

## 기술자료

## IT 를 접목한 주물기술의 혁신

유승목 · 황호영 · 최정길<sup>†</sup>

한국생산기술연구원 디지털설계센터

## Innovations in Foundry Technology by Applying the Information Technology

Seung-Mok Yoo, Ho-Young Hwang, and Jeong-Kil Choi<sup>†</sup>

Korea Institute of Industrial Technology, Center for e-Design

## 1. 서 론

근래에 IT산업의 눈부신 발달과 더불어 생산현장에서도 IT를 접목하여 생산공정을 혁신하는 것이 기술발전의 큰 흐름을 이루어 가고 있다. 주물분야에서도 그동안 연구소와 대학 및 기업 등에서 IT를 설계와 생산공정에 적용하고자 하는 연구를 활발히 수행해 왔으며 근래에 와서는 이러한 개발결과들이 서서히 나타나게 되어 적용을 눈앞에 둔 단계가 되었으므로 이들을 여기에서 소개하고자 한다.

주물생산의 초기단계에서 구조방안의 최적설계는 주물의 불량과 품질 및 원가에 매우 중요한 영향을 미치며 오래전부터 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 설계기술이 현장에서 사용되어 오고 있다. 그러나 설계소프트웨어를 능숙하게 사용하기 위해서 일정 시간 동안의 교육훈련이 요구되고 해석과정에서 설계자의 판단에 따른 조작이 많이 필요하게 된다. 또한 엔지니어의 잦은 이직과 로테이션에 의해 기술축적이 어렵고 해석기술을 제대로 사용하지 못한 채 방치되는 경우가 생기게 된다. 최근에 이러한 문제점들을 해결하고 해석기술을 한 단계 높이기 위해 인공지능 개념을 도입한 지능형전문가 시스템이 개발되어 소개되기 시작했다.

또한 인터넷의 보급 확대와 더불어 개인과 회사에서도 컴퓨터를 이용하는 것이 일반화되어 있는 추세에서 인터넷 웹기반으로 하는 주물의 기술정보 및 형상, 각종방안의 모델링 정보 등을 데이터베이스화하여 구축함으로써 모든 기업과 개인의 정보공유가 가능해지고 이를 통한 기술 확산이 빠르게 이루어 질 수 있으므로 이러한 통합데이터의 구축, 활용이 크게 기대되어진다.

한편 주물 공업은 기계공업의 급속한 발전과 더불어 어느 정도 자동화를 이루어 오고 있으나 아직도 다품종 소량생산의 경우 자동화가 매우 어렵고 공정기술의 발전이 매우 더디다고 할 수 있다. 또한 양산에 앞서서 시작품을 만들거나 또는 자동차의 경우 신제품개발을 위한 테스트과정에서 설계변경에 따른 다양한 시작품이 요구될 경우 먼저 목형과 코어용 금형을 설계제작한 후 주조를 해야 하므로 시간도 많이 걸리고 비용도 많이 소요되는 문제점을 안고 있다. 이러한 다양한 경우에

목형이나 금형 없이 바로 모델링 데이터로부터 중자와 외형을 직접 가공하여 얻는 쾌속조형기(RP)와 5축가공기 등이 주조분야에서도 도입되어 실제 적용되므로 작업환경을 자동화, 청정화할 수 있고 시작품제작의 납기단축 및 원가절감 등을 획기적으로 이룰 수 있다.

주물의 품질관리에 있어서 경우에 따라서는 주물내부에 수축공, 기공, 개재물(介在物) 등의 결함이 있더라도 가공부위만 아니면 큰 문제없이 납품이 되었으나 앞으로 주물의 고급화를 위해서는 품질의 보증이 가능한 생산을 해야 하므로 내부결함을 철저히 검사하여 사전에 제거해야만 한다. 그러나 X-ray를 이용한 2차원 비파괴검사는 결함부위를 찾아내는데 한계가 있고 특히 알루미늄 등 경합금의 경우 톱으로 절단할 경우 절단 부위가 변형되거나 으깨져서 결함이 파문허버리므로 정확한 위치를 찾아내는 것이 어렵다. 최근에 의료용 단층촬영기(CT)를 발전시켜 산업용으로 이용할 수 있는 3차원 단층촬영기가 개발되어 널리 활용되기 시작하고 있다. 이 장비를 이용해서 주물의 내부에 결함위치 및 크기 등을 절단 없이 3차원적으로 정확히 찾아내는 것이 가능하며 따라서 주물의 완벽한 품질관리가 가능하게 되었다.

