

技術資料

# 주물생산공정에서의 CAE의 활용

서관수, 예병준

## Linking Foundry Operations with Computer Aided Engineering

K. S. Suh, B. J. Ye

### 1. 서 언

미국주물업체들은 지난 15년동안 주물중량의 경감과 효율성의 증진에 대한 필요성으로 인해 계속적인 변화를 거듭해 왔다. 이러한 변화들은 경량재료(Al, Mg, 복합재료)의 첨가와 주조성을 최적화하는 새로운 주조공정의 이용을 통해 이루어졌다. 또한 주물제품들이 더 높은 정적 응력과 동적 응력, 보다 높은 온도와 악화된 부식환경을 견딜수 있도록 제조되었다. 이러한 변화들은 미국 자동차업체들이 연비의 향상과 배출기준을 줄이기 위해 소형차를 제작함으로써 나타났다. 따라서 주조기술은 CAD, 범용의 측정장치와 새로운 비파괴검사기술을 이용하여 상당히 개선되었다. 개선된 주조기술은 다음과 같은 요건으로 평가될 수 있다.

- 설계 및 무게의 최적화
- 주물품질 및 성능의 향상
- 수행(implement)과 확인작업(validation)시간의 최소화
- 가격의 감소

금속주조시 현존하는 컴퓨터 기술을 사용하면 품질과 생산성이 획기적으로 향상되어 이러한 요건을 충족할 수 있다. 그 한 예로서 CAE(Computer Aided Engineering)가 있다. CAE는 주물의 품질을 향상시키고 주물의 무게와 가격을 줄이며 원형제작과정을 제거시킬 수 있다. 따라서 생산품은 더 빠르게 시장에 공급된다. 또한 CAE는 주물설계, 타당성 및 생산작업등에 대하여 앞으로 지속적인 향상을 할 수 있는 토대를 만든다.

CAE해석영역은 다음과 같다.

- 탕구제작(gating), 압탕제작(risering) 및 응고
- 유체유동 및 열전달
- 기계적응력해석, 열응력해석
- 차원(dimension)해석
- CAD 및 가공제작(tooling manufacture)

### 2. CAE의 역할

CAE는 원래 설계 및 제도에 대한 도구로써 널리 사용되었으나, 최근 5년동안 미국주물업계에서는 모델화, 모사실험 및 해석의 도구로써 급격히 활용하였다. CAE를 활용할 수 있는 금속주조자(metalcaster)가 구매자들에게 공급할 수 있는 또 다른 서비스는 다음과 같다.

- 탕구제작과 압탕제작의 최적화
- 생산능력 및 조립에 대한 설계
- 통계적변화 모의 설계
- 유한요소 해석
- 피로 해석

CAE는 또한 생산개념에서 주물설계, 주문제작 및 주물가공계산으로의 변환단계로서 이용된다. 프로그램은 특정 부품이 최적화된 주조성, 극대화된 주형당 제품생산량 및 최선화된 탕구와 압탕제작요건을 얻기 위해 자동적으로 분근법을 배열되는 정도까지 개발되어있다.

### 3. CAE 시스템

CAE는 주요 고객의 소프트웨어와 하드웨어시

경쟁력 상실의 원인이 되며 따라서 시스템의 선택에 있어 데이터를 완벽하고 신속하게 처리할 수 있는 능력은 중요하다. 미국에서는 컴퓨터전산망 (computer networking)의 이용이 상당한 지지를 얻고 있지만, 그러한 사용은 분기된 워크 스테이션들로 이루어진 집중화된 메인프레임(mainframe) 또는 개별적이고 독립적으로 형성된 워크 스테이션의 컴퓨터시스템의 선택에 따라 결정된다. 그러나 선택된 하드웨어의 네트워크에 상관없이 소프트웨어의 플랫폼(platforms)들간의 통신이 필요하다. 미국 및 전세계 사용자들은 이러한 필요성을 인식하고 그 문제를 다룬 다수의 내역들, 즉 IGES, PDES, STEP 및 DMIS 등을 개발하였다. CAE시스템의 이용시 고려되어야 할 또 다른 인자는 시작할 때의 기술수준이다. 당장 진보된 해석과 설계들을 사용하기 보다 기초적인 것부터 점진적으로 사용하는 것이 바람직하다. CAD의 경우, 주물공장이 2-D도안 및 설계 작업으로 시작하여 3-D망구조로 발전하고 최종적으로 표면모델을 사용하도록 한다. 이러한 형태의 설계데이터를 가지고 NC기계가공은 주물의 가공을 위한 컴퓨터 활용작업(computer aided manufacturing)을 위해 개발될 수 있다. 또한 고체모델들을 개발하기 위해 단순화된 프로그램들은 유한요소해석(finite element analysis:FEA)에 대한 자동적인 연결능력을 가진 소프트웨어처럼 사용되어야 한다. 더 복잡한 해석이 필요할 경우, 더 정밀한 방법들이 실험될 수 있다.

