

## 第 2 章 軸整列 (Shaft Alignment)

### 1. 軸整列의 基本事項 (Shaft Alignment Basics)

#### 1.1 軸整列의 重要性 (The Importance of Shaft Alignment)

정렬(Alignment)이란 기계부품들을 서로 조정하여 가지런히 놓는 행위를 말한다. Alignment는 터빈, 발전기, 압축기, 펌프, 왕복동 압축기 등 고속 및 저속의 모든 회전기계를 다루는 사람들에게는 필요 불가결한 것이다.

완벽한 Alignment 시행을 강조하는 이유는 Alignment가 잘못되었을 때 발생하는 진동 때문이다. 회전기계의 진동문제의 상당부분이 바로 Misalignment에 의한 것이다.

Misalignment된 회전기계가 전 산업현장에서 미치는 재정적 손실은 매우 엄청나다. 지난 40년간 Misalignment로 인한 에너지 손실, 기계의 손상 등으로 인하여 얼마나 많은 돈을 낭비했는지 정확하게 계산해본 사람은 없다. 오늘날 발전소, 정유공장, 유조선, 복합 사무실 등 모든 산업분야에서 사용되는 회전기계를 고려하면 실로 엄청난 규모의 금액일 것이다. 통계학적으로 볼때 이들 회전기계의 반 이상이 심각한 Misalignment로 운전되고 있고 아마 곧 정지되거나 16개월 이내에 교체나 수리를 해야 하는 것이 태반이다. 그리고 나머지 절반은 매우 잘 운전되고 있고 앞으로 80개월간은 큰 고장 없이 잘 운전될 것이다.

지금도 산업현장에서는 회전체의 정확한 축정렬을 가진다는 것은 드문 일이다. 여러 해동안 축정렬에 관한 책임은 기계설치공에게 있었다. 대부분의 기계설치공들은 정확한 축정렬 기법에 대해 충분한 훈련을 받지 못하였고, 측정과 기계를 움직이는 도구가 부적절한 상태로 정렬 작업을 시행해 왔다. 설비운영 조직 내에서도 대형 회전체에만 관심이 있고 소형 회전체에 대해서는 상대적으로 관심이 작아 베어링, 축, 누설장치, 커플링에서 많은 문제점을 나타내고 있다.

회전체 축정렬에 대하여 누가 책임을 질 것인가? 축정렬은 경영자, 엔지니어, 기계주임, 정비원 모두가 관심을 가져야한다. 이들 각자는 산업 분야에서 맡아야할 역할이 나누어져있다. 축정렬이 잘못되었다고 다이얼 게이지나 레이저, 썸, 베이스 볼트, 파이프, 베어링, 썰, 축, 커플링을 탓하지 말라. 축정렬의 진정한 문제는 거의 '인적 요소'로 요약되어진다.

정비원의 역할은 다음과 같은 측정렬의 일차적인 단계를 수행하는 데 있다. 축의 위치를 측정하여 측정렬 허용범위내에서 이동량을 계산하고 수행하며 최종 측정렬 값과 측정렬 과정중의 문제점에 대해 감독자와 의논하는 것이다.

감독자의 역할은 측정렬을 잘 수행할 수 있는 정비원을 선임하고 측정렬에 적절한 공구를 확보해놓고 작업지시를 내린다. 작업에 필요한 충분한 시간을 주고 측정렬을 하면서 일어날 문제점에 대하여 설명하고 정비원이 갖고있는 의문점에 답한다. 그리고 일어나는 여러 문제점에 대하여 경영자와 엔지니어들과 정보교환을 하고 관련 기록을 유지한다.

엔지니어는 축의 위치를 측정하는 공구의 올바른 사용법을 상세히 설명하고 신 장비를 추천한다. 전문적 기술을 제공하고 회전하는 기계의 움직임을 측정할 수 있는 방법, 파이프나 덕트의 움직임을 최소화 할 수 있는 방법 등을 모색한다. 현재의 측정렬 방법에 대하여 검토하고 새로운 방법을 제시하고 사고난 회전체의 원인이 Misalignment로 인한 것인지 분석검토하고 측정렬에 대한 문제점 보고서를 검토 회신하고 정비원에 대한 측정렬 교육을 담당한다. 더 나아가 실제 측정렬 작업방법에서 문제점과 개선책을 찾아내어 더욱 정밀한 측정렬이 되도록 한다.

공장 경영자의 책임은 일에 필요한 장비를 구입하는데 필요한 자금을 지원하고 측정렬에 관한 정확한 이해가 되도록 훈련을 시키고 지원하는데 있다.

여러분들이 관리하고 있는 회전체가 측정렬이 잘되어 원활하게 운전되는 것은 여러분의 지식, 능력, 정성이 결합되어 이루어지는 것이다. 설비상태를 감시하고 측정렬을 잘하면 6년 내지 60년이상 사용할 수 있는 것을 이 작업시간 6시간을 투자하는 것을 꺼려 기계가 6개월 내지 16개월도 못 가서 고장나는 것을 원하는 사람은 아무도 없을 것이다. 과거 30년동안 진동, 적외선 열 그래프, 오일 분석 등 이 분야의 괄목한 기술 성장으로 기계를 분해하지도 않고 결함을 탐지하는 기법이 마치 핀셋으로 문제점을 집어내는 듯한 수준이 되었다. 진동 신호와 온도, 설비의 성능데이터를 분석하여 고장원인을 식별하는 기술은 현재 가장 빠른 속도로 성장하는 기술의 한 분야가 되었다. 기계의 문제점 분석기술은 사람의 손 감각에서 베어링 위에 진동 계측장비를 고정 설치하는 순으로 발전하여 왔다. 많은 회사들이 설비의 상태 감시에 기반을 두고 FFT분석기, Spike Energy 분석기 등을 이용하여 회전체의 동적 응답을 이해하기 위한 여러 노력을 기울이고 있다. 이들 새로운 계측 설비와 기법은 굉장히 효과적이지만 기계의 문제점을 찾은 것과 기계의 문제점을 고치는 것에는 확실한 차이가 있다.

이들 새로운 기계 성능 분석 기술의 빠른 발전에도 불구하고 축의 Misalignment 상

태에서 운전될 때 발생하는 힘으로 인한 기계의 동적 거동을 완전히 이해하는 데는 아직도 부족한 점이 있다. Misalignment일 때 기계에서 일어나는 축의 회전속도의 1, 2배 주파수에서 높은 진폭과 축방향 진동값이 높은 값을 가리키는 현상이 항상 올바른 진단의 기준은 아니다. 불행하게도 축이 Misalignment 되었을 때 일어나는 여러 현상을 연구하는 기관은 매우 적고 대부분 회사 경영자의 관심과 재정적 후원없이 각 개인의 관심 속에 이루어지는 경우가 대부분이다.

놀랍게도 현재 운전되고 있는 기계의 99%가 Misalignment 상태로 운전되고 있다. 이 말은 굉장히 과장되게 느끼게 될지도 모르지만 현실적으로 완벽한 측정결은 거의 불가능하다. 사실 미세한 Misalignment는 별로 나쁘지 않다. 기어 타입 커플링과 Universal Joint의 경우에는 회전중 힘을 전달하는 시점에 윤활을 유지하도록 하기 위해서는 어느 정도의 Misalignment가 요구된다. 따라서 우리가 측정결을 할 때마다 기계의 움직임을 아는 것은 매우 중요하다. 측정결 허용값이 적절한 상태에 있었다더라도 이에 걸맞지 않은 위치가 있을 수 있다.

이 문제를 좀더 확장하여 생각해 보면 회전체는 결코 한 지점에 정지한 상태로 있지 않는다. 축은 회전체가 회전함에 따라 정지해 있던 위치에서 여러 광범위한 요인에 의해 움직이게 된다. 예컨대 베어링의 마찰로 인해 케이싱에서 발생된 열, 윤활유 저장조의 가열 시스템, 유체의 이동, 가스의 압축, 기초대의 움직임 등이 모든 것이 설비를 편안한 위치로 움직이게 한다. 많은 사람들이 축이 정상 운전 조건에서 비선형으로 움직이는 것을 알고 놀라워한다. 따라서 이들 움직임을 고려하여 설비가 운전되기 전에 정확한 위치로 조정해 놓아야 한다 (즉 의도적 Misalignment 시행). 설비가 위치한 상태에서 축의 움직임을 측정하는 것은 매우 중요하다. 제작자가 계산한 열팽창량이나 실험 설비에서 측정된 데이터가 비록 실측한 값이라도 너무 신뢰하지 마라. 현재 설치된 설비는 실험실 조건과는 다르게 파이프 또는, 기초와 연결되어 있다. 대부분의 열라이먼트를 책임지고 있는 사람들 중 20%정도만이 설비가 정지상태로부터 운전상태 사이에서 움직임이 있고 또 이중 반수만이 설비가 수직, 좌우로 움직인다는 사실을 알고 있었다. 자신의 안전을 위해서라도 기계의 거동에 관심을 갖고 이들을 측정하는 것이 바람직하다.

## 1.2 軸整列의 目的 (The Objective of Shaft Alignment)

측정결의 1차 목적은 운전 조건하에서 2개의 연결된 축을 완전하게 동일 직선상에 위치 시키는 것이지만, 종종 그 목적을 달성하기가 곤란할 때가 있다. 주위와 운전

상태와의 온도차(수백 도의 차), 기계에 연결된 배관 지지 상태가 불량하거나 정렬 상태가 부적절한 결과, 지지 구조물의 비틀림 또는 균일하지 않은 설치 및 많은 다른 요인들도 인접한 연결 기계에 대해 상대적으로 기계의 위치에 영향을 줄 수 있다.

실제적으로, 완벽한 측정렬을 이루기는 매우 어렵다. 주변과 운전 조건이 주어진 일련의 기계를 정확하게 정렬하는 방법에는 여러 가지가 있지만, 특히 옥외에 설치되고 주변 및 운전 조건에서 폭넓은 변화를 갖는 많은 기계들은 운전중에 이와 비슷한 측정렬 변화를 겪을 것이다. 이런 상황에서 가장 훌륭한 최적의 측정렬은 정상 운전 상태에서의 진폭이 최소가 예상되는 평균 위치가 될 것이다. 측정과 측정렬 과정에서의 허용 오차 때문에 발생하는 약간의 차이와 운전중 발생하는 정상적인 측정렬 변화는 물론 Thermal Growth를 보상하기 위하여 적용시킨 Misalignment는 두 기계 사이의 커플링에서 얼마 동안은 흡수할 수 있어야 한다. 이론적으로 후자는 기계가 정상 운전 온도에 도달되면 제거되지만, Rim(Offset)이나 Face(Angle)는 개별 구성 요소의 온도변화 비율차이 때문에 기동 직후 얼마동안은 실질적으로 증가할지도 모른다.

측정렬의 최종목적은 설비의 수명을 증가시키는데 있다. 이 목적을 위해서 설비는 설계치 한계 내에서 운전되어야 한다. 일반적으로 시간이 지남에 따라 설비의 베어링, 커플링, 축, 씰 등은 노후화 되므로 정확한 얼라이먼트를 수행하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- 동적 운전 조건하에서도 축의 안정성과 베어링의 수명을 연장할 수 있도록 베어링에 작용하는 과도한 축방향, 반경방향의 힘을 감소시킨다.
- 축의 피로손상 가능성을 제거한다.
- 커플링 부품의 마멸량을 최소화 시킨다.
- 커플링의 동력전달 지점과 커플링 끝단 베어링사이의 축 굽힘을 최소화 시킨다. 또한 적정한 케이싱 내부 간극을 유지시킨다.
- 동력 소비를 줄인다 (2~17% 정도 동력 감소 효과가 있다는 보고가 있다).
- 케이싱, 축, 베어링의 진동을 감소시킨다.

### 1.3 誤整列의 動力學, 原因 및 徵候

#### (Rotor Dynamics, Causes and Symptoms of Misalignment)

그림 2-1은 Misalignment된 회전체에서 일어나는 현상을 설명하고 있다. 여기서 소개된 Misalignment 상태는 과장되어 있지만 수직 및 수평방향의 부하가 축에서 축으로 전달될 때 기계의 회전축은 비틀리거나 휘다는 사실을 잘 설명하고 있다.

이 그림은 이해를 돕기 위한 것으로 탄성 커플링(Flexible Coupling)은 작은 Misalignment만을 흡수하도록 설계되어 있다는 것이다. 하지만 축의 탄성이 큰 상태이고 Misalignment가 더욱 심해질수록 축 또한 더욱더 휘어진다. 하지만 축은 영구 변형이 일어나지 않고 회전할때 탄성적으로 휘어짐을 염두에 두어라.

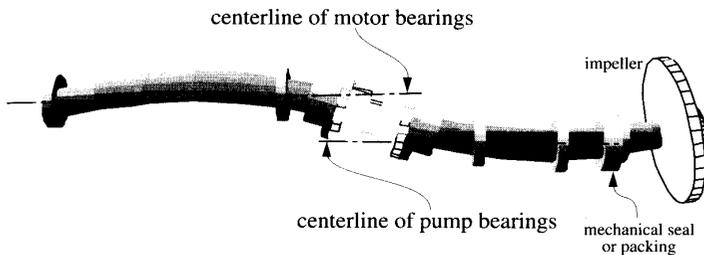
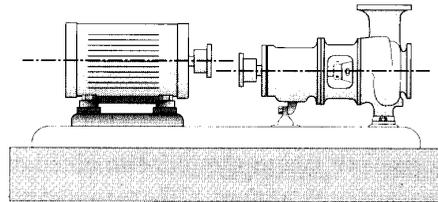


그림 2-1 Misalignment 상태일 때 축의 탄성적인 휨

그림 2-1에서 전동기축을 펌프 회전 중심선과 일치시키기 위해서는 펌프축은 전동기의 내측 베어링을 밑으로 내리는 힘을 일으키며 역으로 펌프축을 전동기 회전 중심선과 일치시키기 위해서는 펌프의 내측 베어링을 위로 올리는 힘을 일으킨다. 만약 축에서 축으로 전달되는 힘이 매우 크다면 전동기 외측 베어링에 작용하는 Force Vector는 위쪽으로 작용하고 펌프 외측 베어링에 작용하는 Force Vector는 아래쪽으로 작용할 것이다. Misalign된 회전체에서 과도한 진동이 발생하지 않는 이유는 이 힘이 모두 같은 방향으로 작용하기 때문일 것이다.

