

# 47ton 굴삭기 주행모터 기어 캐리어의 구조해석에 관한 연구

정일중<sup>†</sup> · 이상훈\* · 이석순\*\*

## A study on Structure Analysis about 47ton Excavator Drive Motor Gear carrier

Il-Jung Jeong, Sang-Hoon Lee, Seok-Soon Lee

**Key Words:** Finite element method(유한요소법), Spring element(스프링 요소)

### Abstract

This study is a structure analysis by applying the output torque and tangential force on 47 ton excavator drive motor gear carrier. The finite element analysis for 3D model is performed by ABAQUS/Standard. We made an estimate of safety by evaluating the results of the finite element analysis.

### 1. 서 론

기술이 발달함에 따라 컴퓨터의 성능도 나날이 발전하게 되었고 그에 따라 고성능의 유한요소 전산해석 software가 개발되었다. 이로 인해 직접적인 시험을 통하지 않고도 복잡한 형상을 지니는 기계부품이나 구조물의 안정성 여부를 판단하기가 용이해져 많은 시간과 비용을 줄일 수 있게 되었다. 이와 함께 신뢰성을 높이기 위하여 많은 부분에서 해석 결과의 정확성을 높일 수 있는 방법이 병행 되어져야 할 것이다.

본 연구에서는 굴삭기 주행 시 동력 전달에 이용이 되는 torque 및 tangential force와 작동 원리를 이용하여 carrier 및 housing이 받는 구조적인 안정성을 검토한다. 보다 실제와 가까운 현상을 구현하기 위해서 해석 software가 지원하는 spring element를 경계 조건에 사용하였다. 그리고 경계

조건 및 하중조건들은 가장 큰 응력이 발생할 것으로 예상되는 최악의 조건으로 적용하였다. 이렇게 안정성을 어느 정도 고려한 상태에서 전체적인 해석을 수행 하였다.

### 2. 기본 이론

유한요소법은 공학과 수리 물리학의 문제들을 풀고 해석하기 위한 공학적 수치 기법중의 하나이다. 기계공학 뿐 아니라 기타 공학 및 수학, 물리학에서 유한요소법(FEM)을 사용하여 그 해답을 얻을 수 있는 문제들은 응력 및 변위 해석, 열전달, 유동장, 그리고 전자기장 등의 해석을 할 수 있다. 손으로 해결할 수 없는 복잡한 기하학적 형상과 하중, 그리고 재료의 물성을 가지는 문제들에 대해서 유한요소 해석해들은 관심대상인 구조물이나 물리적 시스템 내의 임의의 점에서 원하는 값들을 계산할 수 있도록 수식화 되어진다. 그렇기 때문에 그 물체내의 모든 점에서 사용할 수 있다.

유한요소법은 전체 물체에 대한 문제를 한 번에 풀지 않는다. 즉 각각의 유한 요소에 대한 방정식을 세우고, 그들의 조합에 따라 전체 형상에

---

† 경상대학교 대학원 기계공학과  
E-mail : cij6789@nate.com  
TEL : (055)758-4719 FAX : (02)123-1234

\* 경상대학교 대학원 기계공학과

\*\* 경상대학교 공과대학 기계항공공학부

---

대한 미분 방정식을 구한다. 구조 문제의 해는 대개 주어진 하중에 대해 각 절점에서의 변위와 그 구조물을 구성하는 각 요소 안에서의 응력을 계산하는 것을 뜻한다. 이외의 분야에서는 주로 절점의 미지수가 열이나 유동으로 인한 온도, 유체의 압력이 된다.

