

〈論 文〉

주형의 전산기 원용 설계(I)

—목형과 압탕부의 설계—

박 증 천* · 이 건 우**

(1989년 11월 29일 접수)

Computer Aided Design of a Pattern and Risers for Casting Processes(I)

Jong Cheon Park and Kunwoo Lee

Key Words : CAD(전산기 원용 설계), Pattern(목형), Riser(압탕), Riser Neck(압탕목)

Abstract

An interactive computer program has been developed to design a pattern and risers for the production of castings of high quality. In our system, the user models the shape of a final product by using the system's modeling capability, a pattern is generated in a three dimensional model by eliminating the holes and adding shrinkage allowances and drafts, the proper riser is created automatically, and they are united together to yield the three dimensional model of the portion of a mold assembly. The mold can be completed after the runners and the gating systems are designed, modeled, and united, which will be described in part 2 of this work. The unique feature of this work is a realization of an automatic design of the pattern and risers by integrating the modeling capabilities and the design equations used in the real practice.

1. 서 론

주물 제품의 제조에 있어서 주조 방안은 제품의 건전성, 회수율, 생산성등에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 주물 생산에서 불량율 일으키는 직접적 또는 간접적인 원인이 되고 있다. 또한 주조방안은 계산의 복잡성, 방법의 다양성으로 인해 실제적으로 거의 대부분의 경우에 경험적이고 감각적인 방법에 의존하고 있는 실정이다. 근년에 들어 컴퓨터의 발달로 주조 방안을 전산화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는데 이를 통하여 압탕 및 탕구 방안의 전산화가 어느 정도 이루어졌고⁽¹⁻³⁾, 개인

용 컴퓨터를 이용한 소프트웨어⁽⁴⁾도 개발되었다. 그러나 개발된 대부분의 전산화 방안들은 삼차원적 형상을 갖는 주형의 설계에는 미치지 못하고 있다.

한편, 주형의 형상은 최종 제품의 형상에 크게 좌우되고 있으며 이같은 사실은 일단 임의의 최종 제품의 형상이 규명되면 CAD 시스템에서 제공하는 모델링 기능을 사용하여 완전한 삼차원적 형상을 갖는 주형의 설계 과정을 자동화할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 이런 관점에서 본 연구는 완전한 삼차원적 형상의 주형을 설계하기 위한 CAD 시스템을 개발하는데에 목적을 두고 있다. 이를 위해서는 (1) 제품의 모델링, (2) 목형의 자동 설계, (3) 압탕부의 자동 설계, (4) 탕구계의 자동 설계, (5) 주형의 완성 등의 기능들이 개발되어야 하는데 본 연구에서는 이와 같은 각각의 기능들을 개발하여 결합함으로써 전체적인 주형 설계 시스템

*서울대학교 대학원

**정회원, 서울대학교 공과대학 기계설계학과

을 구성하였다. 본 시스템의 설계 과정을 살펴보면 먼저, 설계자가 최종 부품의 형상을 시스템내의 모델링 기능을 이용하여 모델링하면 적절한 형상 변화를 거쳐 목형을 생성시킨다. 생성된 목형을 근간으로 하여 적절한 압탕부와 탕구계를 자동적으로 생성시키고 이것들을 설계자가 원하는 위치에 배치하여 부착함으로써 최종적인 주형을 완성한다.

한편, 본 연구에서는 압탕부와 탕구계의 설계 이론으로, 유체 역학적인 측면과 실제 경험에 바탕을 둔 논리적이고 체계적인 Karsay의 이론⁽⁶⁻⁷⁾을 주로 원용하였으며 또한 주조 금속으로는 구상축연주철(ductile cast iron)을 주 대상으로 하였다.

본 시스템은 기존의 설계 시스템들이 갖지 못한 완전한 삼차원적 모델의 주형을 생성할 수 있으며 응축 시뮬레이션^(8,9), NC 공구 경로 생성등의 응용 프로그램과 직접적으로 연결될 수 있는 장점을 갖고 있다. 본 논문의 1편에서는 위의 설계과정 중 목형과 압탕부의 설계에 대해서 기술하고 탕구계와 주형의 설계에 대해서는 2편에서 기술하도록 한다.