예로 불평형된 회전체로부터 방생하는 힘은 축이 회전함에 따라 'Heavy Spot'이 연속적으로 이동하기 때문에 힘의 방향이 변화할 것이며 진동이 발생하게 되는 것이다. 하지만 Misalignment된 축의 힘은 이동하지 않고 통상 한 방향으로만 작용한다.

그림 2-2는 축정렬 상태를 변화시킴에 따른 회전체의 전형적인 부품이 고장에 이르는 개략적인 시간을 나타내고 있다. 여기서 '고장'이란 말은 기계의 씌, 베어링, 커플링, 축 등과 같은 핵심 부품의 성능 저하를 말한다. 이 자료는 기계 고장의 근원이 축의 Misalignment에 있었음이 확인된 사례를 수집 분석한 결과이다.

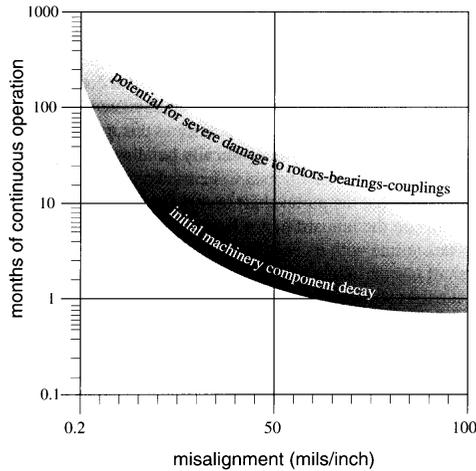


그림 2-2 Misalignment 값에 따른 회전기계의 전형적인 운전수명

회전 기계의 회전체 부품의 손상 또는 탈락 등으로 발생하는 Weight Unbalance와 더불어 측정될 상태는 기계의 성능 및 진동에 큰 영향을 미친다. 측정될 상태가 부적절하면 진동 특성도 복잡하여 Misalignment인가를 현장에서 진단하는 것이 어려울 뿐만 아니고 다음과 같은 현상이 발생하여 운전도 어렵게 된다.

- 각 베어링의 Level 변화가 부적절하게 발생하면 Level이 낮은 베어링의 유막 압력이 저하되어 Oil Whip에 의한 진동이 발생할 수 있다.
- 회전축의 이동으로 Rubbing이 발생하여 축진동이 생긴다.
- Level이 높은 베어링에 과부하가 걸려 온도가 상승하고 심하면 Babbitt가 손상된다.

증기 터빈 베어링에서의 진동치가 부하 변화시 또는 일정 부하중에도 조금씩 변화되는 경우가 있는데 그 원인은 일반적으로 다음과 같다.

- ① 기초대의 변화    ② 케이싱의 변형    ③ Bearing Metal의 온도차    ④ Pedestal의 열변형  
 ⑤ 진공도 변화    ⑥ Oil Whip    ⑦ 위험 속도에서의 과도한 진동    ⑧ 로터 부위간 열팽창 차이에 의한 로터 변형

축이 휜 경우는 외형이 Angular(Face) Misalignment와 매우 유사하므로 그 특성도 Misalignment와 같다. Misalignment 및 Bent Shaft로 인한 진동의 중요한 특성은 축 및 원주방향 양쪽으로 힘이 작용한다는 것이다. 따라서 Misalignment의 양이 크면 커플링에서의 과열, Shaft Crack 및 Fatigue 증가, 베어링 손상 등이 발생할 수 있다.

회전하는 기계에서 Misalignment인 것을 감지하는 것은 매우 어렵다. 축에서 축으

로 전달되는 반경방향 힘은 전형적인 정적인 힘(일정한 방향성)이고 외부에서 측정하기는 매우 어렵다. 유감스럽게 축, 베어링, 커플링에 얼마만큼의 힘이 작용하는지 기계에 부착하여 측정할 수 있는 센서나 분석기가 없다.

따라서 우리가 알 수 있는 것은 다음과 같은 징후들을 나타내는 이들 힘의 2차적인 결과를 관찰하여 축의 Misalignment 상태를 아는 것이다.

- 베어링, 씰, 축 또는 커플링의 조기 손상
- 과도한 반경방향, 축방향 진동
- 베어링 부근에서 높은 케이싱의 온도 또는 높은 윤활유 출구 온도
- 베어링 씰에서 많은 양의 윤활유 누설
- 기초 볼트의 풀림
- 커플링 볼트의 풀림과 손상
- 설비의 운전중 및 정지직후 커플링의 높은 온도. 커플링이 탄성중합체 형태인 경우 커플링 안쪽에서 고무가루가 묻어 나오는지 관찰하라.
- 일정시간 운전후 축의 Runout이 증가하는 경향이 있다.
- 설비의 특정부위는 진동이 감소하고 수명이 오래가는 경향이 있다.
- 커플링에서 사고가 자주 일어나거나 마멸이 빨리 발생한다.
- 내측 베어링이나 커플링과 가까운 위치에서 축의 절단이나 손상이 일어난다.
- 커플링 보호대 내부에 많은 오일이나 그리스가 묻어 나온다.

#### 1.4 軸整列의 形態와 指針 (Types and Guide of Shaft Alignment)

기계의 측정렬 상태를 측정하는데는 Face and Rim 기법과 Reverse Indicator 기법이 주로 사용된다. Face and Rim 방법에서는 Face(축방향, Angular) 측정(그림 2-3)과 Rim(반경 방향, Parallel, Offset) 측정(그림 2-4)은 다른 축에 대한 한 축의 각(Angle)과 편차(Offset)를 각각 구하는 것이다. Reverse Indicator 방법은 각각의 커플링에 Indicator를 1개씩 설치하여, 다른 축 중심선에 대한 한 축의 상대적인 중심선 위치를 찾는 2개의 Rim 측정법이다.

Face 및 Rim의 값은 일반적으로 Rim은 Dial Indicator로 측정하고 Face는 Dial Indicator나 내경 마이크로미터로 측정하거나(커플링 사이의 거리가 큰 경우) Block 혹은 Feeler Gauge로 측정한다. 그림 2-3에서와 같이, 커플링 허브 직경을 기록하여 두고, 수직선과 커플링 허브의 양쪽면 사이의 차로써 나타내는 Face 측정값은 실제로 두 축의 중심선 사이의 각(Angle)을 구하는 방법이다.

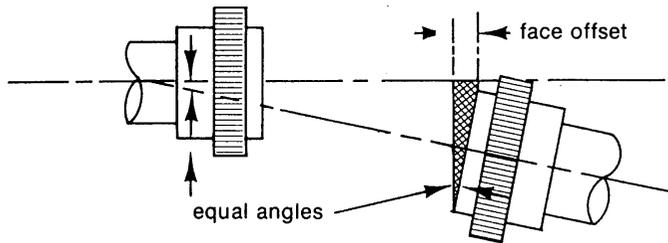


그림 2-3 Face Alignment 측정

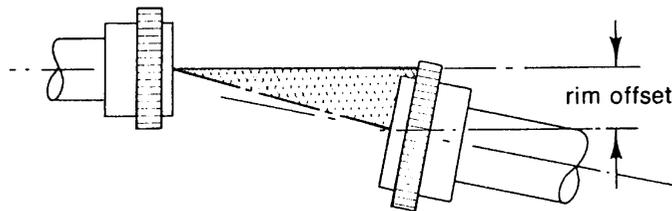


그림 2-4 Rim Alignment 측정

Rim 측정값은 그림 2-4에서와 같이, 한 축의 축 중심선에서 다른 축 중심선까지의 편차로서 다이얼 지시계로 측정된 전체 지시값(Total Indicator Readings)의 1/2이다. 커플링 Face 사이의 거리, 커플링 허브의 직경, 편차를 포함한 여러 가지의 변화량이 있지만 Rim의 측정값은 일반적으로 Face의 측정값보다 크기가 더 크고, 읽기가 더 쉬우며, 훨씬 더 정확하다. 더욱이 Rim 값은 Face 값을 수집할 때 특별한 주의를 요하는 축의 축방향 위치의 이동에 영향을 받지 않는다.

일반적으로, Rim의 측정은 커플링 허브 사이의 거리가 허브 직경보다 클때에 더 측정하기가 쉽고, 더 정확하다. 이것은 일반적으로 Alignment가 아주 중요한 고속 기계인 경우에 해당한다. 그 결과 Reverse Dial Indicator 방법은 Alignment의 속도와 정확도의 실제적인 장점을 제공하였고, 작고 일반적인 목적의 기계들 뿐만 아니라 크고 중요한 기계의 측정법에도 인정을 받았다. 1980년대 중반에 전산화된 레이저 측정법 시스템이 개발, 사용되므로 보다 정확하고 훨씬 빠른 측정법이 가능케 되었다.

사람들은 종종 측정법이라는 용어와 커플링 정렬이라는 용어를 호환성있게 사용하고 있다. 과연 실제로 차이가 없는것인가?

그림 2-5에서 좌측 회전축의 중심선은 우측 회전축에 체결된 커플링 허브의 중심선과 일치하고 있으나 우측 회전축에서는 회전축의 중심선과 커플링 허브의 중심선이 일치하지 않고 있다.

축정렬의 가장 순수한 정의는 회전축의 중심선들이 공동 선형(Colinear)인 경우라고 말할수 있다. 이러한 정의는 회전기계의 축정렬시 매우 중요한 사항인데도, 대부분의 사람들이 이러한 기본 개념을 간과하고 있다. 회전축이 휘어져 있거나, 축에 부적절하게 내경이 가공된 허브가 체결되어 있거나, 또한 이러한 Runout 문제가 있음을 감지하지 못한 경우 등에도 회전축의 중심선들의 정렬이 가능하다.

그림 2-5에서 왼쪽 축만을 회전시킨다면 회전 중심선을 부적절하게 내경이 가공된 커플링 허브와 정렬 하게되는 것이지 오른쪽 축의 회전 중심과 정렬하는 것이 아님을 보여주고 있다. 두 축중 하나라도 Runout 값이 있으면 두 축의 회전 중심선들을 정렬(진정한 축정렬) 하기 위해서는 두 축을 함께 회전시켜야 한다. 만일 Runout 값이 없으면 두 축을 함께 회전시킬 필요가 없다.

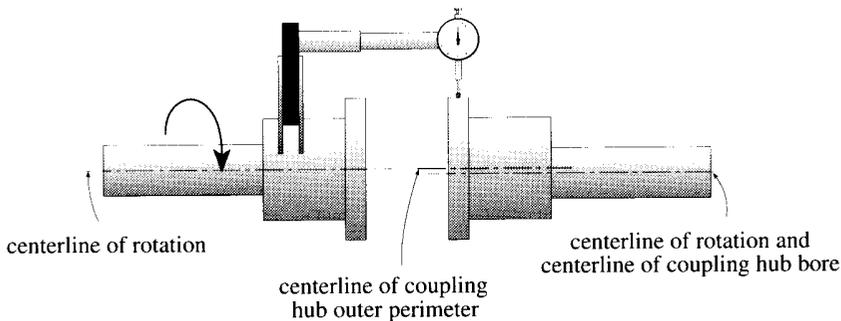


그림 2-5 회전 중심선에 부적절하게 내경이 가공된 커플링 허브에 정렬중인 모양

그림 2-6에서 휘어진 축이 회전할 때 회전 중심선은 일직선이나 축 자체는 그렇지 못하다. 이러한 상황에서 오른쪽 축에 대하여 어떻게 축정렬을 해야 하는가?

회전축의 끝단에 체결된 커플링 허브 내경의 중심선에 일치시켜야 하느냐 아니면, 회전 중심선에 일치시켜야 하는가? 올바른 해답은 휘어진 축이나 부적절하게 내경이 가공된 허브를 가지는 기계 부품에 Alignment를 해서는 않된다.

대부분의 사람들은 기계의 회전중심선이 완벽한 일직선이라고 생각하고 있다. 회전 기계가 수직형인 경우는 사실일 수 있지만 대부분의 회전기기는 수평형이며, 축과 축에 설치된 많은 부품의 자중으로 인해 축이 휘게 된다. 이와 같이 로터가 자연적으로 발생하는 만곡선을 현수곡선(Catenary Curve)이라고 한다. 즉 밀도와 단면적이 균일하고 완전히 탄성적이고 늘어나지 않는 끈이 양단에서 매달렸을때의 가상곡선이다. 한편 축선에 대해 현수곡선이 회전함으로써 그려지는 면을 Catenoid라고 한다.

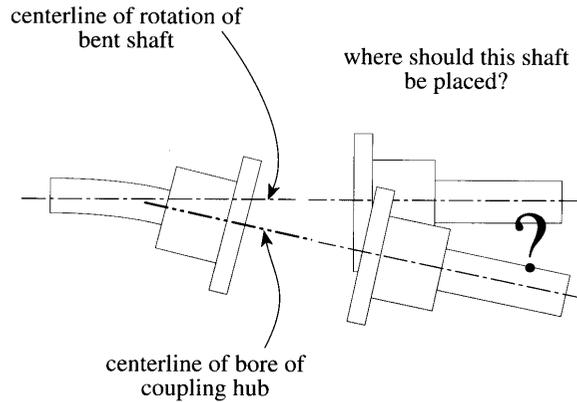


그림 2-6 굽은 축의 정렬방법

축의 처짐량은 축의 강성, 지지점사이의 중량, 베어링의 설계, 지지점간의 거리 등의 여러 요인에 따라 다르다. 현재 사용되고 있는 대부분의 회전기계에서는 축의 자중에 의한 휨(현수선)은 무시할 수 있으며, 실제 작업시에도 무시되고 있는 상황이다.

그러나, 아주 긴 구동기계(발전설비의 터빈과 발전기 및 제련설비의 MG Set)에 대해서는 현수선에 대한 고려가 있어야 한다.

아주 긴 탄성축이 회전하기 시작하면 휨축이 펴질려고 하지만 완전하게 일직선이 되지 않는다. 축이 회전하는 축선은 만곡된 회전 축선 상에서 회전하려고 한다. 두 개 이상의 기계가 서로 연결되어 그 중 하나이상의 축이 현수곡선 모양을 한 회전 축선 주위를 회전하고 있는 경우는 축들이 만곡된 회전중심선을 유지하도록 축정렬 하는 것이 중요하다.