본고에서는 위에서 지금까지 소개한 다양한 IT를 이용한 소프트웨어 및 하드웨어의 최신기술의 동향들을 상세히 소개하여 현장의 주물기술자들과 CEO들이 향후 주물기술의 발전흐름을 파악하는데 도움이 되어드리고자 한다.

## 2. 소프트웨어기술

## 2.1 인공지능형 설계전문가

주물현장에 전문기술자들이 점점 줄어들어 감에 따라 상용 설계해석 소프트웨어를 구입하더라도 구조방안설계에 전문인력을 투입하는 것이 웬만큼 큰 중견기업이라도 사실상 어려운게 현실이다. 따라서 방안을 설계하고자 하는 제품의 3차원 모델링 데이터를 가지고 컴퓨터 스스로 구조방안 즉 압탕방안과 탕구방안을 설계할 수 있다면 현장에서 구조방안 설계 전문가

<sup>†</sup>E-mail : cjk@kitech.re.kr

가 아니라도 쉽게 활용하는 것이 가능 할 것이다.

인공지능에 의한 설계시스템은 크게 3가지로 나누어 생각할 수 있다.

- 1단계 : 주물의 형상 및 주조조건에 인식
- 2단계 : 추론에 의한 자동 최적화계산
- 3단계 : 계산결과에 기초한 학습효과로 한층 향상된 설계기술의 축적

### 2.1.1 주물형상의 인식

1단계에서 형상을 입력하는 방법에는 두가지가 있다. 하나는 설계자가 제품의 3차원 모델링을 하여 직접 입력하는 것이다. 두 번째 방법은 기존에 구축해 놓은 각종 주물형상의 3차원 모델링 데이터베이스로부터 원하는 형상을 검색하여 찾아내는 것이다. 후자의 경우는 초기 주조방안도 함께 세워진 상태에서 찾아낼 수 있으며 이때 세워진 주조방안은 이미 생산에 적용되었던 방안을 의미한다. Fig. 1에 후자의 방법에 의해 유사형상을 검색하는 사례를 나타냈다.

### 2.1.2 최적화계산

2단계에서는 압탕, 탕구 또는 오버플로우를 설정하기 위해 응고 및 유동해석을 반복수행하여 결함이 발생하지 않고 회수율도 가장 높은 최적의 방안을 설정하는 과정을 수행한다. 응고해석 반복수행의 변수로는 수축결함 발생여부 및 냉금(chill), 패딩(padding) 등의 사용 유무이다. 유동해석 시 변수는 탕구비, 주입구수, 탕구계형상 및 오버플로우 위치, 크기 등이다. 내부에 설정된 추론규칙에 따라 이들 변수를 계속해서 변경해 가면서 계산하여 가장 최적의 방안을 스스로 결정하게 된다. 이때 계산 속도를 단축시키기 위해서는 병렬계산 기법을 사용하는 것이 중요하다. Fig. 2에 압탕방안의 최적화과정을 나타내었다. 제품 모델링을 한 후 모형을 기초로 한 경험식으로써

터 압탕, 냉금의 초기조건을 도출하고 압탕 간의 상호간섭을 고려하여 불필요한 압탕을 제거하고 초기방안을 결정한다. 그후 반복계산에 의해 최적의 압탕, 냉금 위치를 결정하고 마지막 반복계산을 통해 최적의 압탕과 냉금크기를 결정하게 된다. 이렇게 최종계산을 마치기까지 계산시간은 제품의 복잡한 정도에 따라 다르겠지만 응고해석만 할 경우 최고 하루 이내면 계산이 완료되므로 설계자가 컴퓨터를 켜놓은 상태에서 밤에 퇴근하면 그 다음날 오전까지는 결과를 확인 할 수가 있다.

