시한다. STL에서는 삼각형 폴리곤에 의해 외형만을 근사 표현하는데 반해 복셀은 외형뿐만 아니라 내부구조도 쉽게 표현 가능하다. 각 복셀에 색채정보나 재료정보를 보유하게 하면 3D프린터로 직접 이런 정보를 참조해서 조형할 수 있다. 3D데이터포맷 FAV는 상술한 복셀 베이스의 데이터포맷이며 각 복셀에 재료, 색채 외의 정보도 보유할 수 있고 입체물의 높은 표현력을 가지고 있다. <그림 3> FAV에서는 입체물 정보는 <그림 4>에서 보듯이 XML구조에 의

• 용어해설

- *1 STL
Stereolithography의 줄임말
- *2 3MF
3D Manufacturing Format의 줄임말
- *3 AMF
Additive Manufacturing File Format의 줄임말 2011에 ver.1.0이 책정되었다.
- *4 FAV
Fabricatable Voxel의 줄임말 ver.1.1a

가 아래에 공개되어 있다. 2019년에 JIS에 규정될 예정. www.fujixerox.co.jp/company/technical/communication/3d/fav.html

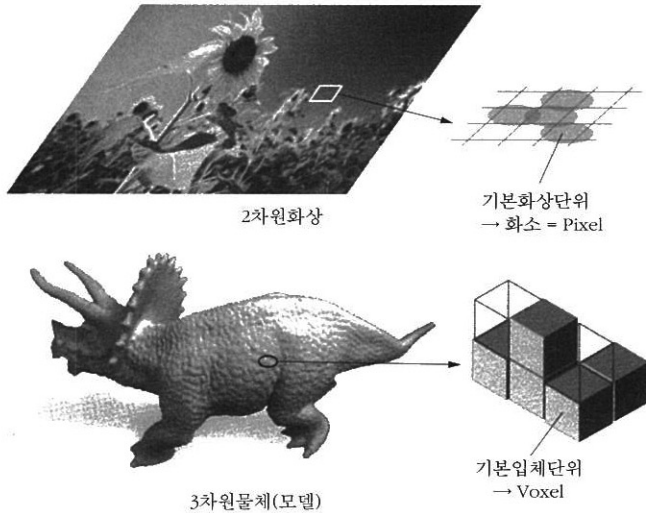
*5 DICOM
Digital Imaging and COmmunication in Medicine의 줄임말. CT, MRI 등으로 촬영된 의료용 화상용 포맷.

※ Masahiko Fujii
Fujixerox(주) 연구기술개발본부
Tel.080-1368-7999
Fax.046-237-1643

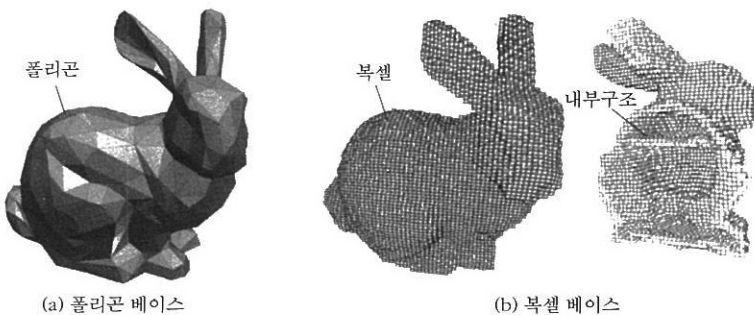
해 관리된다³⁾. 이하 FAV에서의 입체물 표현정보 및 XML구조의 각 요소를 연결시켜서 설명한다.

