터빈계통의 축정렬(I): 원리와 방법

황철호*, 김정태*, 이 현***, 이병준**

1. 서론

일반적으로 발전설비는 회전체인 원동기와 발전기로 구성되어 있다. 운전 신뢰상 원동기와 발전기를 일체의 회전체로 제작하는 것이 가장 이상적이나 제작과 보수, 기계 배열상의 문제점 등 때문에 이들을 따로 제작하여 커플링으로 결합하는 것이 보통이다. 특히 시설용량이 대형화할수록 원동기가 여러개의 회전체로 구성되므로 이들 회전체의 축을 일체가 되도록 조정하는 축정렬 작업이 필요하게 된다. 회전기계에서 구동축과 피동축을 가장 이상적으로 결합하여 기계적 손실을 방지하고 운전 신뢰성을 높이며 지속적인 이용과 기계의 수명을 유지하도록 하는 것이 축 정렬의 의의이며 목적이라고 할 수 있다.

일반적으로 터빈의 정렬(alignment)이라고 하면 케이싱 정렬(casing align-ment), 축(또는 베어링) 정렬 그리고 커플링 정렬(coupling alignment)을 들 수 있는데, 이 중에서도 축 정렬이 가장 중요하다. 터빈 케이싱 내에서 회전체가 정밀한 간격을 유지하면서 고속회전하는 것을 안전하게 지지해 주는 것이 터빈 베어링이며, 이를 위해서는 주어진 기준에 따라 회전 축의 중심 조정 즉 축 정렬을 정밀하게 수행해야 한다.

축 정렬은 제작자의 터빈 형식과 용량, 설계기준에 따라 축 정렬 기준이 다르다. 축 정렬 기준을 두 가지 기본적인 형태로 구분해 보면 그림 1 (a)와 같이 인접한 두 터빈의 커플링이 완전히 일치되도록 정렬하는 형태와 그림 1 (b)와 같이 두 커플링에 상대적인 차이를 두어 정렬하는 형태로 나타낼 수 있다. 그림 1 (a)와 같은 형식은 터빈이 냉각 상태나 가열된 상태로 일정하게 유지되도록 설계된 터빈에서 사용된다. 이런 형식에서는 베어링 피데스탈(pedestal)이 케이싱과 독립적으로 설계되어 케이싱의 온도변화에 따른 팽창 수축이 베어링 레벨에 영향을 미치지 않도록 설계되어 있다. 그러나 운전중에는 열의 복사나 전도로 인하여 고압 터빈측의 베어링 피데스탈 온도가 저압측 베어링 피데스탈 온도보다 높게 되어 고압측 베어링 레벨이 저압측보다 올라가게 되므로 고압측 피데스탈을 윤활유로 냉각하여 베어링 레벨이 달라지는 것을 방지하는 경우도 있다. (b)의 형식은 가열상태로 운전될 때의 베어링 레벨 변화량을 미리 계산하고 냉각상태에서의 정렬시 이를 고려하여 베어링 레벨을 미리 낮춤으로써 정상 운전시에는 일치가 되도록 하는 경우에 사용된다. 설계상으로 결정된 축 정렬 기준치가 가장 이상적인 것은 아니며, 실제로 운전하여 그 결과에 따라 베어링 레벨을 최적 운전상태가 유지되도록 조정하는 경우도 있다.

2. 축정렬 상태 측정 방법

두 축의 중심이 일치하기 위해서는 커플링 원주(rim)가 일치하고 커플링 면(face)이 평행해야 한다. 따라서 축 정렬 측정은 인접한 두 커플링의 원주 높이 차이 즉 rim offset과 면의 벌어진 정도 즉 face offset을 모두 측정해야 하며, 이들 측정값으로부터 로터의 정렬 상태를 판단하고 이에 따라 로터를 상하, 좌우로 이동하여 축 정렬을 하게 된다. 축 정렬 상태 측정값을 기록할 때 사용하는 단위는 1/100 ㎜로 하는 것이 보통이다.

○ 커플링 원주의 결합상태(rim offset) 측정

커플링 원주의 상대 차이(rim offset)를 측정하는 방법은 straight edge를 사용하는 방법과 다이얼 게이지(dial gage)를 사용하는 방법이 있다.