Fig. 3에는 반복자동해석에 의해 고압다이캐스팅 공정에서 탕구방안 및 오버플로우를 설정하는 최적화과정을 나타내었다. 먼저 제품 모델링작업을 한 후 내부에 설정된 추론규칙에 의해 일단 탕구계가 없는 상태에서 반복 유동해석을 하여 주입구의 수, 단면적 및 위치 등을 결정하게 된다. 이때 주입시간, 주입속도 등을 고려해야 하며, 사형주조의 경우 탕구비 그리고 속도 손실계수 등을 고려하여 베르누이 원리를 기초로 하여 주입속도를 계산하게 된다. 다음 단계로는 역시 추론규칙에 의거하여 반복계산을 통해 주입구형상을 결정하게 되며 마지막단계에서 반복계산을 통해 오버플로우의 위치를 결정하게 된다. 추론규칙은 이 과정에서 매우 중요한 노하우이다.

유동해석의 경우 응고해석과 비교해서 계산시간이 길게 소요되므로 반복계산에 의해 최적결과를 얻기까지 형상에 따라 다르지만 보통 하루미만에서 복잡한 형상의 제품일 경우 수일이 걸릴 수도 있다.

### 2.1.3 학습효과

응고 및 유동해석의 반복계산에 의해 얻어진 최적방안은 하나의 새로운 데이터로써의 가치를 가지게 된다. 따라서 여기서 얻어진 결과인 주물 및 탕구압탕의 모델링 데이터는 앞의 2.1.1에서 언급한 3차원 모델링 D/B에 새로운 정보로써 추가되게 된다. 이러한 과정이 반복되어 형상D/B에 수천종의 데이



Fig. 1. 형상DB로부터 유사형상의 자동검색과정.

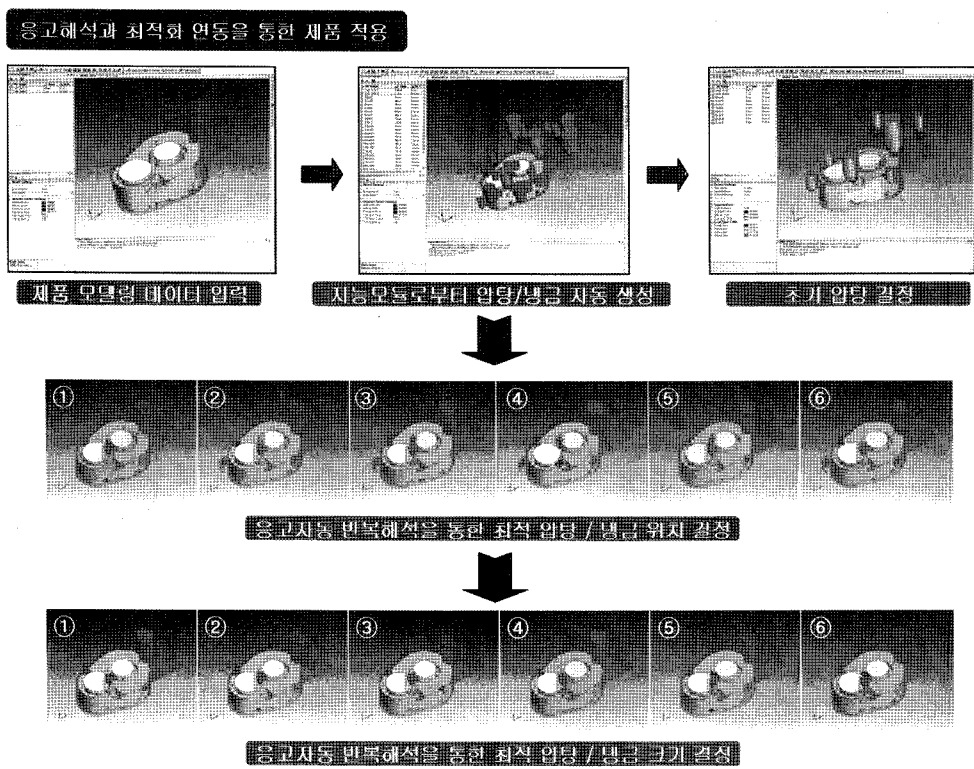


Fig. 2. 압탕방안의 자동반복계산에 의한 최적방안 설계사례.

