

## 선체변형을 고려한 탄성 축계정렬 설계 프로그램 개발

정준모<sup>†\*</sup>, 최익흥<sup>\*</sup>

현대중공업 선박해양연구소<sup>\*</sup>

### Development of Elastic Shaft Alignment Design Program

Joonmo Choung<sup>†\*</sup> and Ickheung Choe<sup>\*</sup>

Hyundai Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.<sup>\*</sup>

#### Abstract

The effects of flexibilities of supporting structures on shaft alignment are growing as ship sizes are increasing mainly for container carrier and LNG carrier. But, most of classification societies not only do not suggest any quantitative guidelines about the flexibilities but also do not have shaft alignment design program considering the flexibility of supporting structures. A newly developed program, which is based on innovative shaft alignment technologies including nonlinear elastic multi-support bearing concept and hull deflection database approach, has 5 basic modules : ①fully automated finite element generation module, ②hull deflection database and it's mapping module on bearings, ③squeezing and oil film pressure calculation module, ④ optimization module and ⑤ gap & sag calculation module. First module can generate finite element model including shafts, bearings, bearing seats, hull and engine housing without any misalignment of nodes. Hull deflection database module has built-in absolute deflection data for various ship types, sizes and loading conditions and imposes the transformed relative deflection data on shafting system. The squeezing of lining material and oil film pressures, which are relatively solved by Hertz contact theory and built-in hydrodynamic engine, can be calculated and visualized by pressure calculation module. One of the most representative capabilities is an optimization module based on both DOE and Hooke-Jeeves algorithm.

※Key words : Nonlinear elastic multi-support bearing system(비선형 탄성 다점지지 베어링 시스템), Hull deflection database(선체변형 데이터베이스), Squeezing pressure(압착 압력), Oil film pressure(유막 압력), Offset optimization(오프셋 최적화), DOE(실험 계획법)

접수일: 2006년 5월 30일, 승인일: 2006년 7월 3일

†교신저자: jmchung@hhi.co.kr, 052-230-1665

#### 1. 서론

축계정렬은 축계를 지지하는 베어링의 간격, 베

어링의 길이, 베어링의 높낮이(옴셋) 등을 적절히 결정하여 선박의 운항중 발생하는 모든 상황에서 축계 베어링이 원활한 기능을 유지하도록 계산하는 일련의 설계 프로세스이다. 그러나 선박의 크기와 종류에 따라 선박의 베어링 개수, 간격 및 축계 지름 등은 이미 기본설계 과정에서 결정되므로 실질적인 축계정렬 설계는 축계 시스템이 최적의 성능을 발휘하도록 베어링의 옴셋을 결정하는 과정이라고 말할 수 있다.

베어링의 옴셋을 결정하는 과정에서 베어링 사이의 상대선체변형(Relative hull deflection)은 옴셋의 변동 효과와 동일하다. 베어링간 상대 변형이 비교적 작은 중소형 선박의 경우 보다도 대형선의 경우 축계정렬 설계에 있어서 선체의 변형은 필히 고려해야 할 설계요소라 할 수 있다. 이러한 선체의 변형 등의 축계 지지 구조물의 탄성 변형(강성) 등을 고려한 축계정렬을 탄성 축계정렬(Elastic shaft alignment)이라 정의한다(정준모 2005a).

최근 컨테이너선, LNG 선 등의 대형화는 탄성 축계정렬의 필요성을 더욱 증대시키는 원인이 되고 있다. 대부분의 선급 규정도 선체변형의 영향을 축계정렬에 포함시킬 것을 요구하고는 있지만 하중조건의 기준, 베어링의 탄성효과 등 탄성 축계정렬에 필요한 데이터에 대한 가이드라인을 명확히 제시하지 못하는 실정이다. 또한 대부분의 선급 규정은 선미관 베어링과 같이 긴 저어널형 베어링을 강체 1 점(유효지지점)이 지지한다고 가정하고 있으며, 특히 유효지지점의 위치를 결정하는 방법이 상당히 비현실적인 문제점을 가진다(정준모 2005b).