유한 요소 해석 기법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째로는 유연도법 또는 하중법이라고 부르는데, 이 방법은 미지수로서 내력(initial force)을 사용한다. 지배 방정식을 구하기 위해 먼저 평형 방정식이 사용된다. 그리고 적합 방정식을 사용하여 필요한 방정식들을 추가한다. 그 결과는 잉여하중, 즉 미지의 힘을 구하기 위한 대수 방정식의 형태로 주어진다. 두 번째 방법은 변위 법 혹은 강성도법이라 불리는 방법이다. 이 방법은 미지수로서 절점의 변위를 사용하는데 하중이 작용하기 전에 공통 절점이나 공통 모서리나 면에서 연결된 요소들은 변형이 일어나고 난 후에도 역시 그 절점 모서리나 면에서 서로 연결되어 있다는 적합조건을 우선 만족한다. 평형조건식과, 힘과 변위를 연결시키는 식을 이용하여 지배 방정식을 절점의 변위로 표현한다. 이러한 두 가지 방법은 해석에서 서로 다른 미지수(힘이나 변위)를 사용하게 되고 그들의 정식화 과정을 거치면서 서로 다른 행렬(유연도나 강성도)등이 얻어진다.

### 3. 전처리 과정(Pre-Processing)

#### 3.1 3D geometry modeling

구조해석을 위한 3D modeling은 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4에 각각 나타내었다. 모델링은 3D 모델링 상용 소프트웨어인 CATIA V5에서 수행하였다.

형상을 단순화 시켜 finite element modeling 과정에서 mesh들의 quality를 높이기 위해서 모델링 시 해석 결과에 크게 영향을 주지 못 할 것으로 판단되는 부분들인 작은 hole, fillet, chamfer등은 모두 제거하였다.

Carrier 3을 제외한 기어형상을 포함하는 다른 세 부품의 경우 피치원을 기준으로 어텐덤 계수, 디텐덤 계수, 압력각을 반영하여 모델링을 수행하였다.

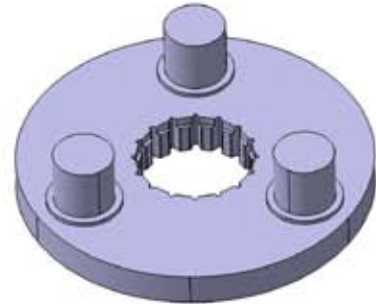


Fig. 1 3D modeling of carrier 1

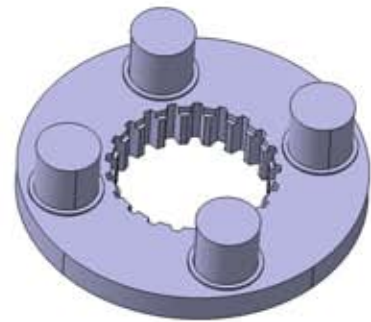


Fig. 2 3D modeling of carrier 2



Fig. 3 3D modeling of carrier 3

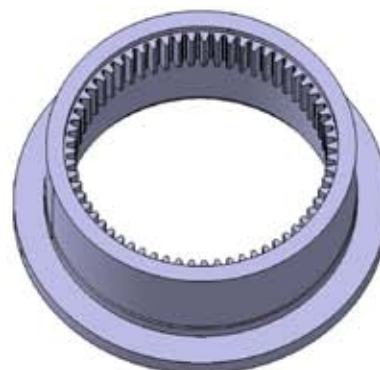


Fig. 4 3D modeling of Housing

### 3.2 Finite element modeling

유한요소 형상을 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에 각각 나타내었다. 사용된 상용 소프트웨어는 Altair사의 HyperMesh이다. Finite element model은 solid element를 사용하였으며, FE modeling에 사용된 element type는 C3D8I를 사용하였다. C3D8I는 ABAQUS에서 사용하는 displacement/stress의 해석에 사용하는 element type이다. 각 부품들의 생성한 element와 node의 개수는 Table 1, 2에 나타낸 것과 같다.

Carrier 1, 2에 사용된 재질은 대표적인 기계 구조용 강재인 SM45C이다. carrier 3에 사용된 재질은 FCD600으로 구상흑연주철이고 housing에 사용된 재질은 SCM440으로 니켈-크롬강이다. 각각의 재질에 대한 material properties는 Table 3에 나타내었다.

