

추진축계 정렬해석에서 엔진내부 축 모델의 영향에 관한 연구

김광석^{†*}, 연정흠*, 강중규*, 허주호*

대우조선해양 구조 R&D 팀*

Study of the Effect of Crankshaft Model in Shaft Alignment Analysis

Kim Kwang Seok^{†*}, Yeun Jung Hum*, Kang Joong Kyoo* and Heo Joo Ho*

Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering Co.,
Ship & Marine Structure R&D Team*

Abstract

As design trends has changed to have flexible aft hull structure, increased power output and stiffer shafting system, owners and classification societies have more concerned about shaft alignment. In the shaft alignment analysis, there are many uncertainties which are related in propeller generated force, bearing stiffness, crank shaft model and etc. In this study, it is focused on the effect of crankshaft model by comparing between equivalent model and actual crankshaft model.

※ Keywords : Shaft Alignment(축계정렬), Crankshaft Model(크랭크축)

1. 서론

최근 선박의 대형화 및 고속화에 따른 추진 시스템의 대형화 추세로 인해 각 조선소 및 선급에서 추진축계 정렬에 대한 관심이 고조되고 있다. 추진축계의 정렬 목적은 모든 가동 조건에서 베어링이 적절한 하중을 받도록 유지하는 것으로, 출수변화, 엔진 온도변화 등의 하중조건에 따라 선체변형에 따른 베어링의 높낮이 변화를 알아 내는 것이다.

추진축계 정렬상태를 분석하는 방법은 일반적으로 두 가지 접근 방법이 사용되는데 건조 이전에 축계정렬 상태를 유한요소 해석[1],[2] 이나 간이 해석 방법 등을 통해 예측하는 것과 건조 이후 계측을 통해 정렬상태를 파악하는 것[3],[4]이 있다. 전자는 각 하중조건에 따른 선체변형 거동을 예측하여 축계 정렬상태를 파악하고, 후자는 축계정렬 후 나타나는 물리적 현상을 계측하여 축계의 거동을 알아내는 것이다.

축계정렬 상태를 분석할 때에는 일반적으로 crankshaft 등가모델 등의 beam 으로 구성된 축계에 다양한 하중조건을 고려하게 된다. 하지만 엔진 연소로 인한 충격 등의 고려하기 힘든 문제와

[†]주저자, E-mail : kskim28@dsme.co.kr

Tel : 055-680-5522

선미 베어링의 접촉문제 및 엔진 내부 crank shaft model 의 영향 등의 error source 가 존재한다. [5] 본 연구에서는 축계정렬 분석 시 발생하는 여러 불확실한 error source 중, 엔진 내부 축계 반력에 민감한 영향을 줄 것이라 예상되는 crank shaft 모델의 영향에 대해 알아보았다.

2. 축계정렬 해석을 위한 선체변형해석

축계변형 해석을 수행하기 위해서는 먼저 각 하중조건에 대해 선체변형 해석이 선행되어야 한다. 선체변형 해석은 운항 중 추진축계에 많은 영향을 미칠 것으로 예상되는 하중을 가정하여 수행된다. 본 연구에 사용된 하중조건은 앞서 언급한 바와 같이 축계에 영향을 가장 많이 미칠 것으로 예상되는 4 가지 조건과 최초 축계 정렬이 끝나는 시점에서의 하중조건을 포함하여 총 5 가지로 결정하였다. 다음의 Table 1 에 하중조건을 나타내었다.

유한요소 해석을 통한 축계정렬 해석 시 선체변형해석 수행을 위한 선체 모델은 정도 높은 선미 부 변형을 얻기 위해 일반적으로 수행되는 강도해석 모델에 비해 fine 하게 모델링 되는데 엔진, stern tube 및 shaft 등 축계 정렬 해석에 필요한 요소 등이 포함된다. Fig. 1 에 해석에 사용된 300K VLCC 에 대한 유한요소모델을 나타내었다.

