

## 이종 재질의 메탈베어링 성형해석과 설계

### Design and analysis of metal-bearing in the differential materials

전재익 · 김수광(부산정보대) · 계중읍(국방품질관리소), 권혁준(서라벌대학),  
정진서(부산기능대학), 하만경(부경대학교)

Jae Uhk Jun · Soo Kwang Kim(Busan Inf. Col.), Joong Yup Ke(DQAA), Hyeog. Jun.  
Kweon(Mech. Eng. Dept., SRBC), Jin Seo Jung(Busan Pol. Col.), Man Kyung  
Ha(PuKyung Univ.)

ABSTRACT : When designing an engine part the designer has to choose the proper material and to define the dimensions of the part. in the most rudimentary case he has available as guidelines the collective experience from similar applications. The performance of the part is tested on occasion of the trial runs for the full system, and possibly occurring deficiencies are corrected until a satisfactory usable life and safety of operation is achieved. This procedure is time consuming and costly, and the learning effect is minimal. These requirements have to be condensed into characteristic values amenable to computation. Since testing and computation are complementary we have to look at the currently existing mathematical models for engine bearing performance.

#### 1. 서론

현재 국내 업체들에 의해 양산되는 선박, 차량, 발전설비 및 플랜트 설비용 Metal Bearing은 2세대 Bimetal Bearing격인 Cast White Metal Lining Bearing이 주종을 이루고 있으며, 이는 향후에도 산업전반에 널리 이용될 것으로 예견되지만 Cast White Metal Bearing이 정밀 가공을 요

하는 제품임에도 불구하고, 그 기술력이 널리 보편화된 실정으로 선진국에선 이미 자체 제작보다 가격 경쟁력이 우수한 타 지역으로부터 수입에 의존하고 있는 한편, 산업기술 개발 도상국으로의 기술 전이 양상을 감안할 때, 향후 가격 경쟁의 심화로 인한 고 부가가치 창출이 어려울 것으로 판단된다.

이에 반해, Trimetal Bearing은 특수 목적용 박판을 Bearing의 Back Metal에 압축 접합하는 방법으로 내 하중성과 수명 연장을 보장하는 기술로서 점차적으로 관련산업으로의 적용이 확대되고 있다.

이미 국내에서도 동과 납을 혼합한 Bearing 소재 Kelmet을 이용한 압접 시행과 전기도금(Electroplating)에 의한 Overlay층을 형성, 표면 처리한 상용제품이 일부 공급되고 있으나, 베어링 소재로 사용되기 위한 특수 목적용 Aluminium Alloy의 경우는 그 물성치를 획득하기도 힘들뿐더러 압접(Cladding) 시행에 의한 완제품 생산 및 공급의 유래가 없을 정도로 고 난이도의 기술을 요하는 소재 가공 기술이다.

이에 이종금속의 접합기술을 위해서는 접합재료의 설계에서부터 가공기술에 까지 다양하고 심도있는 연구가 이루어 져야 한다. 이에 본 연구에서는 이종금속의 메탈베어링 성형해석과 설계에 대하여 연구하였다.

## 2. 성형해석의 관계이론

### 2.1 유한요소법의 개념

유한요소법(Finite Element Method)은 1930년대에 개발된 Matrix이론을 사용하여 1960년대에 영국과 미국에서 개발되었으며, 이론화 및 상용화가 이루어진 것은 컴퓨터의 발전이 이루어진 1970년대 이후이다. 이러한 유한요소법은 공학과 물리학에서 많이 사용되었으며 컴퓨터 하드웨어의 발전과 더불어 급속히 발전하였다.