### 1.5 軸整列 基準 (Datum of Shaft Alignment)

축정렬시 어떤 기준으로 정렬을 실시해야 하는데 그 기준은 중요 기기의 경우 제작자로부터 주어지며 그 이외에 특별히 정해져 있지 않은 경우 통상 Smooth Alignment (Face 및 Rim 모두 “0”)를 실시한다. 그러나 이것들이 절대적인 것은 아니며 현장 운전 조건은 설계시와 다를 수 있으므로 운전 상태에서 최적인 축정렬 상태를 찾아 이를 기준으로 함이 바람직하다.

#### (1) Alignment 기준선

“터빈 Alignment”의 기준이 되는 수평선을 기준선이라 하며 이 기준선의 위치를 정함에 따라서 터빈 로터가 전체적으로 하향 혹은 상향 조정되거나 또는 좌측과 우측으로 이동되므로 이 기준선을 정확하게 잡는 일이 중요하다.

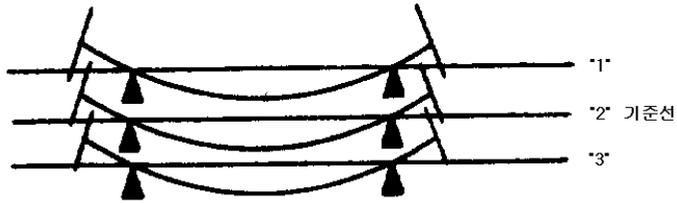
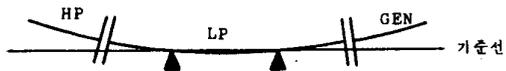


그림 2-7 Alignment 기준선

(2) Alignment 기준점

Alignment를 시행할 때 어느 위치를 기점으로 하여 시작하느냐, 즉 회전체의 어느 부분이 기준선상에 위치하는가 하는 것으로 예를 들어 설명하면 그림 2-8과 같다.

- LP 기준점



- LP REAR 기준점



- LP<sub>1</sub> REAR - LP<sub>2</sub> FRONT 기준점



- LP<sub>1</sub> - LP<sub>2</sub> 기준점

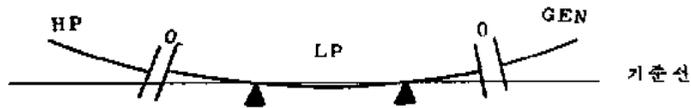


그림 2-8 Alignment 기준점

(3) Alignment 기준치

“Alignment 기준치”는 양 커플링의 고저 차이로 표시하는 방법과 양 베어링 레벨 차이로 표시하는 방법이 있으며 예를 들면 그림 2-9와 같다.

- 커플링에서 전부 "영"으로 한 기준치



- 커플링에서 차이를 둔 기준치



- 베어링 차이와 커플링 차이를 둔 기준치

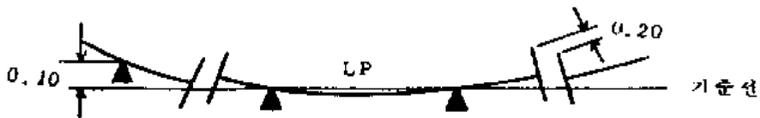


그림 2-9 Alignment 기준치의 종류

첫째 형식은 전 베어링 레벨이 터빈 상태가 냉각 상태이거나 가열된 상태이거나 일정하게 유지되도록 설계된 터빈에서 많이 적용된다. 이런 형식에서는 베어링 페데스탈이 케이싱과 독립적으로 설계되어 케이싱의 온도 변화에 따른 팽창 수축이 베어링 레벨에 하등의 영향을 미치지 않도록 설계되어 있고 저압 터빈과 연결된 복수기에 충수 또는 배수하여도 하등의 “베어링 레벨” 위치 변동에 영향을 주지 않도록 되어 있다. 그러나 운전중에 고압 터빈측의 “베어링 페데스탈”은 열의 복사나 전도로 인하여 저압측 베어링 페데스탈 온도보다 높게되어 고압측 베어링 레벨이 저압측 베어링 레벨보다 올라가게 되므로 고압측 페데스탈을 유효유로 냉각하여 베어링 레벨의 차동 현상을 방지하는 방법도 채택하고 있다.

둘째, 셋째 형식과 같은 터빈은 냉각 상태에서 가열 상태로 될 때 변화하는 베어링

레벨을 미리 측정 또는 계산하여 레벨을 그만큼 낮추어 주어서 정상 운전 때에는 일치가 되도록 하는 Alignment 형태이다. 이러한 형식의 Alignment를 채택하고 있는 터빈에서는 운전 상태로 들어가면 다음과 같은 요인이 직접적으로 베어링 레벨 변동에 영향을 주기 때문에 이를 고려하여 Alignment 기준을 정한다.

- 베어링 페데스탈 열팽창
- 베어링 페데스탈 배치 위치
- 베어링 인접 구조물

전술한 것처럼 설계상으로 계산되어 결정된 최초의 “Alignment 기준”이 가장 이상적인 것은 아니다. 실제로 운전하여 그 결과에 따라서 베어링 레벨을 최적 운전 상태가 유지되도록 수정하여야 한다.

### 1.6 軸整列 前 点檢 事項 (Checks Prior to Alignment)

측정렬 절차를 시작하기 전에, 우선 기계를 점검하고 측정렬을 하기 위한 모든 준비가 다되었는지 확인해야 한다. 미리 예상하고 조치하여야 했던, 적절한 Alignment를 방해하는 어떤 문제나 상태가 측정렬중 발견되어 만족스러운 Alignment 상태를 얻는 데 시간을 소비하는 것은 바람직하지 않다.

기계가 배관을 통하여 전달된 외부의 힘에 의하여 영향을 받지 않도록 정렬되어 있는지를 확인한 후 측정렬 절차가 시작되어야 한다. 측정렬을 하기 위한 가장 안전한 방법은 작은 직경의 윤활 및 밀봉 배관을 포함한 모든 배관을 분리한 후 시행하는 것이다. Alignment 측정 시스템이 설치되고, Alignment가 끝난 직후에 배관이 다시 연결되고, 배관이 제 위치에 볼트로 연결되었을 때 기계가 움직이지 않는 것이 확인되어야 한다. 배관이 적절히 정렬되고 중립의 위치에 있도록 알맞게 접속되고 지지되어야 한다. 이것은 정지 상태에서 운전 상태까지의 열적 변화로 인하여 기계가 Misalignment 상태가 되게 하는 과도한 배관력이 생기지 않도록 확실하게 하기 위함이다.

적절한 배관 지지는 항상 논의의 대상이다. 정지 상태에서 운전 상태까지 온도 변화가 발생하는 기계의 경우 배관은 기계의 크기(치수) 변화에 순응하도록 지지되고 Offset 되어야 한다. 적절히 설계된 시스템에서, Spring Hinge 및 Support, Pipe Stop 및 Expansion Loop는 Nozzle Stress와 모멘트가 모든 정지 및 운전 상황하에서 기계 제작자의 허용한계치 이내에 잘 들 수 있도록 설치되어야 한다.

그 다음에 점검되어야 할 사항은 Shim의 양이다. Shim은 부식 방지를 위해 스테인레스강으로 제작되어야 하며 가장자리가 튀어 오르지 않도록 주의 깊게 손질하여야 한다. 필요에 따라 기계를 낮출 여유를 주기 위해 설치시 Shim 전체의 두께는 약 0.125

in(3 mm)가 추천된다. 5개로 이루어진 기계 열을 Alignment해 나가다가 마지막 기계에서 0.070 in 낮추어야 하는데 Shim은 단지 0.040 in가 남아 있음을 발견하는 것 만큼 좌절스러운 것도 없을 것이다.

가능한 한 Shim은 규격에 맞게 잘라져 있어야 하며, Shim을 적합하게 제조하는 것은 Alignment 공정을 지연시킬 정도로 시간이 소비되는 작업이다.

0.050 in(1.25 mm)보다 두꺼운 Shim은 때때로  $\pm 10\%$  정도까지 변할지도 모르기 때문에 마이크로미터로 두께를 점검해야 한다.

양호한 Shim Pack은 단지 3개 정도의 두껍거나 얇은 Shim으로 높이와 미세한 조정까지 하여야 한다. 많은 수의 Shim은 Spring 작용을 하고, 일관성 있는 결과를 얻기가 어려우며, Soft Foot(1.7항 참조)를 초래할 수도 있다.

지지 구조물 및 기계들의 Shim Area는 깨끗하고, 이물질이 없어야 하며, 되도록이면 평탄면을 얻기 위하여 Honing하는 것이 좋다. 여기에 다시 Shim Pack과 기계 사이의 먼지, 기름, 또는 부식 부산물은 일관성 있는 결과를 얻지 못하게 하며, Alignment 공정을 몹시 지연되게 할 수 있다.

한편, Mounting Bolt 자리에서는 기계를 수평 방향으로 움직일 수 있도록 각각 충분한 반경 방향의 간극을 가지고 있는지를 점검해야 한다. 만약 Mounting Bolt가 Bolt Hole의 한쪽 편으로 치우쳐 있으면 틀림없이 기계를 움직여 조정하여야 한다.

각 Mounting Foot에는 Jacking Bolt가 설치되어야 한다 (그림 2-10). Jacking Bolt는 기계의 수평 방향 및 축 방향으로의 움직임과 Shim 조절을 위해 기계가 수직으로 움직일 수 있도록 조정할 수 있어야 한다.

실제 Alignment를 시작하기 전 마지막으로 점검해야 할 사항으로서, 커플링 Spool Piece가 적절한 공차로 잘 맞을 것인지를 확인하기 위해 각 커플링 면사이의 거리가 제작자의 도면과 일치하는지 점검하여야 한다. 이 점검은 운전중 Flexible 요소들의 축 방향 변형을 최소화하기 위해 축방향 Thermal Growth 보상용 축방향 편차(Offset)가 조립시 반드시 필요한 Flexible Diaphragm 커플링에 특히 중요하다.

## 1.7 Soft Foot

### 1.7.1 Soft Foot 矯正의 重要性 (The Importance of Correcting Soft Foot)

Soft Foot라는 용어는 실제로는 잘못된 호칭이다. Soft Foot에 있어서 부드러움이란 아무 것도 없다. 그보다는 오히려 Soft Foot라는 것은 Foot Bolt가 짝 조여졌거나 이완되었을 때 기계 Frame의 변형을 의미하는 것이다.

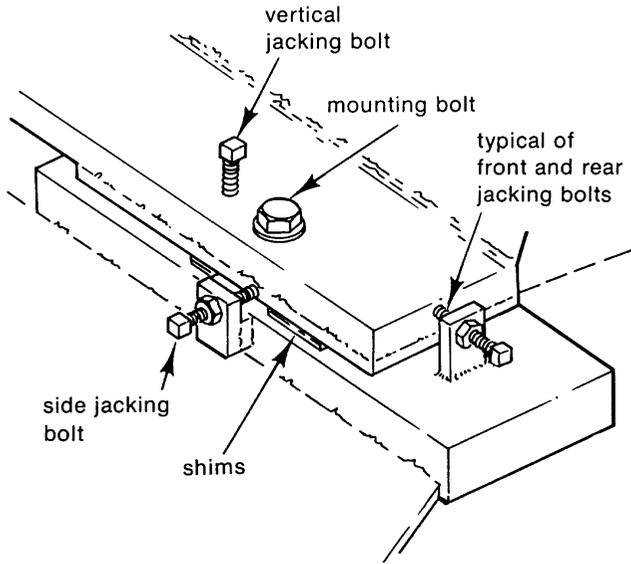


그림 2-10 일반적인 Mounting Foot Jacking Bolt의 설치

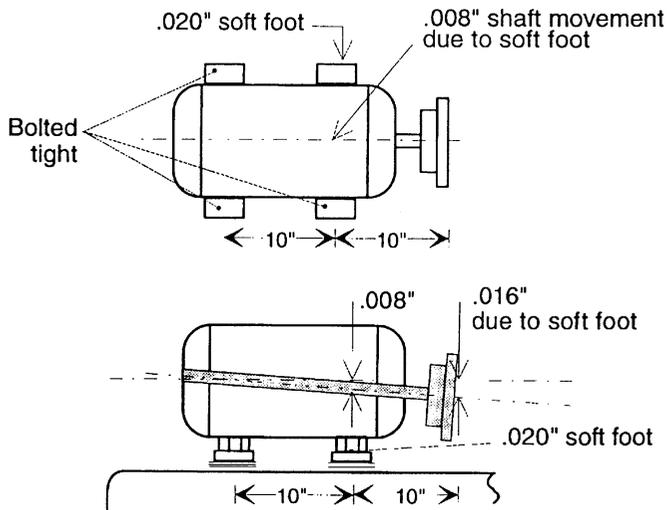


그림 2-11 커플링에서의 Misalignment

그림 2-11의 예에서와 같이 커플링은 Foot Bolt가 느슨해지거나 딱 조일 때마다 약 16 mils(0.4 mm) 움직인다. 정확한 움직임량은 기계 Frame의 강성에 따라 다르다. 더욱 바람직하지 않은 것은 커플링의 움직임량이 정확히 얼마인가는 볼트의 조임 순

서와 토크 값에 달려 있다는 것이다.

### 1.7.2 内部 部品の 誤整列 (Internal Misalignment)

그림 2-11의 예에서와 같이, 커플링에서의 Alignment 변화뿐만 아니라 내부 베어링들 사이에서도 Alignment 변화가 있다는 것을 알아야 한다. 이른바 자동 조심 내부 베어링은 베어링 캡이 너무 조여지면 움직이지 않기 때문에 내부 Misalignment는 심각한 상황이 된다. 기계 수명의 큰 증가는 Soft Foot를 제거하므로써 서로 잘 정렬된 기계 베어링으로부터 얻어진다. Misalignment와 연관된 많은 베어링 손상과 고진동은 실제적으로 Soft Foot에 의한 한 기계의 내부 베어링들 사이의 Misalignment에 의해서 일어난다.