2001년 출시된 DNV Nauticus 축계정렬 프로그램은 연직방향 베어링 강성을 선형적으로 고려할 수는 있지만 근본적으로 1 점 유효지지점을 가정하고 있다. 또한 베어링을 다점 배치하는 것이 가능하지만 선형해(Linear solution)를 도출하므로 베어링이 인장에도 저항하는 문제점이 있으므로 유효지지점의 한계를 벗어나지 못한다. 2002년말 처음 출시된 ABS의 축계정렬 프로그램도 1 점 또는 2 점의 가정된 유효지지점을 사용하여 축계정렬을 실시하고 선미관 베어링의 접촉면적을 추정하여

베어링 압력계산을 실시하고 있다. 2002년 LLOYD는 Ansys에 사용자 환경을 추가하여 축계정렬 뿐만 아니라 비틀진동(TV), 종진동(AV) 등도 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였지만 이 또한 근본적으로 1 점의 유효지지점을 가정하고 있다. 횡진동(Lateral vibration)의 문제에 있어서 지지구조의 강성은 매우 중요한 경계조건이 되며 회전속도에 따라 유효지지점이 가변적인 점을 유념해야 한다. BV의 경우 조선소와의 기술용역 실적으로부터 탄성 축계정렬을 수행할 수 있는 기술을 보유하고 있는 것으로 판단되지만 현재까지 내부적인 기술이나 프로그램에 대하여는 공개하고 있지 않은 실정이다. 본 프로그램은 이러한 문제점을 근본적으로 개선할 수 있는 새로운 기술인 비선형 탄성 다점지지 베어링 지지 시스템(정준모 2005b)을 기본적인 기술로서 적용하고 있다.

Sekiuchi et al.(1974) 등은 초대형 유조선 기관실 이중지 변형해석 및 실선 계측을 실시하여 선체의 변형이 축계에 미치는 영향을 연구한 바 있다. 김광석 등(2002), 신장룡 등(2002) 및 신장룡과 허주호(2002) 등도 선체의 변형을 고려한 축계정렬에 대한 실험적, 이론적 연구를 수행한 바 있다. 축계정렬을 위한 선체변형을 고려하는데 있어서 가장 큰 문제점은 선체변형을 계속하기가 매우 어렵다는 점이다. 선박의 배관이나 엔진 등의 장애물로 인하여 0.1 mm 수준의 오차수준에서 선체변형을 측정하는 것은 매우 어려운 기술이다. 또한 선미부 유한요소해석을 위한 시간이 적당 최소 1 개월 이상 소요된다는 점이다. 선미부의 경우 선형이 매우 복잡하고 주기 및 각종 보기의 중량분포를 고려하여 유한요소해석을 수행해야 하므로 많은 공수를 요구한다. 본 프로그램에서는 이러한 근본적인 문제를 해결하기 위하여 선체변형 데이터 베이스 개념을 도입하였다. 선박의 종류와 크기가 유사할 경우 선체의 상대변형의 변형도 차이가 적다는 점에 착안하여 선체변형 데이터 베이스를 구축하였다. 선체변형 데이터 베이스는 설계자가 단시간에 선체변형을 고려할 수 있는 매우 실용적인 기반기술이다.

베어링 내부의 압력은 통상 윤활학(Tribology)의 분야로 취급되어 조선분야에서의 연구는 거의

전무한 실정이다. 그러나 정준모와 최익홍(2004) 등은 선박이 도크 또는 안벽에 정지했을 경우 베어링 내부에서의 정적압력(Static squeezing pressure) 분포와 정상상태(Steady state)로 운항하는 상태에 대한 동적압력(Oil film pressure) 분포를 계산할 수 있는 유체동력학(Hydrodynamic) 코드를 개발한 바 있다. 본 프로그램은 유체동력학 코드를 탑재하고 있다.

DNV 및 ABS의 축계정렬 프로그램은 최적화 모듈을 가지고는 있지만 현실적으로 적용할 수 없는 수준으로 판단된다. 이러한 근본 원인은 수치적 알고리즘을 이용하여 최적화를 수행하려고 노력하였기 때문이다. 정준모와 최익홍(2004) 등은 최적화의 기본 알고리즘으로서 실험계획법(DOE)을 이용하여 설계자가 최적의 해를 선택적으로 적용할 수 있는 기법을 제시한 바 있다.