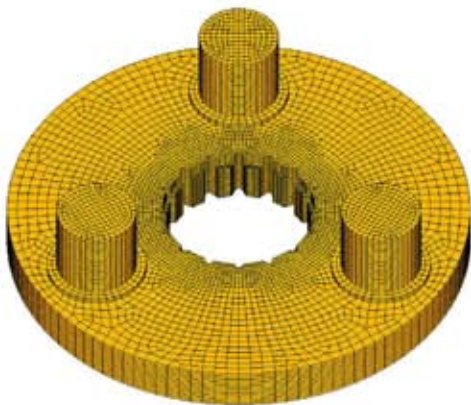


Fig. 5 FE modeling of carrier 1

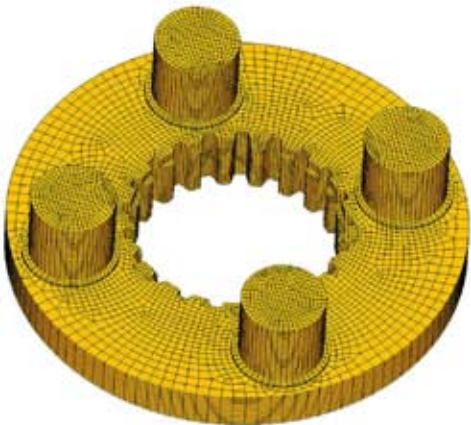


Fig. 6 FE modeling of carrier 2



Fig. 7 FE modeling of carrier 3



Fig. 8 FE modeling of housing

Table 1 The number of element and node to carrier 1, 2

Carrier 1		Carrier 2	
Element	Node	Element	Node
63,148	67,188	95,947	102,445

Table 2 The number of element and node to carrier 3, housing

Carrier 3		Housing	
Element	Node	Element	Node
152,848	176,080	82,026	105,212

**Table 3** Material properties

Divisions	Young's modulus (GPa)	Yield strength (MPa)	Poisson's ratio
SM45C	205	505	0.29
FCD600	170	420	0.275
SCM440	205	830	0.29

**3.3 Apply boundary condition**

각 부품에 적용된 torque와 tangential force의 값은 Table 4와 Table 5에 나타내었다. 각 carrier의 구조해석을 위한 하중 조건 및 경계조건은 Fig. 9와 Fig 10, Fig 11에 나타내었고 housing에 관한 하중 조건 및 경계조건은 Fig 12에 나타내었다. 각 부품의 적용된 하중은 중앙부의 sun gear와 연결되어 구동되는 부분에 엔진 출력을 이용하여 계산된 torque 값을 사용하였으며 각기 planetary gear와 연결되어 구동되는 부분은 gear ratio를 이용하여 계산된 각각의 tangential force 값을 적용하였다.

Displacement에 대한 경계조건에는 ABAQUS에서 제공하는 1D-element type 중 하나인 SPRING1 element를 적용하였다. SPRING1 element는 ground와 node 사이에 적용하고 direction을 고정 시키는 기능의 element type 이며, SPRING2 element는 두개의 node 사이에 적용하지만 마찬가지로 direction을 고정 시키는 기능의 element type이다.

**Table 4** The value of torque and tangential force

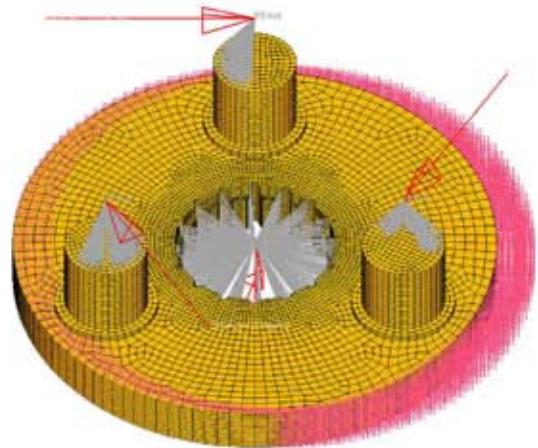
Carrier 1		Carrier 2	
Torque (N.m)	Force (N)	Torque (N.m)	Force (N)
5,415.33	3,697.1	23,827.4	16,713.9