만약 기계 Frame이 Soft Foot에 의하여 비틀렸다면(그림 2-12), 베어링들은 그것에 따라 이동한다. 베어링 허용 공차를 초과하면 베어링(그리고 하우징)이 계속하여 이동할 수 있는 유일한 방법은 축을 처지게 하는 것이다. 축의 처짐에 의하여 축으로부터 베어링에 Preload가 가해진다. 축의 처짐에 의한 정적 베어링에 부가되는 Preload의 결과는 치명적이고, 축이 회전할 때 더욱 나쁘게 된다.

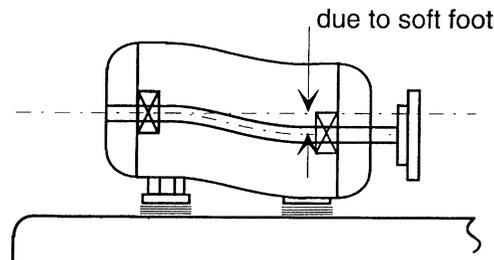


그림 2-12 내부 Misalignment

축의 회전시 180°마다 축의 Bending 위치는 정확히 반대 방향으로 된다는 것을 알아야 한다. 이러한 앞뒤로의 Bending은 항상 적지만 주기적이고, 역 응력이 생기며 축이 회전될 때마다 발생한다 (그림 2-13). 1,800 rpm 기계에서, 축은 매초 30회의 역 응력 주기를 나타낸다. 이것은 24시간마다 2,592,000의 앞뒤의 굽힘 주기에 해당하는 양이다. 이런 시기가 지난 후의 축은 피로 균열 및 손상으로 발전할 수도 있다.

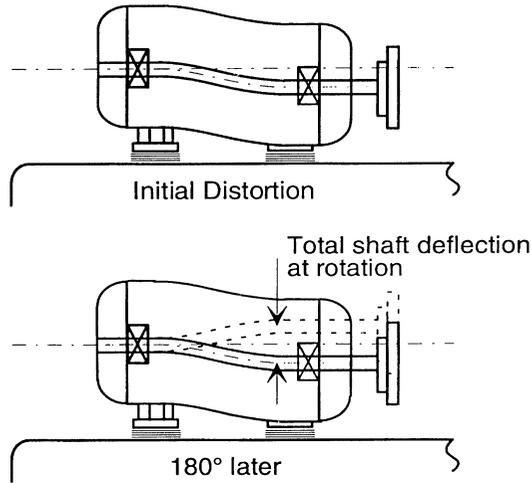


그림 2-13 내부의 Misalignment에 의해 발생하는 축의 처짐

### 1.7.3 비틀린 베어링 (Distorted Bearings)

그림 2-14는 Soft Foot 및 느슨한 Base Bolt 상태의 기계를 나타낸다. 기계는 End Housing에 그려진 수평선들을 가지고 있다. 그림 2-15는 볼트가 조여진 후 선의 양상을 나타낸 것이다.

그 곡선은 “Stress Line”이라 불리며, Soft Foot 때문에 발생하는 기계 Frame에서의 비틀림 양상을 나타낸다. 축 베어링 하우징 중심에서도 같은 양상으로 비틀어진다 (그림 2-15). 이러한 베어링 비틀림에 대한 확인으로서, 수많은 손상된 베어링은 180°떨어진 두 개의 부하 영역을 가지고 있다. 베어링 외륜의 비틀림 또는 Preloading을 제외하고는 대부분의 기계 베어링에서 두개의 부하 영역이 생긴다는 것은 불가능하다. Soft Foot는 적절히 설치된 베어링에서 베어링 외륜 비틀림의 주요 원인 중의 하나다.

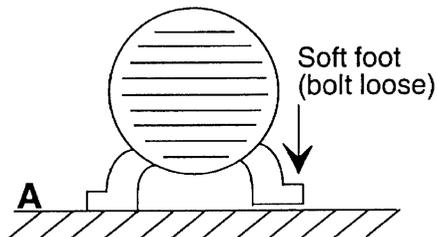


그림 2-14 Soft Foot 및 볼트가 느슨한 상태의 기계

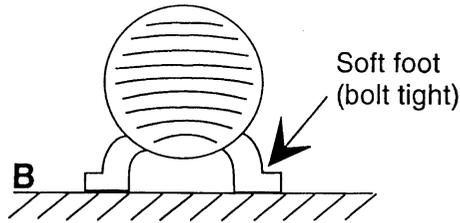


그림 2-15 볼트가 조여진 Soft Foot에 발생된 기계 케이싱의 응력

#### 1.7.4 Soft Foot 形態의 區別 方法 (How to Distinguish Types of Soft Foot)

전 산업을 통하여 Soft Foot 용어와 관련된 많은 오해들이 있다. 이 항은 이러한 주제에 대한 정리와 이해를 얻기 위한 시도이다. Soft Foot는 항상 같지 않다는 것은 확실하다. Soft Foot는 다양한 상황에 의해서 일어나며, 심지어 어떤 몇몇 경우에는 기계 자체와 관련이 없을 수도 있다. 그러나 모든 Soft Foot 문제는 제거되어야 한다. 제거 방법은 Soft Foot의 원인 또는 발생 근원에 따라 다르다.

많은 경험을 가진 정비 기술자는 기계를 움직이거나 정지 상태에서 Soft Foot를 제거한다. Soft Foot 제거의 장점은 명백하지만 시행여부의 판단은 잘 운전되고 있는 설비가 손상되기 전에 이루어져야 한다.

다이얼 게이지뿐만 아니라, 레이저 시스템은 축 위에서 Soft Foot의 영향 및 크기를 측정하는데 사용될 수 있다. 그러나 이 시스템은 축 위치의 각도 변화를 탐지해야 하므로 우수한 분석력을 가져야 한다 [0.1 mils(0.003 mm) 또는 그 이하가 추천됨]. 다이얼 게이지 또는 레이저 시스템은 둘다 원인 또는 교정 조치를 결정할 수 없다. 이것이 Foot와 Base 사이 이외의 다른 위치에 설치되는 모든 측정 시스템의 한계이다.

원인 및 교정 조치는 Feeler Gage 사용으로 결정할 수 있으며 Soft Foot를 제거하는데 필수적이다. Single Foot에 대한 적절한 Feeler Gage 기술은 동일한 각 모서리 아래의 간극을 측정하는 것이다. 4개의 측정 수치로부터 간극 모양에 대한 탁월한 아이디어를 창출해 낼 수 있다.

처짐을 완전히 제거하기 위하여 노력해야 하지만 최대 허용 축 처짐량은 2 mils(0.05 mm)이다. Soft Foot에 대한 최대허용 다이얼 게이지의 각도는 Foot들 사이의 전 거리에 걸쳐 1 mils(0.03 mm) 이하가 되어야 한다.

Soft Foot의 종류, 원인, 교정 기술에 대해서 살펴보자.

##### (1) 同一 平面이 아닌 Mounting Feet (Mounting Feet Out-of-Plane)

**상황** : 이것은 Soft Foot라는 용어와 관련 있는 가장 흔한 Mental Picture이다.

3개의 Foot는 단단하고 평평하게 위치하고 있지만, 한 개의 Foot는 닿지 않고 있다 (그림 2-16). Feeler Gauge로는 Foot의 네 모퉁이에서 같은 간격을 나타낼 것이다. 일반적인 가정과는 반대로, 이런 형태의 Soft Foot는 아주 드물다. 대각선으로 반대인 Foot는 Soft한 상태일 것이지만, 크기는 더 작다는 것을 알아야 한다. 4개의 Foot를 가진 하나의 기계에서 세 개의 Foot가 평행한 간격을 갖는다는 것은 불가능하다. 마찬가지로, 2개의 Foot가 나란히 간격을 가진다는 것도 불가능하다. Foot들은 서로 대각선의 반대 방향일 것임에 틀림없다.

**원인** : 하나의 다리가 너무 짧다. ; 하나의 기초대 Mounting Pad가 다른 3개와 동일 평면이 아니다. ; 한 개의 Foot 아래의 Shim이 불충분하다.

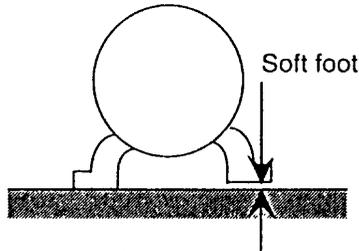


그림 2-16 동일 평면이 아닌 한 개의 Mounting Foot에 의한 Soft Foot

**교정** : Feeler Gage로 측정된 양만큼 Shim을 넣는다. 2개의 대각선 방향 Soft Feet 사이에 Shim을 분리하여 넣는 비생산적인 함정에 종종 빠지지 않아야 한다. 4개의 Foot에서의 Alignment 측정값은 Foot들이 상대적으로 동일 평면임을 나타낸다. Feeler Gage 결과에 따라서 이것은 세 개의 Foot는 주로 동일 평면을 이루며 네 번째의 Foot는 확실히 Shim이 고여져야 하는 것으로 종종 나타날 것이다. 만약 두 대각 방향의 Soft Foot Alignment 측정값이 같은 값을 나타내고 Feeler Gage 간극이 대각 방향으로 같다면, 두 개의 Foot에 Shim을 넣는다. 경험상으로 두 개의 대각 방향으로 반대인 Soft Foot는 4개 Foot의 동일평면 상태에 따라서 Shim을 넣을 수 있으나 이것은 바람직하지 않다. Shim을 하나의 Foot에 넣고, 측정을 재 수행하고, Alignment를 재 계산하는 것이 더 좋은 방법이다.

## (2) 휨 Foot (Bent Foot)

**상황** : Foot의 바닥이 Base와 동일 평면이 아니다 (그림 2-17). Feeler Gage의 측정값은 분명히 Foot의 한 모서리에서 다른 모서리까지 경사를 나타내고 있다. 항상 그렇지는 않지만, 종종 Foot의 한 모서리 또는 한 면이 Base에 닿아 있어 볼

트로 조일 때 Lever처럼 작동한다. 이 때문에 흰 Foot는 항상 두 개의 반대방향 Foot에서 그리고 가끔은 네 번째 Foot에서 Soft Foot를 야기 시킨다. 이것은 3~4개의 Soft Foot를 가지는 기계에서 나타나지만, Soft Foot들은 흰 Foot가 교정될 때 즉시 사라진다.

**원인** : 아래로 떨어졌거나 거칠게 다룬기계 ; 휘거나 조잡하게 가공한 Base Plate ; 수직 방향으로 심하게 모가난 Misalignment ; 용접된 Foot ; 기초 침하.

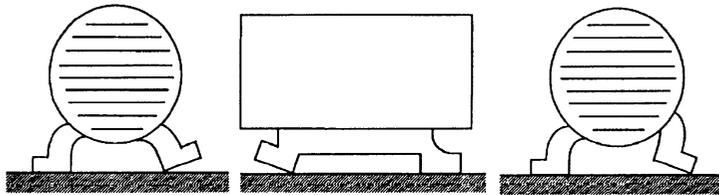


그림 2-17 흰 Foot (Bent Foot)

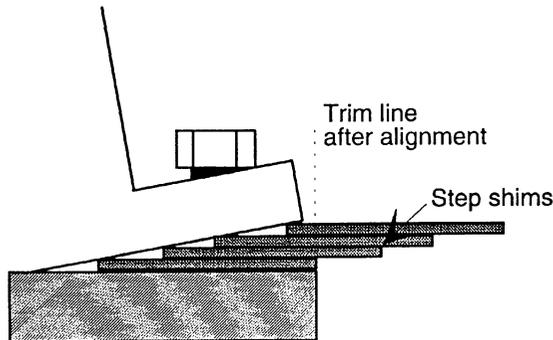


그림 2-18 Step Shimming

**교정** : Foot, Base 또는 둘다 재 제작. 그렇지 않으면, Step Shim을 조립한다 (그림 2-18). 이것은 안전하고 효과적인 것으로 현장에서 증명된 방법이다. 시행 절차는 다음과 같다. :

- ① Foot의 한쪽 모서리 또는 끝이 닿도록 전체 Foot의 아래에 존재하는 공간을 채운다.
- ② 가장 크게 남아 있는 간극을 측정한다.
- ③ 이 간극을 Step Thickness를 얻기 위해 4~5 또는 6 단계(Step 수)로 나눈다.

- ④ 4~5 또는 6개의 두께 Shim을 선택하고 한 번에 1단씩 넣는다. 기계의 들림이 없이 안정한 상태까지만 손으로 넣는다. Foot의 경사에 일치하도록 Step Shim을 조립하는 것이 이상적이다.

대각선 방향으로 Bent되고 경사진 Foot에 대해서는 방법의 개선이 요구된다. Alignment를 하는 동안 Foot에 대한 각 수직 방향의 Shim 교정은 Step으로의 재조립을 필요로 한다. 수직 방향으로 모가난 것의 교정은 Foot의 경사에 영향을 주므로 Steps은 Shim 설치후 정확히 같은 방법으로 맞춰지기를 기대하지 말아야 한다. 최종 Alignment후 Step Shim의 돌출부를 자르고 버린다.

**(3) 一貫性 없는 Soft Foot [Inconsistent(Spongy) Soft Foot]**

**상황** : Alignment 측정으로는 분명하게 또 반복하여 Soft Foot임을 나타내지만 Feeler Gage로는 간극이 적거나 없다고 나타낸다 (그림 2-19).

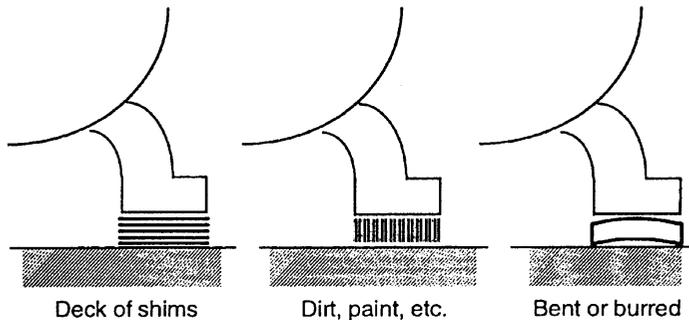


그림 2-19 일관성 없는 Soft Foot의 원인

**원인** : Foot와 Base 사이의 먼지, 그리스, 페인트, 녹, 기름 및 다른 외부 이물질이 있을 경우 ; 구부러진 Shim ; 돌기 또는 “Thread Bite” 상태의 Shim ; 너무 많은 Shim. 각각의 Shim은 아무리 깨끗하다 하더라도 Oil Film 및 표면의 더러움과 같은 결점을 가지고 있다. 비록 미세하지만, 이러한 결점은 Foot가 조여져 아래로 갈 때 Shim 사이에서 압축된다. 이러한 미세한 스프링 효과는 Shim 1개마다 3 mils(0.08 mm)의 압축 비율로 축적됨을 볼 수 있다 (그리스가 제거되고, 깨끗한 새로운 Shim은 작고, 사용된 Shim은 더 크다). Foot당 4개의 Shim이하만 사용하는 것이 유용한 규칙으로 되어있다.