#### 4. 모델화

고객들이 공급한 설계기준(엔진작동동안의 인장 및 압축하중, 특정한 안정인자등)을 기초하여 초기 2-D개념의 설계가 개발되고 3-D망구조모델로 이어진다.

이 데이터베이스는 두 종류의 서로 다른 소프트웨어 플랫폼들로 변형되었는데, 하나는 응고해석에 관한 것이고 또 다른 한가지는 FEA에 관한 것이다. 후자는 제품에 가해지는 부가하중을 더 정확하게 결정하고 설계화 재료의 세분화(refinement)가 필요한지를 판단하기 위해 이용된다. 먼저 망구조 부분모델은 솔리드모델로 바뀌며, 이로 부터 중량이나 중력중심과 같은 제품의 다양한 질량 특성들이 결정되었다. 이러한 설계가 채택된다

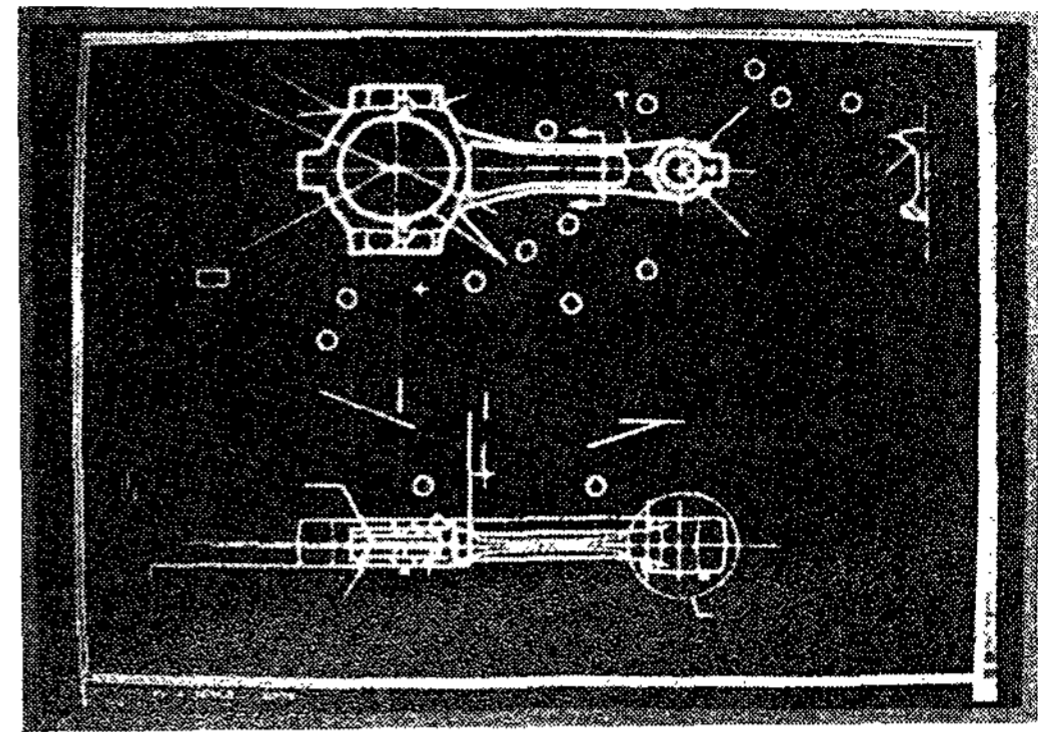


그림 1. 초기의 2-D디자인이 개발된 후 3-D망 구조 모델을 만든다.

