

선박용 프로펠러 플라스크 설계에 관한 연구

Study on Optimum Flask Design for Marine Propeller Production

*#고영호¹, 이수호¹, 한명수¹

*#Y. H. Ko¹(yhko@dsme.co.kr), S. H. Lee(OCEANLOVE@dsme.co.kr)¹,
M.S. Han(MSHAN@dsme.co.kr)¹

¹대우조선해양(주) 산업기술연구소

Key words :Casting, Propeller, Flask design

1. 서론

주조 공정은 선박용 프로펠러 생산에 보편적으로 사용되고 있으며 경쟁력 있는 고품질의 프로펠러 생산을 위하여 플라스크(FLASK) 설계 기술의 확보는 매우 중요하다. 그러나 프로펠러 생산에 필수적으로 요구되고 있는 주형틀인 플라스크는 작업자 또는 제작업체의 경험에 의해 현장맞춤으로 제작되고 있는 것이 현실이다. 현장맞춤은 많은 시간과 노력이 소요되며 프로펠러의 형상이 바뀌게 되면 기존의 결과를 그대로 적용할 수 없다는 문제점이 있다. 특히 플라스크가 고온의 용탕에 의해 변형이 발생하여 구조적으로 문제가 발생한다면 안전사고의 위험은 물론 공정지연, 생산비용의 이중 투입 등의 손실이 발생하게 된다. 그럼에도 불구하고 프로펠러는 일반 주조품과 비교하여 상대적으로 대형이고 고중량 제품이며 비정형 형상이기 때문에 표준화된 설계 및 제작을 한다는 것은 매우 어렵다.

본 연구에서는 플라스크의 설계 및 구조 해석을 통해 고온의 용탕에 대한 구조적 안전성을 확보하고 경량화 설계를 통해 생산현장에 적용해 보고자 한다.

2. 설계조건

프로펠러는 제품중량 기준으로 20~120ton 규모이며, 55~60ton을 기준으로 중형과 대형으로 분류하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 Suezmax급의 선종에 대해 블레이드 단위중량과 단면형상, 두께 등과 함께 플라스크의 상관관계를 고려하여 설계하고자 한다. 하중 조건에서 먼저 고려되어야 할 것은 블레이드의 압상력이다. 압상력은 용탕이 주형 내에 채워질 때 상형을 위로 들어 올리는

힘으로 수두압을 의미한다. 일반적으로 압상력은 경험식을 사용하여 주조중량의 1.5배를 적용하며 식(1)과 같다. A는 상형과 하형 분리선에서의 금속면 면적을 의미하고 h는 상형의 높이를 의미한다.

$$F_n = A(\rho \times h) \times 1.5 \quad \text{식(1)}$$

압상력은 중추(Weight block)를 정반에 올리거나 정반 또는 상형을 pit 바닥에 설치된 고리(Anchor)에 연결하는 방법으로 상쇄시킨다. 플라스크 구조 설계는 블레이드를 감싸는 조형사의 보강구조를 격자(grillage)형태로 구성하는 것부터 시작된다. 주부재는 폭방향으로 거더(Girder)를 격자 중간에 일정간격으로 배치하였으며 상형과 하형의 바닥은 T-bar로 수평레벨을 유지하도록 하였다.

3. 유한요소해석

3.1 열전달 및 열응력 계산

플라스크는 용탕 주입 시 주물사에 의해 간접적으로 열전달이 나타나며 이로 인한 열응력 문제가 발생할 가능성이 있기 때문에 이에 대한 검토가 필요하다. 열전달 해석은 용탕의 내부에너지(Internal energy)를 계산하여 주물사 표면에 분포하중, 즉 단위 면적당 열속(surface flux)으로 적용하였다. 용탕의 열량계산은 식(2)를 사용하였으며 단위 면적당 열속은 약 0.1056J/s·mm²이다.

$$Q = \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot V \quad \text{식(2)}$$

해석은 Abaqus 6.8로 수행하였으며 열전달 요소 DS3, DS4를 사용하였다. Fig.1(a)는 주물사를 포함한 열전달 해석 결과이며 플라스크 온도 분포는

Fig.1(b)에 나타내었다.