○ 커플링 원주(rim) 및 면(face)의 결합 상태의 동시 측정 방법: 그림 2 과 같이 다이얼 게이지를 설치하면 커플링의 원주와 면의 결합 상태를 동시에 측정할 수 있다. 설치 공간에 여유가 있다면 이와같은 방법에 의해 측정 시간을 절약할 수 있고 로터의 위치상태를 동시에 분석 판단할 수 있으므로 유리하다.

3. 축 정렬 조정 방법

3-1. 축 정렬을 위한 베어링의 이동량 결정

여러 개의 터빈 축을 정렬할 경우, 먼저 기준 터빈을 정하고 이 기준 터빈을 정위치에 조정한 다음 각 커플링 결합부에서의 결합 상태를 측정한다. 측정결과로부터 각 터빈의 축 정렬 상태도를 작성한 고 이를 바탕으로 기준 터빈과 상대 터빈을 먼저 정렬시킨다. 이것이 완료되면 이번에는 상대 터빈을 기준 터빈으로 생각하고 인접한 그 다음 터빈을 상대 터빈으로 삼아 마찬가지 방법에 의해 축 정렬을 수행한다. 이와같은 방법으로 순차적으로 나머지 터빈에 대해서도 축 정렬을 수행해 나가면 된다. 결국 다축 정렬도 두 축 정렬이 기본이 되므로 두 축을 정렬하는 경우에 대해 베어링 이동량을 계산하는 방법을 고찰해 보도록 한다.

일반적인 경우 축 정렬의 순서는 커플링 면을 먼저 정렬하고 다음에 커플링원주를 정렬하는 것이 보통이다. 두 축을 정렬하는 경우 어느 쪽을 기준 터빈으로 생각할 것인가, 또 조정 터빈에서 어느 베어링을 이동하고자 하는 가에 따라 모두 네 가지의 경우가 존재하게 된다. 이들의 경우에 대해서 각각 이동량을 계산해 보면 다음과 같다.

(a) LP가 기준 터빈인 경우

그림 3 는 LP가 기준 터빈이고 HP가 조정하려고 하는 터빈인 경우를 나타낸 것이다. 커플링 면의 정렬을 위해 조정 터빈 HP의 어느 베어링이 움직이느냐에 따라 축 정렬을 위한 베어링 이동량이 다르므로 각각의 경우에 대한 고찰이 필요하다.

그림 4 는 베어링 #1을 움직여서 커플링 면의 정렬을 하는 경우를 나타낸 것이다. 이 그림에서 커플링 면의 정렬을 위해서는 커플링이 F만큼의 수평 이동을 하

* 정회원, 한국표준과학연구원
** 정회원, 한국전력공사
***한국전력공사

도록 해야 한다는 것을 알 수 있다. 이를 위해 필요한 베어링 이동량 H를 구해보면, 그림에서

A : H = D : F

의 관계로부터 베어링 #1의 이동량 H는

$$H = AF/D \quad (1)$$

와 같다.

그런데 커플링 면을 조정하기 위해 베어링 #1을 H만큼 이동하는 경우 커플링 중심이 이동하게 되어 원래 측정한 rim offset이 변하게 되므로 이에 대한 보정이 필요하다. 따라서 중심 이동량을 구해야 한다.

베어링 #1이 H만큼 이동할 때 커플링 중심의 변동량 C는

A : H = B : C

의 관계로부터

$$C = BH/A \quad (2)$$

와 같다.

초기의 rim offset 값에서 이 중심 변동량 C를 보정한 후 이 값만큼 터빈 전체를 평행이동시켜주면 축 정렬이 완료된다.

그림 5는 베어링 #2를 움직이는 경우를 나타낸 것으로, 삼각형의 비례관계에 의해 베어링 #2의 이동량은 앞의 경우와 같은 값(H = AF/D)을 가지나 커플링의 중심 이동량이 달라지므로 이에 대한 계산이 필요하게 된다.

그림에서

A : H = (A + B) : C

의 관계로부터 C는

$$C = (A + B)H/A \quad (3)$$

와 같다.

(b) HP가 기준 터빈인 경우

그림 6 는 그림 3 와 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

$$H = AF/D \quad (4)$$

$$C = (A + B)H/A \quad (5)$$

이고, 베어링 #4를 이동시키는 경우는

$$H = AF/D \quad (6)$$

$$C = BH/A \quad (7)$$

와 같다.

