한국소음진동공학회지 제 4 권 제 1 호, pp. 23~31, 1994.

〈論 文〉

발전설비의 터빈 축정렬(Ⅰ) : 발전소 적용 사례

Turbine Alignment (I) : Case Study in the Electric Power Plant Application

황철호* · 김정태** · 전오성* · 이병준*** · 이 현***
Hwang Cheol-Ho, Kim Jeung-Tae, Jun Oh Sung, Lee Byung-Jun and Lee Hyun

〈1993년 8월 31일 접수 ; 1994년 2월 14일 심사완료〉

ABSTRACT

When a shaft is misaligned, a high level of vibration is experienced. As a consequence, the system performance could be low with high level of noise generated. Even, a catastrophic damage of the rotating machinery may happen in the worst situation. The vibration caused by the shaft misalignment is not cured unless a correct alignment of the shaft is investigated. In this paper, a step by step approach for the turbine alignment has been demonstrated. It includes measurement tips of the coupling rim and face, calculation procedure of the bearing level, and the relevant values of the addition and subtration for shims in order to align the shaft level correctly. Then, as an application of the shaft alignment, the turbine system at the Pyung Tek focile electric power plant has been examined. Since the real system consists of high pressure, low pressure turbines and the generator, detailed alignment procedures of the multi stage shaft system has been demonstrated.

1. 서 론

발전설비는 회전체인 원동기와 발전기로 구성되어 있다. 운전의 신뢰도를 높이기 위해서는 원동기와 발전기를 한 개의 단일 회전체로 제작하는 것이 이상적이나 제작과 보수, 그리고 기계 배열상의 문제점 등 때문에 이들을 별도 제작하여 커플링을 통해 조립하는 것이 보통이다. 특히 시설 용량이 대형화되면 원동기가 여러개의 회전체로 구성되므로 이들 회전체의 축을 일체가 되도록 조정해 주어야 한다.

회전기계의 구동축과 피동축을 이상적으로 결합하여 기계적 손실을 방지하고 운전 신뢰성을 높이며 지속적인 이용과 기계의 수명을 유지토록 하는 것을 축 정렬이라고 한다. 특히 발전소에서 사용하는 터빈 정렬(alignment) 방법에는 케이싱 정렬(casing alignment), 축(또는 베어링) 정렬, 그리고 커플링 정렬(coupling alignment)이 있다. 이 중에서도 회전체가 정밀한 간격을 유지하면서 고속회전하는 것을 안전하게 지지해 주는 것이 터빈의 베어링 이기 때문에 터빈의 축 정렬이 가장 중요하게 된다.

터빈의 축 정렬 방법에는 운전중의 열팽창 유무에 대한 고려, 축을 정렬시키는 특수 치구의 사용 유무에 따른 분류 및 계측방법 등에 따라 여러가지가 있다[1~3]. 이중에서 최근에 개발된 레이저를 이용한 축 정렬 방법이 대형터빈 등의 경우에 유리한 것으로 알려져 있다. 특히 다단으로 이루어진 시스템에는 고가의 장치(3~4만$)임에도 불구하고 정밀도가 높

*정회원, 한국표준과학연구원 음향진동연구실
**정회원, 한국표준과학연구원 음향진동연구실(현 홍익대학교 기계공학과)
***정회원, 한국전력공사

아 선호되는 경향이다[4].

본 연구에서는 종래의 기계식 계측방법에 따라 다단으로 이루어진 터빈이 회전 축간의 평행이동(parallel movement)과 각 이동(angular movement)을 통해 불일치 상태를 정렬시키는 방법, 원리 및 단계별 절차에 대한 내용을 다루고자 한다[5,6]. 대상으로 채택된 시스템은 국내에 있는 평택화력 발전소로서 터빈의 초기 상태에 대한 계측에서부터 축 정렬을 완료하기까지의 축 정렬 계산방법을 포함하였다. 사용된 축 정렬 방법은 매 과정을 수작업을 통해 단계적으로 수행하고자 한다. 다만, 이 방법을 통한 축 정렬은 수작업을 거치는 직렬 계산 방식이기 때문에 작업시간이 오래 걸리고, 계산 결과 구해진 베어링 이동량이 허용범위를 벗어나게 되면 동일한 작업을 반복해야 되는 단점이 있다. 수작업 과정의 단점은 전산 프로그램의 개발[7]을 통해 시간적, 경제적 손실을 극복할 수 있다.