〈metadata〉에는 제목이나 데이터 작성자 정보 등을 기재한다. 〈palette〉에는 3D모델데이터를 FAV포맷을 기반

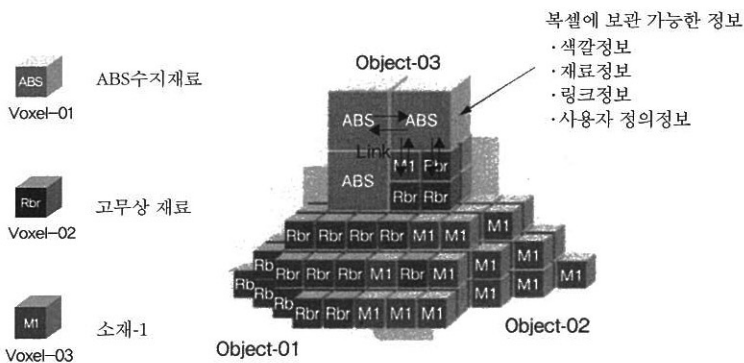
으로 구성하기 위한 준비로서 사용하는 각 복셀의 형상 및 재료 등 기본정보를 등록한다. 〈geometry〉에서는 복셀의 형상 및 배율을 정의하지만 복셀로서 〈그림 1, 2, 3〉에 제시한 입방체뿐만 아니라 원기둥이나 구형 등 다양한 형태, 크기를 사용할 수 있다. 그리고 사용자가 3D프린터 방식이나 용도에 따라 독자적으로 복셀 형상이나 크기를 외부파일로 정의하고, 〈shape〉이하의 〈reference〉에서 참조하는 것도 가능하다. 복셀의 재료정보는 〈material〉로 관리하지만 제품명이나 각종 표준에 등