**교정** : 먼지, 흰 Shim, 또는 일관성 있게 불량인 원인이 되는 것들을 제거한다. 청결한 Base, 깨끗한 Foot 및 Shim의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않는다. 가장

더러운 환경일지라도 각각의 Foot 아래의 작은 공간 및 Foot 자체는 항상 금속이 드러난(Wire Brush 작업시행) 상태로 깨끗하게 하여야 한다. Foot의 상부도 역시 깨끗해야 한다. 여기에 쌓여 있는 오물은 볼트를 조이고 풀때 렌치에 의해 떨어진다. 이 오물은 삽입될 다음 Shim에 의해 Foot 아래로 들어오는 특별한 경우가 있다. 이런 경우에는 진공 청소기가 매우 유용하다.

(4) 다른 힘에 의한 Soft Foot (Induced Soft Foot)

**상황** : Alignment 측정으로는 항상 기계의 동일 측면 또는 동일한 끝 부위의 두 개 Foot가 Soft Foot 상태임을 보여주며, Feeler Gage로는 항상 평행하거나 거의 평행한 Feet의 간극이 있음을 나타낸다 (그림 2-20). 두 번째의 증상은 Foot가 더 좋아지지 않거나, 점점 더 나빠지며, 또는 다른 Foot는 간극만큼 Shim을 넣은 후 훨씬 더 나빠진다.

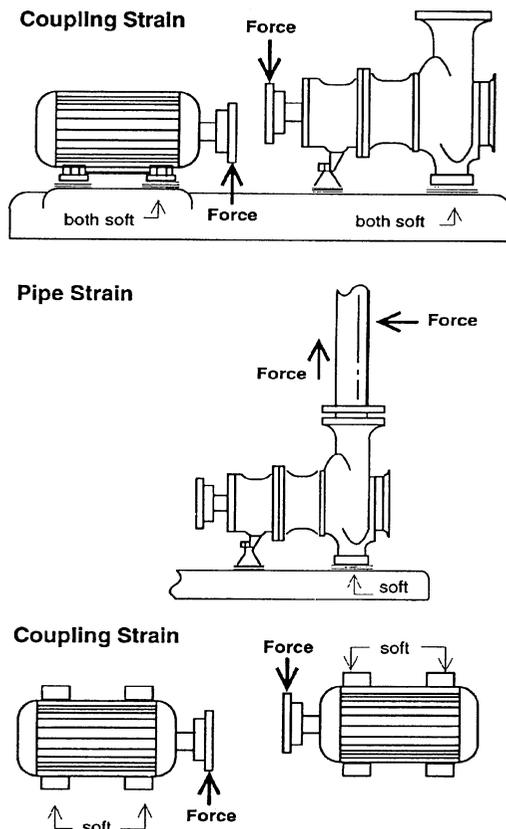


그림 2-20 유도된 Soft Foot

**원인** : 기계에 외부의 힘이 작용한다. 커플링 변형 및 배관의 변형은 가장 일반적인 두 원인이다. 만약 Misalignment 때문에 커플링에 볼트를 채우기가 어렵다면, Alignment가 개선 될 때까지 Soft Foot가 예상된다. 외부적인 힘이 발생하는 다른 근원들은 매달린 기계 또는 부속품, 벨트 또는 체인의 부하, 기어, 어떤 매달리거나 연장된 축, 호스, 전선관, 기계에 부착된 구조물의 받침대 및 무심코 단단히 조여진 Jacking Bolt이다.

**교정** : 힘을 발생시키는 원인을 제거한다. 레이저 Alignment 측정법은 건설중 배관 변형을 시험하는 우수한 수단이다. 배관을 연결하기 전에 Alignment 시스템을 취부하지만, 모든 Base Bolt는 꼭 조여야 한다. 기계로부터 어떤 Soft Foot를 제거하고 하나의 Foot(어떤 Foot)를 측정하기 위해 Alignment 시스템을 설치한다. 배관에 볼트를 조립한다. 만약 Alignment 시스템에서 플랜지 볼트가 조립되는 동안 움직임 량이 1.5 mils(0.04 mm) 이상인 경우 배관은 기계를 변형시킨다. 더욱더 확실히 하기 위해 배관을 죄는 동안 Soft Foot를 재시험하고, 배관이 연결되기 전에 존재했던 Soft Foot 상황과 비교한다.

### (5) Soft Foot가 없음에도 間隙 發生 (Gaps Without Soft Foot)

**상황** : 조심성 있는 측정렬 작업자는 때때로 Alignment 측정으로 Soft Foot가 나타나지 않는 Foot임을 알 것이다. 그러나 사실 볼트가 조여졌을 때는 간극이 없으며 볼트가 느슨할 때는 Foot 아래에 다소 큰 간극을 가지고 있다. 이와 같은 현상에 대한 다른 하나의 견해는 Alignment 측정은 상대적으로 작은 Soft Foot를 나타내며, Feeler Gage는 훨씬 큰 간극을 나타낸다는 것이다.

**원인** : Base가 움직임. 기계의 굽힘이 아닌 Foot의 굽힘 (약하거나 무른 Foot). Base 또는 기계가 균열되고, 느슨하거나, 다른 결함이 있을 때.

**교정** : 간극을 메우기 위해 Shim을 넣는 것은 대부분의 사람들의 느낌만 좋게 할 뿐이다. 이런 상황이 주어진 기계의 운전 상태는 좀처럼 개선되지 않는다. Base 또는 기계는 문제를 제거하기 위해 정비되거나 재 제작되어야 한다. 이런 상황은 수직 방향의 Alignment 교정을 수행할 때 (예기치 않거나 심지어 불가능한) 부작용으로 종종 나타남을 알아야 한다. 만약 기계를 정렬할 수 있고(즉, 수직 방향으로 Alignment 교정됨) 기계가 Loose되거나 파손되지 않는다면, 그 간극은 종종 무시될 수 있다. 만약 Foot의 Base Bolt를 조이고 풀때 축 중심선에 영향을 주지 않는다면, 베어링은 움직이거나 변형되지 않으며, 회전체, 베어링, 커플링에서 손상이 일어나지 않는다.

만약 Alignment 측정시 Soft Foot가 나타난다면, 더 진행되기 전에 교정되어야 한다.

그러나 어떤 조치를 행하기 전에 Soft Foot의 원인과 형태를 분석하는데 주의해야 한다. 무작정 Shim 조립 작업을 시행하거나 또는 시행착오법은 종종 상태를 더 악화시킬 것이다.

### 1.8 測定工具 (Measuring Tools)

측정법은 기초적으로 길이 측정과 관련되기 때문에 여기서는 길이를 측정하는데 사용되는 다양한 공구에 관해 설명한다. 현재 유통되고 있는 많은 측정 센서를 응용한 다양한 축 위치 측정공구는 보정값이 주어지고 있다.

정확한 길이를 측정하는 것은 사람에 달려있다. 고대 그리스 시대에는 ‘Rope Stretcher’ 직업이 아주 전문적인 직업으로 여겨졌으며, 오늘날 길이 측정 기술자는 레이저 간섭계 사용으로 Micron 이하의 길이 측정도 가능하다. 신 장비는 아주 천천히 구 장비를 대체해 나가기 때문에 이들 측정공구 전체에 대한 사용법을 아는 것이 중요하다. 예를 들어 1980년 중반에 레이저 측정법 측정 시스템이 개발되었음에도 불구하고 사실상 이들 길이 측정 시스템의 제작자들도 기계 케이싱 Hold Down Bolt와 축상의 측정점간 거리 측정 수단으로 표준 권척을 함께 사용한다.

#### (1) 표준자와 줄자 (Standard Tape Measures and Rulers)

측정법에 사용되는 가장 일반적인 공구는 표준자와 권척이다. 줄자 측정은 축이나 커플링 허브 측정과 베이스 볼트간의 거리 측정에 사용된다. 권척의 눈금은 보통 육안으로 식별되는 최소 측정길이가 1 mm이고 Straight Edge는 정도가 낮은 정렬에 가끔 사용된다.

#### (2) 필러 및 테이퍼 게이지 (Feeler and Taper Gages)

필러 게이지는 세트로 디자인되고 접어 넣을 수 있도록 정렬한 금속판이다. 이것은 Soft Foot 갭측정, 가까이 붙은 두축의 끝과 끝사이 갭측정, 베어링의 볼과 레이스 사이의 간극 측정 그리고 정밀도가  $\pm 1$  mil이 요구되는 비슷한 여러 갭 측정에 사용된다. 테이퍼 게이지는 Wedge 형태의 금속판으로써 갭과 일치하는 눈금이 Wedge 길이 방향으로 새겨져 있다. 이것은 정확도가  $\pm 10$  mils가 요구되는 가까이 인접한 축 끝과 끝사이를 측정하는데 사용된다.

#### (3) 버니어 캘리퍼 (Vernier Caliper)

버니어 캘리퍼는 정밀도 1 mil이내의 내외경 측정에 400년 동안 계속 사용되어 왔다. 어미자는 1 mm마다 분할 눈금이 있는 표준자와 같다. 아들자 즉 슬라이딩자는 20등분한 눈금을 가지고 있다. Jaw는 어미자의 길이에 따라 아들자 위치로 길이를 측

정한다. 측정값은 아들자 "0"과 가까운 어미자의 값을 취한다음 1 mm이하의 값은 어미자와 아들자 눈금이 가장 가까이 일치하는 선에서 취한다.

#### (4) 마이크로미터 (Micrometers)

마이크로미터는 오늘날까지 널리 사용된다. 마이크로미터는 축 외경 및 내경, 씬, 플레이트 두께 등 무수히 많은 곳에 사용되어지며 측정렬 작업을 수행하는 사람에게는 거의 필수적이다.

#### (5) 다이얼 인디케이터 (Dial Indicators)

AGD 그룹 1 또는 2 (American Gauge Design 다이얼 직경 1"는 1그룹, 2"는 2그룹)의 다이얼 인디케이터는 축 위치 측정에는 다이얼 직경 크기에 상관없이 사용된다. AGD 그룹 1 인디케이터는 총 스템 이동량이 5 mm인 것이 판매되며 이것은 측정렬에 가장 적합하다. 총 스템 이동량이 50 mm까지인 AGD 그룹 2인 인디케이터도 또한 자주 쓰이지만 자체 무게에 의한 브라켓 처짐 문제가 있다.

#### (6) 옵티컬 측정렬 공구 (Optical Alignment Tooling)

옵티컬 측정렬 공구는 정확한 Bubble Level을 가진 저전력 텔레스코프와 정밀한 수평 수직위치를 구하는 옵티컬 마이크로메타를 조합한 장치들로 구성되어 있다. 옵티컬 측정렬 시스템은 기초 수평잡기, 기계 공구나 프레임 직각도 점검, 긴 회전기기의 베어링 페데스탈 정렬, 운전중인 기계 이동의 Off-Line 측정, 종이와 제철공장의 롤 평형상태 점검 등과 같은 다양한 곳에 적용하기에 가장 유효 적절한 공구중의 한가지이다.

#### (7) 프록시미티 프루브 (Proximity Probes)

프록시미티 프루브는 기본적으로 비접촉식 전자 다이얼 인디케이터로 되어있다. 따라서 거리나 진동변위 및 축위치 측정에 쓰인다. 이 장치가 측정렬 측정에 이용될 수 있지만 어떤 회사도 이 시스템을 일반적으로 사용하지 않는다. 이 장치의 사용 제한은 표준 프루브로 수집할 수 있는 거리측정 범위(약 1~4 mm)이다.

#### (8) 선형 가변 차동 변환기 (Linear Variable Differential Transformers)

이 장치는 변환기 중심을 통하여 움직이는 코어의 위치에 비례하여 AC 신호를 출력 시키기 때문에 가변 인덕턴스 변환기라고 한다. 이 장치는 스트로크가 0.5 mm 이상의 범위에서 정확도  $\pm 1\%$ 를 얻을 수 있다. 현재 측정렬 목적으로 이 형식의 변환기를 사용한 측정렬 시스템은 없다.

#### (9) 옵티컬 엔코더 (Optical Encoders)

옵티컬 엔코더는 본질적으로 펄스 계산기이다. 이것은 축 위치와 축 속도 측정에

자주 쓰인다. 그러므로 이 장치를 축 또는 회전 엔코더라고 부르기도 한다. 연속된 슬롯을 이 디스크 또는 평면에 각인하고 불빛(일반적으로 LED)을 디스크나 평면에 비춘다. 디스크나 평면이 움직이거나 회전하면 디스크의 반대편에 있는 사진 감지기가 비쳐지는 슬롯의 수를 헤아린다. 요즘 한 제작자가 측정렬 측정을 위해 이 형식의 센서를 사용하고 있다.

### (10) 레이저와 감지기 (Lasers and Detectors)

측정렬에 있어서 측위치 측정기술의 정확도는 인간의 시력에 의존할 때보다 직선자와 필러 게이지를 이용함으로써 어느정도 개선되고 나아가 축 브랫킷과 다이알 게이지를 사용함으로써 더욱 개선되어 측정렬 교정에 소요되는 시간이 많이 감소되었다. 모든 기술이 현재 상태로 머물지는 않겠지만, 특히 반도체의 광발산을 포함한 전자공학에 근거를 둔 모든 기술은 이러한 측정에 필수적으로 적용되고 있다. 성능이 우수한 마이크로프로세서, 반도체 결합 레이저, 실리콘 광다이오드 등의 출현으로 기계적 메카니즘을 이용한 측정기기 대신에 이러한 새로운 전자 소자를 이용한 회전형 기계의 회전 중심선 측정의 새로운 기술의 장을 열어왔다.