유한요소법은 초기에는 복잡한 구조물의 응력해석을 위해 개발되었으나, 그 후 발전을 거듭하여 연속체 역학(Continuum Mechanics)분야 등 광범위한 분야에서 사용되고 있다<sup>(1-4)</sup>. 구조물에 대해 요소의 공통되는 점, 선 및 면 등에서 여러 가지 경계조건을 사용하여 수식을 만들고, 이를 이용해 구조물 전체에 대한 연립 대수 방정식을 만들어 해를 구한다. 공통되는 점이나, 선, 면이 많아질수록 연립방정식이 커지게 되어 해를 구하는데 많은 계산이 필요하게 되었고, 이러한 특징으로 인하여 유한요소법은 컴퓨터의 발전속도와 비례하여 발전하였다.

### 2.2 유한요소법

유한요소해석의 단계별 적용 순서는 Fig. 1과 같다.

실제구조물을 유한요소법을 이용하여 해석하기 위해서는 이상구조물로 치환하여야 하는데 이 과정에서 해석하는 사람의 엔지니어링에 대한 전반적인 지식과 경험이 필요하다.

정확한 이상구조물로의 치환이 끝나면 이상구조물을 유한요소법에서 제공하는 요소와 절점으로 다시 모델을 구현해야한다. 간단한 형상을 가지는 구조물의 경우 사용자가 직접 절점과 요소를 정해주면 되지만 대개의 해석하고자 하는 구조물은 매우 복잡한 형상을 가지게 된다.

이러한 경우 직접 절점과 요소를 찾는 것 보다 선, 면(Patch or Area), 입방체(Hyperpatch or Volume)로 이루어진 기하학적 모델(Geometric Model)을 먼저 구현한 후에 기하학적 모델을 이

용하여 절점과 요소를 생성시키는 식으로 모델링해나간다.

유한요소해석을 위한 요소와 절점 생성이 끝나면 해석조건을 입력해야 하는데 주로 요소의 물성치(Material Properties), 구속조건(Boundary Condition), 하중조건(Loading Condition)을 입력한다.

위의 과정을 거쳐 완성된 유한요소 모델은 수치해석과정을 통해 해석이 수행되며 해석결과를 후처리과정을 통해 구조물의 변위, 응력 및 안정성 등을 평가한다.

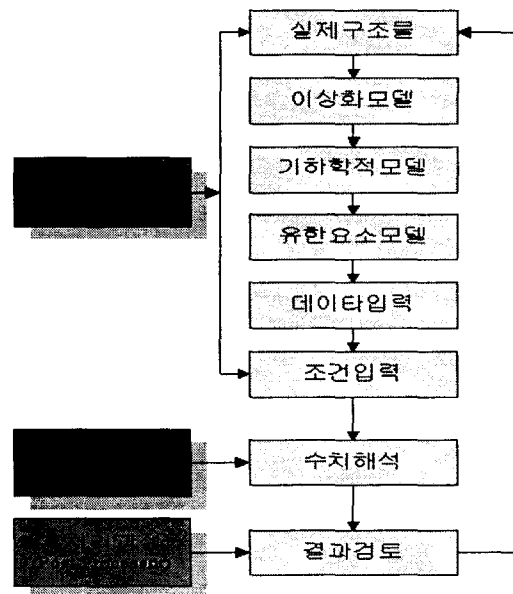


Fig. 1 Instructor of FEM

### 2.3 판요소(3D Plate Element)

평면방향의 거동과 면의굽힘거동을 일으킬 수 있는 압력용기, 토류벽, 교량의 상판, 건물의 바닥 및 기초판 등의 모델에 사용할 수 있다. 판요소는 동일평면상에 위치한 3개에서 12개의 절점에 의해 삼각형, 사각형으로 정의되며, 평면인장/압축거동, 평면전단거동, 두께방향의 굽힘 거동, 두께방향의 전단거동을 고려할 수 있다.

요소자유도는 요소좌표계를 기준으로 X, Y, Z 방향의 변위 자유도와 X, Y축에 대한 회전변위

자유도를 가진다. 판요소는 전체 좌표계 또는 요소 좌표계를 기준으로 임의의 방향에 대해 면상에 압력하중을 받을 수 있다. 평면응력요소는 사각형 또는 삼각형모양을 가지며 평면내의 인장, 압축, 전단강성과 두께방향의 굽힘강성, 전단강성을 가진다.