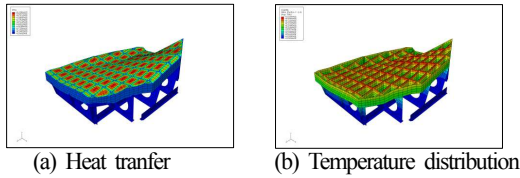


Fig.1 Heat transfer analysis

플라스크 전체 모델에 대한 해석 결과, 블레이드 형상을 중심으로 최고 온도가 약 200℃ 정도로 예상되며 구조해석을 위해 주물사 요소를 모두 제거하고 정상상태까지 냉각해석을 진행하였다.

Fig.2은 상하부 플라스크의 열전달 해석결과를 적용하여 탄소성 해석을 진행한 것이며 최대 변형량과 열응력을 나타내었다. 열응력 해석은 S3R과 S4R로 요소로 수정하였다. 해석결과, 블레이드의 용탕과 인접한 부분에서 국부적으로 변형이 발생하였지만 열에 의한 플라스크 전체 변형은 크지 않을 것으로 판단된다.

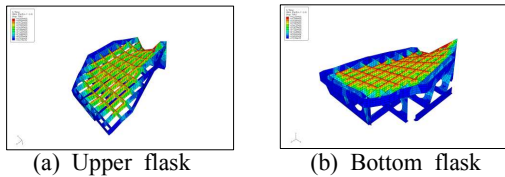


Fig.2 Stress distribution

3.2 압상력 계산

본 해석에서 수두압에 의해 발생하는 힘을 용탕과 근접한 모서리(edge)에 작용하는 Traction force로 표현하기 위해 식(3)과 같이 계산하였다. 그리고 수두압은 Global coordinate에서 높이 방향이 아닌 블레이드 형상의 수직(normal)방향으로 작용하도록 분포하중을 적용하였다.

$$f_L = \frac{\rho g A h}{\int dl} \quad \text{식(3)}$$

해석에서 플라스크 높이 방향으로 작용하는 반력보다 중추, 상부 플라스크 및 주물사 무게의 합이 크고 기준면 방향으로 마찰계수를 고려할 때 기준면 방향 반력보다 크기 때문에 압상력에 대한 문제는 없는 것으로 판단할 수 있다. Fig.3은 압상력 해석결과를 나타낸 것이다.

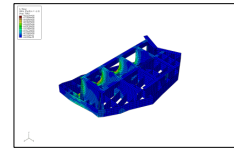


Fig.3 Hydrostatic pressure analysis

3.3 하중 조건을 고려한 구조 해석

플라스크의 하부 구조 해석을 위한 하중 조건으로 중추, 정반, 상부Flask, 상하부 주물사, 블레이드 용탕 등의 무게와 하부 Flask의 자중 및 Thermal load를 고려하였다. 그리고 상부 플라스크는 Shell 요소의 normal 방향 압상력, 상부 Flask의 자중, 중력 방향에 대한 상부 주물사 무게 및 Thermal load 등을 적용하였다. Fig.4는 상하부 플라스크의 구조해석 결과를 나타낸 것이다. 해석결과, 국부적인 변형량이 3~4mm 정도로 나타났지만 여러 가지 하중 조건에 대해 구조적으로 취약한 부분은 없었다. 그러나 플라스크 재사용을 고려한다면 블레이드와 인접한 플라스크 상부면의 보완 방법은 검토되어야 할 것이다.

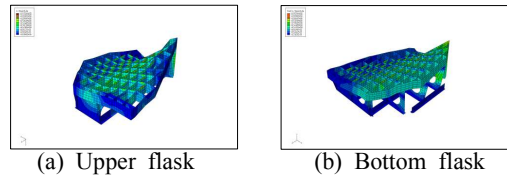


Fig.4 Displacement analysis

4. 결론

본 연구는 Suezmax급의 보스와 블레이드 일체형 플라스크에 대해 설계 검토한 것으로 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1. Suezmax급 플라스크 표준 설계안을 마련하여 조형에 소요되는 lead time을 단축시켜 pit의 회전을 향상에 기여하였다.
2. 보스 및 블레이드 일체형 플라스크는 합형면에서 정도가 우수하여 가공마진 축소에 의한 생산 비용 절감이 기대된다.

참고문헌

1. J.S.Carton, "Marine Propellers and Propulsion", Butterworth Heinemann, pp.387-391.