1984년 독일 Pruftechnik에 의해 측정렬시에 사용가능한 레이저 측정렬 측정 시스템이 최초로 개발된 이래 많은 제작사들이 각기 다른 형태의 측정렬 시스템을 개발하여 소개하였다. 최근에도 여섯 개의 회사가 다른 형태의 레이저 측정렬 측정 시스템을 선보이고 있다.

레이저 감지기는 파장이 350~1100 nm 범위의 전자기파를 감지할 수 있는 반도체 포토다이오드이며, 포토다이오드는 표면에 빛을 받으면 전류를 발생한다. 포토다이오드를 이용한 레이저 감지기의 규격은 대부분 10 mm×10 mm 이지만, 어떤 것은 20 mm×20 mm도 있다. 사용규격은 제작사에 의해 결정되지만 대부분 전자를 이용하고 후자를 이용하는 회사는 극히 적다. 이러한 시스템을 이용하는 레이저 감지기 제작자는 'Bi-cell'(한 방향) 또는 'Quadrant Cell'(양방향) 포토다이오드를 사용하여 레이저 빔의 위치를 감지한다.

감지기의 중앙에 빛이 쏘이면, 각 Cell로 부터의 모든 축력은 같다. 반면에 전자기파 빔(빛)이 포토다이오드 표면을 가로지르면 빔이 중앙을 벗어나는 정도에 따라 각 Cell은 불평형 전류를 출력하게 된다.

## 2. 피아노 선을 使用하는 케이싱 整列

### (Casing Alignment Using Piano Wire)

증기터빈과 같이 여러 개의 케이싱을 중심축에 일렬로 정밀하게 조정하는 공정을

Casing Alignment라 한다. 터빈 Casing Alignment의 경우는 다음 항목을 포함한 조정 공정이 있다.

- 전 Bearing Pedestal을 기준한 전 터빈 케이싱의 정렬
- 단위 Bearing Pedestal을 기준한 단위 터빈 케이싱의 정렬
- 외부 케이싱을 기준한 내부 케이싱의 정렬
- 터빈 케이싱을 기준한 내부 Diaphragm의 정렬

“Casing Alignment” 기준선은 터빈 설계에 따라 다르나 축중심선 기준과 베어링 페데스탈 기준으로 대별할 수 있다. 터빈을 수년간 운전하면 기초 변화, 열응력 및 진동에 의한 위치 변동, 각종 “Casing Key”, “Shim Plate”, 고정 볼트의 마멸과 이완 또는 배관을 포함한 구조물의 변화 등으로 정밀하게 조정된 케이싱의 배열이 변동하게 된다. 터빈 케이싱은 외부 케이싱과 내부 케이싱이 2중으로 구성되어 있으며, 우선 외부 케이싱을 정렬한 다음 외부 케이싱을 기준하여 내부 케이싱을 정렬하는 것이 순서이다. 터빈 정비 공사시에는 반드시 케이싱의 변동 사항을 확인하여야 하며 이 경우 일정한 측정점을 정하여 측정 결과를 기록해 둔다. 이 기록을 계속 정리해 두면 터빈 케이싱의 경년 변화를 판단할 수 있고 케이싱 정렬 시행 여부도 판단할 수 있다.

“Casing Alignment” 방법으로는 ① 피아노선 (Piano Wire 또는 Tight Wire) 방법 ② 기준축 (Dummy Shaft) 방법 ③ 광선 방법 및 ④ Laser선 방법이 있는데 기본 원리는 모두 같다. 여기서는 피아노선 방법에 대하여 상세히 언급하며 근래 사용이 확대되는 Laser Shaft Alignment System에 대하여는 다음에 별도로 소개한다.

전체 터빈의 전후 기준점에 피아노 선을 팽팽히 쳐서 이 선을 기준으로 하여 케이싱 또는 Diaphragm과의 거리를 측정, 중심 조정을 한다. 측정은 정밀도를 필요로 하기 때문에 측정을 잘하는 두 사람을 선정하여 이들로 하여금 각기 측정토록 하여 두 데이터를 비교하면 좋다. 또 피아노선이 움직이면 정렬을 하는데 많은 시간이 소요되며 정확한 측정이 어려우므로 측정자 이외는 출입하지 못하도록 해야하며, 바람이 불어도 피아노선이 흔들리므로 그 대책을 세워야 한다. 또 측정시 주의할 것은 피아노선이 녹이나거나 구부러진 것을 사용해서는 안되며 측정중 종종 피아노선에 부착된 먼지를 닦아 준다. 또 하나 유의하여야 할 것은 Piano Wire Setting 및 측정 Point 선정이다. 끼워 맞춤부나 녹이 많이 발생한 부위는 피해야 하며 기계 가공으로 진원이 확보된 위치를 선정한다.

## 2.1 計測 器具 (Measuring Instruments and Tools)

- 전자식 Inside Micrometer 및 Receiver

- Inside Micrometer 연결봉
  - 철제 ( 3/8" 환봉의 선단에 Stellite 육성할 것 )
  - 목재 ( 떡갈나무의 선단에 금속을 씌울 것 )
- 피아노선 B종, 직경 0.4 mm (0.16")
- 추의 중량 13.608 kg (30 lb± 2 oz : Hook 포함)
- 피아노선 지지 Jig (조정 기구)
- 알루미늄 봉

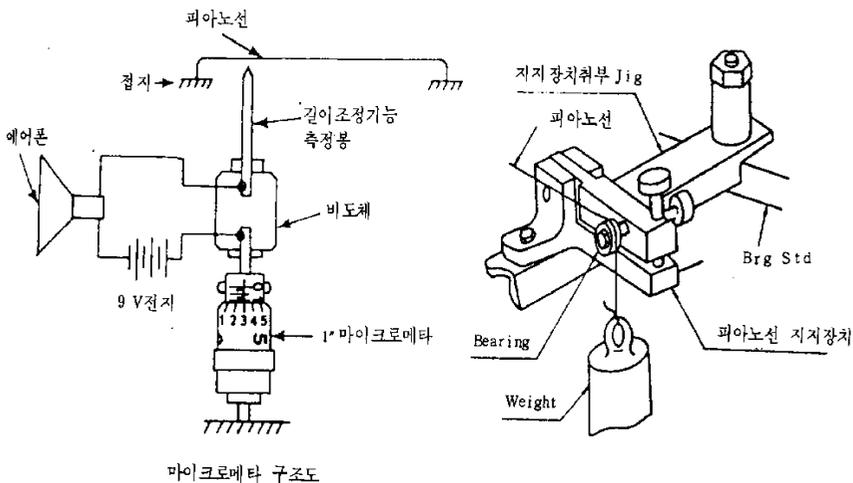


그림 2-21 Piano Wire Alignment 측정 기구

## 2.2 피아노 선의 처짐량 (Amount of Piano Wire Sag)

피아노 선을 그림 2-22와 같이 설치했을 때 피아노 선 자체의 중량에 의해 선이 밑으로 처지는 현상이 생긴다. 이 처짐 현상을 Sagging이라 하며 두 고정점간의 중간 위치에서 최대 처짐량이 생기고 고정점으로부터 거리에 따라 처짐량이 다르다. 이 처짐량 계산식은 다음과 같으며 여기서 구한 처짐량에다 상/하 실측치를 더하면 이론적인 기준선과의 실제 거리(상/하)가 된다.

$$S = \frac{WL(D-L)}{2P} = 3.6228 \times 10^{-5} L(D-L)$$

여기서 S : 피아노선의 처짐량(m)

W : 피아노선의 중량(kg/m)

피아노 선의 비중 7.85, 중량 0.986 kg/m

1274 — 제3편 기계의 정비 기술

P : 추의 중량(kg)

D : 고정점 간의 거리(m)

L : 고정점부터 측정점까지의 거리(m)

처짐량은 상기 공식에 의하여 일일이 계산하여도 되지만 번거롭고 또한 기계의 고정점간의 거리는 변하는 것이 아니며 동일한 피아노선과 추를 사용한다면 표 2-1과 같이 공식에 의거 미리 계산된 Sag Chart를 이용하면 현장에서 사용시 대단히 편리하다.

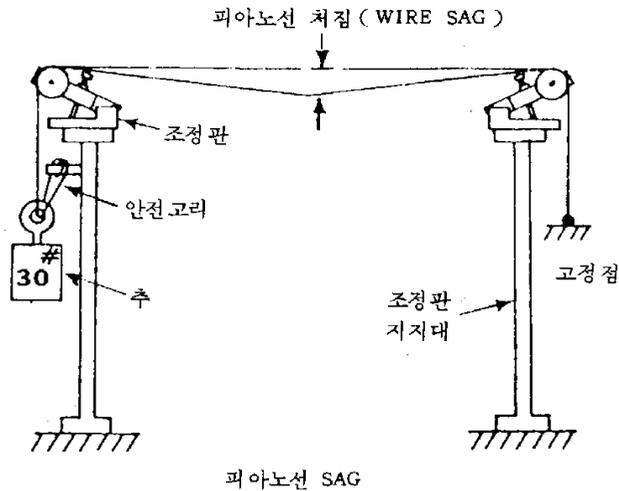


그림 2-2 피아노선의 처짐

표 2-1 Sag Chart (단위: 1/1000 mm)

고정점 간의거리 (m)	고정점부터 측정점까지의 거리 (m)										
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	07	0.8	0.9
10	0	000	036	071	105	139	172	204	236	267	297
10	1	326	355	383	410	436	462	487	511	535	558
10	2	580	601	622	642	660	679	697	714	730	746
10	3	761	775	788	801	813	824	835	844	854	862
10	4	869	876	883	888	893	897	900	902	904	905
11	0	000	039	078	116	154	190	226	261	296	329
11	1	362	395	426	457	487	516	545	573	600	626
11	2	652	677	701	725	748	770	791	812	832	851
11	3	869	887	904	920	936	951	965	979	991	1003
11	4	1014	1025	1035	1044	1052	1060	1067	1073	1078	1083
11	5	1088	1090	1093	1095	1096	1096	-	-	-	-

### 2.2.3 計測 (Measuring)

- ① 피아노선의 지지점간의 거리를 기록한다.
- ② 피아노선 지지점에서 각 측정점까지의 거리를 계측, 기록한다. 지지점간의 1/2까지 측정했으면 반대측의 지지점에서 계측한다.
- ③ 피아노선의 처짐량을 계산하여 기록한다.
- ④ 그림 2-21과 같은 이어폰이 달린 Inside Mecrometer를 사용하여 각 측정점에서 좌, 우, 하 3곳의 거리를 계측하여 기록한다.

### 2.4 Casing Alignment 施行 豫 (Instance for Casing Alignment)

그림 2-23과 같이 저압 터빈 케이싱 A, B의 Alignment 상태를 측정하고자 피아노 선을 쳤다. 케이싱 A의 후(Rear)측이 설정값에 있다고 가정한다. 또 케이싱 A 및 B의 전/후 측에서의 피아노선 처짐량 X, Y, G, H는 처짐량 공식에 의해 구할 수 있으나 이미 계산해놓은 Sag Chart를 이용하면 쉽게 알 수 있다. 또 케이싱에서 피아노선까지 실측한 거리를 C, D, E, F라 하자. X, Y, G, H를 Sag Chart에서 찾아 이 값에 실측치를 더하여 얻은, 케이싱 A, B의 전/후측에서 기준선까지 실제 거리는

$$C+X = 69.85 \text{ mm} + 0.267 \text{ mm} = 70.117 \text{ mm}$$

$$D+Y = 61.60 \text{ mm} + 0.854 \text{ mm} = 62.454 \text{ mm}$$

$$E+G = 55.25 \text{ mm} + 0.900 \text{ mm} = 56.15 \text{ mm}$$

$$F+H=52.70 \text{ mm}+0.535 \text{ mm}=53.235 \text{ mm}$$

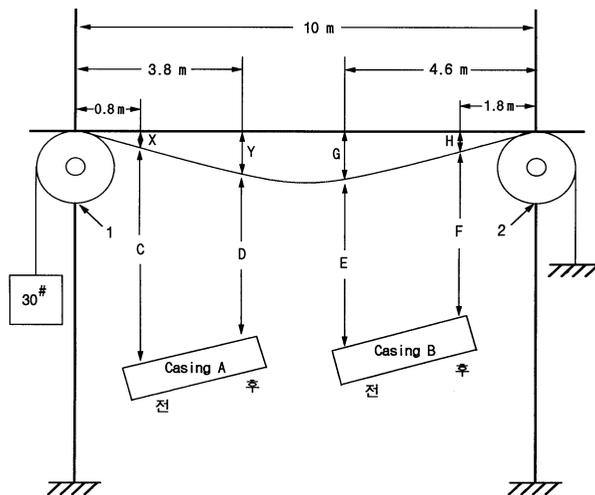


그림 2-23 Casing Alignment 상태 측정

케이싱 A의 후측이 설정 목표치상에 있으므로(  $D+Y=62.454$  mm), 케이싱 A의 전측은  $(D+Y)-(C+X)=62.454$  mm-70.117 mm=-7.663 mm(올림). 케이싱 B의 전측은  $(D+Y)-(E+G)=62.454$  mm-56.15 mm=6.304 mm(내림). 케이싱 B의 후측은  $(D+Y)-(F+H)=62.454$  mm-53.235 mm=9.219 mm(내림). 이와 같이 내리거나 올리면 상/하 조정이 완료된다.

### 2.5 Diaphragm 整列 施行 豫 (Instance for Diaphragm Alignment)

케이싱을 정렬한 후 다음 단계는 Diaphragm을 정렬하는 것이다. 케이싱 이동 방법과 마찬가지로 측정 및 계산에 의하여 Diaphragm을 이동시켜야 할 값이 산출되면 실제로 Diaphragm을 어떻게 이동시키는가 하는 문제에 직면하게 된다. 통상 Diaphragm은 그림 2-24와 같이 좌/우 2개의 Support Bar와 하부 중앙에 1개의 Centering Pin에 의하여 지지되는데 이것들을 조정하여 Diaphragm을 이동시킨다.