**Table 5** The value of torque and tangential force

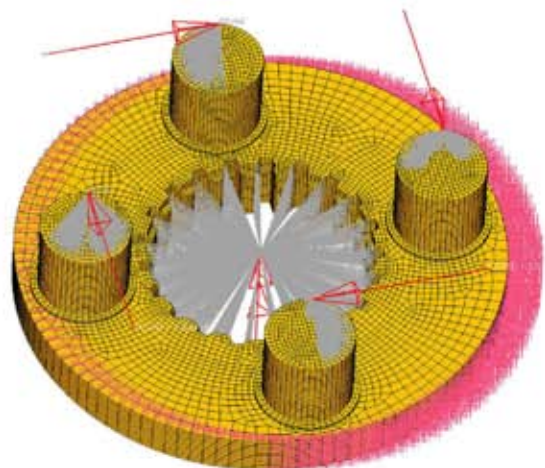
Carrier 3		Housing	
Torque (N.m)	Force (N)	Torque (N.m)	Force (N)
-	34,517.79	94,436.36	-

Carrier 1, carrier 2, housing의 경우 실제 구동시에 전체가 서로 유동적으로 회전하고 있어 그에 맞는 경계 조건을 구현 시킬 필요가 있다. 그러한 이유 때문에 carrier 3을 제외한 각각의 부품의 외부에는 SPRING1 element를 사용하여 구속을 가하였다. SPRING1 element 적용 시 x, y, z 방향으로의 움직임을 거의 없게 하는 반면에 모든 회전방향에 대해서는 구속을 가하지 않았다.

Carrier 3의 경우는 회전을 하지 않고 hub와 고정 되어 있으며 반대쪽의 planetary gear와 bolt로 연결되어 있다. 4개의 planetary gear가 회전을 하면서 볼트를 통하여 carrier 3의 구멍 부위에 하중이 가해진다. 경계 조건은 뒤쪽의 hub와 연결되는 부분에 모든 방향으로 구속 조건을 주어 극한의 상황을 가정 하였다.