판요소도 평면응력요소와 마찬가지로 가능한 한 사각형요소를 사용하는 것이 바람직하다.

그리고 판요소로 곡면구조(곡률을 가진 판)를 모델링 할 때는 인접한 요소간의 각도가 10도를 넘지 않도록 해야 하며, 엄밀한 해가 요구되는 부위에서는 2~3도를 넘지 않도록 하는 것이 바람직하다.

응력의 변화가 심한 부분이나 엄밀해가 요구되는 부위에 대해서는 가능한 한 정사각형에 가까운 사각형 요소로 세분화하는 것이 바람직하다. 유한요소해석의 기본원칙은 유한요소 해석을 하는데 있어서 최소의 시간내에 정확한 결과를 얻는 것이 무엇보다 가장 중요하며, 그러기 위해서는 여러 가지 요인을 고려하여 유한요소 모델링을 할 수 있어야 할 뿐 아니라 해석 결과를 정확히 평가 할 수 있어야 한다.

### 3. Back Steel과 Aluminium Alloy 이종 접합 재질의 단조성형

#### 3.1 성형 해석 방법

이종금속의 단조성형 해석을 위하여 앞에서 언급한 유한요소 해석기법을 적용하여야 한다. 이것은 금속의 변형에 대한 응력의 변화를 비롯하여 잔류응력의 방향등을 알 수 있으므로, 실제 제품을 성형하는데 중요한 자료가 되어 제품생산의 기초적인 자료로써 적용 가능하다.

물론, 성형 해석은 성형을 하기 위한 기초적인 준비자료로써 활용이 되고 있다. 그러나 최근에는 성형해석을 위한 전문적인 Software가 많이 개발되어 시중에 상용으로 시판중이며, 이것은 실제 제품을 성형하여 생산하는 업체에서도 그 신뢰성을 인정할 만큼 비약적인 발전을 하였다. 이에 본 개발연구에서는 상용으로 나와있는 성형

해석Software 중, 탄·소성체의 성형해석에 있어서 현재 가장 많은 신뢰성을 인정받고 있는 Software 중의 하나인 DEFORM을 이용하여 성형해석을 하였다.

#### 3.2 성형해석의 적용

FEM을 이용하여 기본적인 성형을 하기위한 성형의 절차를 아래의 그림에 나타내었다.

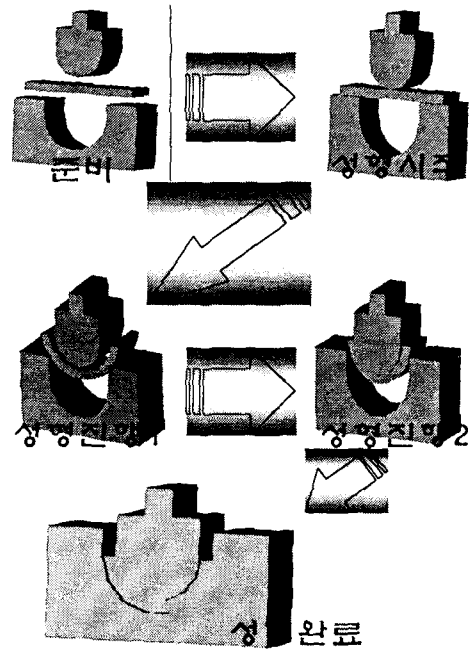
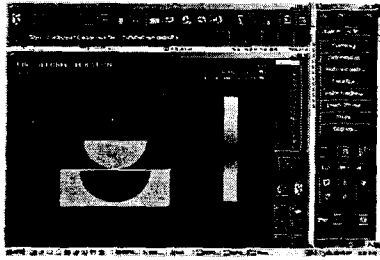


Fig. 2 Injection pattern of FDM

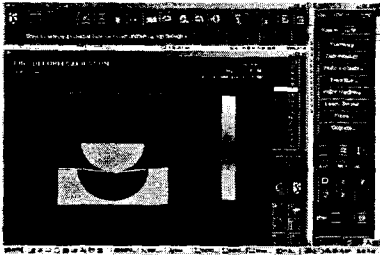
### 4. 성형해석의 결과

#### 4.1 DEFORM의 결과

접합된 이종금속의 성형을 위한 성형 결과를 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5에 나타내었다.