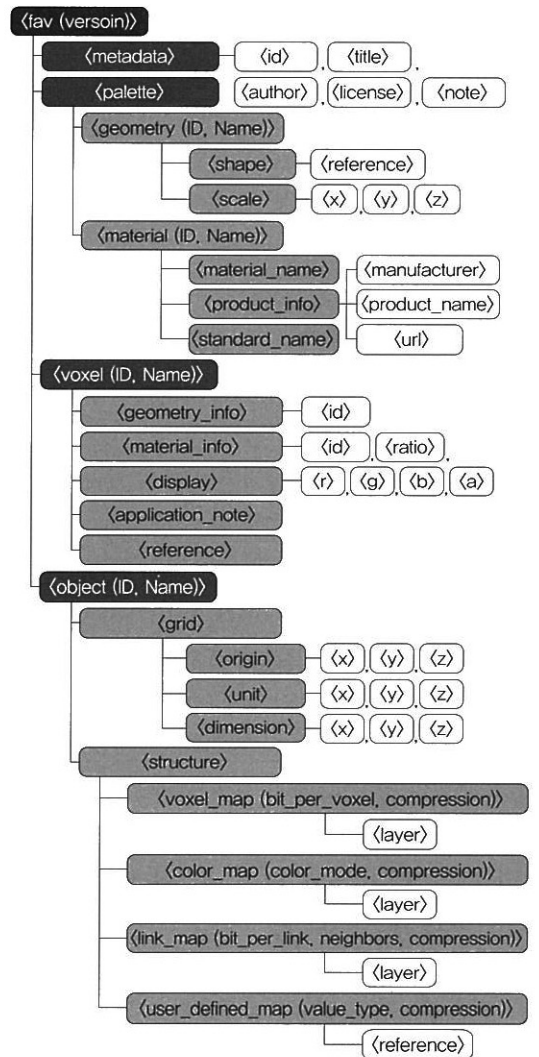
〈그림 1〉 Pixel과 Voxel



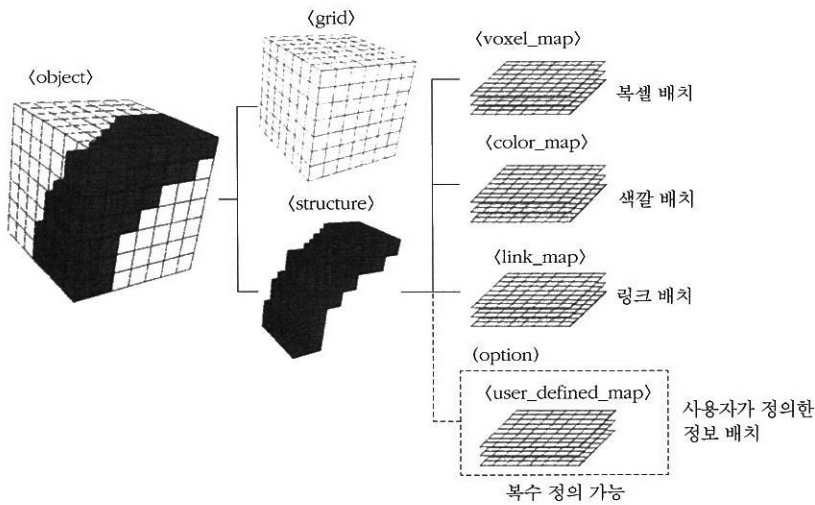
〈그림 2〉 폴리곤과 복셀에 의한 입체물의 표현



〈그림 3〉 FAV에 의한 입체물의 표현²⁾



〈그림 4〉 FAV 파일구성³⁾



〈그림 5〉 입체모델의 각종 정보의 표현³⁾

록된 이름뿐만 아니라 물리특성을 기술할 수도 있다.

〈voxel〉에서는 실제로 입체구조를 표현하기 위한 복셀에, 〈palette〉에 등록된 복셀의 형상 및 축척 또는 재료정보(혼합비율)를 할당하고 정의하여 관리한다. 〈display〉는 복셀을(예를 들면 디스플레이로) 가시화할 때의 색깔 정보이며, 조형할 때의 색깔은 〈color_map〉에서 기술된다. 외부의 FAV파일을 〈reference〉에서 지정함으로써 임의의 복셀 집합을 1복셀로 사용할 수도 있다. 〈voxel〉의 (id)에 “0”을 지정하면 빈 셀을 예약(정의)할 수도 있다. 복셀 배치를 정의하는 〈voxel_map〉에서 0을 지정함으로써 복셀이 존재하지 않는 셀을 표현할 수 있지만 이 경우 편집에 의해 셀에 새로운 복셀 형성이 가능해진다. 그러나 예를 들면 입체물 조형 후에 이 셀에 뭔가를 충전하기 위해 비워둘 필요가 있는 경우, 예약에 따른 빈 셀을 이용할 수 있다.

〈object〉는 복셀이나 다양한 정보의 입체배치를 기술하는 요소이다. 〈그림 5〉³⁾ 정의된 복셀 배치를 〈voxel_map〉

에서 기술함으로써 입체구조가 표현이 되어 〈color_map〉에서 복셀 할당 색채 분포를 기술한다. 또 근방(6근방/18근방/26근방) 복셀 간의 관계를 나타내는 링크 정보도 보유할 수 있고 그 배치를 〈link_map〉에서 기술한다.

링크활용으로서 예를 들면 조형의 순서(툴패스)나 재료물성의 이방성 등을 정보로서 갖게 하는 것을 들 수 있다. 적층해서 조형하는 3D프린터로 만들어진 입체물은 강도의 이방성을 가진 것이 많다. 예를 들어 링크에 복셀 간의 접합강도를 유지하면 조형물의 물리강도 예측(시뮬레이션)에도 효과적이다. 사용자가 독자적으로 정의한(복수의) 특성(속성)을 〈user_defined_map〉로 각 복셀에 할당할 수도 있다. 또한 FAV의 좌표 단위는 mm를 사용하여 1mm당의 복셀 수(해상도)를 vpm(voxl/mm)으로 표시한다.

2. 복셀 베이스 데이터의 효용과 활용

복셀 베이스의 3D포맷을 입체물의 표현에 이용함으로써 상술한 바와 같

이 진화된 3D프린터 능력을 직접 활용해 입체물을 조형할 뿐 아니라 다음과 같은 효과도 기대된다.