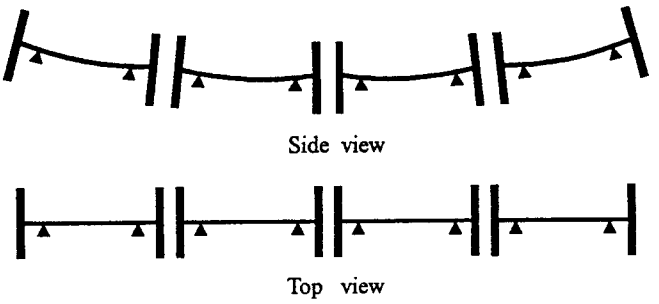
2. 축 정렬의 원리와 방법

2.1 축 정렬 기준 설정치

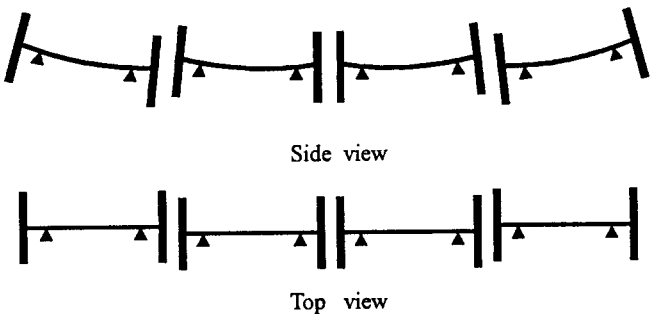
일반적으로 발전소 터빈계통의 축 정렬은 축의 하중에 의한 처짐과 인접한 축간의 전단력 및 모멘트 전달 문제를 고려해야 한다. 따라서 터빈 제작자는 터빈 형식과 용량, 설계 기준에 따라 적절한 현수선(catenary curve)과 축 정렬 기준치를 제시한다. 따라서 실제 축 정렬 작업 당사자는 제작자가 제시한 축 정렬 기준치를 만족하는 터빈 베어링의 이동량과 쉼 플레이트의 가감량을 결정해야 한다. 제작사에서 추천하는 축 정렬 기준치는 설계된 시스템의 자중과 열변형 및 운동 상태의 동적 특성 등을 감안하여 결정되는 값이다.

축 정렬 기준을 기본적인 형태로 구분해 보면 Fig. 1과 같다. Fig. 1(a)는 현수선에 따라 인접한 두 터빈의 커플링이 완전히 일치하도록 정렬하는 형태이며, Fig. 1(b)는 축 정렬 작업시 커플링에 상대적인 차이를 두어 정렬한 후 실제 운전시에 운전 조건에 의해 축들이 현수선과 일치하도록 하는 형태이다.

Fig. 1(a)는 냉각 또는 가열 상태로 일정하게 유지되도록 설계된 터빈에서 사용된다. 이런 형식에서는 베어링 받침대(pedestal)가 케이싱과 독립적으로 설계되어 있기 때문에 케이싱의 온도가 변해도 베어링 레벨에 영향을 미치지 않는다. 그러나 운전중에는 열의 복사나 전도로 인하여 고압 터빈측의 베어링 받침대 온도가 저압측 베어링 받침대 온도보다 높아



(a) 인접한 두 터빈의 커플링이 완전히 일치하도록 정렬한 형태



(b) 인접한 두 터빈의 커플링이 상대적인 차이를 가지도록 정렬한 형태

Fig. 1 축 정렬 기준치 설정의 기본 형태

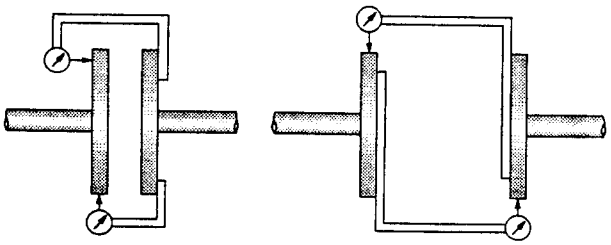
져서 고압측 베어링 높이가 저압측보다 올라가게 되므로 고압측 피데스탈을 윤활유로 냉각하여 베어링 레벨이 달라지는 것을 방지하는 경우도 있다.

Fig. 1(b)의 형식은 가열상태로 운전될 때의 베어링 높이 변화량을 미리 계산한 후, 냉각상태에서의 정렬시 이를 고려하여 베어링 높이를 조절함으로써 정상 운전시에는 일치가 되도록 하는 경우에 사용된다. 설계 과정에서 결정된 축 정렬 기준치보다는 실제운전 과정을 통해 분석된 터빈의 진동이력에 따라 베어링 레벨을 최적 운전상태가 유지되도록 조정하는 경우도 있다.

2.2 축 정렬 상태 측정 방법

축 정렬을 위해서는 인접한 두 연결부의 원주 결합상태인 원주 정렬 오차(rim offset)와 체의 정렬상태를 파악하고, 이에 따라 회전체를 상하, 좌우로 적절히 이동하여 축 정렬을 하게 된다. 축 정렬 상태 측정값을 기록할 때 사용하는 단위는 1/100 mm 이다.