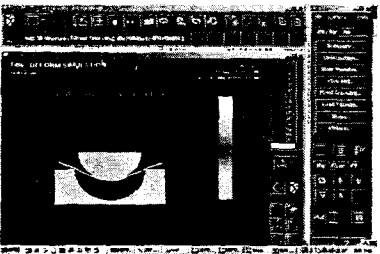
(a) 1/400 step



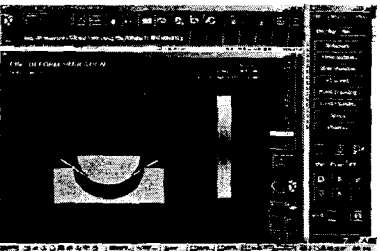
(b) 50/400 step



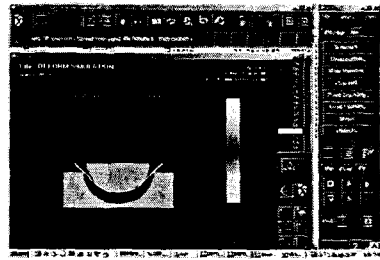
(c) 100/400 step



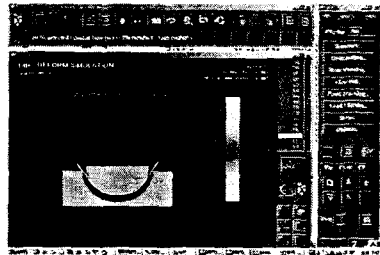
(d) 150/400 step



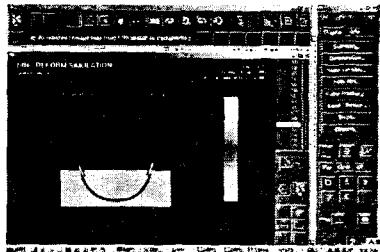
(e) 200/400 step



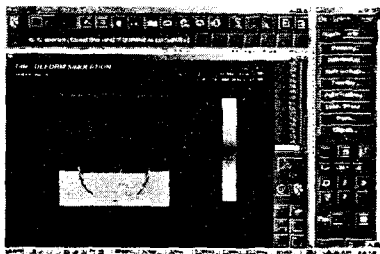
(f) 250/400 step



(g) 300/400 step

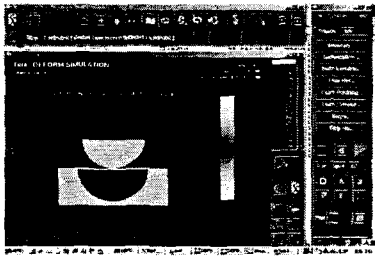


(h) 350/400 step

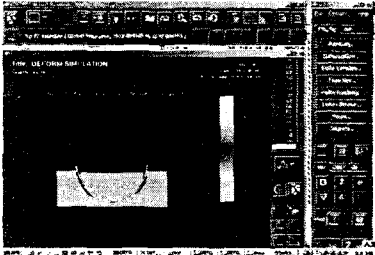


(i) 400/400 step

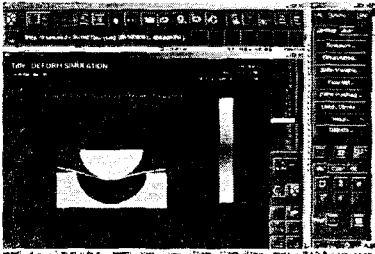
Fig. 3 Results of deform (stress)