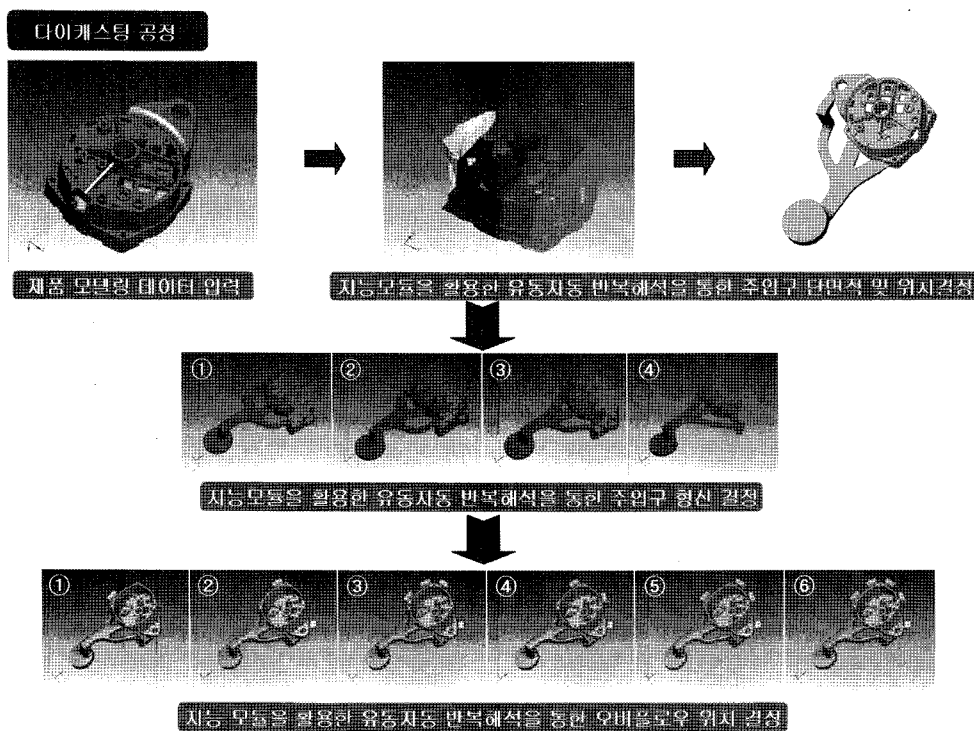


Fig. 3. 탕구방안의 자동반복계산에 의한 최적방안 설계사례.

터가 축적되면 엄청난 정보로써의 위력을 발휘하게 될 것이다. 특히 새로운 제품의 방안을 설계할 때마다 참고자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 전문기술직의 이직이 심하더라도 생산에 적용되

었던 데이터들은 형상D/B에 계속 남아 있게 됨으로 인력손실에 따른 기술단절의 폐해를 해결 할 수 있는 획기적인 방안이 될 수가 있다.



Fig. 4. 형상D/B 구축과정.



Fig. 5. 생성된 새로운 데이터가 형상D/B에 축적되어 활용되는 학습효과.

Fig. 4에 형상D/B 구축과정을 나타내었고 Fig. 5에는 생성된 새로운 데이터가 형상D/B에 축적되어 활용되는 학습효과를 나타내었다.

## 2.2 기술정보 통합 데이터베이스

지금까지 국내의 다양한 학술 및 기술정보와 관련된 책자

약13,000페이지 분량의 정보가 종합, 정리되어 사용자가 쉽게 검색하여 원하는 정보를 찾을 수 있다. 검색방법으로는 원하는 단어를 제시하거나 또는, 3,000여개로 분류되어 있는 키워드를 선택하도록 되어있다. 통합D/B는 인공지능형 설계전문가와도 연계되어 있어서 해석설계과정에서 필요한 기술정보가 있을 경우 단어나 키워드를 클릭하면 바로 D/B에서 원하는 내용이 검

색되어 화면에 나타난다. 이러한 D/B는 어느 곳에서나 쉽게 시스템에 접근해서 이용 할 수 있으므로 원하는 정보를 찾기 위해 대학이나 연구소 등을 찾아 갈 필요 없이 인터넷을 통해 얻을 수 있으므로 기술의 확산 촉진에 크게 기여 할 수 있을 것이다. 다만 앞으로 꾸준한 업데이트를 통해 사용자의 필요를 폭넓게 충족시키도록 노력해야 하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. Fig. 6에 기술정보 통합 데이터베이스의 예를 나타냈다.