2. 프로그램의 기반기술

2.1 베어링 강성의 결정

비선형 탄성 다점지지 베어링 시스템은 저어널 베어링이 무한 강성을 가지는 한 개의 유효지지점에 의하여 지지된다는 가정을 근본적으로 해결할 수 있는 기술이다. 이를 통하여 긴 저어널 베어링의 지지점을 비선형 강성을 가지는 다점의 베어링이 지지하게 만들므로써 자연스러운 베어링 지지 메카니즘을 구현할 수 있다. Fig. 1에서 보는 바와

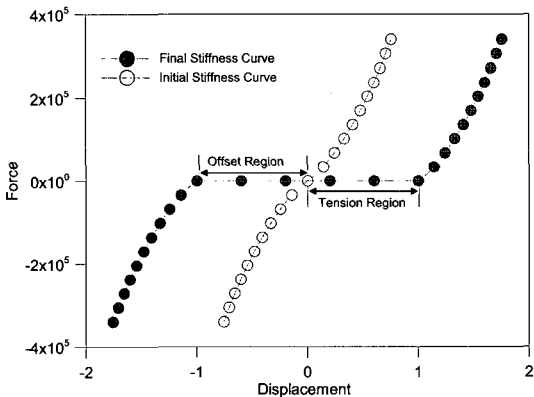


Fig. 1 Introduction of artificial zero stiffness in offset and tension region

같이 비선형 베어링이 인장영역 및 압축영역에서 0의 강성을 가지도록 하여 인장에 저항을 못하게 하거나 압축을 자연스럽게 구현할 수 있다.

베어링 강성을 도출하기 위하여 Hertz의 접촉이론과 선급에서 일반적으로 적용하는 투영면적법이 적용될 수 있지만 투영면적법의 경우 베어링의 강성을 과대 평가하는 경향이 있으며 선형적인 강성이므로 Hertz의 접촉이론을 이용한 강성을 베어링 강성으로 사용하기를 권장한다.

- $E_B$  : 부시 베어링 탄성계수
- $E_J$  : 저어널 탄성계수
- $v_B$  : 부시 베어링 프아송비
- $v_J$  : 저어널 프아송비
- $P_u$  : 저어널에 작용하는 단위 길이당 하중

$$\delta = \frac{AP_u}{\pi} \left( \frac{2}{3} + \ln(3.13 \frac{D_B - D_J}{AP_u}) \right) \quad (1)$$

Fig. 2는 저어널의 탄성계수가 부시 베어링의 탄성계수보다 충분히 커서 부시 베어링의 탄성변형만을 고려할 경우의 접촉기구를 나타낸다. 단위 길이당 하중( $P_u$ )이 저어널에 작용하여 저어널이 부시를 압착할 경우 압착압력( $P(y)$ )은 타원형 압력 분포를 가진다고 가정하며, 이때의 최대압력은  $P_{max}$ , 평균압력은  $P_{av}$ , 압착깊이는  $\delta$ , 접촉폭은  $2b$ 이다(Johnson 1985). 이때 비선형 강성은 식(1)로부터 결정된다.

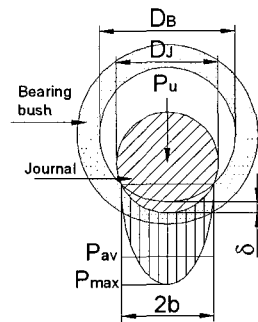


Fig. 2 Contact behavior between journal and bearing lining material

2.2 선체변형 데이터 베이스

선체변형 데이터 베이스는 매우 실용적인 개념이지만 유사선이라 하더라도 엔진의 배치, 배어링의 간격, 이중저의 형상에 따라서 국부 변형 모드는 달라질 것이므로 별도의 국부변형 계산이 필요하다. 특히 엔진 발열 특히 윤활유 받이 탱크(L.O. Sump tank)의 열팽창 양상은 큰 편차를 보일 수 있다. 이러한 문제는 선형 중첩(Linear superposition)의 원리를 적용함으로써 해결 가능하다. 즉 선체의 변형을 선체가 외력을 받아 거동하는 전체변형(Global deformation) 모드와 엔진에서 발생한 열에 의한 엔진 및 이중저의 팽창 등의 국부변형(Local deformation) 모드를 분리하고 유한요소해석을 통하여 전체변형 모드를 데이터 베이스로 저장한다. 국부 변형 모드는 본 프로그램에서 생성된 국부 모델을 이용하여 열응력 해석을 수행하여 간단하게 엔진 및 이중저의 열팽창을 도출할 수 있다. 도출된 두가지 모드를 합하여 선체 변형 데이터로 사용한다. 이때 수계산에 의한 국부 열팽창을 적용하는 방법은 권장되지 않는다. 열팽창은 주변의 구속도에 따라 변동적이지만 수계산은 이러한 구속도를 반영하지 못하기 때문이다.