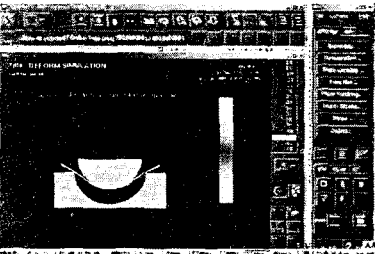
(a) 1/400 step



(b) 100/400 step



(c) 200/400 step



(d) 300/400 step

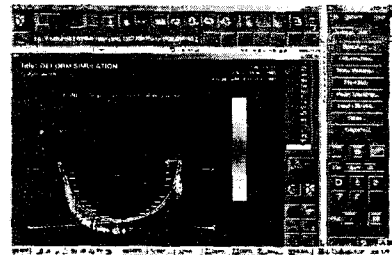


(e) 400/400 step

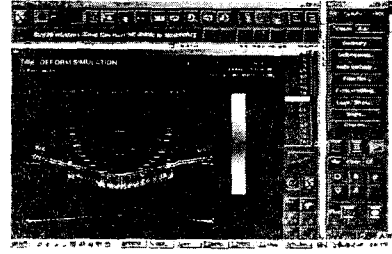
Fig. 4 Results of deform (strain)



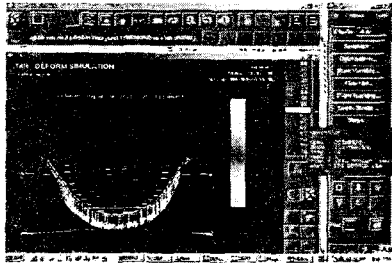
(a) 1/400 step



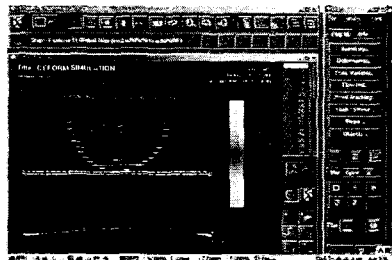
(b) 100/400 step



(c) 200/400 step



(d) 300/400 step



(e) 400/400 step

Fig. 5 Results of deform (velocity)

#### 4.2 고찰

이종금속의 단조성형을 위한 해석을 통한 모의 실험에서는 모의실험결과에서 나타난 것과 같이 성형시의 펀치와 다이가 맞닿는 곳이 가장취약하게 나타났다. 또한 다이와 소재가 맞닿는 곳이 찢겨져 나가는 이러한 현상이 발생할수 있으며 이것을 방지 하기위하여 다이를 단계별로 제작할 필요가 있으면 다이의 안쪽 부분에 미끄럼 장치를 추가하는 것이 성형의 도움이 될것이다.

1. 성형시의 응력은 펀치와 다이가 맞닿아 응력이 집중되는 곳이 가장 취약하다.
2. 취약한 부분을 보강할 수 없기 때문에 다이의 형태를 단계별로 바꾸어 단조성형을 진행하여야 한다.
3. 성형진행 시 70-80%의 성형진행과정 중에 가장 큰 응력이 집중되므로 이 부분의 성형시 대비책이 필요하다.
4. 이에 따라 몇 개의 성형 진행 단이 필요하다.

### 5. 결론

고 부하 조건에서 내구성을 가진 대구경 Metal Bearing을 제작하기 위한 성형해석 및 설계공정은 이종 압접 Sheet의 단조성형과 정도 향상을 위한 범용가공 그리고 전기도금으로 구성된다. 이러한 공정에 따른 중 해석적 연구 부분 즉 이종 압접 Sheet의 단조성형의 해석적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

### 참고문헌

1. Shiilke, N. A., et. al., The Design of an Engine-Flywheel Hybrid Drive System for a Passenger Car, ImechE 200-D4,231/248, 1986.
2. Fitch. E. C., Encyclopedia of Fluid Contamination, FES inc., 1980.
3. Fitch. E. C., Proactive Maintenance for Mechanical Systems, FES Inc., 1992.
4. Fitch, E. C., and Hong, I, C., Hydraulic System Design for Service Assurance, BarDyne inc., pp.182-195.1999.