Table 1 Load case

Load case	Explanation
GLC 1	Light ballast - APT empty - cold engine(quay), Reference
GLC 2	Design draft - APT full - warm engine
GLC 3	Design draft - APT empty - warm engine
GLC 4	Ballast - APT full - warm engine
GLC 5	Ballast - APT empty - warm engine

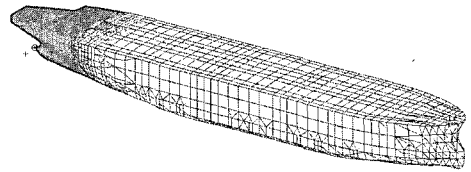


Fig. 1 선체변형 해석을 위해 사용된 F.E. model

2.1 절대변위

선체변형해석에서 얻고자 하는 것은 각 하중조건에 따른 베어링의 위치 변동량으로, 흘수변화에 따른 double bottom tank top 의 수직방향 변위가 계산되었다. Fig. 2 와 3 에는 각각 VLCC 의 선체변형 pattern 과 전선해석결과로 얻어진 변위를, Fig. 4 에는 Fig. 3 의 결과를 축계정렬 작업을 위해 표현된 절대변위를 나타내었다.

본 연구에서는 선체변형해석에서 수직방향 병진 변위를 aft stern tube bearing 과 intermediate bearing 을 구속한 두 점을 지나는 직선에 대한 변위를 절대변위라 칭하였는데 이는 대우조선해양(주)에서 정렬작업을 위해 도입하는 임의의 가상 선을 나타낸다.

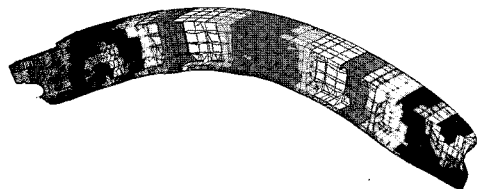


Fig. 2 선체변형 pattern

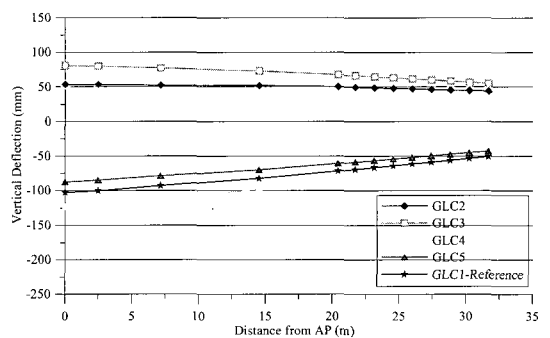


Fig. 3 유한요소 해석을 통해 얻어진 변위

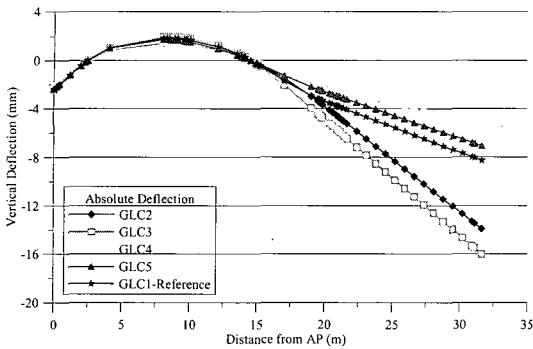


Fig. 4 정렬 작업을 위해 표현된 절대 변위

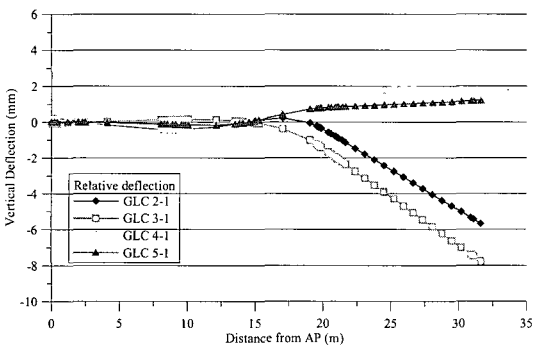


Fig. 5 상대변위

2.2 상대변위

출수조건의 변화에 따른 변위 및 반력의 변화량을 추정하기 위해서 각 하중조건에서 정렬완료조건(GLC1)을 뺀 변위를 구하였다. 본 연구에서는 이를 상대변위라 칭하는데, 이 값은 임의의 하중조건에서의 축계정렬의 건전성을 판단하는 반력값의 변화량을 가능케 해주므로 초기에 어떻게 설치할 것인가에 대한 guidance 가 될 수 있다. Fig. 5 에 각 하중조건에 따른 상대변위를 도시하였다.