2.3 인터넷 웹 기반의 주조기술 지원시스템

지금까지 소개한 인공지능형 설계전문가 및 3차원형상 D/B, 주조기술정보 D/B 등을 인터넷상에서 웹 기반으로 지원시스템을 구축함으로써 시공간을 초월한 기술지원의 성과 극대화가 이루어 질것으로 기대되어진다. 다만 세부적인 콘텐츠가 얼마나 충실 하느냐에 따라 지원성과가 좌우될 것이다. 그러나 이러한 시스템은 지금까지 주물분야에서 세계적으로 시도되어진 적이 없고 이번 시도가 최초인 것으로 생각된다. 앞으로 “사이버설계기술연구회”를 생기기 및 학회가 공동으로 구성하여 기업과 대학, 연구소 전문가들의 지식과 의견을 수시로 수렴해서 지원 사이트를 지속적으로 업데이트해 나감으로써 모든 주물업체들의 수평적 기술 확산과 혁신에 큰 기여를 할 수 있을 것이다. Fig. 7에 인터넷 지원센터 구축을 위한 컴퓨터 서버실(server room)을 보여주고 있다.

3. 첨단 시제품 제작기술

지금까지 소개한 것은 소프트웨어를 기반으로 하는 기술에

관한 것이다. 시뮬레이션은 실제 주조하지 않고 건전한 제품을 얻기 위한 방안설계에 꼭 필요한 기술이지만 그 정확도는 재질, 제품, 공정 등에 따라 천차만별로써 50%-95%까지 많은 차이를 나타내고 있다. 따라서 해석결과를 양산공정에 그대로 적용했을 때 경우에 따라 큰 낭패를 볼 수도 있다. 그러므로 해석결과를 기초로 해서 시제품을 제작하고 그 건전성 여부를 판단하는 것이 매우 중요하다. 뿐만 아니라 서론에서도 언급한 것과 같이 다품종 소량생산이나 자동차 신차종 개발과정 등에서 발생하는 시제품의 수요를 효과적으로 대응 할 수 있는 신기술로써 목형과 증자금형이 필요 없는 쾌속조형장비(RP)와 주형용 5축가공기 등이 시뮬레이션기술 및 3차원 단층촬영기(CT)와 더불어 하나의 시스템이 되어 활용될 수 있다.

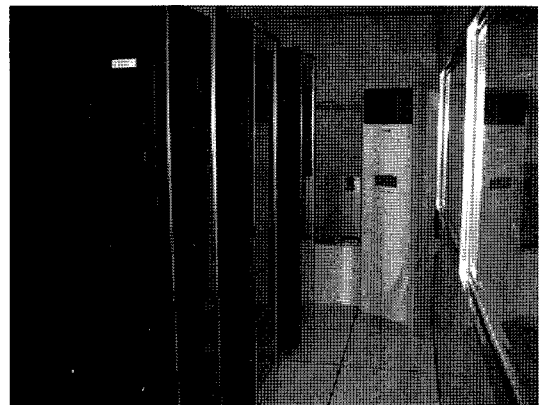


Fig. 7. 컴퓨터 서버룸(server room).

Generator Shaft를 움직이게 하는 심장부인. 그림1은 Pelton Runner의 구조도를 그림 2는 배치도를 나타냄.

그림 1. Pelton Runner 구조도      그림 2. Pelton Runner 배치도

3-1 재질

표 1. 화학성분

성분	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
Grade	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SCS 5	MAX.	MAX.	MAX.	MAX.	MAX.	3.5	11.5	0.4	MAX.
MOD.	0.06	1.0	1.0	0.04	0.03	4.5	14.0	1.0	0.5

3-2 기계적 성질

Fig. 6. 기술정보 통합 데이터베이스 예.