데이터베이스를 구축하기 위하여 가장 먼저 선행되어야 할 작업은 축계에 미치는 영향도를 감안하여 선박의 운항조건을 결정해야 한다. 운항조건을 결정하기 위하여 선체, 엔진, 화물하중, 해상의 4 가지 상태로 분류하였다. 그러나 기본 조건을 4 가지로 분류하더라도 세부조건에 의하여 많은 조합이 발생하고 이렇게 다양한 운항조건을 모두 만족하는 최적의 축계정렬을 계산하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 이를 해결하는 가장 현실적인 방법으로서 축계정렬 설계를 위한 운항 조건 표준화가 필요하다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 선체의 상태를 입거(Docking) 조건, 진수(Afloat) 조건, 항해(Seagoing) 조건으로 분류하였다. 엔진의 상태는 축계의 입장에서는 엔진 회전수에 따라 분류되지만 선체의 입장에서는 상온, 저온, 고온 등으로 나눌 수 있다. 진수 또는 입거 상태에서 엔진의 온도는 상온(Ambient)으로, 운항 중에는 고온(Hot)으로 가정하는 것이

Table 1 Standardized ship service conditions

	Ship	Engine	Loading	Sea
1	Docking	Ambient	-	-
2	Afloat	Ambient	-	No swell
3	Seagoing	Hot	Ballast Half bunkering AP tank empty	No swell
4	Seagoing	Hot	Ballast Half bunkering AP tank full	No swell
5	Seagoing	Hot	Full load Half bunkering AP tank empty	No swell
6	Seagoing	Hot	Full load Half bunkering AP tank full	No swell

타당하다. 화물하중의 상태는 선박의 화물창 및 각종 탱크의 부하 상태를 의미한다. 화물의 적재 여부에 따라 만재 조건(Full load condition)과 발라스트 조건(Ballast condition)으로 구분되고, 연료 탱크의 적재 상태에 따라서 출발 조건(Departure bunkering condition), 반재 조건(Half bunkering condition) 및 도착 조건(Arrival bunkering condition)으로 분류된다. 선박 내부의 각종 탱크의 조건이 축계정렬에 미치는 영향은 크지 않기 때문에 반재조건(Half bunkering)만 고려하여도 무방하다. AP 탱크(After peak tank)의 경우 화물의 적재 및 발라스트 상태에 따라서 결정되지만 선미부 변형에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 해상의 상태는 파랑 하중의 유무에 따라 너울조건(Swell condition), 비너울 조건(No swell condition)으로 분류하지만 기존의 연구에 의하면 너울의 영향이 크지 않기 때문에 너울이 없는 것으로 간주하였다(정준모와 최익홍 2001). 따라서 Table 1 과 같이 6 개의 표준화된 운항조건에 대한 축계정렬 계산을 수행 할 필요가 있다.

2.3 윤활 해석

윤활해석은 Navier-Stoke 방정식과 연속방정식(Continuity equation)으로부터 상대속도 U 를 가지고 미끄러지는 평판에 대한 윤활 지배방정식(Reynolds equation)에 대한 해를 도출하므로써 가능하다.

정상상태에서 운항하는 선박에 대한 베어링의 건전성을 평가하기 위해서는 베어링 내부 유막해석 기술이 필수적이다. 근래에 윤활 해석 기술의 동향은 유체의 탄성 뿐만 아니라 베어링의 탄성을 동시에 고려하는 추세이지만 저어널(추진축)의 탄성을 동시에 고려한 해석기법은 찾아보기 힘들다. 그러나 선박의 경우 선미관 베어링같이 매우 긴 베어링 내부에서 저어널의 굽힘이 유막 두께에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 이에 대한 고려가 필수적이다. 베어링 내부에서 축의 굽힘도를 해석 조건으로 고려하기 위해서는 정준모(2005)등에 의하여 제안된 비선형 탄성 다점지지 베어링 시스템을 적용하는 것이 필수적이다.

#### 2.4 최적화 알고리즘

축계정렬의 문제에 있어서 GA(유전적 알고리즘), ES(진화전략) 등과 같은 수치적 최적화 기법을 적용하기 어려운 이유는 설계변수와 제한조건을 정의할 수 있지만 목적함수에 대한 정의를 내리기 어렵기 때문이다. 예를 들어 옴셋의 크기를 설계변수로, 베어링 하중의 크기를 제한조건으로 설정할 때 목적함수도 베어링 하중의 크기로 지정해야 하는데 각 베어링에서 목적값의 크기를 정의하더라도 해당 목적값에 대한 전역해가 존재하지 않을 경우가 많다. 따라서 수치적인 최적화보다는 설계자가 정의한 설계변수의 범위 내에서 실험계획을 세우고 설계변수에 따른 반응값(반력)의 추이를 확인하면서 최적으로 판단되는 옴셋을 결정하는 것이 바람직한 방법이다.