3. 축계정렬해석

앞 절의 선체변형해석을 통하여 각 하중조건에서의 변형된 축계의 상대변위를 도출하여 그 값을 축계정렬해석 시에 각 하중조건에의 input offset 으로 적용하였다. Actual crankshaft 를 구현한 모델과 equivalent crankshaft model 과의 비교를 위해 동일한 offset 값을 적용한 후 그 결과를 비교하였

다. Fig. 6 에는 actual crankshaft model 을, Fig. 7 에는 엔진 메이커에서 제공하는 equivalent crankshaft model 을 나타내었다. Actual crankshaft model 구현을 위해 3D Solid 기법이 도입되었고, equivalent crankshaft model 은 beam element 를 사용하였다. Fig. 8 에는 축계에 작용하는 하중을 표현하였다.

해석의 검증은 위한 과정은 실제 계측을 통해 얻어질 수 있는 물리량인 베어링 반력과 해석을 통해 얻어진 반력값의 비교를 통해 수행하였다. 해석을 통해 구해지는 베어링에서의 반력은 반력 영

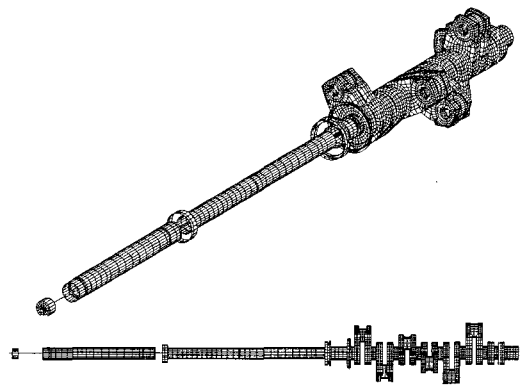


Fig. 6 Actual crankshaft model

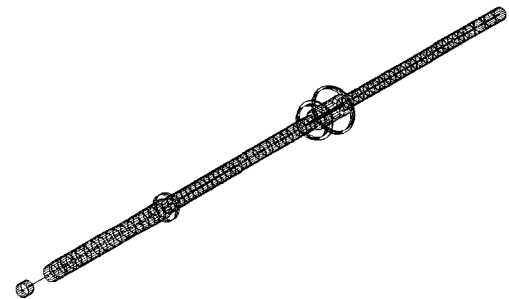


Fig. 7 Equivalent crankshaft model

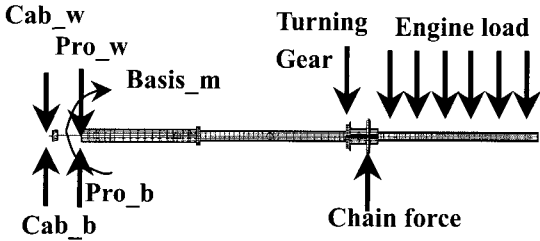


Fig. 8 축계에 작용하는 하중

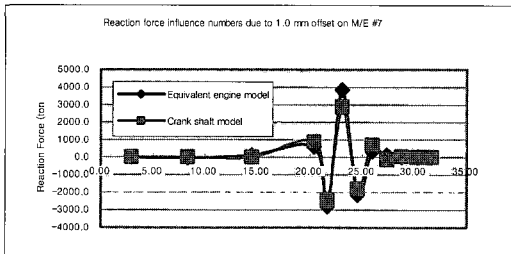


Fig. 9 Reaction force influence numbers due to 1.0 mm offset on M/E #7

항계수와 offset 과의 관계로부터 얻어질 수 있는데 반력영향계수와 절대변위로 표현된 offset 값이 정확하다면 그 값은 jackup[6] 등을 통해 얻어진 계측값과 동일한 결과를 주어야 한다. 그러나, 실제 정렬 작업에서 초기 정렬 상태부터 각 하중조건에 대한 정렬 상태를 분석하기 위해서는 많은 수고와 노력이 필요하여 정확한 절대변위를 파악하는 데는 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 계측으로 얻어진 값과의 비교를 위해 상대변위를 이용한 반력의 변화량 차이를 통해 그 결과를 검증하고자 하였다.