축 정렬 상태를 측정하는 방법으로는 면-원주 측정법(face-rim indicator)과 원주 측정법(reverse



(a) 면-원주 측정법 (b) 원주 측정법

Fig. 2 축 정렬 상태 측정법

indicator) 등 크게 두 가지로 나뉜다[4]. Fig. 2에서 알 수 있듯이 두 방법 모두 축결합 상태의 측정을 위해 2개의 다이얼 게이지가 필요하며, 이들 방법의 차이점은 다이얼 게이지의 부착 방법에 있다.

Fig. 2(a)의 면-원주 측정법은 일반적으로 널리 사용되는 방법으로서 구동축 또는 종동축에 대해 면 측정과 원주 측정을 각각 1회씩 실시해야 한다. 이 방법은 서로 인접해 있는 축의 연결부 직경이 큰 경우에 적당하며, 회전체가 축방향의 힘을 받고 있는 경우에는 정확한 면 측정을 하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 Fig. 2(b)의 원주 측정법의 경우, 회전체가 축방향의 힘을 받을 때 면 측정은 영향을 받지만 구동축의 원주면 측정값과 종동축의 원주면 측정값 등 원주에 대한 두 개의 측정값은 영향을 받지 않으므로 최근 들어 많이 사용되고 있다. 그러나 축간 거리가 작은 경우 즉, 축간 연결부 거리가 허브직경(hub diameter)보다 작은 경우에는 원주 측정 방법이 부적합하다.

2.3 축 정렬을 위한 베어링의 이동량 계산 방법

여러 개의 터빈 축을 정렬할 경우, 축 정렬을 수행하는 단계별 과정은 다음과 같다.

(1) 기준 터빈을 정하고,

(2) 이 기준 터빈을 정위치에 조정한 다음,

(3) 각 커플링 결합부에서의 결합상태를 측정한다.

(4) 측정 결과로부터 각 터빈의 축 정렬 상태도를 작성한다.

(5) 축 정렬 상태도를 이용하여 기준 터빈과 상대 터빈을 정렬시킨다.

제작자의 기준 설정치가 Fig. 1(a)와 같이 인접한 두 축의 커플링이 완전히 일치하도록 되어 있는 경우 두 커플링의 원주가 일치하고 커플링 면이 평행하도록 조정해야 한다. 반면에 Fig. 1(b)와 같이 기준 설정치가 원주 정렬 오차와 면 정렬 오차를 가지도록 설정되어 있는 경우 현재의 축 정렬 상태 측정값에서 기준 설정치를 뺀 값을 상태 측정값으로 생각하면 Fig. 1(a)와 동일한 방법으로 축 정렬을 수행할 수 있다.

이와 같은 방법으로 나머지 터빈에 대해서도 순차적으로 축 정렬을 수행해 나가면 된다. 결과적으로 다축 정렬의 경우도 두 축 정렬이 기본이 되므로 두 축을 정렬하는 경우를 자세히 고찰해 본다.

정렬 순서는 커플링 면을 먼저 정렬한 후 커플링 원주를 정렬한다. 두 축을 정렬하는 경우 기준 터빈의 선택에 따라 다음과 같이 두 가지의 경우가 존재하게 된다. 한편 대형 터빈 시스템은 대용량으로 자중에 의한 축 처짐값이 무시할 수 없을 정도의 크기를 가지고 있으며, 축의 위치에 따라 수십 mil, 심한 경우는 100 mil의 값을 가질 수도 있다. 그러나 이러한 축 처짐의 크기는 터빈 축의 길이에 비해 상대적으로 작기 때문에 처짐 곡선을 직선으로 선형화할 수 있고 이에 따라 계산식을 다음과 같이 전개할 수 있게 된다.

(a) LP가 기준 터빈인 경우

Fig. 3은 기준 터빈의 LP, 조정하려는 터빈이 HP인 경우를 나타낸 것이다. 커플링 면 조정을 위해 터빈 HP의 두 베어링중 어느 쪽을 베어링 이동시키느냐에 따라 축 정렬에 필요한 베어링 이동량이 결정된다.

Fig. 4는 베어링 #1을 움직여서 커플링 면의 정렬을 하는 경우를 나타낸 것이다. 이 그림에 의하면 커플링 면을 정렬하기 위해서는 커플링이 F만큼 수평 이동하면 된다. 커플링을 F만큼 수평 이동시키는 데 필요한 베어링 이동량 H는