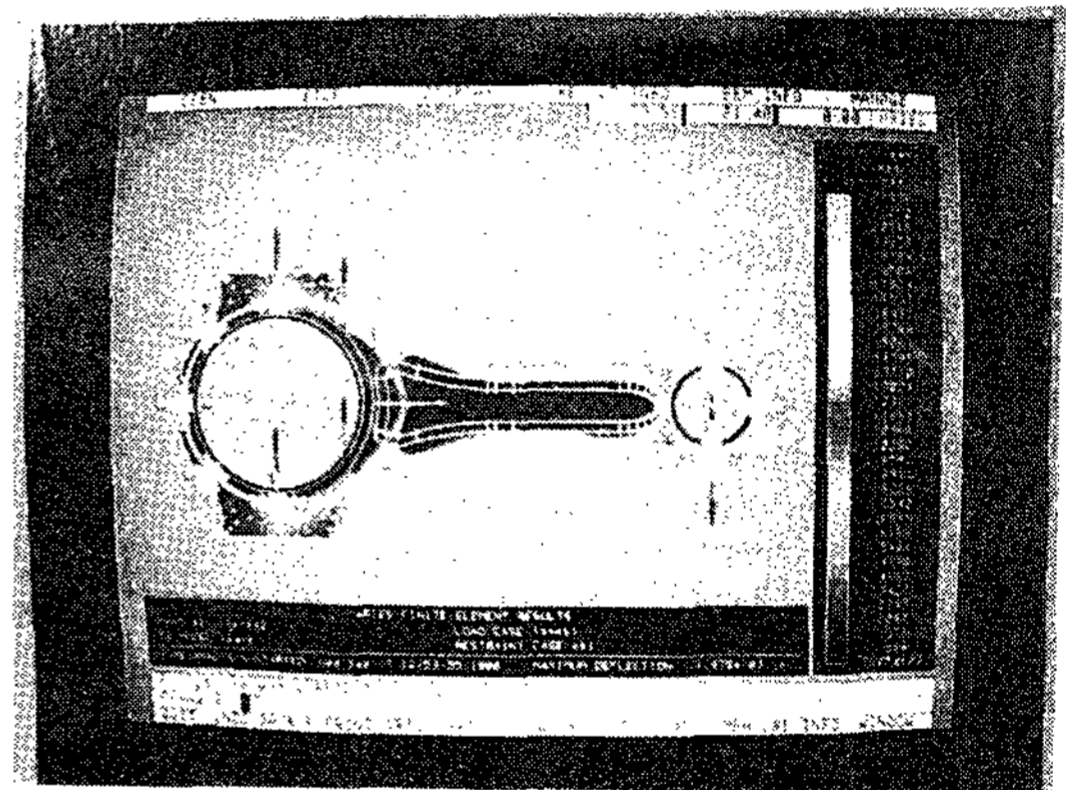


그림 2. 응력 혹은 변형 수준에 대하여 칼라 또는 조도로써 해석할 경우에 구조에 대한 많은 지식을 얻을 수 있다.

면 솔리드모델은 유한요소모델화에 대해서 분할된다. 자동 분할성(automeshing capability)은 특정한 프로그램에 의하여 관범위하게 망구조를 만들 경우에 이용할 수 있고, 특정한 설계를 모아 세분화할 수 있다. 부가하중시 분할화하고 free body diagram를 형성한 후에, 응력해석은 주어진 안전계수(safe factors)에 관련된 다양한 파괴 이론을 사용하여 이루어진다. 응력 혹은 변형정도에 대해 칼라나 명암정도에 의한 해석으로 나타낼 수 있다.

