

# Reverse Engineering을 이용한 신속 기능성 시제품 제작 A Realization of the Process Chain from Reverse Engineering to Rapid Tooling

송용익, 박세형, 하성도  
한국과학기술연구원, 기전연구부 CAD/CAM팀

## Abstract

Reverse engineering enables a fast creation of CAD model from an existing part without any technical drawing or digital data. This method of data acquisition is necessary in several industrial applications when the modification of an existing product design has to be performed and verified afterwards. In this paper, the surface of an existing ship propeller was measured by a tactile measuring system and the acquired point data of the surface were used for modeling of a solid model in CAD system. By using LOM and casting processes, an aluminum propeller for functional test was manufactured and then its accuracy was measured by a laser scanner and compared with the original CAD data. As the results show, the use of LOM as a rapid prototyping process and casting as a secondary process delivers a functional prototype propeller which can be used for test purposes.

keyword: rapid prototyping, rapid tooling, reverse engineering, Laminated Object Manufacturing(LOM), casting

## 1. 서론

선박시험용으로 사용되는 프로펠러는 복잡한 곡면형상을 지니고 있으며 이를 가공하기 위하여 현재 산업계에서는 그림 1에 나타난 바와 같이 5축가공기계가 널리 사용되고 있다. 고속가공의 등장으로 가공속도가 예전보다 높아졌으나 아직까지 복잡한 5축 프로그래밍과 가공시 고려할 여러 절삭조건으로 인하여 많이 시간이 소모되고 있는 실정이다 [1]. 본 논문에서는 기존에 있는 프로펠러 형상의 point data를 사용하여 CAD시스템에서 modeling 한 뒤 rapid prototyping 기술과 주조기술을 이용하여 신속 기능성 프로펠러를 제작하는 방법을 실험하였으며, 이 결과를 고속 5축가공과 간략하게 비교하였다.

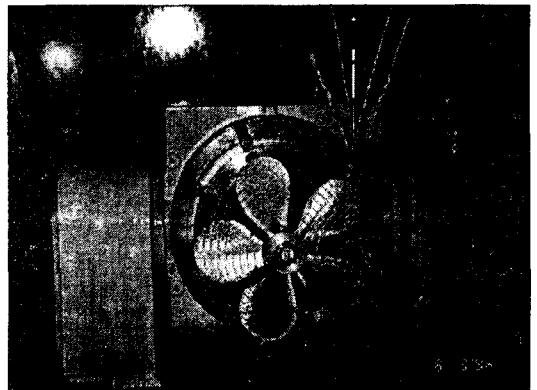


그림 1. 5축 가공기계를 이용한 프로펠러 제작

## 2. Point data를 이용한 모델링 작업 및 신속제작방법

프로펠러를 가공한 후 가공정밀도를 측정하기 위하여 사용되는 tactile measurement device를 사용하여 프로펠러 곡면의 point data를 읽어 들인 후 이 data를 사용하여 CATIA 시스템에서 프로펠러 곡면을 생성하였다. 그림 2는 읽어 들인 point data로부터 CATIA에서 모델링된 날개곡면의 형상이다.

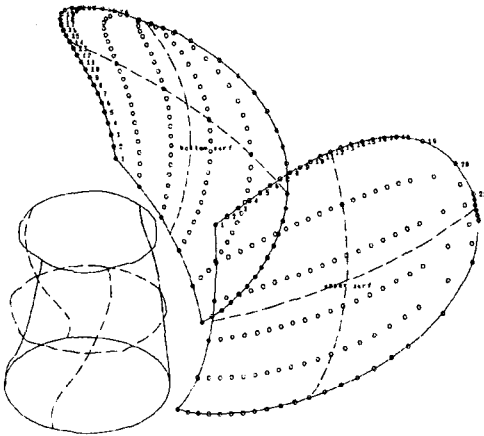


그림 2. point data를 사용하여 모델링된 프로펠러 날개곡면

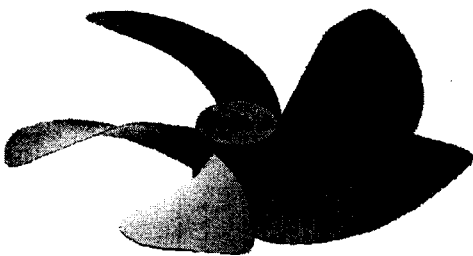


그림 3. 프로펠러의 STL file

모델링된 곡면으로부터 3차원 solid모델을 만든 후 RP 장비로 보내기 위해 필요한 STL file을 출력한 후, slice 데이터인 SLI file을 생성하였다. 그림 3은 모델링된 프로펠러의 STL file를 나타내고 있다.