3-2. 베어링 쉼(shim) 가감량의 결정

축 정렬을 위해서는 축의 상하 좌우 이동에 의해 축의 중심을 조정해야 하는데, 축의 이동은 축을 지지하고 있는 베어링을 이동하면 된다. 이러한 베어링의 이동은 베어링 링(bearing ring 또는 bearing mount)에 있는 쉼(shim)의 양을 가감함으로써 이루어진다. 따라서 앞에서 언급한 것과 같은 방법에 의해 축 정렬을 위한 각 베어링의 이동량이 결정되면 실제로 베어링을 원하는 만큼 이동시켜주기 위해 각 베어링에서의 쉼 가감량을 결정해야 한다.

수평 이동 즉, 좌우 이동은 볼트로 하는 경우도 있으며, 소형터빈에서는 이동용 쉼이 없는 베어링도 있다. 베어링 링에서의 쉼의 각도는 표 1과 같이 제작자에 따라 각각 다른 배치를 가질 수 있다. 쉼 위치가 베어링 하부나 좌우에만 있는 경우에는 베어링 이동량만큼 쉼을 가감하면 되지만 쉼의 위치가 베어링 하부에 대해 어떤 각도를 가지고 있는 경우에는 각도에 따른 보정 계산이 필요하다.

그림 7은 쉼이 일정한 각도를 이루고 있는 경우, 베어링을 원하는 양만큼 이동시키기 위해 필요한 쉼 가감량을 구하기 위한 것을 나타낸 것이다. 그림에서 베어링이 V만큼 수직 이동하는 데 필요한 위치의 쉼 가감량은 그림으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_{M1} = V \cos \theta 1 \quad (8)$$

또한 H 만큼 수평 이동시키는 데 필요한 위치에서의 쉼 가감량 HM은

$$H_{M1} = H \sin \theta 1 \quad (9)$$

와 같다.

3-3. 발전기의 정렬

발전기의 정렬은 구조상 터빈의 경우와는 차이점이 있다. 터빈의 경우는 로터의 중심선과 케이싱의 중심선이 일치하지 않더라도 운전중에 로터와 케이싱간의 rubbing 현상만 발생하지 않으면 문제가 되지 않으므로 보통 케이싱을 먼저 정렬한 후 베어링을 즉 축을 정렬하는 것이 보통이다. 그러나 발전기의 경우, 로터의 중심선과 stator의 중심선이 일치하지 않으면 전기적인 불균형(unbalance)이 발생하거나 발전기 실링이 손상되어 수소 누출 또는 폭발 사고가 발생할 수 있다. 따라서 가능하면 stator 내에서의 로터의 위치는 변화시키지 않고 터빈에 대한 축 정렬을 하는 것이 바람직하다. 즉, 발전기의 상하 이동은 발전기 foot밑에 있는 쉼 플레이트의 가감에 의해 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 foot에서의 이동량은 비례식에 의해 쉽게 결정할 수 있다.

3-4. 다축 정렬

두 개의 터빈이 아닌 여러 개의 터빈으로 연결된 다축 정렬의 경우에는 먼저 기준 터빈을 정하고 이 터빈을 중심으로 정렬을 순차적으로 해 나가야 한다. 이때 주의할 것은 조정 터빈을 기준 터빈에 정렬시키기 위해 조정 터빈의 베어링을 상하,좌우로 이동시켰기 때문에 조정 터빈과 연결된 옆의 터빈에서의 커플링 결합 상태가 처음 측정한 값과 달라진다는 점이다. 따라서 조정 터빈과 옆의 터빈을 정렬할 경우 이를 고려해야 한다.

3. 축정렬의 적용: 평택화력 1, 2호기.

다축 정렬 과정을 실제로 알아보기 위해 평택 화력 1,2호기 터빈을 대상으로 정렬을 해 보기로 한다.

그림 8 는 평택 화력 1,2호기에 대한 축 정렬 기준치를 나타낸 것이며, 그림 10 은 다이얼 게이지를 이용하여 각 커플링에서 결합 상태를 측정한 것 이다. 여기서 측정 단위는 1/100mm이다.