#### 5. 응고 모델화

오리지널 데이터 베이스를 사용하는 통합 응고

모델은 다른 워크스테이션에서도 가능하다. 그 응고모델의 복잡성에 따라 2-D유한차분 혹은 3-D유한요소 프로그램이 사용된다. 그러한 프로그램은 또한 몰드재료의 선택, 몰드의 가열 및 냉각에 대한 조사를 할 수 있다. 3-D해석은 문제점들을 예측할 수 있는 더욱 복잡한 설계 및 그 영역에 이용될 수 있고 또한 응력과 응고계산이 이루어지고, 그 부분이 최적화되어야 비로서 수정된 개념으로 발전된다. 따라서 일련의 설계반복은 필수적이며 설계, 제작 및 조립 개념으로 들간의 절충을 부품 설계를 완성하기 위해 필요하다. 설계의 초기단계에서 빠른 도입을 제공하고 정밀함으로서, CAE는 특정한 제작기준에 의한 완제품 생산에 필요한 시간과 원형제작을 줄일 수 있다. 설계를 완결하기 위해서는 표면모델이 제작된다. 이러한 모델들은 대개 같은 형태를 보여주는 CAD시스템을 사용함으로써 주물을 확인하고, 모델을 만드는 비용과 시간의 소모없이도 분근법과 다른 특징들을 재관찰할 수 있는 최종적인 기회로 제공한다.

### 6. 가공 작업(Tooling)

이 작업은 모형의 가공작업과 코어박스의 CAD를 시작할 수 있으며 모든 분근법을 확인하고 몰드설계를 최적화한다. 그것이 완료되고 난 뒤, tool cutting path 모델은 가공작업에 대한 직접 컴퓨터수치제어가공(computer numerical control machining:CNC)용으로 개발된다. 정밀한 cutter path를 가진 CNC 공작기계를 사용함으로써 빠르고 정밀하며 또한 반복되는 가공작업이 이루어지고(그림 3), CAE와 설계를 완전하게 할 수 있다. 가공작업과 생산이 설계의도에 맞게 이루어지기 위해서는 세밀한 치수적이고 통계적인 해석이 컴퓨터로 조절되는 측정시스템에서 이루어져야 한다. 이 장치는 closed loop network를 통해 직접적으로 데이터를 비교할 수 있는 CAD와 CNC 공작기계로 연결된다. 또한 측정시스템은 수정된 공학기술을 제공할 수 있기 때문에 설계를 개선 할 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

수작업으로 행한 설계변경은 측정장치에서 디지털화될 수 있으며, 그런 후 새로운 데이터는 최신의 데이터 베이스에서 나타난 CAD로 역으로 옮겨진다. 따라서 cutter path는 재발생되고 가공작업의 수정은 쉽게 이루어진다.



그림 3. 수치제어공작기계를 사용할 경우 빠르고 정밀하여 반복가능한 가공작업을 할 수 있다.

### 7. CAE 해석

CAE의 이용시 이러한 시스템과 기술의 가장 간단한 예로서 큰 부피를 가진 주물의 생산작업을 들 수 있다. CAE를 사용할 때에 보다 정교한 소프트웨어 프로그램을 이용하면 제품의 품질과 생산성을 더욱 향상시킬 수 있다.

#### 기계적 응력

기계적 응력에 대한 분석과 예측은 정적조건을 시뮬레이션할 뿐 아니라, 충돌하고 하중이 가해질 수 있는 동적인 상황을 계산하는 경우에도 중요하다. 그림 4는 FEA를 이용하여 주철의 하부 low-



그림 4. 기계적 응력을 예측하고 해석하는 것은 정적 조건에 대한 시뮬레이션과 동적 상황의 계산시에 상당히 중요하다.