$$A : H = D : F$$

의 관계로부터

$$H = AF/D \tag{1}$$

와 같다. 한편 베어링 #1을 H만큼 이동하면 원래 측정한 원주 정렬 오차(rim offset)가 변하므로 이에

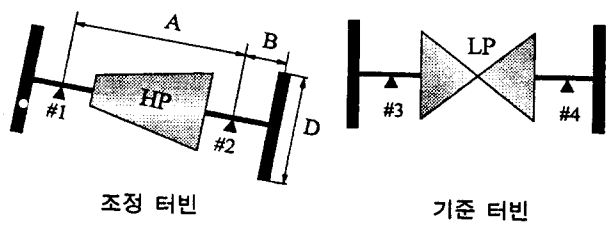


Fig. 3 기준 터빈이 LP인 경우에 대한 축 정렬

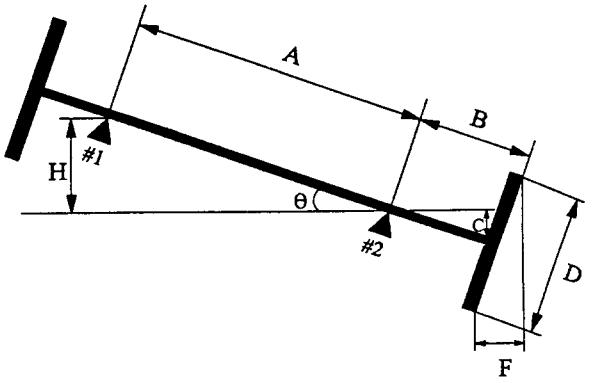


Fig. 4 #1 베어링 이동에 의한 면 정렬시 각 이동량 사이의 관계

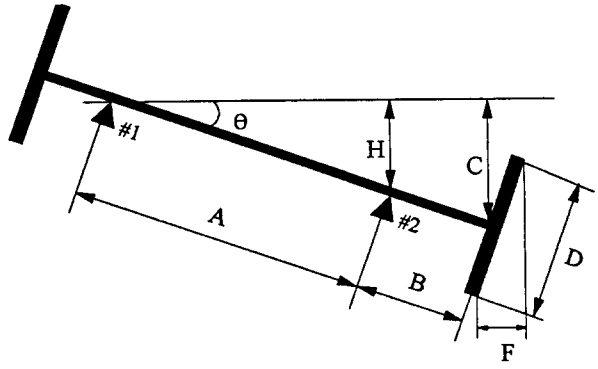


Fig. 5 #2 베어링 이동에 의한 면 정렬시 각 이동량 사이의 관계

대한 보정이 필요하다.

베어링 #1이 H만큼 이동할 때 커플링 중심의 변동량은 C는,

$$A:H=B:C$$

의 관계로부터

$$C=BH/A \tag{2}$$

와 같다. 따라서 초기의 원주 정렬 오차값에서 중심 변동량 C를 보정한 후 터빈 전체를 평행 이동시켜 주면 축 정렬이 완료된다.

Fig. 5는 베어링 #2를 움직여서 커플링 면 정렬을 하는 경우를 나타낸 것으로, 삼각형의 비례관계에 의해 베어링 #2의 이동량은 앞의 경우와 같은 값($H=AF/D$)를 가지나 커플링의 중심 이동량이 달라지므로 이에 대한 계산이 필요하다.

그림에서

$$A:H=(A+B):C$$

의 관계로부터 C는

$$C=(A+B)H/A \tag{3}$$

와 같다.

(b) HP가 기준 터빈인 경우

Fig. 6은 Fig. 3과 반대로 HP를 기준 터빈으로 하고 LP를 조정 터빈으로 한 경우를 나타낸 것이다. (a)의 경우와 마찬가지로 삼각형의 비례관계를 이용하면 베어링 #3과 베어링 #4의 이동량 및 커플링 중심 이동량을 계산할 수 있다.

베어링 #3을 이동시키는 경우

$$H=AF/D \tag{4}$$

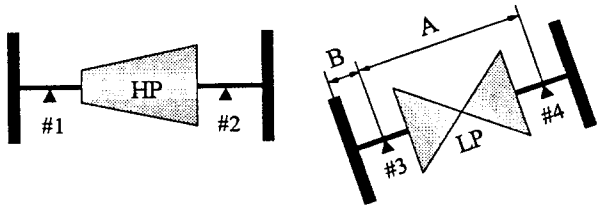


Fig. 6 기준 터빈이 HP인 경우에 대한 축 정렬

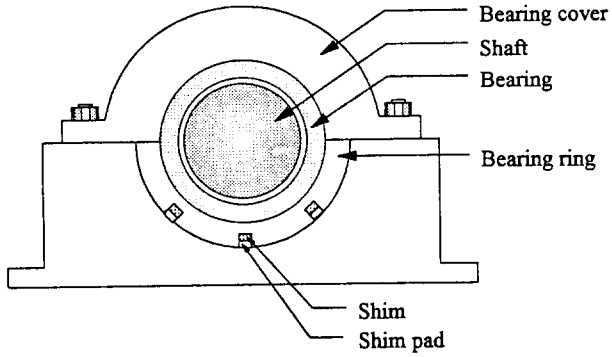


Fig. 7 베어링과 쉼의 구조

$$C=(A+B)H/A \tag{5}$$

이고, 베어링 #4를 이동시키는 경우는

$$H=AF/D \tag{6}$$

와 같다.