즉 시뮬레이션에 의해 방안설계를 한 뒤 이 데이터를 온라인으로 RP에 전송하여 중자를 제작함과 동시에 tool path를 생성시켜서 5축가공기에서 외형을 제작, 중자와 합형하여 주형을 완성한다. 주형에 용탕을 주입하여 주조한 뒤 제품을 CT로 촬영하여 결함여부를 분석한다. 분석결과 건전하면 작업을 완료하고 만일 결함이 나타나면 재해석하여 방안을 수정한 뒤 일련의 과정을 건전한 제품을 얻을 때까지 반복한다.

이러한 개념(Concept)은 아직 세계적으로 종합적으로 채택되어 활용되고 있는 곳은 없으며 우리나라가 최초로 시도하고 있는 대표적인 IT융합기술이라고 말할 수 있다. 다만 독일에서는 RP와 5축가공기를 중심으로 운영되는 두개의 회사가 있어서 성업 중이다.

### 3.1 쾌속조형장비(RP)

DLS(Direct Laser Sintering)방식의 장비로써 열경화성수지가 코팅된 모래를 재료로 사용한다. 온라인으로 컴퓨터 설계실에서 전송받은 모델링 데이터(STL)를 근거로 하여 0.2mm 두께를 갖는 얇은 모래층위에서 제작하고자 하는 중자부위에 레이저를 선택적으로 조사하여 순간가열, 소결하게 된다. 0.2mm 두께 층이 소결되고 나면 새로운 0.2mm 모래층이 그 위에 다시 덮이게 되고 그 위에 레이저 소결작업이 반복되게 된다. 이러

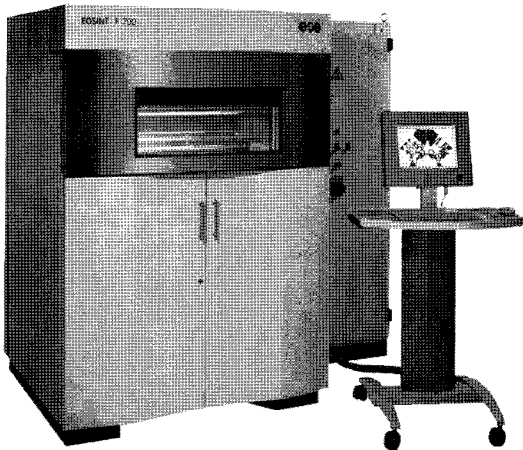


Fig. 8. 쾌속조형장비.

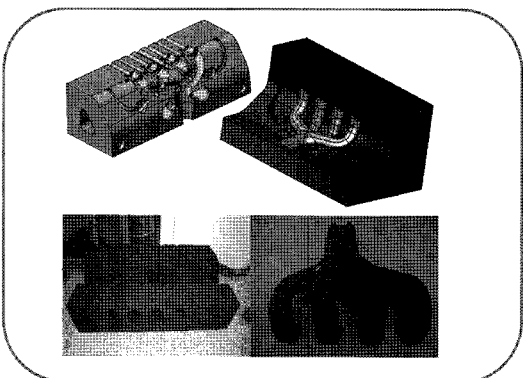


Fig. 9. 제작된 중자의 사례 (배기 매니폴드).

한 0.2mm 두께 층이 계속 적층방식으로 쌓이게 됨으로 최종적으로 만들고자 하는 중자형상이 얻어지게 된다. 이때 최대 중자크기는 720\*380\*380mm이며 증형자동차 엔진블럭용 중자 제작을 기준으로 되어있다. 과거에는 이러한 중자 하나를 제작 하는데 많은 시간이 소요되어 생산성에 문제가 있었으나 지금은 통상 제작 크기에 따라서 2-10시간에 1세트씩 제작이 가능하며 앞으로 이 속도는 더 빨라질 전망이다. Fig. 8에 쾌속조형장비를 나타냈고 Fig. 9에는 제작된 중자의 사례를 나타냈다.