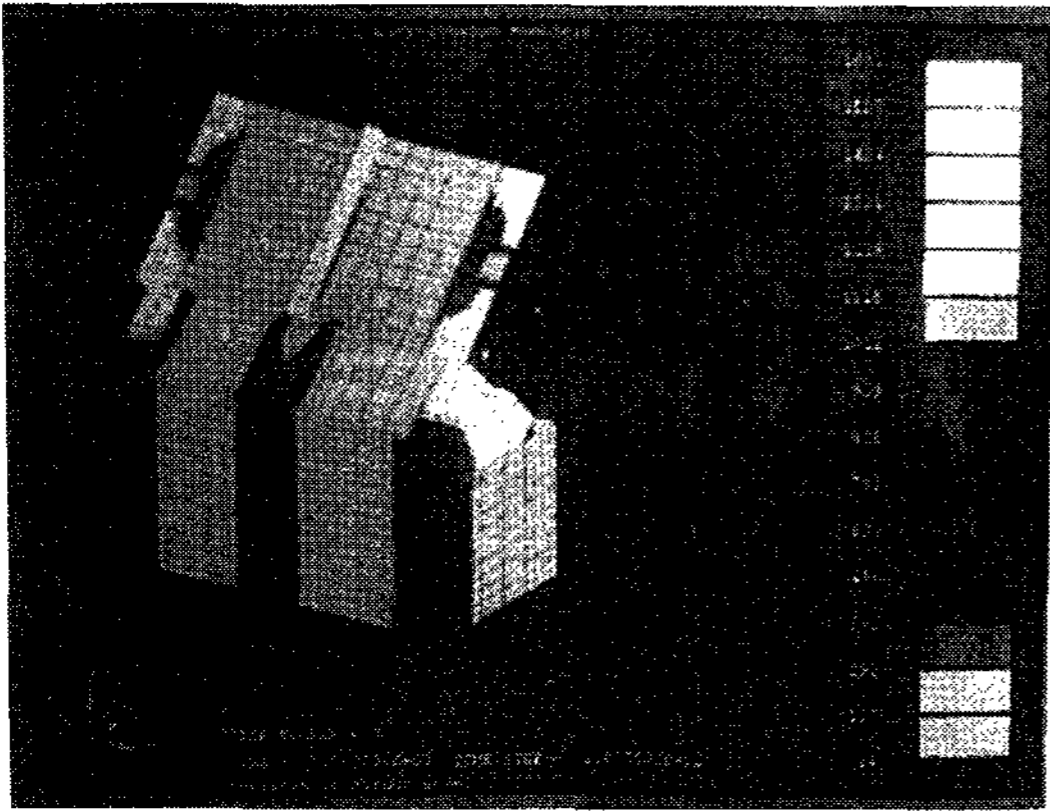


그림 5. 주조된 엔진블록에서의 냉각에 대한 해석.

er control arm 에서 발생된 응력을 계산하는 경우이다. FEA에 의한 분석은 arm이 경사진 곳이나 깊은 구멍을 때렸을 때 arm의 부유시스템 응력을 보여줄 수 있고 또한 파괴를 계산하는데 사용될 수 있다. 예를 들면 한 쪽의 부러진 주철의 팔은 파괴지점에서 파괴에 대한 급속적인 혹은 구조적인 근거를 가지고 있지 않다. 따라서 응력해석을 함으로서 부품이 구매자에 의해 재료를 잘못 설계했던 것으로 판단할 수 있다. 비슷한 방법으로 이런 도구들을 주조과정과 약한 재료에서 발생할 수 있는 응력이 고려되지 않는 공정에서도 주물의 파괴를 계산할 수 있다.

**열전달 해석**

열전달 해석은 두 가지 영역에서 주조자에게 중요하다. 예를 들어 “올바른 몰드재료가 사용되는지 혹은 원하는 응고속도를 가지는지” 등을 확인할 수 있는 작업조건을 계산할 수 있다. 그림 5는 잔류응력을 최소화하기 위한 특정성질들을 발전시키고 냉각속도를 일정하게 증가시키기 위해 다른 몰드매체와 chill을 사용하여 만드는 엔진블록 주물에서의 냉각 해석을 보여주고 있다. 그리고 생산품자체내에서의 열전달은 특정제품, 즉 수냉이 필요한 엔진블록과 헤드에 대한 벽두께와 재료의 선택과 같은 다양한 주조요건에 영향을 주기 때문에 상당히 중요한 고려대상이다.

**유체 이동**

유체 이동은 생산과정과 생산품으로 부터 계산될 수 있는데, 탕구시스템과 몰드에서의 금속유동

이 미리 해석될 수 있고 또한 엔진블록에서 실린더 보어(bore)의 주위에 있는 물의 흐름의 효과와 같은 특정한 부품내의 공기와 물의 흐름을 CAE기술을 사용하여 계산할 수 있다.