2.1 3D데이터 플로우 정류화

현재 많은 3D데이터는 3D CAD에서 작성되고 있다. CAD에서 작성된 3D데이터를 STL로 변환할 때 폴리곤이 빠지거나 중복되는 오류가 발생할 수 있으며 3D프린터로 조형하기 전에 이 오류를 복구해야 한다. 이러한 오류를 자동으로 수복하는 소프트웨어도 있지만 세세한 오류는 수작업으로 수복하는 일도 있어 시간이 걸린다. CAD로부터의 출력을 직접 복셀로 변환하면 3D표현의 데이터 에러는 쉽게 발생하지 않는다.

그리고 한번 STL로 변환하면 STL형식 그대로 형태를 변경하거나 다른 3D데이터와 합치는 등의 편집이 매우 어려워진다. 복셀로 표현되어 있으면 복셀의 덧셈, 뺄셈, 또는 곱셈 등 이른바 불 연산(Boolean operations)이 가능하고 편집 작업을 용이하게 할 수 있다. 이는 3D프린터가 잘하는 소량 다품종에 필요한 3D데이터의 주문 제작이 쉬워진다는 것이다.

2.2 시뮬레이션과 디자인의 경계배제

CAD에서 디자인한 형상이 3D프린터로 조형되고 그것이 사용조건 하에서 어떤 변형과 파괴가 발생하는지를 시뮬레이션에서 확인할 수 있으면 3D프린터로 조형하기 전에 최적의 디자인을 얻을 수 있다. STL로 변환된 데이터는 시뮬레이션 소프트웨어에 맞추어서 재메싱(remeshing)이 필요하며 시뮬레이션 결과를 디자인에 반영하기 위

해서는 다시 CAD까지 돌아가야 한다.

입체 형상이 복셀로 표현되어 있으면 (복셀은 유한요소이며) 재메싱 하지 않고 시뮬레이션에 적용할 수 있다. 복셀 그대로 시뮬레이션 가능한 툴도 개발되어 있다⁴⁾. 또 복셀이라면 상술한 바와 같이 불 연산을 할 수 있기 때문에 용이하게 시뮬레이션 결과를 디자인 변경에 반영할 수 있다. 이처럼 시뮬레이션과 디자인이 매끄럽게 실현가능한 새로운 디자인 환경을 구축할 수 있다.

2.3 다른 3D데이터 포맷과의 연계

3D프린터 이외에도 의료용 3D데이터(DICOM⁵⁾)나 3D스캐너 점군데이터 등 다양한 3D데이터 및 DICOM데이터, 점군데이터를 합쳐서(편집해서) 새로운 디자인을 하는 것은 각각의 데이터 호환성이 충분하지 않기 때문에 현재로서는 어렵다. 모든 3D를 복셀로 변환하면 복셀에서 편집은 용이하고 다양한 형식의 3D데이터를 활용하여 새로운 가치를 제공하는 디자인을 할 수 있다.

2.4 모델링(3D디자인)의 용이화

〈그림 3〉에서도 알 수 있듯이 복셀로 입체물을 표현하는 것은 블록 쌓기 놀이이며, 같은 수법을 이용해 건물을 짓는 게임소프트도 있다. 3D CAD를

습득하여 스스로 입체물을 디자인하는 일은 많은 사람에게는 난이도가 높지만 블록 쌓기 놀이처럼 입체물을 설계하는 간단한 디자인 툴이 있으면 누구나 3D디자인을 할 수 있게 될 것이다.