2. 제품의 모델링

주형의 설계는 안들고자 하는 최종 제품의 형상에 의해 결정되므로 최종 제품을 모델링하는 방법이 반드시 필요하다. 이를 위해 삼차원 물체에 대한 모델링 기능을 본 연구실의 형상 모델링 시스템의 부 프로그램들을 결합시켜 제공하고 있다. 본 시스템의 모델링 기능은 여타 상용 모델링 시스템과 같은 기능, 즉 기본 형상(primitive)간의 집합 작업(union, subtraction, intersection)을 지원한다⁽¹⁰⁾. 본 시스템이 제공하는 기본 형상들로는 직육면체, 원통, 원추, 프리즘, 구, 토러스(torus)등이 있으나 자유 곡면은 구현될 수 없다.

3. 목형의 자동 설계

3.1 구멍의 제거

목형 설계를 위한 첫 단계는 최종 제품내의 모든 구멍들을 제거하는 일이다. 이때 제거된 구멍은 코어(core)를 설계하기 위한 기하학적 정보를 제공할 수 있어야하며 실제로 나중에 설계될 코어로 대체되어야 하는데 이에 대한 연구는 차후에 수행할 예정이다. 실제 프로그램상에서는 설계자가 화면상에

서 구멍을 이루는 루우프상의 모든 모서리를 지정하도록하여 그 모서리들과 연관된 면들 중 구멍을 구성하는 면들을 찾아내고 이것들과 연관된 모든 기하학적 정보를 제거함으로써 수행한다.

3.2 수축여유의 보정

수축여유는 용융 금속의 응고에 따른 수축 현상을 보정해 주어야 할 양으로, 이를 고려하여 목형은 최종 제품보다 다소 크게 설계되어야 한다. 실제 프로그램상에서 목형을 설계하기 위해 다음과 같은 가정들을 둔다. 첫째, 전체 수축은 부피에 따른 것이지만 수축에 대한 보정은 대개 선형적으로 표시된다⁽¹¹⁾. 둘째, 형상이 크게 복잡하거나 두께가 지나치게 얇지 않는 한 목형의 질량 중심은 목형 내부에 있고 실제 열중심과 근사적으로 일치한다.

목형에 수축여유를 보정하는 작업은 다음 단계들에 의해 설명될 수 있다.

(1) 목형의 질량중심의 좌표를 계산하여 수축의 중심점으로 가정한다.

(2) 목형을 구성하고 있는 곡면들의 종류를 확인한다. 현재 수축여유를 보정할 수 있는 목형 면의 형태는 평면형, 원통형, 원뿔형으로 제한하였다.

(3) 해당 곡면이 평면형일 경우, 수축 중심점에서 해당 면까지의 수직거리를 $\{수축률/(1-수축률)\}$ 의 비율만큼 해당 면을 그것의 법선 방향으로 이동시킨다. 만일 곡면이 원통형이나 원뿔형이고 볼록한(convex) 경우에는 해당 곡면을 $\{1/(1-수축률)\}$ 만큼 확대된 새로운 곡면으로 수정한다. 역으로 오목한(concave) 곡면의 경우는 $\{1/(1+수축률)\}$ 만큼 작아진 치수의 곡면들로 수정된다.

(4) 수정된 곡면과 원래 면과 이웃하는 면들의 해당 곡면들 간에 교차 곡선을 계산한다. 이 교차 곡선들에 의해 수정된 곡면의 모서리가 정의되고 교차 곡선들 간의 교차 작업에 의해 면의 모서리 점의 좌표가 계산된다.

3.3 목형 구배

목형의 빼기 구배는 제품의 취출이 용이하도록 빼내는 방향과 평행한 목형의 각 면들에 대해 인위적으로 주는 경사이다. 목형에 빼기 구배를 쉽게 주기 위해서는 먼저 분할면(parting plane)이 지정되어야 한다. 분할면은 위치와 방향에 의해 결정되는데 본 시스템에서는 방향은 X-Y평면으로 고정시키고, 위치만 설계자가 화면상에서 지정하도록

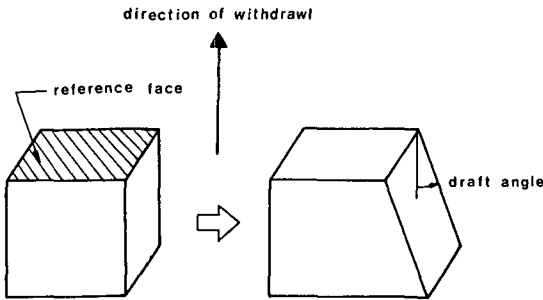


Fig. 1 Draft operation on the pattern

한다. 일반 분할면이 정의되면 목형은 분할면에 의해 일시적으로 상형과 하형으로 분리된다.