두 축을 정렬하는 경우 어느 터빈을 기준 터빈으로 정하든지 근본적인 차이는 없으나 다축 정렬의 경우 기준 터빈을 중심으로 좌, 우로 정렬을 수행해야 하므로 앞의 두 경우에 대한 고려가 필요하다.

2.4 베어링 쉼(shim) 가감량의 결정 방법

축 정렬을 위해서는 축을 상 · 하 · 좌 · 우로 이동

Table 1 각 발전소에서의 터빈 베어링 쉼의 분포

쉼위치 / 발전소	하부	30°	45°	70°	75°	80°	82°	좌,우	비 고
서울 #4			○						
서울 #5			○						
인천 #1, 2		○			○				
인천 #3, 4	○							○	
호남 #1, 2		○						○	
여수 #1			○						
여수 #2	○				○				
평택 #1, 2									
No. 1, 6	○	○			○				
No. 2		○			○				
No. 3, 4, 5		○			○			○	
영동 #1									
No. 1			○						
No. 2, 3		○			○				
영동 #2									
No. 1	○	○			○				
No. 2, 4		○			○				
No. 3		○						○	
부산 #3, 4	○							○	
울 산 #1, 2, 3	○							○	
울산 #4, 5, 6	○							○	
울산 C/C									
No. 1		○						○	
No. 2		○			○				
No. 3	○	○						○	
영남 #1	○							○	
영남 #2	○							○	
영월 #1, 2	○						○		
군산 #1			○						
부산 #1, 2									

시킴으로써 축 중심을 조정해야 하는데 이것은 축을 지지하고 있는 베어링의 이동을 통해 가능하다. 베어링의 이동은 베어링 링(bearing ring 또는 bearing mount)에 있는 쉼(shim)의 양을 가감함으로써 조절할 수 있다. Fig. 7은 베어링과 쉼의 구조를 나타낸

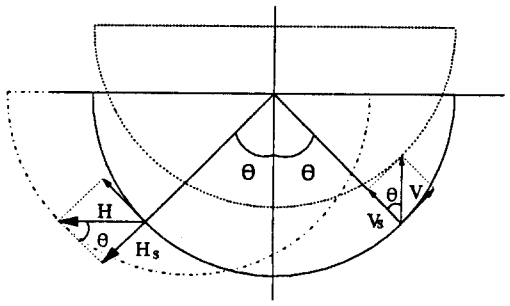


Fig. 8 터빈 축의 수직, 수평 방향 이동에 필요한 쉼 가감량의 결정

것이다.

수평 이동, 즉 좌우 이동은 볼트로 하는 경우도 있으며, 소형 터빈에서는 이동용 쉼이 없는 베어링도 있다. 베어링 링에서의 쉼의 각도는 Table 1과 같이 제작자에 따라 각각 다른 배치를 가질 수 있다. 쉼 위치가 베어링 하부나 좌우에만 있는 경우에는 베어링 이동량만큼 쉼을 가감하며, 쉼의 위치가 베어링 하부에 대해 일정 각도를 유지하고 있는 경우에는 각도에 따른 보정 계산이 필요하다.

Fig. 8은 쉼이 일정한 각도를 이루고 있는 경우, 베어링의 이동량과 쉼 가감량과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 베어링이 V만큼 수직 이동하기 위한 쉼 가감량은 V_S는

$$V_S = V \cos \theta \tag{8}$$

또한 H만큼 수평 이동시키는 데 필요한 위치에서의 쉼 가감량 H_S는

$$H_S = H \sin \theta \tag{9}$$

와 같다.

2.5 발전기의 정렬

발전기의 정렬은 구조상 터빈의 경우와는 차이점이 있다. 터빈의 경우는 로터의 중심선과 케이싱의 중심선이 일치하지 않더라도 운전중에 로터와 케이싱간의 마모(rubbing) 현상만 발생하지 않으면 문제가 되지 않으므로 케이싱을 먼저 정렬한 후 베어링을 정렬한다. 그러나 발전기의 경우, 로터의 중심선과 정지자(stator)의 중심선이 일치하지 않으면 전기적인 불균형(unbalance)이 발생하거나 발전기 실링이 손상되어 수소 누출 또는 폭발 사고가 발생할 수 있다. 따라서 정지자 안에서의 회전체 위치를 그대로 두고 터빈에 대한 축 정렬을 하는 것이 바람직하다. 즉, 발전기의 상하 이동은 발전기 받침대(foot)

밑에 있는 쉼 플레이트를 가감하여 조정하고, 좌우 이동은 발전기 몸체 전체를 좌우로 이동시켜 조정한다.