본 프로그램에서 지원하는 실험계획법은 요인 배치법(Factorial design)이며 직접 탐색기법 중 하나인 Hooke-Jeeves 탐색법을 동시에 탑재하여 사용자가 선택적으로 사용할 수 있도록 하였다.

### 3. 프로그램 개발

본 축계정렬 설계/해석 프로그램은 유한요소해석을 위한 전후처리기인 Patran 의 내부 언어인 PCL(Patran Command Language)를 이용하여 개발되었다. 사용자가 친숙하게 사용할 수 있는 그래픽 환경을 지원하는 독립적인 어플리케이션을

구성하기 위해서는 현재의 인력과 시간이 제한적이므로 PCL 을 이용하여 Patran 에서 제공하는 모든 기능을 이용하면서 설계자의 요구를 만족하는 프로그램을 개발하였다.

#### 3.1 모델링 자동화 모듈

형상을 생성하고 속성, 하중 등을 정의하기 위한 모든 기본 모든 데이터는 GUI 입력 또는 외부 파일(CSV) 불러오기로 입력 가능하다. 외부파일은 GDI(Geometry Data Interface), PSP(Propeller Shaft Plan Data), SSD(Shaft System Data)의 3 종류로 구성된다. Fig. 3 은 축계정렬을 위하여 자동으로 생성된 선체와 축계형상 모델을 나타낸다.

##### 3.1.1 유한요소 생성

축계 이외에 선체와 엔진에 대한 모델링 자동화는 국부 열변형 해석을 위하여 필요하다. 선체 및 엔진의 해석모델을 자동 생성하기 위하여 대상구조에 대한 이상화를 우선적으로 수행하였으며 이상화된 구조에 대한 입력 파라미터(GDI)와 축계의 형상(SSD, PSP)에 대한 데이터를 사용자가 입력 하므로써 축계정렬을 위한 해석 모델을 자동 생성할 수 있다. 현재 본 모듈을 가지고 모든 단동형 선박을 자동으로 생성할 수 있다.

##### 3.1.2 속성 및 하중의 정의

속성 데이터는 선체, 축계, 베어링의 3 가지로 분류된다. 선체의 속성은 일반적인 셸요소의 속성을 정의하는 방법과 동일하며, 축계 속성의 경우 보요소의 속성을 정의하듯이 수동적으로 정의하거나 GDI 파일로부터 자동적으로 생성할 수 있다. 베어링 속성의 경우 베어링 제조업체로부터 제공

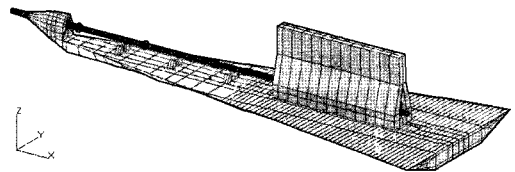


Fig. 3 Automatically generated FE model including propulsion shafts, double bottom, engine housing and bearings seats

받은 강성을 직접 정의하는 방법과 프로그램 내부에서 투영면적법 또는 Hertz 점촉이론을 이용하여 비선형 강성을 정의하는 방법이 가능하다.

축계에 작용하는 각종 하중 및 경계조건도 GDJ 파일로부터 일괄적으로 자동 생성이 가능하다.

## 3.2 데이터 베이스 모듈

### 3.2.1 선체변형 데이터 처리

축계정렬에 영향을 미치는 선체변형은 베어링간의 상대변형이지만 동형, 동급의 선박이라 할지라도 베어링 간의 간격이 서로 다를 수 있기 때문에 절대변형의 형태로 데이터베이스에 저장되어야 한다. 본 프로그램은 절대변형 데이터를 상대변형 데이터로 치환하여 시각화하는 기능을 갖추고 있으며 이 데이터를 고차 다항식으로 적합(Curve fitting)하는 기능을 추가하여 범용적으로 사용할 수 있도록 하였다. 이렇게 생성된 상대변형 데이터는 MSC.Patran 의 XY 곡선형태로 저장된다. 이 상대변형은 선체의 전체변형 모드(Overall mode)를 나타내므로 모델링 자동화 모듈로부터 생성된 선체의 유한요소 모델에 대한 열전달 및 열변형 해석을 통하여 국부변형(Local mode)을 도출하고 전체변형과 국부변형을 합하여 전체변형을 도출한다. Fig. 4 는 XY 곡선형태로 저장된 선체변형의 예를 나타낸다.