### 3.2 5축가공기(CNC)

쾌속조형기(RP)는 중자전용장비로써 RP로 대형 주형을 만드는 것은 대단히 낭비적인 일이다. 따라서 중자는 RP로 만들고 외형은 5축가공기로 제작하는 것이 바람직한 방법이다. 과거에 5축가공기가 나오기 전에는 LOM이라고 하는 적층방식에 의해 종이로 원형을 만드는 장비가 주형을 만드는데 사용되었으나 지금은 LOM을 거의 사용하지 않고 있다. 5축가공기도 독일의 두개 회사 정도가 사용하고 있고 아직 범용화는 안 되었지만 앞으로 3D Printer 방식의 RP와 더불어 보급이 확산 될 것으

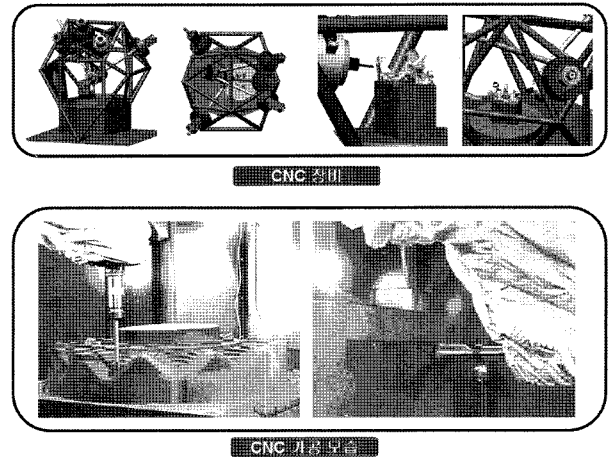


Fig. 10. 5축가공기 및 공정.

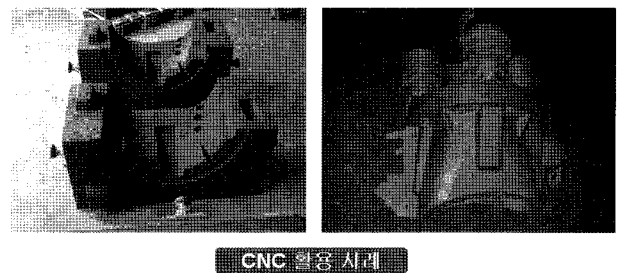
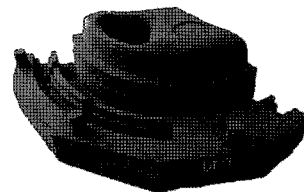


Fig. 11. 제작된 주형(Metrom, DirectForm).

로 보인다. 주형용 5축가공기는 일반 5축가공기와 작동원리는 동일하나 다만 사형재료를 가공하므로 내마모성이 매우 우수한 초경공구 및 제작 중에 발생하는 분진을 처리하기 위한 장치가 필수적인 것이 차이점이다. 제작가능한 주형의 크기는 최대 2,000 mm\*2,000 mm\*1,000 mm로써 대형의 주형제작이 가능하고 후판, CO<sub>2</sub>, 알파세트, 펄셋 등 모든 유형의 자경성 사형을 가공 할 수 있다. Fig. 10에는 5축가공기 및 공정을 나타냈고 Fig. 11에는 제작된 주형을 나타내었다.

### 3.3 산업용 단층촬영기

X선 단층촬영기는 제품을 자르지 않고 3차원으로 내부불량 상태 즉 결함검출, 기포분석, 제품의 내부구조검사 등 비파괴검사 분야에 폭넓게 활용 할 수 있는 범용 검사 장비이다. 제품

의 내외부 전체에 대한 완전한 3차원 형상 데이터를 얻을 수 있어 치수 측정 및 역설계분야에 활용 할 수 있다. 3D CT장비는 두개의 X선 발생장치, Flat panel detector, 회전선반 및 컴퓨터와 주변장치로 구성되어 있다. 225 kV의 micro focus X-ray tube와 450kV의 standard focus X-ray tube가 동시에 갖춰져 있기 때문에 촬영하려는 물체의 크기 및 재질에 따라서 적절한 X선 발생장치를 선택적으로 사용할 수 있다. 이를 비정질 실리콘으로 만들어진 1024\*1024 pixel 크기의 digital flat panel detector와 조합하여서 최대공간해상도가 5마이크로미터인 3차원 micro-CT 데이터를 얻을 수 있다. Fig. 12에 산업용단층촬영기의 내외부를 나타내었고 Fig. 13에 촬영사례들을 나타내었다.