여러가지 상용화된 RP 공정들을 비교하면, 프로펠러와 같이 자유곡면을 가진 형상을 가능한 한 매끄러운 면으로 제작하기 위하여는 Stereolithography (SLA), Selective Laser Sintering (SLS), Laminated Object Manufacturing (LOM)이 적합한 공정이다. 그 중 받침구조가 필요치 않아 후처리가 간단하고, 종이 소재를 사용하여 주조에 적합한 목형을 제작할 수 있는 LOM 공정을 시제품제작에 선택하였다. 그림 4에는 제작에 사용된 LOM-2030장비가 나타나 있으며 프로펠러 제작을 위해 사용된 공정 파라미터는 표 1에 나타나 있다. 제작된 프로펠러는 총 589개의 층으로 이루어져 있으며 소요된 제작 가공시간은 12시간 38분이었다.

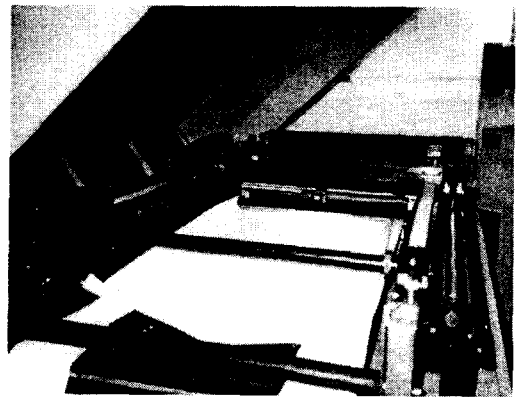


그림 4. 제작에 사용한 LOM 장비

표 1. LOM공정에 사용된 파라미터

레이저 출력	12.5 W
조사속도	500 mm/s
종이 두께	0.10667 mm

제작이 완료된 후 decubing 작업이 뒤따르며 이때 완성된 형상물을 cube 형태로 절단된 나머지 부분에

서 분리하는 작업을 한다. 프로펠러 날개의 가장자리 부분의 두께가 0.2 mm로 매우 얇아 decubing작업시 파손되는 문제로 인하여 CAD model에서 날개 끝부분의 두께를 0.5 mm 만큼 증가시킨 후 재제작을 하였을때 프로펠러를 문제 없이 분리시킬 수 있었다.

### 3. 주조작업

LOM공정 후 금속 부품을 얻기 위하여 여러 가지 2차 공정들이 사용되고 있고 그중 sand casting 과 investment casting이 널리 쓰여지고 있다. Sand casting은 높은 정밀도가 요구되지 않는 부품에 사용되는 반면에 investment casting은 복잡한 형상과 정밀도가 요구되는 곳에 쓰여지고 있다. 본 과제에서 제작한 프로펠러는 간섭 부분이 없으므로 이유로도형을 태우는 investment casting을 사용하지 않고 일반적으로 널리 쓰이는 세라믹스 주형 기법을 사용하였다. 세라믹스 주형기법에서는 첫 번째로 parting line을 정한 이후 하형을 제작한다. 하형에 충전제(세라믹스 혼합물로서 표면조도나 제품의 주형에 필요한 고유 mixture를 개발 사용중임)를 설정된 parting line 보다 약 1 mm 정도 높게 충전한 후 70%정도 경화되면 parting line의 표면을 적절한 수증구를 사용 절단한 후 이형제로 코팅하고 상형을 위하여 충전제를 주입한다. 전체적으로 90%정도 말린 후 상하형을 분리하여 master model를 제거하고 furnace에 넣고 섭씨 1100-1200도 정도의 온도로 소성시켜 완전 경화시킨다. 상하형이 완성된 후 형을 진공 주형기내에 정치시키고 진공 상태에서 알루미늄 용탕을 주입시킨다. 이때 상하형을 주형기에 정착시키전에 섭씨 400-800도 정도로 예열시켜야 한다. LOM 모델을 사용하여 프로펠러를 주조할 때까지 걸린 시간은 1주일정도이며 1개의 상하형을 사용하여 5-10개의 알루미늄 주조품을 제작할 수 있다. 형상이나 두께에 따라 차이가 있으나 0.2 mm 정도의 정밀도를 유지 할 수 있다. 표면처리는 알루미늄 제품의 성질상 가능한 표면 처리를 할 수 있으며 본 과제에서 제작된 프로펠러는 주조 후 sanding으로 처리 하였다. Polishing을 거쳐 완성된 프로펠러와 주조시 master pattern으로 사용된 LOM 모델이 그림 5에 나타나 있다.

