

# Shape Deposition Manufacturing 을 이용한 로봇 물고기 구동부 설계 및 제작

## Design and Fabrication of a Propulsion Mechanism for a Robotic Fish Using Shape Deposition Manufacturing

\*박용재<sup>1</sup>, #조규진<sup>1</sup>

\*Y. J. Park<sup>1</sup>, #K. J. Cho(kjcho@snu.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Shape deposition manufacturing, rapid prototyping, multi-material, robotic fish

### 1. 서론

제품 모델이 다양해지고 제품의 개발 사이클이 짧아짐에 따라 RP (Rapid Prototyping), SL (Stereo Lithography), 3DP (Three Dimension Printing) 등 임의형상제작 (SFF: Solid Freeform Fabrication) 기술은 필요한 산업분야 및 학계에서 널리 사용되고 있다[1].

이러한 제조 기술 중에서, 다양한 재료와 다양한 요소 (센서, 액추에이터, 전자회로기판 등)를 내장할 수 있는 SDM (Shape Deposition Manufacturing)은 적층과 절삭을 번갈아 수행하는 공정으로써 기존의 SFF 공정보다 향상된 정밀도와 제작 시간 단축을 가능하게 해 준다. Fig. 1 과 같이 원하는 설계도에 맞추어 재료를 도포하고 다시 이것을 CNC 를 이용하여 불필요한 부분을 제거하는 과정을 반복함으로써 다양한 재료와 요소를 첨가한 형상을 제작할 수 있다. 초기의 SDM 은 금속을 이용하여 물체를 제작하고 그 내부에 회로나 센서를 내장하는데 주안점을 두었으나[2,3] 후에 금속뿐만이 아닌 다양한 재료에 SDM 을 적용하는 것으로 확대되었다.

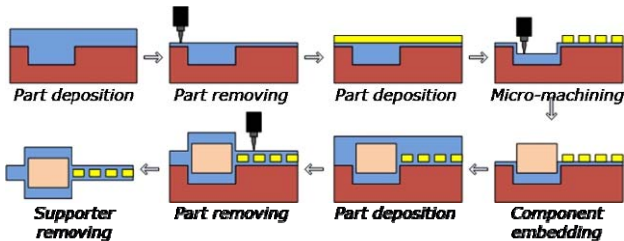


Fig. 1 SDM process

특히, 생체모방로봇을 제조하는데 있어서 기존의 제조 방법으로는 구현이 어렵거나 복잡해지는 구조를 SDM 공정을 이용하면 단순하면서 쉽게 로봇을 제작할 수 있다. 폴리머로 SDM 공정을 이용하여 로봇을 제작할 경우, 단단한 두 부품을 연결하는 부위를 연한 폴리머로 연속적으로 연결함으로써 쉽고 간단하면서 유연한 접합부를 제작할 수 있다. 이러한 연결방식의 변화는 수동적인 제어가 필요한 부위에 사용하면 보다 효과적일 수 있다. 또한 SDM 을 이용하면 액추에이터, 센서 등을 내장할 수 있고 서로 다른 물리적 성질을 가진 재료를 이용하여 로봇을 만들 수 있게 됨으로써 새로운 개념의 로봇을 설계 및 제작할 수 있다. 또한, 로봇의 크기를 소형화 할 수 있을 뿐만 아니라 제작 시간의 단축 및 설계의 간소화 등 많은 이점을 얻을 수 있다. SDM 공정 설계 방법에 따라 초소형 로봇 제작과 요소 내장은 물론 수십  $\mu\text{m}$  크기의 형상도 제작이 가능하다. Cutkosky 등은 이러한 SDM 을 이용한 마이크로 형상 제조를 통해 벽을 올라가는 생체모방로봇을 제작하였다[4-8].

본 연구에서는 다양한 재료와 요소들을 내장할 수 있으며, 폴리머를 통해 유연한 구조를 제작할 수 있는 SDM 공정을 이용하여 로봇 물고기의 구동부를 제작하였다. SDM 공정에 맞는 로봇 물고기 구동부를 설계하고 이를 바탕으로 CNC 를 통한 절삭 가공과 서로 다른 재료를 적층하는

가공을 반복하였다. 이를 통해 유연하며 탄력이 있는 몸체를 지니고 일부 구동요소가 몸체에 내장되어 있는 생체모방 로봇 물고기 구동부를 제작하였다.

### 2. 로봇 물고기 구동부 설계

물고기 꼬리 파트와 몸체 파트를 폴리우레탄을 이용하여 제작하는 것을 고려하였으며, 꼬리부의 구동은 서보모터를 이용하여 꼬리 끝부분을 나일론 줄로 당겨서 움직임을 구현하는 방법을 고려하였다. 따라서 로봇 물고기 구동부의 모양도 이에 맞추어 설계하였다. 각 파트의 접합부는 서로 다른 경도의 폴리우레탄을 사용하여 결합하기 때문에 접합력을 높이기 위하여 단면적을 높일 수 있도록 설계를 하였다.