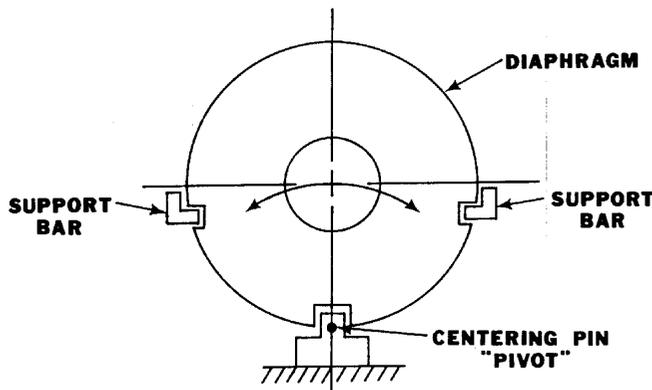


그림 2-24 Diaphragm의 지지 형태

첫 번째 방법은 이동하는 량만큼 Key를 조정하는 방법이다. 즉 상/하 이동을 위하여는 좌, 우 Support Bar의 Shim 량을 조정하고, 좌/우 이동을 위하여는 Centering Pin을 조정(Shim 조정 형식인 경우 Shim을 조정하고 아니면 Pin을 가공)하는 방법이다. 예를 들면 Diaphragm을 위로 0.15 mm 이동시키고 싶으면 좌, 우 Support Bar에 각각 0.15 mm의 Shim을 추가하며, 우측으로 0.3 mm 이동시키려면 Centering Pin의 우측에 0.3 mm를 Shim 추가 혹은 육성하고 좌측은 0.3 mm Shim 제거 혹은 절삭한다.

두 번째 방법은 상/하 이동은 첫 번째 방법과 같으나 좌/우 이동이 다른 경우인데 좌/우 이동을 위하여 첫 번째 방법은 Centering Pin을 직접 조정한데 반하여 이는 Centering Pin은 그대로 두고 좌, 우 Support Bar를 조정하여 좌/우로 이동시키는 것이

다. 즉 Centering Pin을 기준으로 Diaphragm을 굴리는 것과 같은 원리이다. 이 방법으로 Diaphragm을 좌측으로 0.2 mm 이동시키려면 좌측 Support Bar의 Shim은 0.2 mm를 제거하고 우측 Support Bar에는 0.2 mm를 추가하는 것이다. 이의 원리를 설명하면 다음과 같다. 이해를 쉽게 하기 위하여 Diaphragm을 그림 2-25와 같이 “T”로 간략화하여 생각한다.

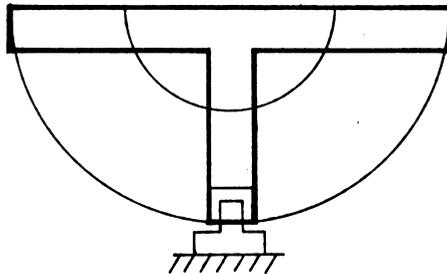


그림 2-25 Diaphragm을 T자로 생각한 모양

만약 그림 2-26과 같이 Pivot Point를 “A”로 하여 “B”를 위로 움직이면 “C”는 선분  $AB=BC$ 이므로 같은 크기로 아래로 이동한다. 또한 D는 선분  $AB=BC=AD$ 이므로 같은 량으로 좌측으로 이동한다. 만약 이동량이 아주 작다면 이동 궤적은 화살표로 표시한 것처럼 거의 직선이 된다. 이제 Pivot Point를 그림 2-27과 같이 “A”에서 “D”로 옮기고 “B”를 위로, “C”를 아래로 같은 량 이동하면 “D”는 고정되어 있으므로 “A”가 우측으로 같은 크기로 이동한다

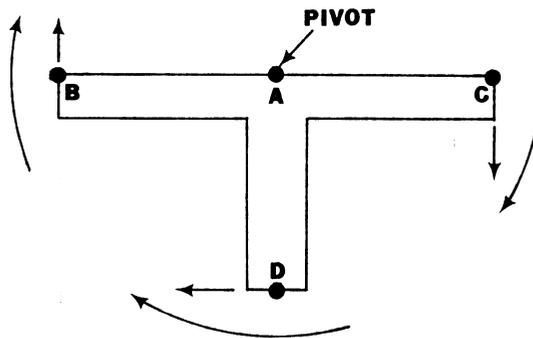


그림 2-26 A점을 중심으로 Diaphragm 굴리기

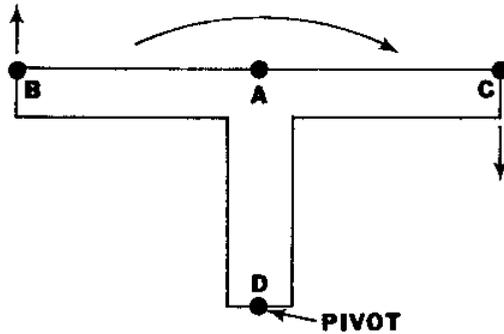


그림 2-27 D점을 중심으로 Diaphragm 굴리기

그러나 Centering Pin의 Clearance 한계, 수평 접합면의 상, 하 이동 허용 한계 등으로 Diaphragm을 굴려서 이동할 수 있는 크기에는 제한이 있으며 Diaphragm 설계에 따라 다르기는 하나 통상 수평 상태에서부터 Diaphragm 직경 1 inch당 0.001"이다. 예를 들어 Diaphragm 직경이 30 inch이면 0.030"를 이동시킬 수 있다. 만약 이 이상 이동하여야 할 경우 Centering Pin을 좌/우 비대칭으로 가공하여야 한다.

### 3. 軸整列 測定 技法 (Shaft Alignment Measurement Techniques)

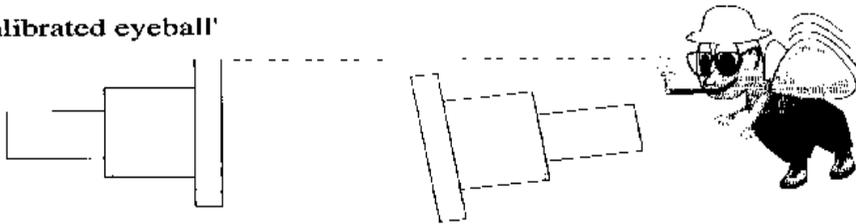
Soft Foot 여부, Feet의 청결 상태, Shim Pack의 상태 등 기초와 관련된 시스템을 점검하고 케이싱 정렬(필요한 경우)을 완료한 후, 다음 단계는 축을 정렬하기 위하여 서로 인접한 축간의 위치 즉 한 축을 기준으로한 다른 축의 위치를 측정하는 것이다. Straightedge와 같은 간단한 기구를 이용하여도 대강의 축정렬 불량 상태는 확인할 수 있다. 그러나 축이 가까울수록 이의 정확한 확인은 곤란해진다. 요구된 축정렬 정도를 만족시키기 위해서는 축정렬시 1.8항에서 언급한 여러 가지 계측기를 이용하게 된다. 그러나 이러한 계측기를 이용할 때 계측기의 측정 가능 위치 (다이얼 인디케이터의 경우 지침의 이동 가능 거리이내)에 두 축이 위치하도록 대강의 축정렬을 먼저 시행하여야 한다. 이 절에서는 Dial Indicator 등 계측기를 사용하여 축정렬 상태를 측정하는 여러 가지 방법과 이들 기법의 장단점, 이들 기법을 사용할 때 알아야할 유의 사항 및 축정렬 계산법 등에 대하여 언급한다.

#### 3.1 大綱의 軸整列 (“Rough” Shaft Alignment)

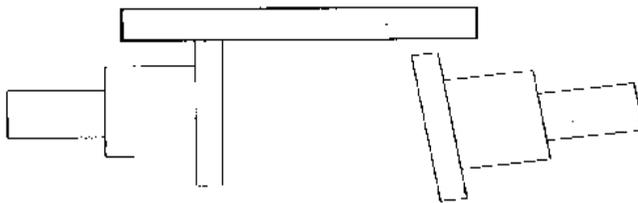
계측기를 사용하여 축정렬 상태를 측정하기 위해서는 계측기의 측정한계 이내로 기계가 정렬되어 있어야 한다. 통상 기계를 운전중인 상태에서 이동시키지 않은 경우

는 이를 만족하나 여러 가지 이유로 기계의 위치가 크게 이동한 경우 측정법 상태 정밀 측정전에 대강의 측정법을 먼저 실시하여야 한다. 이를 위해 대강의 Rim 측정을 위해서는 그림 2-28과 같이 Straightedge가 유용하다. 그러나 이는 커플링 허브의 직경이 같을 경우에만 가능하며 만약 커플링 허브의 직경이 같지않고 축의 직경은 같다면 허브를 축에 조립하기 전에 축에 직접 Straightedge를 접촉시켜 측정법 상태를 측정한다. 축의 Pitch나 Angularity를 측정하기 위하여 내경 마이크로미터를 사용할 수도 있다. 이 경우 축간 거리가 계측기의 삽입이 가능할 만큼 떨어져 있어야 가능하며 (즉 Flexible Coupling 형식의 경우만 가능) 이 값을 축방향 거리의 예비 측정값으로 사용할 수 있다. 만약 축이 근접하여 있는 경우 아래 그림 2-28과 같이 축간 거리와 Angularity를 측정하기 위하여 테이퍼나 휠러 게이지를 사용할 수 있다.

the 'calibrated eyeball'



the straightedge method



the taper or feeler gauge method

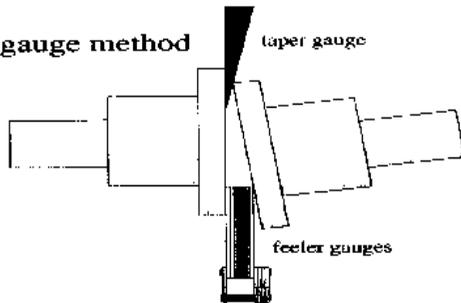


그림 2-28 Straightedge 혹은 Feeler Gauge를 이용한 대강의 측정법

### 3.2 커플링 面과 圓周 測定技法 I (Face and Rim Technique I)

이 기법은 다이얼 인디케이터를 이용한 측정법 중 가장 널리 그리고 가장 오래 사용된 기법으로 Flexible Coupling이 두 기계 사이에 설치되어 이들 커플링 간의 거리가 비교적 클 때 흔히 사용되는 방법이다. 그림 2-29와 같이 Flexible Coupling을 취외하고 기계의 커플링 허브면과 원주(Face와 Rim)에 다이얼 인디케이터를 부착하여 측정한다. 이 기법을 사용할 때 커플링 허브면의 가장 큰 직경에서 Face값을 측정하는 것이 좋으며 또한 측정시 기계가 측방향으로 이동하게 되므로 측정될 정도를 향상시키기 위하여 Face간의 거리를 측정, 기록하여야 한다.

이 기법을 사용시 Face 측정용 다이얼인디케이터를 1개만 사용 할 수 있으나 이 경우 축의 회전시 축의 측방향 이동이 발생하여 Face값의 오류를 유발할 수 있다. 때문에 Face 측정용 다이얼 인디케이터를 그림 2-31과 같이 서로 180°떨어지게 2개 설치하여 두 측정값으로 Face 값을 계산함으로써 축의 측방향 이동값을 Face값에서 배제시키는 방법이 널리 사용된다. 축이 너무 근접하여 커플링 허브의 안쪽에 다이얼 인디케이터를 설치할 수 없다면 그림 2-30과 같이 다이얼 인디케이터를 허브의 뒷면에 부착하여 측정할 수도 있다. 이 경우 허브 내측에서 측정한 값과는 다이얼 인디케이터 값의 부호가 반대로 나타나므로 유의하여야 한다.

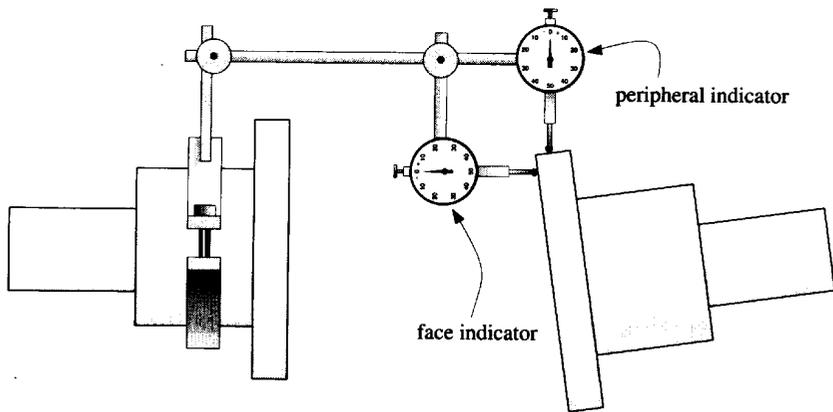


그림 2-29 Coupling Face와 Rim을 다이얼 인디케이터로 측정하는 방법

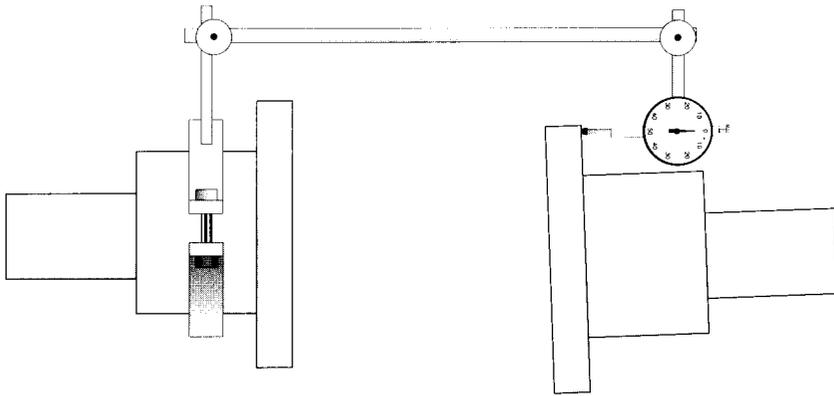


그림 2-30 커플링 뒷면에서의 Face 측정

**(1) 장점**

- ① 이 기법은 기계 축의 한쪽이 회전될 수 없거나 회전시키기 어려운 상황에서 사용하기 좋은 방법이다. 이 기법을 사용하는 많은 사람들은 Rim 및 Face 측정용 다이얼 인디케이터는 각각 축중심선의 편차 및 각도(Face)를 나타내고 있음을 알고 있다.
- ② 8"이상의 대형 원주면에서 Face 값을 수집할 때 사용하기 좋은 기법이다. 이 기법은 Face면 직경이 Rim 인디케이터 설치 지점과 Bracket 설치위치까지의 거리 이상일 때 리버스 인디케이터 기법의 정확도에 접근하게 된다.