이들 측정값으로부터 축의 정렬 상태를 결정할 수가 있다. Rim에 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 face에 대한 측정값중 상하 방향 측정값의 차이는 커플링 면의 수직 방향으로의 어긋난 정도를 나타내며, 좌우 방향 측정값의 차이는 수평 방향으로의 어긋난 정도를 나타낸다. 그림 9의 측정값으로부터 축의 정렬 상태를 나타내보면 그림 10와 같다.

다축 정렬 작업의 순서를 요약해 보면 다음과 같다.

① 기준 터빈과 조정 터빈을 지정한다.

② 조정 터빈의 한쪽 베어링을 움직여서 조정 터빈과 기준 터빈과의 face offset을 조정한다.

③ ②의 작업으로 인해 조정 터빈 양쪽에서의 offset 값이 변했으므로 이 값들을 갱신한다.

④ 조정 터빈을 평행 이동시켜 조정 터빈과 기준 터빈과의 rim offset을 조정한다.

⑤ ④의 작업으로 인해 조정 터빈 양쪽에서의 offset 값이 변했으므로 이 값들을 갱신한다.

⑥ 조정 터빈을 기준 터빈으로 다시 지정하고 인접한 터빈을 조정 터빈으로 하여 ②에서 ⑥까지의 과정을 반복한다.

이상과 같은 과정을 수직 방향과 수평 방향에 대해 각각 수행한 다음, 두 결과를 종합하여 쉼과 foot의 가감량을 결정해야 한다.

표 2는 수직 방향에 대한 축 정렬 과정을 알기 쉽게 도표로 나타낸 것이며 표 3은 수평 방향에 대한 것을 나타낸 것이다. 표 2와 표 3의 결과에 따라 베어링 쉼의 이동량을 결정해야 한다. 평택 화력의 경우 각 베어링마다 쉼의 위치가 다르므로 각 베어링별로 쉼의 가감량을 결정해야 한다. 이때 축의 수평 방향 정렬시 축을 우측에서 좌측으로 이동시키기 위해서는 좌측의 쉼을 빼내고, 빼낸 쉼을 우측에 더해야 하므로 좌우 대칭인 쉼의 변동량이 서로 반대 부호를 갖는다는 주의해야 한다. 좌측에서 우측으로 이동시키는 경우도 마찬가지이다.

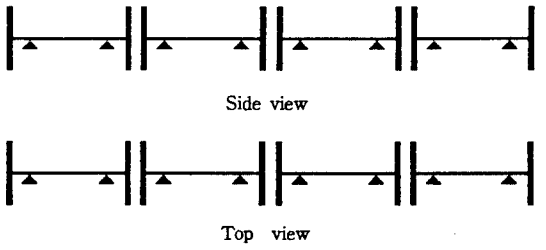
표 4와 표 5는 각 베어링을 원하는 크기로 이동시키기 위해 필요한 쉼의 가감량을 수평, 수직 방향에 대해 각각 계산한 것이다. 베어링의 상하, 좌우 이동은 모두 쉼의 가감에 의해 이루어지므로 상하, 좌우 각각에 대한 쉼 조정량을 더하면 최종적인 쉼의 가감량을 구할 수 있다. 구해진 값에 따라 쉼을 조정해 주면 축 정렬은 완료된다.

5. 결 론.

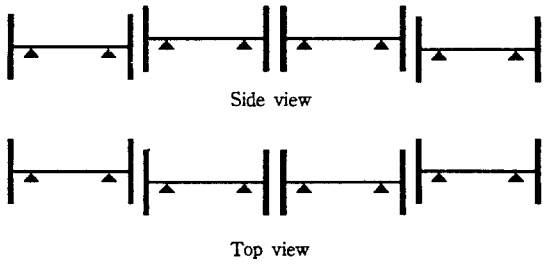
축정렬이 불량한 경우 축진동이 과도하게 발생하여 출력이 감소하고 소음이 발생하며, 심한 경우 회전체의 파손과 같은 손실을 입을 수 있다. 특히 축 정렬불량으로 인한 진동은 교정이 안되는 것이 특징이므로 근본적으로 진동을 해결하기 위해서는 축 정렬을 다시 시행해야 한다. 그러나 터빈은 다른 기계 구조물과 달리 분해 점검에 많은 시간과 경비가 요구되므로 축정렬시 정확한 작업이 요구된다.