### 3.2.2 선체변형의 매핑

MSC.Patran DB 내의 XY 곡선으로 저장된 선체변형을 축계 FE 모델에 매핑하므로써 Field 와 경계조건의 형태로 선체변형이 축계에 적용된다. 필

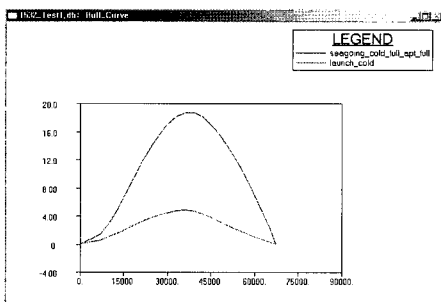


Fig. 4 An example of relative hull deflections to be mapped on shafting system

요시 사용자는 Field 데이터를 수정하므로써 선체변형의 크기와 방향을 조절할 수 있다.

## 3.3 베어링 압력 계산 모듈

### 3.3.1 정적 압착압력

정적 압착압력은 축계가 완전히 설치된 후 엔진의 동력이 축계에 전달되지 않는 상태(입거 상태 또는 진수 후 안벽계류 상태)에서 추진축과 프로펠러 등의 자중으로 인하여 베어링을 압착할 때 발생하는 베어링 라이닝의 압력을 의미한다. 정적 압착압력은 추진축계에 장착된 모든 베어링에 있어서 선평 방향으로의 대칭적이다. 그러나 중간축 베어링 또는 크랭크축 주베어링과 달리 선미관 베어링에서의 압착 압력은 프로펠러의 자중으로 인하여 추진축 방향으로 변화가 심하다. 이러한 압력의 변화로 인하여 발생한 국부적인 압착압력은 축계정렬 정도를 결정하는데 있어서 동적 유막압력보다 더욱 중요한 의미를 가진다. 일반적인 상선에 있어서 프로펠러가 회전하기 시작하면 추력 모멘트로 인하여 압력의 집중이 완화된기 때문이다. 또한 압착압력은 선급에서 요구하는 축계의 경사도에 대한 정의와 유사하지만 정적 압착압력에 대한 관찰은 베어링 내부의 상대 경사도를 추정할 수 있는 더욱 정량적인 방법이다.

본 프로그램은 비선형 다점지지 베어링 시스템을 기본기술로 사용하고 있기 때문에 추진축계의 탄성변형, 베어링의 비선형 강성까지 모두 고려하여 베어링의 압착압력 분포를 계산할 수 있다. 베어링의 정적 압착압력을 계산하기 위해서는 우선 베어링의 기하학적 형상과 재료 데이터를 입력한다. 베어링에 작용하는 하중은 외부입력 데이터를 통하여 불러오기 하거나 MSC.Patran DB 결과에 직접 접근하여 각 베어링에 대한 반력을 자동으로 획득할 수 있다. 이러한 얻어진 하중과 베어링의 형상정보를 이용하여 베어링을 3 차원적으로 시각화하고 시각화된 베어링요소에 압력 분포(Pressure contour)를 자동으로 생성할 수 있다.

### 3.3.2 동적 유막압력

윤활의 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식을 간략화한 Reynolds 방정식이며 본 프로그램에서는

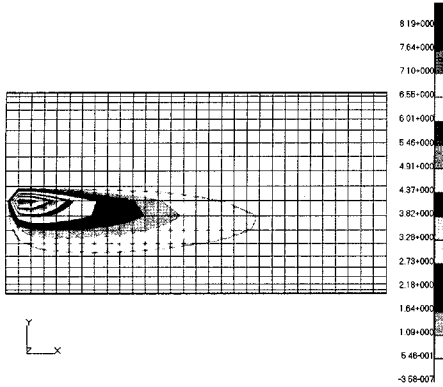


Fig. 5 An example of oil film pressure distribution

이 Reynolds 방정식을 중앙차분화하여 정상상태로 회전하는 추진축과 접촉하는 유막의 압력과 두께를 수치적으로 도출할 수 있는 유체해석 코드를 별도로 개발 내장하고 있다.

베어링 윤활해석을 위해서는 베어링에 작용하는 4 가지 하중성분 즉 수직 및 수평방향 반력과 반력으로 인한 모멘트를 모두 알고 있어야 한다. 이 하중데이터는 본 프로그램의 기반기술인 다점지지 베어링 시스템으로부터 획득이 가능하며 유효지지점을 사용하는 프로그램으로부터는 획득이 실질적으로 불가능하다.