**Fig. 9** BCS of carrier 1



**Fig. 10** BCS of carrier 2

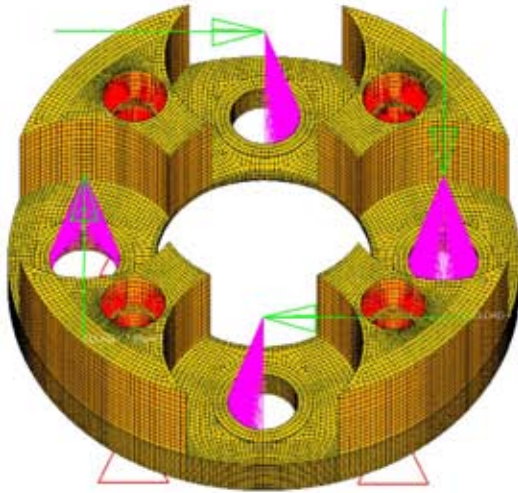


Fig. 11 BCS of carrier 3

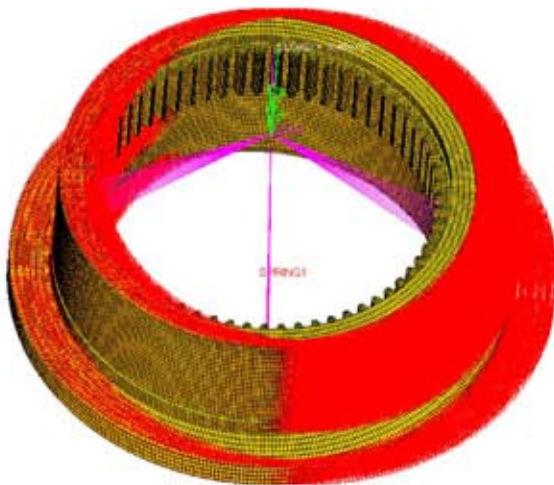


Fig. 12 BCS of housing

#### 4. 유한요소 해석 결과

각 부품의 해석 결과 최대 응력은 carrier 1, 2의 경우 예상 했던 것과 같이 sun gear와 치면 결합하는 부위에서 가장 큰 응력이 발생 하였다.

carrier 3의 경우 bolt가 들어가는 구멍 부위에서 가장 큰 응력이 발생 하였으며 housing의 경우 planetary gear와 맞물리는 기어 부분에서 가장 큰 응력이 발생하였다.

결과를 살펴보면 네 부품의 경우 모두 최대 응력은 탄성한도 영역 내 즉 항복 강도를 넘지 않는 것으로 나타났다. 그 이외의 부분들은 파피나

파손을 심각하게 고려해야 할 정도로 응력이 크게 나타나지는 않았다.

Fig. 13과 Fig. 14는 각각 주행 감속기 carrier 1, 2의 응력 분포를 나타낸다. 최대 응력 값은 각각 232.1MPa과 290.2MPa로 나타났으며 이 값은 재료의 항복 응력인 505MPa보다 낮은 값이었다.

Fig. 15는 주행 감속기 carrier 3의 응력 분포를 나타낸다. 최대 응력은 327.3MPa로 나타났으며 이 값은 재료의 항복 응력인 420MPa보다 낮은 값이었다.

Fig. 16은 주행 감속기 housing의 응력 분포를 나타낸다. 최대 응력은 748.3MPa로 나타났으며 이 값은 재료의 항복 응력인 830MPa보다 낮은 값이었다.

Table 6과 7에 해석 후 발생한 네 부품의 최대 응력 값을 나타내었다.