본 연구에서는 터빈계통의 축정렬을 수행하는 절차와 방법에 대해서 검토하였다. 이를 위해 축정렬의 입력데이터로 쓰일수 있는 상태측정방법중 커플링 원주와 커플링 면 측정방법이 설명되었으며, 측정값으로 부터 축정렬을 수행하기위해, 베어링의 이동량 계산과정과 쉼 가감량의 계산방법을 기술하였다.

축정렬의 원리와 방법의 적용과정을 실제로 알아보기위해 평택화력 1, 2호기에 대한 축정렬이 수행되었다. 1,2호기는 고압터빈, 2단계의 저압터빈 및 발전기로 구성되어 있는 다축 시스템으로서, 제작사측에서 요구하는 정렬기준값을 감안하여 축정렬에 필요한 베어링조정량을 계산하였다. 계산과정은 기준로터로 지정된 저압터빈에서 부터 축정렬상태도를 작성하여 가면서 단계적으로 설명되었으며, 최종적으로 쉼의 가감량까지를 보여줌으로서 축정렬과정을 완료하였다.



(a) 인접한 두 터빈의 커플링이 완전히 일치되도록 정렬하는 형태.



(b) 인접한 두 터빈의 커플링이 상대적인 차이를 가지도록 정렬

그림 1. 축 정렬 기준치 설정의 기본 형태.

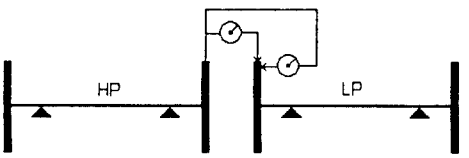
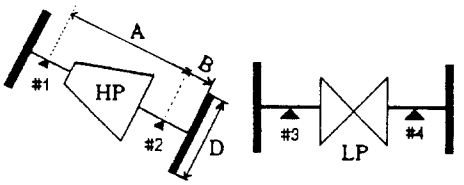


그림 2. 다이얼 게이지를 이용한 rim offset과 face offset의 동시 측정.



조정 터빈 기준 터빈

그림 3. 기준 터빈이 LP인 경우의 축 정렬.

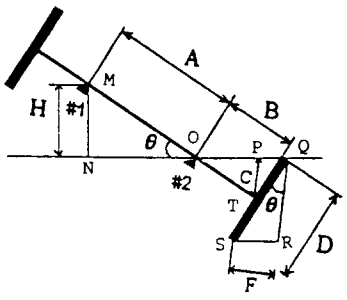


그림 4. #1 베어링의 이동으로 face offset을 조정하는 경우 베어링의 이동 거리와 커플링 중심의 변화값 산출.

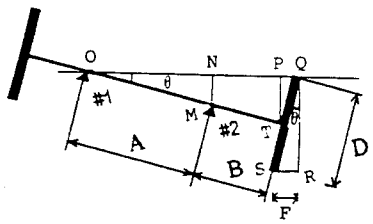


그림 5. #2 베어링의 이동으로 face offset을 조정하는 경우 베어링의 이동 거리와 커플링 중심의 변화값 산출.

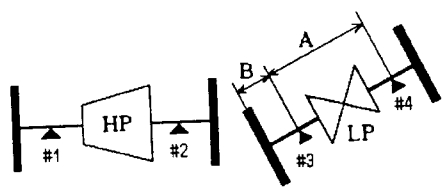


그림 6. 기준 터빈이 HP인 경우의 축 정렬

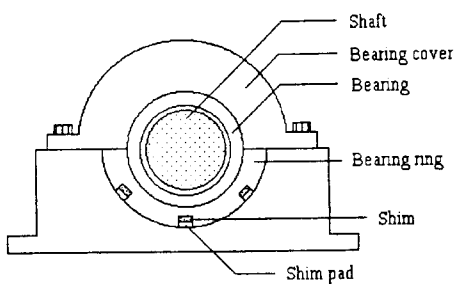


그림 7. 베어링과 쉼의 구조.