먼저, 각 crankshaft 모델의 유한요소 해석을 통하여 반력영향계수 (RIN table, Reaction Force Influence Number)를 구하였고, 이후에 상대변위와 반력영향계수를 이용하여 각 하중조건에서 베어링의 반력을 구하였다. 반력영향계수는 각 bearing 을 1mm 높이거나 낮추었을 때 상대적으로 변하는 다른 bearing 에서의 반력값으로, 두 모델의 대표적인 반력영향계수를 Fig. 9 에 도시하였다. 결과로부터 equivalent model 으로부터 얻어진 반력영향계수가 actual crankshaft model 에 비

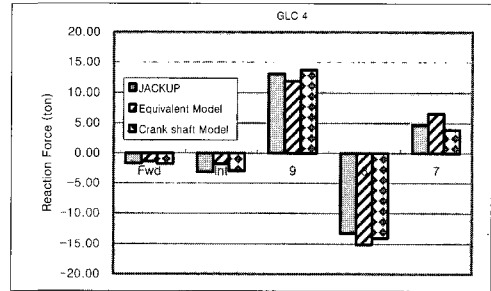


Fig. 10 Comparison between two crankshaft models and measurement (GLC4)

Table 2 Results of bearing reaction (GLC4)

GLC4	JACK UP	Equivalent	Crank Shaft
Fore .	-1.70	-1.38	-1.75
Int.	-3.10	-1.80	-2.91
No. 9	13.10	11.89	13.76
No. 8	-13.20	-15.12	-14.00
No. 7	4.60	6.52	3.84

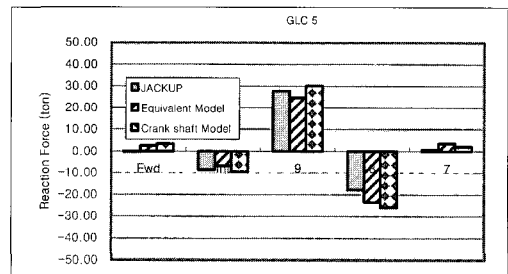


Fig. 11 Comparison between two crankshaft models and measurement (GLC5)

Table 3 Results of bearing reaction (GLC5)

GLC5	JACK UP	Equivalent	Crank Shaft
Fore .	-0.40	2.38	3.29
Int.	-8.70	-6.87	-9.56
No. 9	27.60	24.49	30.11
No. 8	-17.80	-23.46	-25.98
No. 7	0.70	3.54	2.20

해 더 큰 반력의 변화가 있는 것을 알 수 있으며 이로서 equivalent model 의 강성이 실제보다 더

크게 평가됨을 알 수 있었다.

두 crankshaft 모델로 얻어진 반력 값을 하중조건에 따라 계측값과 함께 비교하여 그 결과를 Fig. 10, 11 및 Table 2, 3에 나타내었다. 연구 결과에서 알 수 있듯이 actual crankshaft model의 반력 변화 값이 equivalent crankshaft model에 비해 계측된 반력 변화값과 유사하였다. 특히 관심의 대상이 되는 선미축 엔진 베어링에서 두 model을 사용한 결과는 뚜렷하게 나타났다. 이로서 선미부 엔진베어링 반력의 보다 정확한 평가를 위해서는 현재 널리 사용되고 있는 equivalent crankshaft model 보다 actual crankshaft model 도입이 필요함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 추진축계 정렬해석 시 error source로 여겨지는 crankshaft model을 actual crankshaft model과 equivalent crankshaft model을 통한 해석을 통해 비교 및 분석하였다. 엔진 베어링 반력 계산을 통해 엔진 메이커가 제공하는 equivalent crankshaft model의 강성은 통상 예견되어 온 것과 같이 actual crankshaft model과 다름을 확인 할 수 있었다. 그러므로 축계정렬해석에서 엔진 내부 베어링의 반력값에 대한 합리적인 결과를 얻기 위해서는 actual crankshaft model이 반드시 고려되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1) J. R. Shin, J. H. Heo, 선체변형이 추진축계에 미치는 영향, 대한조선학회, 추계발표대회, 2002

2) PANEL M-16(Modernization of propulsion shaft systems) of the ships' machinery committee, Results of a Survey on Shaft Alignment Procedures used by American shipyards, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1978.

3) 대우조선해양(주), Strain gage를 이용한 베어링 반력계측기법 개발, 2000.

4) Robert B. Grant, Shaft Alignment Methods with Strain Gages & Load Cells, 1990.

5) Det Norske Veritas MTPNO R&D PROJECT FLEX (2001/2002) JIP FLEX CONCLUSIVE REPORT ON ANALYSES AND MEASUREMENTS

6) MAN B&W, Bearing Load Measurement by Jacking Up, Id. No. 0742884-5, 1999.



< 김 광 석 >



< 연 정 hum >



< 강 중 규 >



< 허 주 호 >