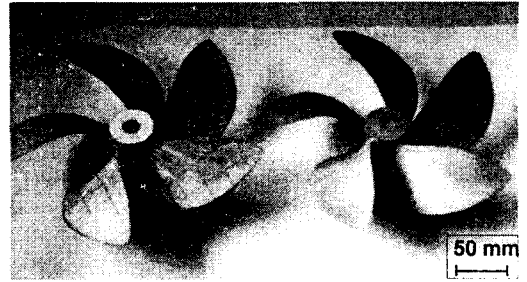


그림 5. LOM 모델과 주조된 프로펠러

본 연구의 공정의 특성을 비교하기 위하여 유사한 크기와 형태의 프로펠러를 5축 가공으로 제작한 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. 프로펠러 5축 가공시간

	가공시간
황삭	7 시간
정삭	프로펠러 날개당 6 시간, 총 30 시간
측정 및 polishing	1 주일

이에 비하여 프로펠러의 LOM가공은 장비 setting 1시간, 제작가공 12시간, decubing작업 1시간, sealer를 건조시키는 시간까지 고려한 후처리 작업을 포함하여 총 22시간이 요구된다. 알루미늄 제품을 얻기 위하여 주조를 할 경우 1주일 가량 더 소모되며이는 측정 및 polishing작업을 포함한 5축가공시 요구되는 시간과 비슷하다. 앞으로 좀 더 정확한 비교를 하기 위하여 동일한 프로펠러 형상을 5축 가공한 데이터를 얻어 rapid tooling 방법과 비교할 예정이다.

### 4. 오차 분석

기존의 프로펠러 형상을 tactile measurement system으로 읽어 들인 후 modeling과 LOM공정 및 주조 공정을 거치며 각 단계에서 오차가 발생하며

누적된다. Data processing 작업의 오차는 CAD file 을 STL file로 전환시키는 triangulation과정에서 발생하나, 본 실험에서는 deviation값을 LOM공정의 정밀도보다 약 1/10보다 적은 0.03 mm으로 선정하였기 때문에 제품의 정확도에 미치는 영향을 고려하지 않았다.

LOM 모델과 주조된 프로펠러의 주요 수치 측정결과가 표 3에 나타나 있다. 이때 주조 모델이 LOM 모델보다 수치가 적게 나왔으며 이의 원인은 주조시 응고현상에 따른 축소이라고 추측된다. LOM 모델 경우 종이소재가 주위의 습기를 흡수하여 팽창하여 hub부분의 높이 차이가 발생하였을 것이라 예상된다.

표 3. 프로펠러의 크기 비교

	Hub 높이 [mm]	Hub 지름 [mm]	날개 반경 [mm]
CAD 모델	52.000	40.890	125.035
LOM 모델	54.128	41.073	125.462
주조 모델	51.358	40.158	123.439

자유곡면을 지닌 LOM모델과 주조모델의 날개측정을 위하여 Hyscan model 45C 3D scanner를 사용하였다. Laser scanner는 3차원 측정기에 장착되어 있고, 이 작업에 사용된 장비의 setup은 그림 6에 나타나 있으며 이 장비는 laser triangulation을 기본 원리로 사용하고 있다 [2].



그림 6. 측정장비의 setup

본 논문에서는 프로펠러 날개를 전부 scanning 하지 않고 5개 날개 중 한개의 날개만 선정한 뒤 다음과 같이 3단계의 작업을 거쳐 scanning을 실시하였다.