본 프로그램은 추진축과 베어링의 중형방향 상대경사를 모두 고려할 수 있으며 부분경사(Partial rake) 또는 전체경사(Global rake)를 가지도록 절삭한 베어링에 대한 윤활해석도 가능하다. Fig. 5는 윤활해석을 수행하여 베어링에 발생한 압력의 분포에 대한 예를 나타내고 있다. 그러나 베어링 내부에서 추진축의 굽힘으로 인한 유막의 변화는 현재까지 고려되지 않았다.

3.4 최적화 모듈

본 프로그램은 베어링 옵셋, 베어링 내부 경사도 및 엔진 경사도 최적화를 독립적으로 수행할 수 있는 모듈을 갖추었다. 전술한 바와 같이 실험 계획법과 Hooke-Jeeves 최적화를 사용자가 선택적으로 사용하여 최적의 옵셋을 탐색할 수 있다.

실험계획법을 적용할 경우 설계변수는 각 베어

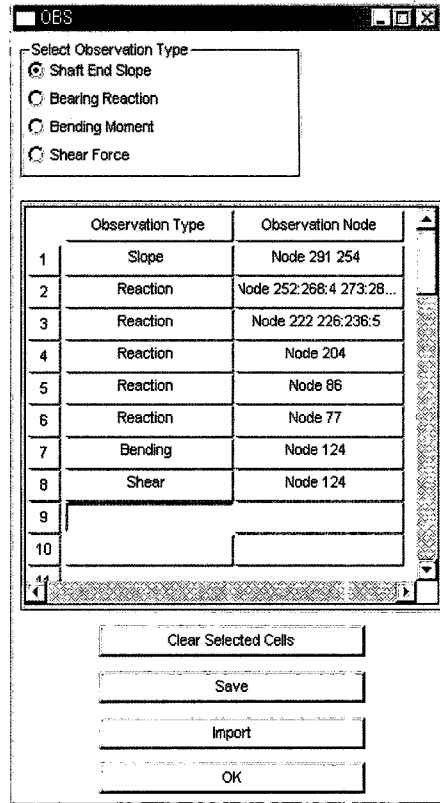


Fig. 6 Window for observation parameters

링의 옵셋으로 지정하게 되며 설계변수의 범위 및 증분량은 입력데이터로 지정 가능하다. 사용자가 원하는 목적값은 사용자가 관측하기를 원하는 절점에서의 반력, 전단력 및 굽힘 모멘트이며 두 절점 사이의 경사도에 대한 관측도 가능하다(Fig. 6 참조). 여러 절점을 한 개의 관측값으로 지정할 경우 각 절점의 반력의 합이 도출되도록 구성되었다

3.5 Gap & Sag 계산 모듈

Gap & Sag은 축계 플랜지의 체결을 하기 전에 옵셋과 자중으로 인한 플랜지간 상대처짐을 의미한다. Patran DB에 저장된 Gap & Sag 해석 결과를 지정하여 각 베어링간 상대처짐을 사용자가 쉽게 고려할 수 있도록 하였다(Fig. 7 참조).

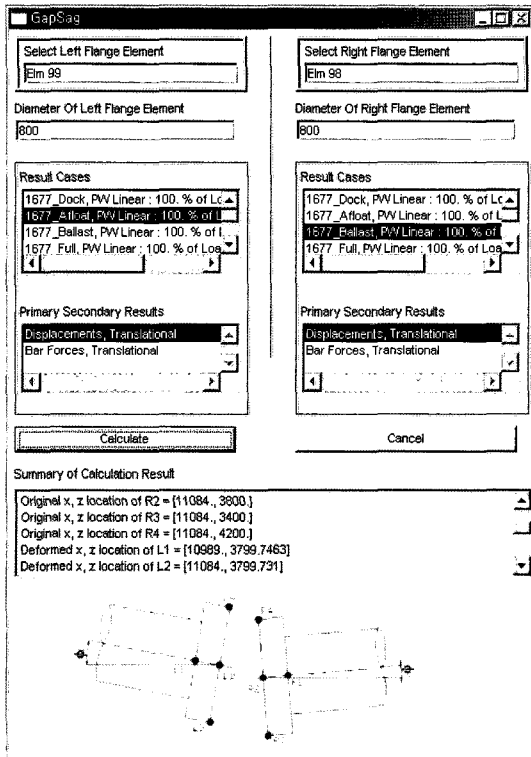


Fig. 7 Module for gap & sag calculation

#### 4. 결론

(1) 본 프로그램에서 적용하고 있는 기반 기술인 비선형 탄성 다점지지 베어링 시스템 및 선체 변형 데이터베이스 및 운항해석 등에 대한 간략한 기술적 설명을 하였다.