**열응력 해석**

열응력 해석은 구조설계자에게 유용한 CAE의 가장 복잡한 적용중의 하나이다. 열응력 해석은 부품내에서의 열응력을 예측할 수 있는 유체유동 기술, 열전달 및 기계적 해석등을 결합시킨다. 많은 다른 엔진주물에 대하여 계산된다면 열응력은 특히 exhaust 매트홀드의 설계를 최적화하는데 유용하다. exhaust 매트홀드에서 발생된 열응력은 부품내의 자동온도와 온도변이에 대한 기초가 된다. 주입가스온도와 흐름속도를 알 때 exhaust 매트홀드내에서의 가스유동이 모델화될 수 있다. 이러한 것으로부터 exhaust 매트홀드의 다른 부분에서 얻어지는 온도는 예측할 수 있다. 따라서 열응력 해석은 기하학적인 변이로 인해 접합된 부품의 온도차 때문에 발생하는 열응력에서 성립된 온도데이터를 사용하는 것이 가능하다.

그림 6에서 설명된 예에서 고객은 exhaust 매니홀드의 무게를 줄이기를 원한다. 더구나 무거운 부분은 결합이 수축되는 경향이 있으며 주조생산자는 또한 열적 내구성의 관점으로 볼 때 절충되지 못했던 선택영역에서의 중량감소로 인해 이익을 얻을 수 있다. 결과적으로 부품의 설계는 재평가되고, 일련의 열응력해석은 비슷하거나 보다 나