### 4. 맺는말

생산공정에 IT를 응용하여 기존기술의 한계를 뛰어넘고자 하는 노력이 세계 각국에서 경쟁적으로 추진되고 있는 흐름 속에서 전문인력 부족, 제품의 고급화의 어려움, 전형적인 3D의 환경 속에서 사면초가에 몰려있는 국내주물업계도 오직 IT를 생산공정에 적용하는 것이 기술혁신의 지름길이라 생각된다. 더욱이 주물의 수요는 줄어들지 않는데 기업과 엔지니어의 숫자가 급격히 줄어들고 있는 현실을 극복할 수 있는 대안은 IT를 접목하여 생산공정을 혁신하여 부가가치를 올리고 새로운 기술의 전문인력을 양성하는 것이라고 생각된다. 우리나라는 세계적으로 인터넷 사용 환경이 가장 뛰어나다는 강점을 효과적으로 활용하는 것만이 중국및 일본과의 경쟁에서 이길 수 있는 길이다. 앞에서 소개한 기술들은 아직 세계적으로 일반화 되어 있지 않고 우리나라가 가장 앞서 있는 분야라고 말할 수 있다. 앞으로 이러한 첨단기술들이 생산현장 곳곳에서 활발히 적용되어지기 위해 산학연이 함께 협력하여 적극적인 기술개발과 지원을 이루어 나가야 할 것이다.

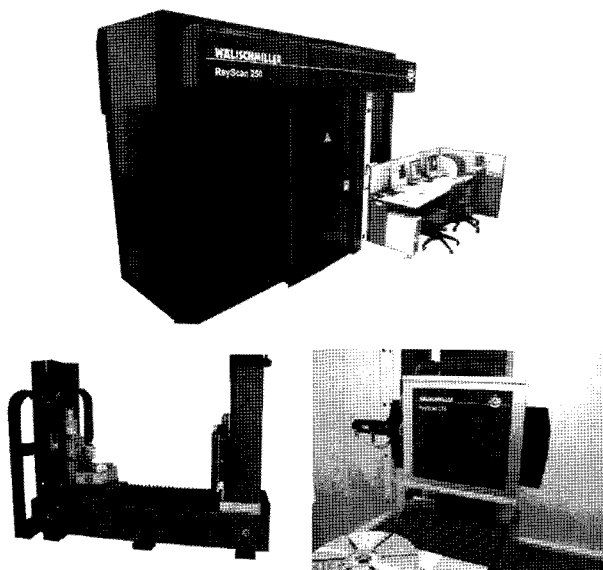


Fig. 12. 산업용단층촬영기의 내외부.

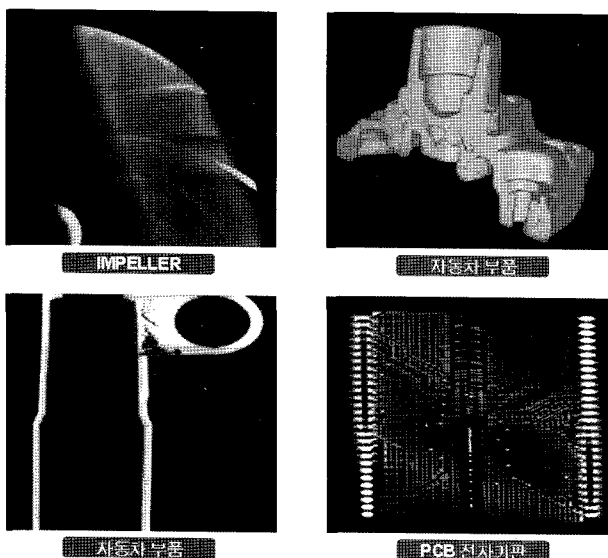


Fig. 13. CT촬영사례.