(2) 본 프로그램은 5 개의 기본 모듈로 구성되어 있다. 축계 및 선체의 모델링 자동화 모듈은 축계, 이중저, 엔진 등을 자동적으로 생성하는 기능을 가진다. 선체변형 데이터 베이스 모듈은 선체변형을 저장하고 이를 축계에 매핑하는 기능을 가진다. 압력계산 모듈로서 정적 압착압력과 동적 유막압력을 모두 고려할 수 있다. 최적화 모듈은 DOE 또는 Hooke-Jeeves 알고리즘을 적용하고 있으며 선택적으로 최적의 옵션을 결정할 수 있다. Gap & Sag 계산 모듈은 축계의 설치를 위한 갭과 색을 용이하게 계산하는 기능을 가진다.

(3) 본 프로그램은 MSC.Patran 의 내부언어인

PCL(Patran Command Language)로 개발되어 MSC.Patran 의 그래픽 환경을 사용하므로써 사용자의 편의성을 확보하였다. 본 프로그램은 범용 유한요소해석 소프트웨어인 MSC.Nastran 의 비선형 모듈을 이용하여 축계정렬 계산을 수행하므로써 해석결과에 대한 신뢰도를 확보하였다.

#### 후 기

본 연구는 최신의 경영혁신 프로그램인 “ 6 시그마 블랙벨트 ” 과제로 선정되어 수행되었으며 본 프로그램은 6 시그마 신제품개발론(DFSS)에 의거하여 개발되었음을 밝힙니다.

#### 참 고 문 헌

- 김광석, 권용진, 강중규, 옥유관, 권순창, 2002, “ 스트레인 게이지를 이용한 선박 추진축계 베어링 반력 계측 시스템 개발, ” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 413-416.
- 신장룡, 허기선, 허주호, 2002, “ 추진축계에 대한 VLCC 선체변형의 영향 평가, ” 대한조선학회 선박설계연구회 논문집, pp. 177-182.
- 신장룡, 허주호, 2002, “ 선체변형이 추진축계에 미치는 영향, ” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 428-431.
- 정준모, 최익흥, 2001, 309K DWT VLCC 의 선미 구조 연성 및 축계정렬, HMRI-2000-11-R222, 2001
- 정준모, 최익흥, 2004, 선체 변형을 고려한 축계 해석 방법 정립 및 프로그램 개발, HMRI-2004-AC-331
- 정준모, 최익흥, 신상훈, 2005a, “ 비선형 베어링 요소를 이용한 탄성 추진 축계정렬에 관한 고찰, ” 대한조선학회 논문집, 제 42 권, 제 3 호, pp. 259-267.
- 정준모, 최익흥, 김규창, 2005b, “ 비선형 탄성 다점지지 베어링 요소를 이용한 선미관 베어링의 유효지지점 검증, ” 대한조선학회 논문집, 제 42 권, 제 5 호, pp. 479-486.
- ABS, 2002, Shaft Alignment Program ShAL Manual



- ABS, 2003, Rules for Building and Classing Steel Vessels, Part4 Chapter3 Section2, 2003
- BV, Rules for the Classification of Ships, Pt.C Ch.1 Sec.7
- DNV, 2003, Rules for Classification of Ships, Pt.4 Ch.4 Sec.1
- GL, 2002, Rules & Guidance, Part1 Chapter2 Section4
- Johnson, K.L., 1985, Contact Mechanics, Cambridge University Press, pp.90 104
- KR, 2003, Rules for Classification Steel Ships, Part5 Chapter3 Section3
- Lloyd, Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part5 Chapter8 Section1-2, 2002
- NK, 2003, Rules for the Survey and Construction of Steel Ship, PartD Chapter6
- Sekiuchi, M., Oishi, T., Tsuboi, T., Ueda, M., Yoshiki, T., Watanabe, T., Katoh, Y. and Komoto, M., 1974, " Deflection of Engine Room Double Bottom in Large Tankers," Journal of Society of Naval Architect of Japan, Vol. 136, pp. 325-336.



&lt; 정 준 모 &gt;



&lt; 최 익 홍 &gt;