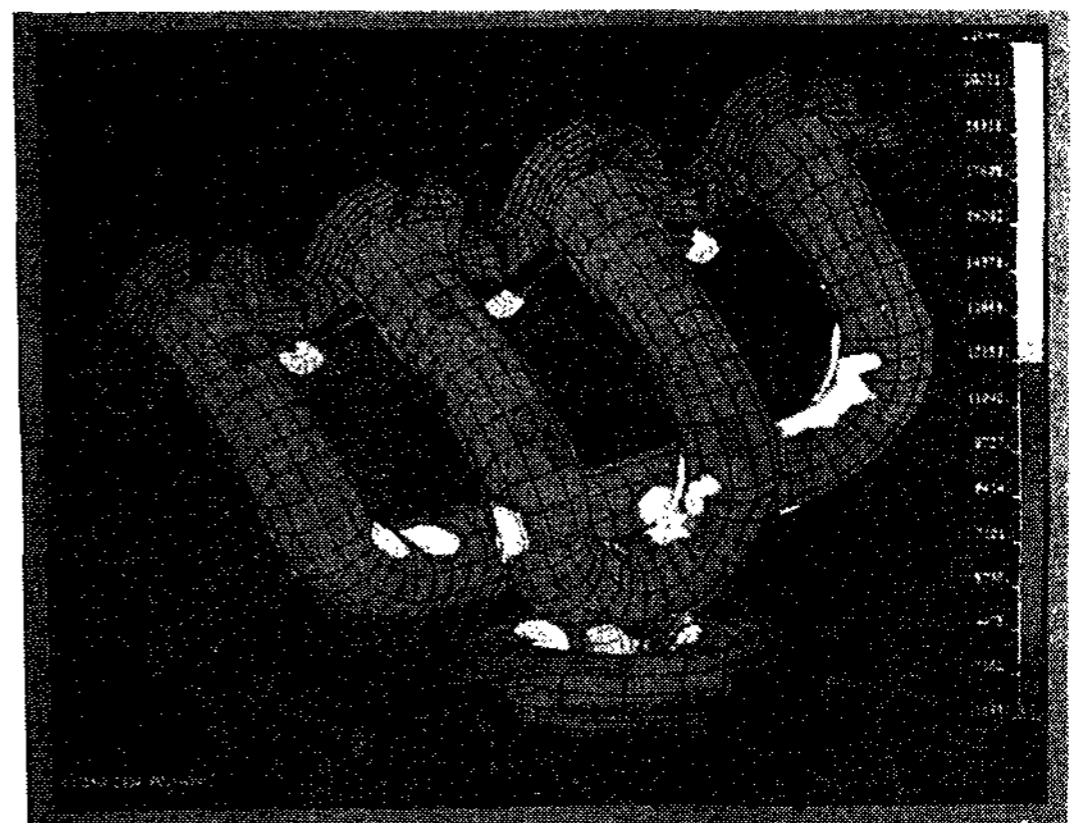


그림 6. 완성된 부품의 디자인은 열적 내구성에 손상을 미치지 않는다. 이 exhaust 매니홀드의 중량은 37% 감소되었다.



은 수준의 작업이 실행되는지를 확인하는 것으로 생각된다. 열적 내구성을 절충함이 없이 CAE는 exhaust 매니폴드를 37%의 무게가 감소되게 재 설계하고 보다 쉽게 주조되게 한다. 이러한 해석을 통해 비용이 많이 들고 반복되는 원형제작의 비용을 없애고 시장공급시간을 줄일 수 있다.

응 고

정교한 탕구제작과 압탕제작의 해석함으로써 주조자들은 주입시스템들을 최적화할 수 있고 몰드당 완제품의 수를 극대화할 수 있다. 응고적인 측면에서 볼 때 조직의 조절과 예측능력은 구매자에게는 점차로 중요한 것이 되고 있다. 예를 들어 미세조직에 대해 내역들은 알루미늄 실린더헤드의 연소실에서 일어나는 고응력수준에 대하여 공식화 되고 이 재설계된 영역에서 이런 정제된 조직을 얻기 위하여 보다 높은 응고속도에 도달되어야 한다. 따라서 응고해석은 이러한 필요성을 가지는 몰드제작조건과 주조설계를 발전시키는데 유용하다.

변이 시뮬레이션

변이 시뮬레이션은 주조자들이 생산성을 평가하는데 유용하다. 변수의 양과 원인을 예측할 수 있는 CAE 소프트웨어를 사용하여 특정한 몰드/코어 제작과정에 대한 최소 벽두께와 마찬가지로 오차증가량과 체적능의 계산이 가능하다. 이 소프트웨어는 주조CAD와 선택된 작업능력의 정보를 사용하여 변이의 원천을 고립시킬 수 있으며, 또한 정확한 작용을 감독하는 "pareto 해석"을 함으로써 그림 변이들의 상대적인 중요성을 평가한다. 평가는 간단한 것부터 복잡한 것까지 이루어지는데, 평가의 목적은 생산과정의 전반적인 강도를 향상시키는 큰 변이의 원천을 줄이자는 것이다.

컴퓨터기술의 활용에 따른 이점들중에는 새로운 제품을 도입할 때 고품질을 얻는데 필요한 시간과 노력의 감소가 있다. 이것은 조업능률, 생산능력과 이익을 보장할 수 있는 부품의 설계에서 지도적 위치에 있는 금속주조자도 포함된다. 그 금속주조자는 제품생산의 작업지식을 가지며 완전한 서비스능력을 제공함으로써 단순하게 주물제품을 제작하는 다른 경쟁자들로부터 그 자신을 차별화한다. 오늘날 full service 금속주조자에 필요한 기술들은 주조기술에 대한 투자뿐만 아니라 보다 교육되고 훈련된 인적자원에 대한 투자도 점차적으로 강조된다. 컴퓨터를 기초로 한 기술의 이익을 얻기 위해서는 금속주조산업은 연구와 교육에 투자를 계속하여야 한다.

참 고 문 헌

1. Lawrence E. Smiley : Modern Casting, January 1987, 32, 33
2. T. Bex : Modern Casting, March 1991, 23-25
3. Franco Chiesa : Modern Casting, December 1991
4. Phill Muhfeder : Modern Casting, November 1989, 79
5. P. C. Schmidt : Modern Casting, March 1989, 33, 34
6. T. Crowley : Modern Casting, 30 (1988) 30
7. D. W. Schpherd : Modern Casting, 78 (1988) 40-42
8. P. W. Bralower : Modern Casting, 78 (1988) 43