우선, 로봇 물고기와 서보모터를 연결할 파트의 몰드와 꼬리와 몸체 연결을 위한 파트의 몰드를 생성하고 이를 이용하여 전체 로봇 물고기 몰드를 설계한다. Fig. 2 의 좌측과 같이 각 파트별로 몰드 설계를 완료한 후 이를 우측의 그림과 같이 전체 로봇 물고기 파트에 배치한 후 폴리우레탄을 적층할 수 있도록 전체 로봇 물고기 구동부 몰드를 설계한다. 꼬리 파트는 교체가 가능하도록 몸체에 탈부착이 가능하도록 설계하였다. 물고기 꼬리의 경우 Fig. 2 의 아래와 같이 탈부착을 위하여 몸체와 접합하는 부위를 단단해야 할 필요성이 있기 때문에 이 부분의 몰드를 따로 생성하여 제작하는 방법을 고려하여 설계하였으며, 이를 꼬리 파트의 몰드에 배치하여 전체 물고기 꼬리의 몰드 설계를 완성하였다.

몰드 설계 시에 주의해야 할 점은 SDM 공정을 이용하는 것을 고려하여 파트 생성 순서를 결정해야 하는 것이다. SDM 공정에 있어서 가장 중요한 것이 어떠한 순서로 각 파트를 제작해야 하는가 이다. 그 이유는 각 파트의 제작 순서에 따라 내장될 요소와 재료가 결정될 수 있으며, 제작 가능성 여부가 결정될 수 있기 때문이다. 또 고려해야 할 점은 사용할 CNC 조건 및 엔드밀 톨 크기를 고려하여 몰드를 설계해야 한다.

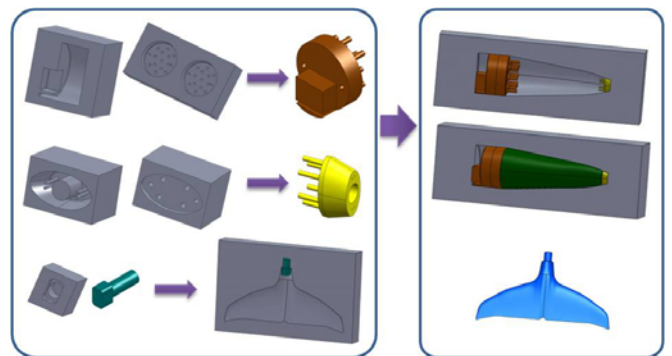


Fig. 2 Part and mold design of a robotic fish

Fig. 3 은 설계한 전체 로봇 물고기 구동부 조립도 및 분해도이다. 꼬리와 몸체를 연결하는 부분을 제외한 나머지 부분은 SDM 공정을 이용하여 접합하는 방법을 고려하였다.

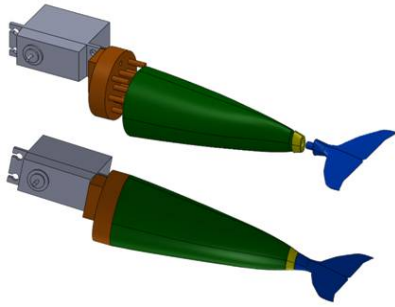


Fig. 3 Design of a robotic fish

### 3. 로봇 물고기 구동부 제작

설계도에 따라 CNC 를 이용하여 ABS 재료를 사용한 몰드를 제작하였다. 제작한 몰드에 폴리우레탄을 적층하여 각 파트를 생성하였다. 각 파트별로 사용한 폴리우레탄의 경도는 모터와 결합되는 파트, 꼬리와 몸체가 결합되는 파트의 경우 Shore 70D 이며, 꼬리와 몸체는 10A 와 30A 이다. 꼬리의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 몸체와 접합하는 부위는 단단해야 할 필요성이 있기 때문에 폴리우레탄 45D 를 이용하여 제작하였다. Fig. 4 와 같이 우선 CNC 를 이용하여 불필요한 부분을 절삭한 후, 폴리우레탄을 적층하는 과정을 반복적으로 수행하였다.