분리된 목형에 대한 구배 작업은 다음 단계들에 의해 설명될 수 있다.

(1) 설계자가 목형의 개폐 방향과 평행한 각 면들에 대해 기준면과 구배각을 지정한다. Fig. 1에 기준면과 구배각에 대한 정의가 잘 나타나 있다.

(2) 경사를 줄 면의 해당 곡면의 형과 곡면 방정식을 확인한다. 현재 구배 작업이 적용될 수 있는 곡면의 형태는 평면형, 원통형, 원뿔형으로 제한된다. 만일 해당 곡면이 평면이면 원래 곡면의 방정식을 평면의 법선을 빼기 구배의 각도만큼 회전시켜 얻어지는 곡면의 방정식으로 바꾸고, 곡면이 원통형이나 원뿔형인 경우에는 적당한 경사각을 갖는 원뿔형 곡면으로 곡면 방정식을 수정한다.

(3) 수정된 곡면과 원래 면에 인접하는 면들의 해당 곡면들 간에 교차 곡선을 계산함으로써 수정된 곡면의 모서리를 얻는다. 또한 이 교차 곡선들 간의 교차 작업에 의해 수정된 곡면의 모서리 점을 계산한다.

4. 압탕부의 자동 설계

압탕부에 대한 설계 이론으로 본 연구에서는 Karsay의 팽창 이용 압탕 방안(applied risering method)⁽⁵⁾을 채택하였다. 이 방법은 주물의 기하학적 모듈러스(modulus, 체적/총 방열 표면적)와 주형의 강도에 따라 Fig. 2와 같이 분류된다⁽⁶⁾.

4.1 압탕 방안의 선택

압탕을 설계하기 위한 첫 단계는 적절한 압탕 설계 방안을 선정하는 일이다. 실제 프로그램상에서 시스템이 목형의 체적과 총 표면적으로부터 계산

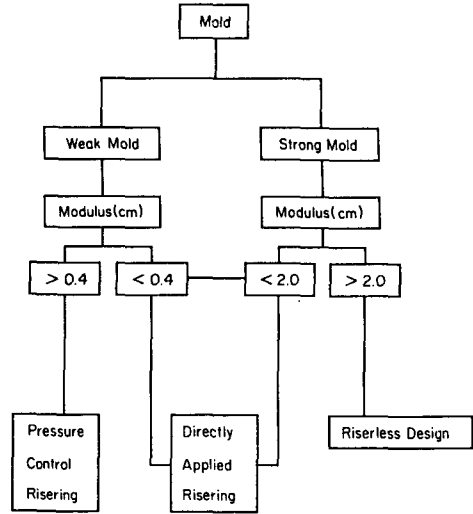


Fig. 2 The family of applied risering methods

된 평균 모듈러스와 주형 강도에 따라 적용 가능한 압탕 방안을 추천하면 설계자가 이에 따르거나 다른 압탕 방안을 선정하게 된다. 본 논문에서는 Fig. 2의 압탕 방안들 중 실제로 많이 적용하고 있는 압력 조절 압탕 방안(pressure control risering)에 따른 설계 방법에 대해서만 설명하도록 한다.

4.2 모듈러스 분석

모듈러스를 분석하는 목적은 주물의 급탕 단위(feeding unit)를 결정하여 필요한 압탕의 개수, 위치 및 크기를 계산하는 데 있다.

모듈러스를 분석하는 과정은 다음 단계들에 의해 설명될 수 있다.

(1) 복잡한 형상의 주물을 절단 곡면을 사용하여 부분(segment)이라 불리는 간단한 형상들로 가상적으로 절단, 분리한다. 절단 곡면의 방정식은 화면상에서 설계자가 절단 곡면이 통과하여 분리될 목형상의 면을 지정함으로써 얻는다. 일단 절단 곡면이 확인되면 목형의 구성 곡면들과 절단 곡면과의 교차 작업을 통하여 목형을 두개의 물체로 분리한다. 더 많은 부분들이 필요한 경우에 위 작업을 반복 수행한다.