축 정렬 작업 결과에 따라 발전기의 임의의 두 지점(보통은 양쪽 베어링)에서의 이동량이 결정되면, 각 받침대에서의 이동량은 비례식에 의해 결정된다.

3. 다축정렬의 적용 : 평택 화력 1,2호기

축 정렬 과정은 현재 운용중에 있는 평택 화력 1,2호기 터빈에 대해 적용되었다.

Fig. 9는 평택 화력 1,2호기에 대한 축 정렬 기준치를 보여주고 있다. Fig. 10는 다이얼 게이지를 이용하여 각 커플링에서 결합 상태를 측정한 것이다. 여기서 측정 단위는 1/100 mm이다. 원주에 대한 측정값중 상하 방향에서의 측정값의 차이를 2로 나누면 축 중심의 수직 방향 차이가 되며, 좌우 측정값의 차이를 2로 나누면 축 중심의 수평 방향 차이가 된다. 또한 면에 대한 측정값중 상하 방향 측정값의 차이는 커플링 면의 수직 방향으로의 어긋난 정도를 나타내며, 좌우 방향 측정값의 차이는 수평 방향으로의 어긋난 정도를 나타낸다. 측정값으로부터 축의

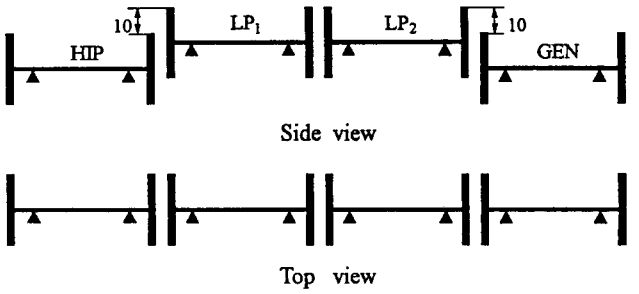


Fig. 9 평택 화력 1,2호기에 대한 축 정렬 기준값

정렬 상태를 나타내면 Fig. 11과 같다. 그림에서 커플링 면의 수평 방향 차이는 변의상 ∧, ∨로 표시하였다. 이 축 정렬 상태도로부터 앞서 설명한 축 정렬 방법에 따라 평택 화력에 대한 터빈 정렬을 다음과 같은 순서에 따라 수행한다.

(1) 기준 터빈과 조정 터빈을 지정한다.

(2) 조정 터빈의 한쪽 베어링을 움직여서 조정터빈과 기준 터빈과의 면 정렬 오차(face offset)를 기준 설정치에 맞게 조정한다.

(3) (2)의 수행후, 조정 터빈 양쪽에서의 오차값들을 갱신한다.