1. 형상물의 레이저광선 반사율을 높이기 위해 앞면과 뒷면에 흰색 페인트를 spray을 해주고, 직경 3mm 되는 bearing ball 3개를 선정한 날개 외각부분에 장착시킨다. 3개의 ball은 앞면과 뒷면을 각각 분리하여 scanning 한뒤, 다시 하나의 날개로 merging 시키기 위해 필요한 기준점들이다.
2. Scanning 작업을 시작하기전 CMM의 한위치에 고정된 calibration sphere의 지름을 측정하여 scanner의 정확도와, calibration sphere를 기준으로 하여 측정하고자 하는 형상물의 상대적 위치를 알아낸다.
3. 형상물이 수직선으로부터 30도 이상으로 벗어나면 한번의 pass로 입력시킬 수 없기 때문에 2번의 pass가 필요하다. 형상물 위로 scanner를 움직이기 위해 scanner달린 축을 수동으로 구동시킨다.

위와 같이 프로펠러의 앞면과 뒷면이 scanning된 후 point data를 곡면 처리용 소프트웨어인 surfacer에서 읽어 들여 처리 해준다. 입력된 데이터 중 불필요한 데이터는 제거하여 주며 앞면과 뒷면과 함께 측정된 ball들의 지름을 서로 비교하여 오차가 가장 적은 ball부터 서로 merging 하였다. 그림 7은 merging후의 프로펠러 곡면의 point data와 merging 작업시 사용한 ball 3개 및 hub부분을 보여 주고 있다.



그림 7. merging 후의 날개곡면 point data

날개 앞면과 뒷면을 서로 merging시킨 후 이 데이터와 날개의 CAD데이터를 surfacer에서 서로 비교하여 가공된 날개 부분의 정밀도를 검사하였다. 그림 8에 두 개의 곡면 데이터를 서로 비교한 결과가 나타나 있다.

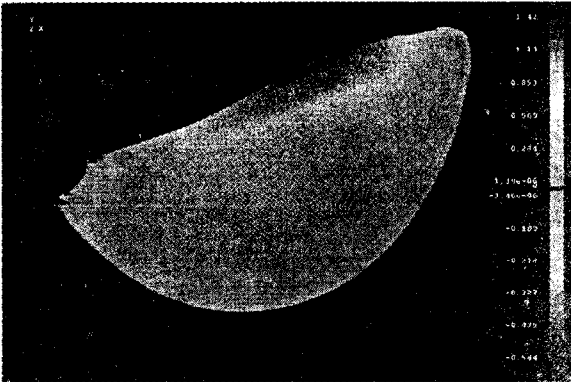


그림 8. LOM 날개 곡면과 CAD 데이터를 비교한 결과

그림에 나타난 바와 같이 날개 중앙 부분에서 평균 오차는 약 0.3 mm 정도이지만 날개 위쪽 끝 일부분의 오차는 약 1.4 mm 이며 이는 scanning 작업시 발생한 측정 오류 때문이다.

## 5. 결론

본과제에서는 point data를 사용하여 CAD에서 모델링된 프로펠러를 LOM공정으로 제작한 후 LOM 모델을 master pattern으로 사용하여 주조까지 실행하는 작업을 실시하였다. 주조과정시 알루미늄을 소지로 사용하였으며, 주조된 프로펠러는 기능테스트에 사용할 수 있는 성능을 지니고 있으며 이결과는 Rapid Prototyping 과 주조를 통해 신속 기능성 시제품 제작이 가능함을 보여주고 있다. 그러나 아직 제품의 정확도가 부족하여 오차 발생원인 및 누적과정을 분석하여 정확도를 향상시키는 작업이 향후 연구과제로 남아있다.

## 6. 참고문헌

[1] S. Park, Y. Jun, Tool Path Generation for 5-Axis Machining of an Impeller, Japan/USA Symposium on Flexible Automation, Vol. 1 ASME 1996, p. 729-735

[2] Hyscan 3D Laser Digitizing Systems, Hymarc Ltd.

## 7. 감사

본 연구는 현재 수행중인 국제공동과제 “동시공학 구현을 위한 형상설계 및 급속조형 기술 개발”의 일부이고 알피 코리아사와 삼성중공업의 기술적 도움으로 진행되었으며 연구에 많은 조언을 주신 알피코리아사의 박태권 사장님께 감사를 드립니다.