(2) 분리된 각 부분의 기하학적 모듈러스와 이동 모듈러스(transfer modulus)를 계산한다. 절단 작업에 의해 생성된 새로운 표면은 실제로 비방열면이므로 기하학적 모듈러스를 계산할 때 제외된다. Corlett와 Anderson⁽¹²⁾에 의하면 이동 모듈러스는

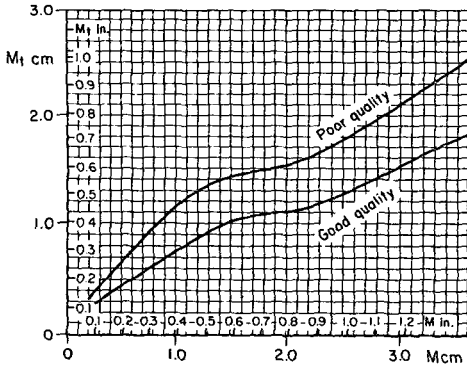


Fig. 3 Relationship of geometric modulus to transfer modulus

“두꺼운 부분의 용탕의 팽창압이 완전히 소실되는 충분히 긴 시간동안 인접한 얇은 부분으로의 용탕 이동이 가능하기 위해서 얇은 부분이 가져야 될 모듈러스”로 정의된다. 따라서 인접한 부분들의 이동 모듈러스보다 더 작은 기하학적 모듈러스를 갖는 얇은 부분을 통해서 용탕의 이동이 불가능하게 된다. 본 시스템에서는 Fig. 3^(1,12)에 나타난 용탕의 야금학적 성상에 따른 기하학적 모듈러스(M)와 이동 모듈러스(M_i)의 관계 곡선을 B-spline 곡선 식으로 표현하여 각 부분의 이동 모듈러스를 계산한다. 여기서 용탕의 야금학적 성상은 통상 1인치 Y-블록에서 취한 시료로 부터 구한 노들 카운트 (Nodule count)로 판정되나⁽¹⁾본 시스템에서는 설계자가 직접 판정하도록 하였다.

(3) 주물의 급탕 단위를 결정한다. 여기서 급탕 단위란 인접한 부분들의 이동 모듈러스보다 더 작은 기하학적 모듈러스를 갖는 얇은 부분들에 의해 둘러 싸여진 이웃하는 두꺼운 부분들의 집합을 말한다.

(4) 압탕이 부착될 부분을 결정한다. Karsay⁽⁶⁾에 의하면 압탕을 각 급탕 단위내의 임의의 부분에 설치해도 무방하나 본 시스템에서는 중요 부분 (significant segment)에 압탕을 부착하도록 추천하고 있다. 여기서 중요 부분은 급탕 단위내에서 가장 큰 기하학적 모듈러스를 갖는 부분을 뜻한다.