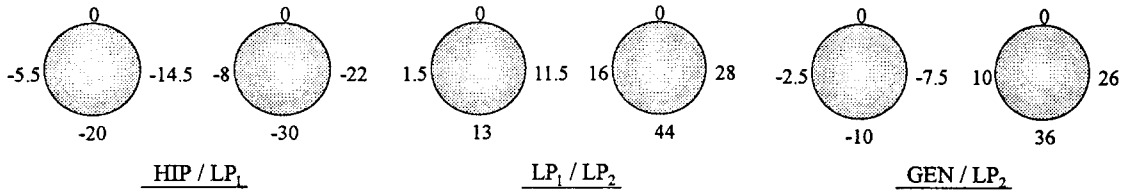


Fig. 10 평택 화력 1,2호기에 대한 축 정렬 상태 측정값

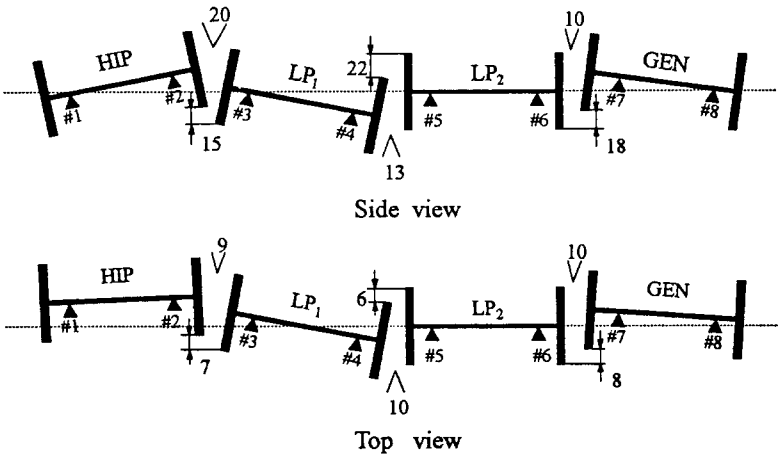


Fig. 11 오차 측정값으로부터 구성한 축 정렬 상태도

Table 2 수직 방향 축 정렬을 위한 베어링의 이동량 계산 과정

베어링 번호 / 구분	베어링 이동량(상, 하)		HIP/LP$_1$		LP$_1$/LP$_2$		LP$_2$/GEN	
	左 베어링	右 베어링	Face	Rim	Face	Rim	Face	Rim
현 상태			20 ∨	∗15	13 ∧	22∗	10 ∨	18∗
Face 조정	#3 62.7↓		11.5∧	∗15	13 ∨	∗15		
중간 결과			8.5 ∨	∗86	0	8∗		
평행 이동	#3 8 ↑	#4 8 ↑	-	8∗	-	∗8		
중간 결과			8.5 ∨	∗78	0	0		
Face 조정		#2 47.5↑	8.5 ∧	59.5∗				
중간 결과			0	∗18.5				
평행 이동	#1 28.5↓	#2 28.5↓	-	28.5∗				
중간 결과			0	10∗				
Face 조정	#7 48.6↓						10∧	∗74
중간 결과							0	∗56
평행 이동	#7 46 ↑	#8 46 ↑						46∗
정렬 결과			0	10∗	0	0	0	∗10

베어링 번호	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
최종 이동량	28.5↓	76↓	54.7↓	8↑	0	0	2.6↓	46↑

Table 3 수평 방향 축 정렬을 위한 베어링의 이동량 계산 과정

베어링 번호 / 구분	베어링 이동량(상, 하)		HIP/LP$_1$		LP$_1$/LP$_2$		LP$_2$/GEN	
	左 베어링	右 베어링	Face	Rim	Face	Rim	Face	Rim
현 상태			9 >	∗7	10 <	6∗	5 >	
Face 조정	#3 48.3→		8.9<	∗55.2	10 >	∗10.8		
중간 결과			0.1>	∗62.2	0	4.8∗		
평행 이동	#3 4.8→	#4 4.8→	-	∗4.8	-	4.8∗		
중간 결과			0.1>	∗68	0	0		
Face 조정		#2 0.6→	0.1<	0.7∗				
중간 결과			0	∗67.3				
평행 이동	#1 67.3→	#2 67.3→	-	67.3∗				
중간 결과			0	0∗				
Face 조정		#8 24.3←					5 <	∗12.7
중간 결과							0	∗4.7
평행 이동	#7 4.7←	#8 4.7←						4.7∗
정렬 결과			0	0∗	0	0	0	0

베어링 번호	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
최종 이동량	67.3→	67.9→	53.1→	4.8→	0	0	4.7←	29←

Table 4 수직(상하) 방향의 쉼 조정량

베어링 번호 / 쉼 위치		#1		#2		#3		#4		#7F		#8F	
		좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
베어링 상하 이동량		28.5 아래로		76.0 아래로		54.7 아래로		8.0 아래로		2.6 아래로		46.0 위로	
쉼 조정량	0°	−28.5		-		-		-		−2.6		+46	
	30°	−24.8	−24.8	−65.8	−65.8	−47.6	−47.6	7.0	7.0	-		-	
	75°	−7.4	−7.4	−19.7	−19.7	-		-		-		-	
	90°	-		-		0	0	0	0	0	0	0	0
비고		1. 부호 +, −는 쉼의 삽입, 제거를 의미하며, 단위는 1/100 mm이다. 2. 베어링의 상하 이동은 좌우에 있는 쉼을 베어링 이동량과 같은 크기만큼 가감하면 된다. 3. 쉼 가감량=베어링의 이동량×cos θ											

Table 5 수평(좌우) 방향의 쉼 조정량

베어링 번호 / 쉼 위치		#1		#2		#3		#4		#7F		#8F	
		좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
베어링 상하 이동량		67.3 우로		67.9 좌로		53.1 우로		4.8 우로		4.7 좌로		29.0 좌로	
쉼 조정량	0°	0		-		-		-		0		0	
	30°	33.7	−33.7	34	−34	26.6	−26.6	2.4	−2.4	-		-	
	75°	65.3	−65.3	65.9	−65.9	-		-		-		-	
	90°	-		-		53.1	−53.1	4.8	−4.8	4.7 좌로		29 좌로	
비고		1. 부호 +, −는 쉼의 삽입, 제거를 의미하며, 단위는 1/100 mm이다. 2. 베어링의 상하 이동은 좌우에 있는 쉼을 베어링 이동량과 같은 크기만큼 가감하면 된다. 3. 쉼 가감량=베어링의 이동량×sin θ											

Table 6 최종 쉼 조정량

베어링 번호 / 쉼 위치		#1		#2		#3		#4		#7F		#8F	
		좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
쉼 조정량	0°	−28.5		-		-		-		−2.6		+46	
	30°	8.9	−58.5	−31.8	−99.8	−21.0	−74.2	9.4	4.6	-		-	
	75°	57.9	−72.7	42.6	−85.6	-		-		-		-	
	90°	-		-		53.1	−53.1	4.8	−4.8	4.7 좌로		29 좌로	
비고		1. 부호 +, −는 쉼의 삽입, 제거를 의미하며, 단위는 1/100 mm이다.											