쉼위치 / 발전소	하부	30°	45°	70°	75°	80°	82°	좌, 우
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	○							○
울산 #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			○					
남제주 #1, 2			○					
고리 #1, 2								
No. 1-7	○					○		
No. 8	○			○				
No. 9	○				○			
고리 #3, 4								
No. 1-10	○			○				
No. 11				○				
서천 #1, 2		○		○				
월성 #1	○							○
영광 #1, 2			○					
보령 #1, 2		○			○			
삼천포 #1, 2	○	○						○
울진 #1, 2	○							○

표 1. 각 발전소에 따른 터빈 베어링 쉼의 분포.

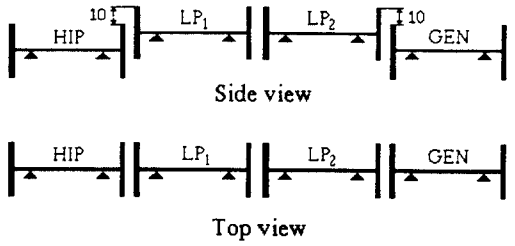


그림 8. 평택 화력 1,2호기에 대한 축 정렬 기준값.

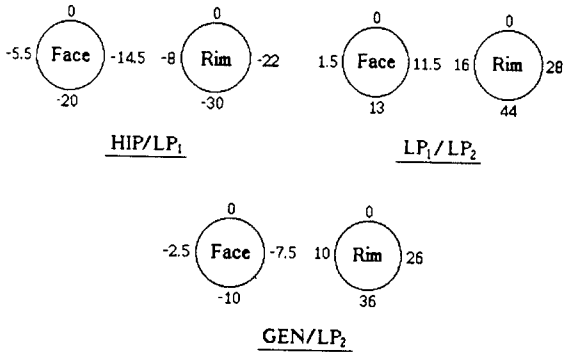


그림 9. 평택 화력 1,2호기에 대한 각 커플링에서의 offset 측정값.

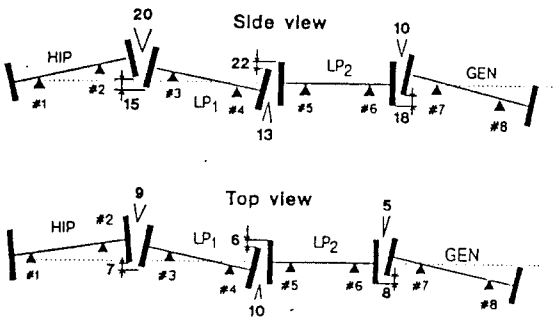


그림 10. offset 측정값으로부터 구성한 측정렬상태도.

베어링 번호 / 구분	베어링 이동량(상,하) 左 베어링	右 베어링	HIP/LP1 Face	HIP/LP1 Rim	LP1/LP2 Face	LP1/LP2 Rim	LP2/GEN Face	LP2/GEN Rim
현 상태			20 ∨	*15	13 ∧	22*	10 ∨	18*
Face 조정	#3 62.7↓		11.5∧	*71	13 ∨	*14		
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↑

표 2. 수직 방향 축 정렬을 위한 베어링의 이동량

베어링 No. / 구분	베어링 이동량(좌,우) 左 베어링	右 베어링	HIP/LP1 Face	HIP/LP1 Rim	LP1/LP2 Face	LP1/LP2 Rim	LP2/GEN Face	LP2/GEN 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>	*67	0	0		
Face 조정		#2 0.6 →	0.1<	0.7*				
중간 결과			0	*66.3				
평행 이동	#1 66.3→	#2 66.3→	-	66.3*				
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	66.3→	66.9→	53.1→	4.8→	0	0	4.7←	29←

표 3. 수평 방향 축 정렬을 위한 베어링의 이동량 계산

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㎜이다. 2. 베어링의 상하 이동은 좌우에 있는 쉼을 베어링 이동량과 같은 크기만큼 가감하면 된다. 3. 쉼 가감량 = 베어링의 이동량 x cos θ											

표 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		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㎜이다. 2. 베어링을 우측으로 이동하려면 우측의 쉼을 빼서 좌측의 대칭되는 위치에 같은 양을 더하면 된다. 3. 쉼 가감량 = 베어링의 이동량 x sin θ											

표 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
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	46.2	-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㎜이다.											

표 6. 최종 쉼 조정량.