4.3 압탕과 압탕목의 치수 계산

압탕과 압탕목의 치수를 계산하기 위해서는 그것들의 모듈러스가 먼저 결정되어야 한다. 주물의 중

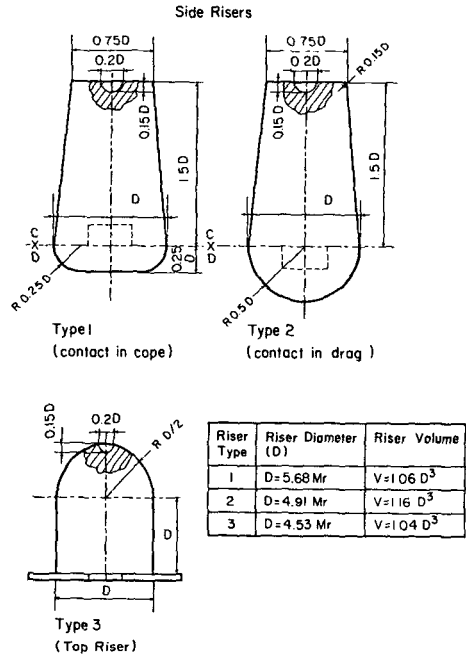


Fig. 4 Courtesy of standard riser shapes

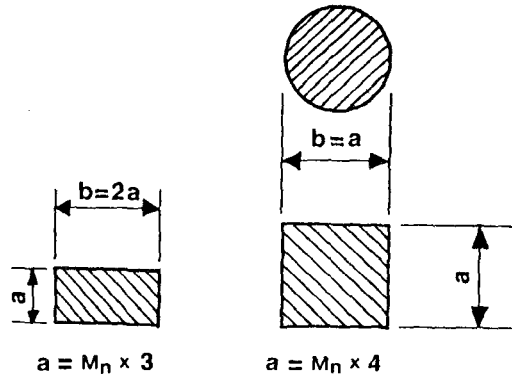


Fig. 5 Shapes of riser neck

요 부분으로부터 용탕의 이동이 가능한 동안 주물과 압탕, 압탕목을 통해서도 용탕의 이동이 가능해야 하므로 압탕 모듈러스(M_r)와 압탕목 모듈러스(M_n)는 이론상 각 급탕 단위내 중요 부분의 이동 모듈러스(M_i)와 같아야 한다. 그러나 압탕목은 그 부위의 축열로 인해 다소 작은 모듈러스를 가질 수 있다. 즉

$M_r = M_i$ (1)

$M_n = 0.67 M_i$ (2)

Fig. 4^(1,5,12)와 Fig. 5⁽⁶⁾는 각각 본 시스템에서 채

택하고 있는 표준형 압탕과 압탕목의 단면 형상을 나타낸다. 설계자가 선택한 형상에 대해 압탕과 압탕목의 치수는 식 (1), (2)와 Fig. 4, 5에 의해 계산된다.

4.4 압탕 크기의 조정

모듈러스를 근간으로 계산된 압탕이 유효 급탕 조건, 즉 압탕이 용탕의 초기 액체 수축으로 인해 필요한 주물의 급탕 체적을 보상할 수 있는지를 판단하고 그렇지 못한 경우에는 이미 설계된 압탕의 치수를 조정해야 한다.

압탕의 크기를 조정하기 위한 과정은 다음 단계로 설명된다.

(1) 압탕들의 총 유효 급탕량을 계산한다. Fig. 6과 같은 표준형 측면 압탕의 경우 유효 급탕량(점적은 부분의 체적)은 다음 식에 의해 계산된다⁽¹⁾.

$$EFM = [(0.007x^3) + (0.095x^2D) + (0.436xD^2)] \quad (3)$$

상부 압탕의 경우에도 주물의 최고점 위의 압탕 부위만이 유효하다.

(2) 주물의 필요 급탕량을 계산한다. 필요 급탕량은 Fig. 7에 나타난 주물의 평균 모듈러스와 용탕의 성상에 따른 필요 급탕율과 주물 체적으로부터

계산된다.

(3) 유효 급탕 조건의 만족 여부를 판단한다. 만약 유효 급탕량이 필요 급탕량보다 적다면 유효 급탕조건을 만족할 때까지 각 압탕의 높이를 1.27cm⁽¹⁾씩 증가시킨다. 이때 압탕의 높이가 직경의 2배를 초과할 경우에는 직경을 1.27cm⁽¹⁾씩 증가시키고 이 과정을 반복한다.

(4) 모든 압탕의 상부가 같은 평면상에 있도록 키가 낮은 압탕의 높이를 키운다. 이는 용융 금속의 초기 수축시 높은 위치에서 낮은 위치로의 용탕의 이동으로 인해 낮은 위치의 압탕의 기능이 무력화 되는 것을 피하기 위함이다⁽⁶⁾.

4.5 압탕과 압탕목의 모델링

압탕과 압탕목이 앞서 결정된 치수들을 갖도록 본 시스템에서 제공하는 기본 형상간의 집합 작업에 의해 모델링된다. 측면 압탕의 경우 본 시스템은 Fig. 8의 A위치로 표시된 바와 같이 기준 좌표계의 원점(R1)을 모델링 기준점으로 선정하고, 이 기준점에 대해 +X방향을 갖게 모델링한다. 반면 상부 압탕의 경우에는 압탕목 밑면의 중심점이 모델링 기준점에 위치하고 방향은 +Z축을 향하도록 모델링한다. 모델링된 압탕과 압탕목을 결합하여 압탕부를 생성한다.

4.6 압탕부의 배치

일단 기준점에 대해 삼차원적으로 모델링된 압탕부는 평행 이동 및 회전 이동 변환에 의해 설계자가 화면상에서 지정한 위치로 배치되어 목형과 결합된다. Fig. 8은 압탕부의 배치 과정을 나타낸다.