(4) 조정 터빈을 평행 이동시켜 조정 터빈과 기준 터빈과의 원주 정렬 오차를 기준 설정치에 맞게 조정한다.

(5) (4)의 수행후, 조정 터빈 양쪽에서의 오차 값들을 갱신한다.

(6) 조정 터빈을 기준 터빈으로, 조정 터빈과 인접한 터빈을 조정 터빈으로 새로 지정하여 (2)에서 (6)까지의 과정을 반복한다.

이상과 같은 과정을 수직 방향과 수평 방향에 대해 각각 수행한 다음, 두 결과를 종합하여 쉼과 받침대의 가감량을 결정한다.

Table 2와 Table 3은 수직 방향과 수평 방향에 대한 축 정렬 과정을 각각 도표로 나타낸 것이다. 평택 화력의 경우, Table 1에서 알 수 있듯이 각 베어링마다 쉼의 위치가 다르므로 베어링별로 쉼의 가감량을 결정해야 한다. 축의 수평 방향 정렬시 축을 우측에서 좌측으로 이동시키기 위해서는 좌측의 쉼을 빼낸 후 이 쉼을 우측에 더해야 하므로 위치가 좌우 대칭인 두 쉼의 변동량은 서로 반대 부호를 갖는다. 좌측에서 우측으로 이동시키는 경우도 마찬가지다.

Table 4와 Table 5는 각 베어링을 원하는 양만큼 이동시키는데 필요한 쉼의 가감량을 수평, 수직방향에 대해 각각 계산한 것이다. 베어링의 상하, 좌우 이동은 모두 쉼의 가감에 의해 이루어지므로 상하, 좌우 각각에 대한 쉼 조정량을 더하면 최종적인 쉼의 가감량을 구할 수 있다. 계산된 값에 따라 쉼을 조정해 주면 축 정렬은 완료된다.

4. 결 론

축 정렬이 불량한 경우 축 진동이 과도하게 발생하며, 출력이 감소하고 소음이 발생한다. 심한 경우 회전체의 파손과 같은 손실을 입을 수 있다. 특히 축 정렬 불량으로 인한 진동은 교정이 안되는 것이 특징이므로 근본적으로 진동을 해결하기 위해서는 축 정렬을 다시 시행해야 한다. 한편, 터빈은 다른 기계 구조물과 달리 분해 점검에 많은 시간과 경비가 요구되므로 축 정렬시 정확한 작업 수행이 필수적이다.

본 연구에서는 터빈 계통의 축 정렬을 수행하는 절차와 방법에 대해서 검토하였다. 이를 위해 축 정렬 상태값을 측정하기 위한 방법들중 커플링 원주와 커플링 면 측정 방법에 대해 설명된, 2단계의 저압 터빈 및 발전기로 구성되어 있는 다축 시스템으로서, 제작사측에서 요구하는 정렬 기준값을 감안하여 축 정렬에 필요한 베어링 조정량을 계산하였다. 계산과정은 축 정렬 상태도를 작성하고 기준 로터로 지정되 저압터빈으로부터 나머지 터빈들까지에 대해 단계적으로 설명하였으며, 최종적으로 쉼의 가감량까지를 보여줌으로서 축 정렬 과정을 완료하였다. 본 논문에서 제시한 방법을 사용하여 축 정렬을 수행한 결과, 축 정렬 상태에 대한 오차는 ±1/1000 mm 수준으로서 만족할 만한 결과를 얻었다.

참고문헌

(1) Essinger, J. N., "Benchmark Gauges for Hot Alignment of Turbomachinery," Proc, of the Ninth Turbomachinery Symposium, pp. 127~133.

(2) Campbell, A. J., 1973, "Optical Alignment of Turbomachinery," Proc. of the Turbomachinery System, Texas A & M Univ.

(3) Jackson, C., "Alignment Using Water Stands and Eddy Current Proximity Probes," Proc. of the Ninth Turbomahery Symposium, pp. 137~143.

(4) Xu, M., 1993, "Shaft Alignment-An Overview," Sound and Vibration, Vol. 27, No. 5, pp. 26~29.

(5) 이병준, 1988, "Alignment 상태가 진동에 미치는 영향과 대책," 한국전력공사 진동세미나 교재, pp. 93~114.

(6) 최열, 1981, "터빈 얼라인먼트 테이블 : 개발과 응용," 한전연구보고서 제81-1.

(7) 황철호, 김정태, 전오성, 이현, 이병준, 1994, "발전설비의 터빈 축정렬(Ⅱ) : 자동화를 위한 전산프로그램개발," 한국소음진동공학회지, 제 4 권 1호, pp. 33~42.