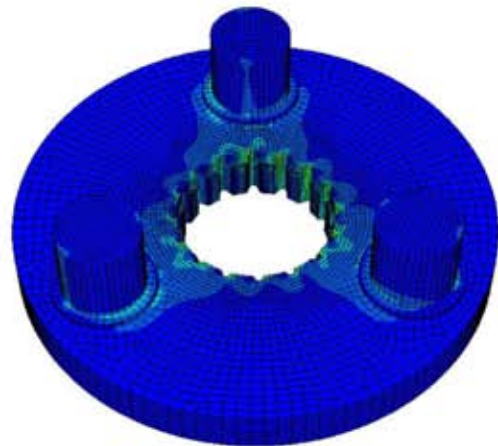


Fig. 13 Result of analysis to carrier 1

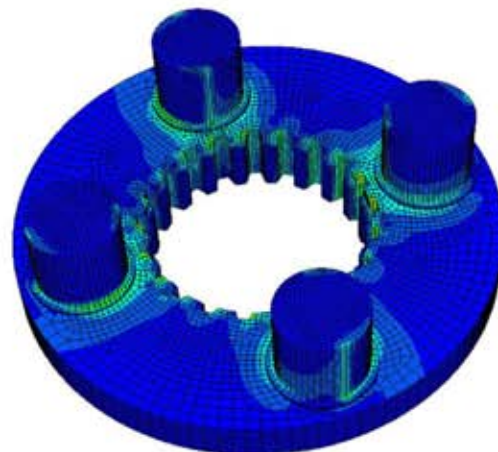


Fig. 14 Result of analysis to carrier 2

## 5. 결 론

47ton 주행 감속기의 각각의 carrier와 housing에 대한 결과를 검토해 보면 네 부품 모두 항복 응력을 넘지는 않았지만 carrier 3과 housing에서 비교적 높은 응력이 발생 하였다. 이들 결과는 경계조건 및 하중조건을 최악의 조건으로 준 뒤 해석을 수행한 결과로 실제로는 작은 응력이 발생 될 것으로 예상된다. 특히 carrier 3의 경우는 다른 부품과 달리 직접 동력을 전달하지 않기에 훨씬 더 안정성을 가질 것이라 판단된다. 다른 부품의 경우 gear부에서 응력이 집중적으로 높게 나타났으며 맞물려 돌아가는 기어 같은 경우 약간의 변위에 의해서도 장시간 구동될 경우 이 부분에 크랙이나 파단이 생길 수 있기 때문에 피로해석에 의한 수명예측을 수행할 필요가 있다. 47ton 주행 감속기가 특별한 외력을 받지 않고 정상적으로 작동을 한다면 해석 되어진 부품들에 대해서는 모두 충분한 안정성을 가진다고 판단된다.

## 후 기

본 연구는 2단계 지역대학 육성사업(BK21)과, 첨단기계 사업단(NURI)의 지원에 의해서 연구되었다. 아낌없이 지원해주신 것에 대해서 감사드린다.

## 참고문헌

- (1) Chon M. S., Lee H. I., 2002, "From Continuum Mechanics to Finite Element Method", pp. 282~378.
- (2) Thomas J. R. Hughes, 1987, "The Finite Element Method - Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis", pp. 9~20.
- (3) Lee S. S., Hwang Y. J., Kim H. J., 2005, "CATIA V5 Primer Release 14", pp. 290~426.
- (4) Altair Engineering, 2005, "HyperMesh 7.0 Tutorials", pp. 121~294.
- (5) Altair Engineering, 2005, "ABAQUS with HyperWorks", pp. 1~30.
- (6) Hong, J. P., 2005, "Mechanical Design", pp. 607~680.

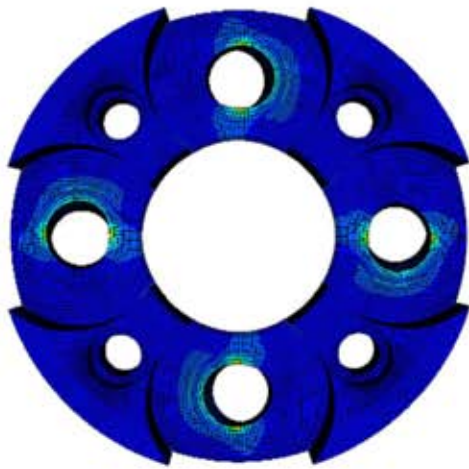


Fig. 15 Result of analysis to carrier 3

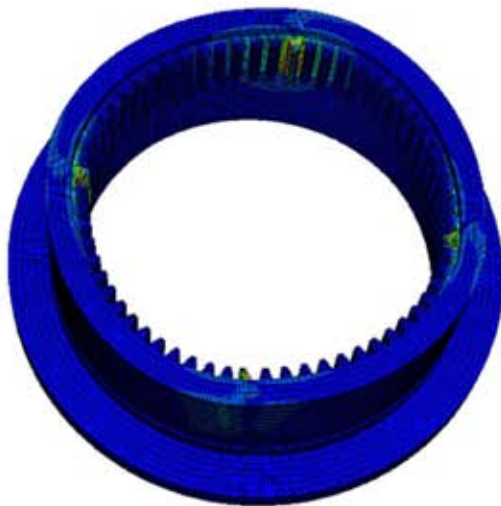


Fig. 16 Result of analysis to housing

Table 6 The value of stress to carrier 1, 2

Carrier 1	Carrier 2
Max stress(MPa)	Max stress(MPa)
232.1	290.2

Table 7 The value of stress to carrier 3, housing

Carrier 3	Housing
Max stress(MPa)	Max stress(MPa)
327.3	748.3