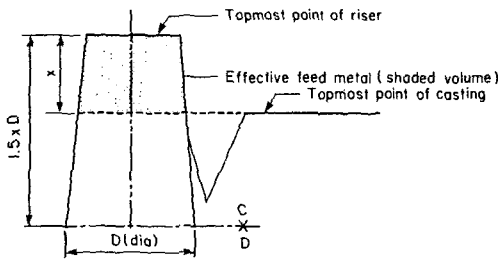


Fig. 6 Effective feed metal of a side riser

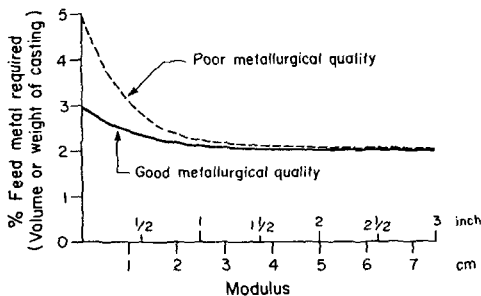


Fig. 7 Relationship of modulus to shrinkage

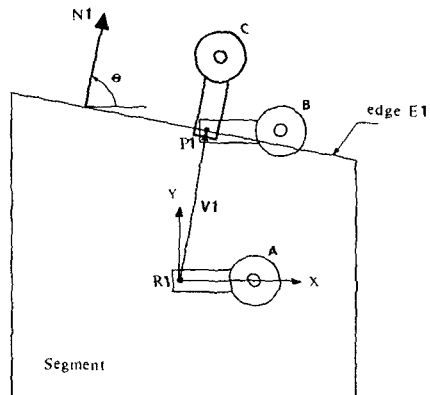


Fig. 8 Layout of a side riser

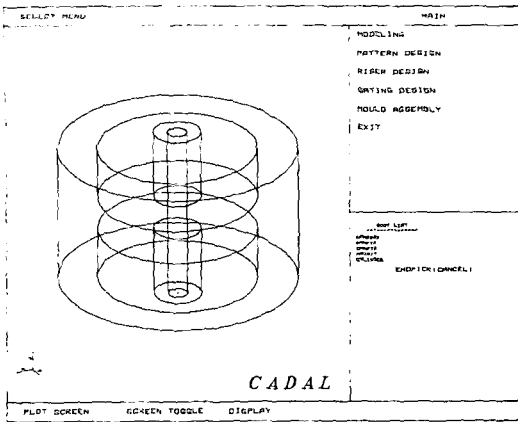


Fig. 9 Case study

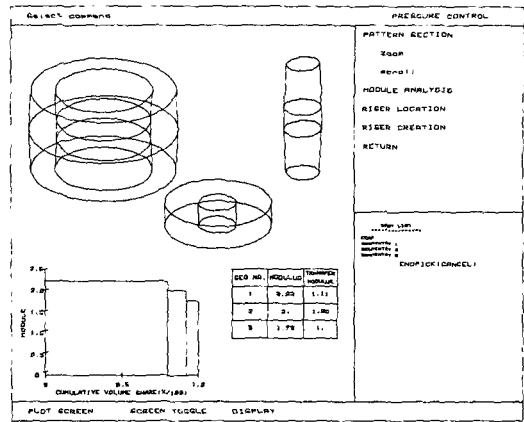


Fig. 11 Case study

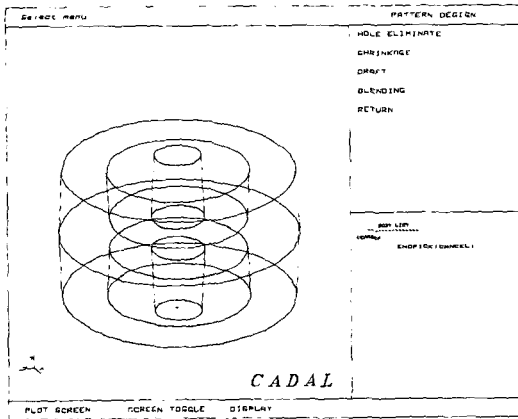


Fig. 10 Case study

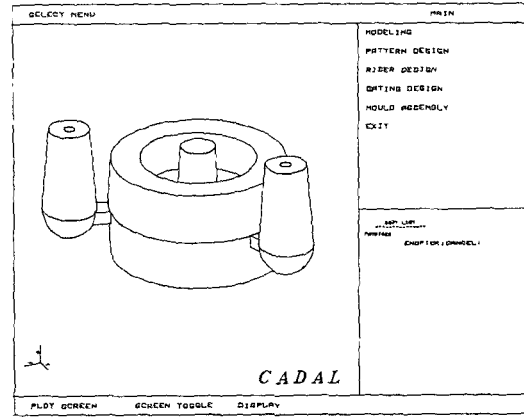


Fig. 12 Case study

5. 설계 적용 예

본 연구에서 개발된 시스템을 사용하여 기어 블랭크(gear blank)에 대한 주형의 목형과 압탕부를 설계하였다. 이를 위해 본 연구에서는 VAX 11/750-Tektronix 4208 그래픽 터미널과 그래픽 라이브러리로 템플레이트(template)를 사용하였다. Fig. 9는 초기 메뉴와 설계자에 의해 모델링된 최종 제품의 형상을 나타낸다. 일단 제품의 모델이 생성되면 최종 제품에 대해 구멍의 제거 작업, 수축여유의 보정 작업, 구배 작업을 순서대로 적용시켜 Fig. 10과 같이 목형을 완성한다. 그 다음 설계자에 의해 분리된 목형의 부분들에 대해 시스템은 Fig. 11과 같이 모듈러스를 분석하여 급탕 단위,

압탕의 설치 위치, 압탕 및 압탕목의 치수등을 계산한다. 최종적으로 유효 급탕 조건이 만족되도록 압탕의 치수를 조정된 뒤 압탕과 압탕목을 모델링한다. Fig. 12는 모델링된 압탕부가 설계자가 원하는 위치에 배치되어 목형과 결합된 형상을 나타낸다.

6. 결 론

주조 공정에 필요한 삼차원적 모델의 목형과 압탕부를 설계하기 위해 본 연구에서는 구멍의 자동 제거, 수축여유의 자동 보정, 자동 구배, 모듈러스 분석을 통한 압탕부의 자동 생성, 압탕부의 배치 등의 설계 기능들을 개발하였다. 본 연구의 궁극적인 목적인 완전한 삼차원적 모델의 주형과 주형 캐

비티를 생성하기 위해서는 탕구계 설계 시스템과 연결되어야 한다. 본 연구에서 생성된 목형과 압탕부의 삼차원적 모델은 유한 요소의 자동 생성에 의한 응축 시뮬레이션과 가공을 위한 NC공구 경로 계산 등과 같은 응용 프로그램에 직접적으로 연결될 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Gerhardt, Jr., P.C., 1983, "Computer Applications in Gating and Riser System Design for Ductile Iron Castings", AFS Transactions, Des Plaines, IL., Vol. 91, pp. 475~486.