새로운 비즈니스 기회로 소량 다품종의 판매인 롱테일이 주목받고 있으며 자신이 원하는 (자신에게 맞는) 주문제작물을 손에 넣는 것을 풍요로운 생활실현을 위해 희망한다. 그러나 이것들을 실현하는데 있어서 이 마스크스터마이즈 디자인을 누가 하는가 하는 과제가 있다. 복셀 데이터 편집 용이성과 함께 복셀에 의한 용이한 디자인 툴은 사용자 자신의 커스터마이즈 디자인(3D데이터 작성)을 실현 가능케 할 것이다.

3. 복셀 데이터의 과제와 대응

복셀 베이스의 데이터포맷에서는 세밀한 표현을 하기 위해 복셀 사이즈를 줄이면 (해상도를 올리면) 데이터 사이즈가 커진다. 또 FAV에서는 재료정보, 색깔정보, 링크정보 등 그동안의 3D데이터보다 많은 정보를 보유하기 때문에 더욱 데이터 사이즈가 커지는 요인을 갖는다.

복셀로 입체물을 표현하는 것은 2차

원 화상을 픽셀로 표현하는 방식과 같으며, 2차원 화상에서의 데이터 압축 기술이 복셀 베이스의 데이터 압축에 적용될 것을 기대할 수 있다. 또 2장에서 말한 바와 같이 작은 복셀에 보다 섬세한 형상을 표현하는 FAV 파일을 외부에 작성해 참조함으로써 본체 FAV 파일의 사이즈를 작게 할 수 있다.

부드러운 외형을 얻기 위하여 복셀 사이즈를 줄이지 않아도 마칭큐브에 의해 복셀로 표현된 외형부터 곡면을 형성하는 방법이 오래 전부터 제안되어 왔다⁶⁾. 현재 복셀 데이터를 직접 입력할 수 있는 3D프린터는 없다. (2019년 3월 현재) 복셀 베이스 데이터에 재료와 색깔 등 풍부한 정보를 보유시켜 복잡한 내부구조 표현이 가능하더라도 3D프린터로 출력하기 위해 3D프린터가 대응하고 있는 포맷으로 변환하면 많은 정보가 누락될 가능성이 있다. 최근 3D프린터에 의한 조형에서 복셀 표현의 유용성을 알리는 발표도 늘고 있다^{6), 7)}. 조만간 복셀 베이스의 3D데이터의 유통이 늘어나고 풍부한 정보를 가진 복셀 데이터를 직접 출력할 수 있는 3D프린터가 등장해 3D데이터 및 3D프린터가 풍요로운 사회생활 실현에 기여하기를 기대한다.

일본 "PLASTICS AGE" 2019년 6월호 게재

참고문헌

- 1) ASTM International, "Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies (F2792-12a)" West Conshohocken, PA(2012)
- 2) 다카하시 도모나리, 마스모리 아츠시, 후지이 마사히코, 다나카 히로야, "복셀 베이스 3D데이터포맷 FAV(Fav-able Voxel)에 의한 내부구조와 속성의 표현" Proceeding of Imaging Conference Japan 2016, 33(2016)
- 3) Tomonari Takahashi, Atsushi Masumori,

- Masahiko Fujii and Hiroya Tanaka, "FAV File Format Specification Version 1.1a"(2019) (<https://www.fujixerox.co.jp/company/technical/communication/3d/fav.html>)
- 4) 다나카 히로야, 사이토 가즈유키, 모리야 다쿠미, "3D프린팅에 관한 정보학적 연구 과제" 정보관리, 60(6), 403(2017)
 - 5) William E. Lorenzen, Harvey E. Cline, "Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm," Computer

Graphics, 21(4)(1987)

- 6) Tim Weber, "HP's Jet Fusion 3D Printing Technology? Enabling the Next Industrial Revolution." Proceeding of Printing for Fabrication 2017, 2(2016)
- 7) E.L. Doubrovski, E.Y. Tsai, D. Dikovskiy, J.M.P. Geraedts, H. Herr, N. Oxman, "Voxel-based Fabrication through material property mapping: A design method for bitmap printing." Computer-Aided Design 60 (March), 3 (2015)