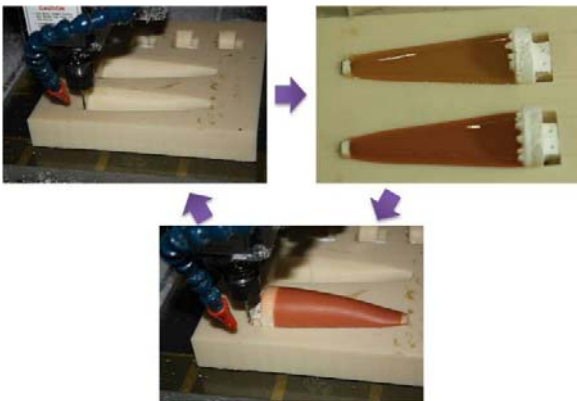


Fig. 4 SDM process using CNC

설계 시에 고려한 바와 같이 서보모터와 몸체가 결합되는 파트와 꼬리와 몸체가 결합되는 파트를 우선 제작한 후 Fig. 4 의 우측 위와 같이 전체 로봇 물고기 몰드에 넣고 구동부를 제작했다. 폴리우레탄을 적층하여 물고기 몸체를 제작할 때 몰드 내부에 나일론 줄을 몸체의 윗부분과 아랫부분에 미리 넣어 몸체에 내장될 수 있도록 하였다. 나일론 줄은 꼬리와 몸체를 연결하는 파트에 미리 고정하였으며, 폴리우레탄 적층 시에 탄성을 유지할 수 있도록 당긴 상태에서 적층과정을 진행하였다. 몰드 중 폴리우레탄을 적층할 필요가 없는 부위는 유도를 이용하여 메우는 방법을 이용하였다.



Fig. 5 The completed actuation part of the robotic fish (top), Motion of the robotic fish (bottom)

Fig. 5 는 완성된 로봇 물고기 구동부이다. 로봇 물고기 몸체가 좌우로 움직이는 모습이 실제 물고기의 움직임과 유사한 것을 확인할 수 있으며, 이러한 유연한 움직임은 기존에 제작된 로봇 물고기 꼬리 부품에서 주로 사용하는 축과 링크의 연결로는 구현하기 힘든 점이라 할 수 있다. 폴리머 재료를 가지고 SDM 공정을 이용하면 제작이 간단하면서 유연하고 탄력있는 로봇 물고기 구동부를 제작할 수 있다. 로봇 물고기 몸체의 구동은 서보모터로 나일론 줄을 제어함으로써 구현하였다.

### 4. 결론

임의형상제작 방법의 하나인 SDM 공정을 이용하여 로봇 물고기의 구동부를 제작하였다. 우선, SDM 공정에 적합한 로봇 물고기 구동부의 파트를 설계하고 공정 순서를 고려한 몰드를 설계하였다. 몰드 설계 시에는 사용할 CNC 의 조건 및 엔드밀의 종류와 크기를 고려하였으며, 내장할 구동요소와 사용할 재료의 차이도 고려하여 설계하였다. 이 설계도에 따라 CNC 를 이용하여 SDM 공정을 적용하였다. CNC 를 이용하여 몰드를 제작하고 여기에 폴리우레탄을 적층하여 각 파트를 생성하였다. 생성된 파트의 불필요한 부분을 절삭한 후, 폴리우레탄을 적층하는 과정을 반복 수행하였다. 폴리머 재료를 가지고 SDM 공정을 이용하여 제작한 로봇 물고기는 기존의 축과 링크 등으로 구현된 로봇 물고기보다 실제 물고기와 유사한 움직임을 구현할 수 있으며, 구조가 단순하고 제작하기 쉬운 것을 확인할 수 있었다.

추후에는 로봇 물고기 몸체에 센서를 넣어서 몸체에 걸리는 힘을 측정하고 이를 통하여 피드백 제어가 가능하도록 로봇 물고기 구동부를 제작할 예정이며, 구동점의 변화에 따른 출력 파워의 변화나 운동역학적 변화에 대한 연구도 수행할 예정이다.

### 참고문헌

1. 안동규, 양동열, “쾌속조형공정의 원리 및 동향,” 한국정밀공학회지, **22(10)**, 7-16, 2005.
2. Weiss, L. E., R. Merz, F. B. Prinz, G. Neplotnik, P. Padmanabhan, L. Schultz, and K. Ramaswami, "Shape deposition manufacturing of heterogeneous structures," *Journal of Manufacturing Systems*, **16 (4)**, 239-248, 1997.
3. Merz, R., "Shape Deposition Manufacturing," Technical University of Vienna, Ph. D. Thesis, 1994.
4. Binnard, M., Cutkosky, M. R., "Design by Composition for Layered Manufacturing," *Journal of Mechanical Design*, **122(1)**, 91-101, 2000.
5. Cham, J. G, Bailey, S. A, Clark, J. E., Full, R. J., and Cutkosky, M. R., "Fast and Robust: Hexapedal Robots via Shape Deposition Manufacturing," *The International Journal of Robotics Research*, **21(10-11)**, 869-882, 2002.
6. Hatanaka, M., Cutkosky, M. R., "Process Planning for Embedding Flexible Materials in Multi-Material Prototypes," *Proceedings of the 2003 ASME DETC/DFM Conference*, Chicago, September 2-6, 2003.
7. Lanzetta, M., Cutkosky, M. R., "Shape Deposition Manufacturing of Biologically Inspired Hierarchical Microstructures," *Annals of the CIRP*, **57**, 231-234, 2008.
8. Valdivia y Alvarado, P., Youcef-Toumi, K., "Design of Machines with Compliant Bodies for Biomimetic Locomotion in Liquid Environments," *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME*, **128(1)**, 3-13, 2006.