- (2) Kotschi, R.M. and Kleist, O.E., 1979, "Computerized Gating of Castings", AFS International Cast Metals Journal, Sept., pp. 29~38.
- (3) Yang, C.R. and Lee, K., 1987, "Computer Aided Design of Riser and Gating System for Casting Processes", Proceedings of the Symposium on Intelligent and Integrated Manufacturing, ASME.
- (4) Dynarad Corporation, 1984, Novacast demonstration manual, available through 14733 Catalina Street, San Leandro, CA.
- (5) Karsay, S.I., 1982, Ductile Iron III Gating and Riser, QIT-Fer et Titane, Inc., Quebec.
- (6) Karsay, S.I., 1984, Encyclopaedia of Design Logic, Ferrous Casting Center(Pty) Ltd., Sandton.
- (7) Karsay, S.I., 1975, "Gating and Riser Ductile Iron Casting", Proceeding of Joint AFS-DIS Conference, Rosemont, IL., Oct., pp. 186~224.
- (8) Pehlke, R.D., 1989, "CAD for Shaped Castings", Proceedings of the Advances in Manufacturing Systems Integration and Processes, SME, Jan., pp. 387~399.
- (9) Berry, J.T., Hill, J.L., and Stefanescu, D.M., 1989, "Computer Aided Design for Casting and Solidification Technology", Proceedings of the Advances in Manufacturing Systems Integration and Processes, SME, Jan., pp. 401~406.
- (10) Chris Cary, 1983, User's Reference Manual, ROMULUS, Shape Data Ltd.
- (11) Smith, C.T. and Lee, K., 1986, "Computer Aided Pattern Design for Casting Processes", AFS Transactions, Des Plaines, IL., Vol. 94, pp. 21~28.
- (12) Corlett, G.A. and Anderson, J.V., 1983, "Experiences with an Applied Riser Technique for the Production of Ductile Iron Castings", AFS Transactions, Des Plaines, IL., Vol. 91, pp. 173~182.