**(2) 단점**

- ① 양축이 회전할 수 있고 특히 Face 측정면이 8" 보다 적다면 리버스 인디케이터 방법만큼 정확도가 좋지 않다.
- ② 만약 기계 축이 슬라이딩 베어링으로 지지되어 있다면 축방향 또는 양방향으로 쉽게 움직이므로 Face 측정값이 나쁘거나 부정확하다.
- ③ Bracket 치짐 값은 반드시 측정하여 보정해 주어야 한다.

**(3) 측정 절차**

- ① Bracket를 한 축에 확실히 고정하고 다른 축의 Face 및 원주(Rim)에 다이얼 인디케이터 지침을 위치시킨다.
- ② Rim 측정용 다이얼 인디케이터를 12시 방향에 위치시키고 Face 측정용 다이얼 인디케이터는 12시, 6시 방향 혹은 3시, 9시 방향에 위치시키고 다이얼 인디케이터 큰 지침을 "0" Setting한다 (이때 작은 지침은 눈금의 정확히 절반 예를 들어 전체 눈금이 10 mm라면 5에 맞추는 것이 좋다).

- ③ 두 축을 천천히 회전시켜 매 90° 회전시 마다(3, 6, 9시 방향) 축을 정지하고 각 다이얼 인디케이터로부터 측정값을 기록한다(이때 회전시 Jacking Oil Pump를 운전하였다면 측정시는 이를 정지하여야 한다).
- ④ 12시 방향으로 재 위치시켜 다이얼 인디케이터 눈금이 “0”로 원위치 되는가 확인한다.
- ⑤ 2~4번 측정하여 측정값의 일관성 여부를 확인한다.

**(4) Face 측정치 계산 방법 (그림 2-31 참조)**

Face 측정용 Dial Indicator가 1개 설치한 경우 이의 값을 기록하면 되지만 정확한 측정(축의 축방향 이동량 제거)을 위하여 2개 Dial Indicator를 설치한 경우는 다음과 같이 두 Dial Gauge의 지시치를 계산하여야 한다.

- ① 짝이 되는 두값 a1b3, a2b4, a3b1, a4b2의 평균값을 다음식으로 계산한다.  
 평균값=(a1+b3)/2, (a2+b4)/2, (a3+b1)/2, (a4+b2)/2 등
- ② 수직방향 및 수평방향으로 반대편 평균값과의 차가 해당 면에서 축방향 Runout(Face 값)이다.

수직방향 Face 값(Axial runout)=(a1+b3)/2 - (a3+b1)/2

수평방향 Face 값(Axial runout)=(a2+b4)/2 - (a4+b2)/2

여기서 어느 방향으로 Open 되었는가는 측정값들의 변화 즉 상/하일 경우 a1→a3, b1→b3 값으로 좌/우일 경우 a2→a4, b2→b4 값으로 알 수 있다. 수평방향과 수직방향 Face값이 따로 계산된 결과를 통상의 방법처럼 상, 하, 좌, 우를 동시에 표시할 수도 있는데 이 경우는 상부값을 “0”로 하여 환산해야 하며 환산 규칙은 상부값이 “0”일 때 좌/우 값의 합이 하부 값이 되어야 한다는 유효 법칙(Validity Rule)을 이용한다. 그러나 실제로 측정오차, 커플링의 불완전 등으로 상기 규칙을 완전히 만족시키지 못할 때가 많으나 통상 허용되는 오차 한계(1 mil, 0.025 mm)이내 이면 문제가 되지 않는다.

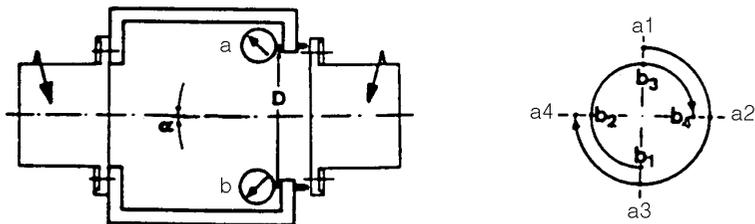


그림 2-31 Face 측정에 2개의 Dial Indicator를 사용한 경우

### 3.3 커플링 面과 圓周 測定技法 II (Face and Rim Technique II)

이 기법은 Rigid Coupling이나 Flexible Coupling 형식 모두 즉 기계의 커플링 사이 거리가 작거나 크거나에 관계없이 적용할 수 있는 방법이나 커플링간의 거리가 멀어지고 커플링 직경이 작을수록 측정 정도가 떨어진다. 이 기법은 전술한 커플링 면과 원주 측정기법 I 과 거의 같은데 다만 다른 점은 Face값의 측정을 다이얼 인디케이터가 아닌 Block Gauge, Feeler Gauge, 내경 마이크로미터 등으로 측정한다는 것이다. Coupling 사이의 거리가 가까우면 Block Gauge나 Feeler Gauge로 측정하고 먼 경우 내경 마이크로미터로 측정한다.

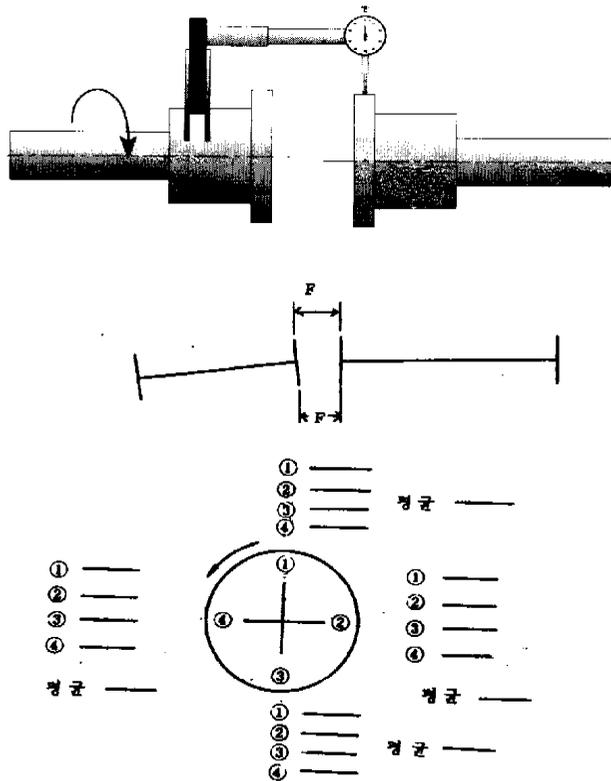


그림 2-32 Rim은 Dial Gauge로 측정하고 Face는 직접 측정하는 기법

#### (1) 측정 절차

- ① 추력 베어링이 없는 로터는 회전중 로터가 축방향으로 이동되지 않도록 Stopper를 설치한다.
- ② 로터를 수회 회전시킨다 (베어링에 수동 급유후).

- ③ Dial Indicator를 상부에 설치하고 눈금을 “0”로 맞춘후 상, 하, 좌, 우의 Face값을 측정한다.
- ④ 두 축을 회전 방향으로 동시에 90°씩 회전시켜 Dial Indicator값을 읽고 상, 하, 좌, 우의 Face값을 측정한다 (4×4=16번 측정).
- ⑤ 두 축을 완전히 1회전시킨 상태에서 Dial Indicator 지시값이 최초 설정치인 “0”로 복귀하는가 확인한다.
- ⑥ 4회 측정된 Face값을 평균하고 이 값들을 다시 상부 값을 “0”으로 환산한 상대값을 계산하여 기록한다.

### 3.4 逆 인디케이터 技法 (Reverse Indicator Technique)

이 기법은 Indicator Reverse Technique 또는 Double Dial Technique이라고도 한다. 이는 두 개의 Dial Indicator로 Rim만을 측정하여 두 축의 상관 위치를 확인, 수정하는 방법으로 기계가 Flexible Coupling으로 연결되어있어 측정하는 축간 간격이 큰경우(65 mm~750 mm) 그 정확성과 측정 시간상 유리하며 점차 널리 이용되고 있다.

#### (1) 장점

- ① Bracket의 설치 지점으로부터 인디케이터 설치 지점까지 거리가 Face 측정면 외정보다 더 크기 때문에 이 기법이 페이스-림 기법보다 더 정확하다.
- ② 만약 기계가 슬라이딩 베어링으로 지지되고, 측정하기 위해 축을 회전 시킬 때 축이 앞, 뒤 축방향으로 움직여도 측정값의 정확도에는 별 영향이 없다.
- ③ Flexible Coupling이 설치된 상태에서 사용될 수 있다.

#### (2) 단점

- ① 양축이 회전 되어야 한다.

#### (3) 측정 및 기록

그림 2-33은 역 다이얼 지시계 측정 방법을 수행하는 절차를 나타낸다. 비록 8 단계로 나타내지만, 각 커플링 위에서 2개의 Dial Indicator와 두 개의 연장 막대기를 사용 하여 동시에 측정하면 4단계로 줄일 수 있다. 만약 한 개의 지시계를 사용하여 8단계의 절차를 사용한다면, 두 축을 함께 회전시키는 것을 원칙으로하고 한쪽을 회전시키는 것이 어려울 경우 지침이 가리키는 허브의 Runout이 무시할 수 있는가를 확인하여야 하는데 이는 축을 회전시켜 바늘이 움직이지 않는가를 확인하여 커플링 자체의 Run Out을 무시할 수 있는지를 확인하여야 한다. 양 축을 회전한다는 것은 2개의 회전 중심선을 일치시키는 것임을 알아야 한다. 하나의 축만을 회전시킨다는 것은, 하나

의 회전 중심선을 표면에 일치시키는 것이다.

비록 그림 2-33에서는 명확하게 나타나지 않았지만, 한 별의 다이얼 지시계를 사용하는 측정법은 지시계가 상부에 돌아왔을 때 최초의 측정값인 제로가 반복될 때 완료된다. 측정은 최소한 두 번 이상 실시하여 두 측정값이 적절한 허용 한계치 이내로 반복되어야 한다. 또한 수평 및 수직 방향 다이얼 지시계 기록치의 대수합이 1 mil(0.03 mm) 이내의 값을 가질 때 이들 측정값이 유효한 것으로 간주한다. 이들 측정법 절차를 순차적으로 기록하면 다음과 같다.

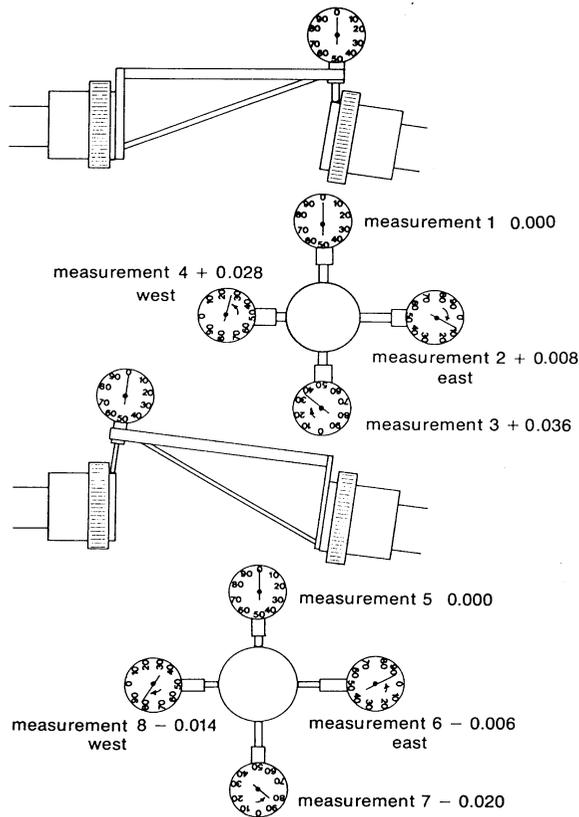


그림 2-33 역 다이얼 지시계 측정법

- ① Bracket를 축에 부착하고 다른 축의 원주에 Indicator를 위치시킨다.
- ② 12시 방향과 6시 방향에서 Indicator를 “0”에 맞춘다.
- ③ 두 축을 90°씩 회전하면서 3, 6, 9시 방향에서 지시치를 기록한다.
- ④ 12시 방향으로 복귀되었을 때 Indicator가 “0”로 원위치되었나 확인한다.

- ⑤ 2~4단계를 다시 반복하여 측정값의 재현성을 확인한다.
- ⑥ 만약 Bracket 하나를 사용하였으면 다른 축에 Bracket를 장착하여 1~5 단계를 반복한다.

### 3.5 더블 레이디얼 인디케이터 技法 (Double Radial Indicator Technique)

이 기법은 그림 2-34와 같이 측정하며 비록 자주 쓰이지는 않지만 이 절에서 설명된 다른 방법들과 비교해서 약간 뚜렷한 장점을 갖고 있다. 이 방법은 측정 포인트 사이가 최소한 3" 이상인 곳에서만 사용된다. 이 기법의 정확도는 측정 포인트 거리가 멀어질 때 증가한다. 이 기법의 단점은 이 기법의 장점을 살리기 위해서는 인디케이터를 가능한 멀리 이격시켜야 하는데 아주 특별한 경우를 제외하고는 축의 노출면이 충분하지 않다는 것이다.

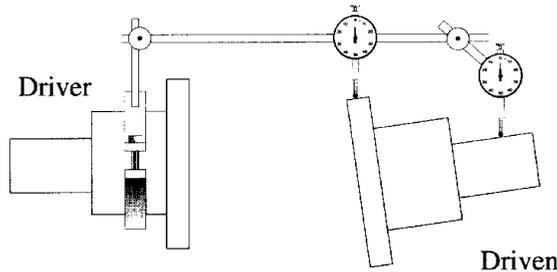


그림 2-34 더블 레이디얼 인디케이터 기법

#### (1) 장점

- ① 이 기법은 기계 한쪽축이 회전될 수 없거나 회전 시키기 힘든 경우에 사용하기 좋은 기법이다.
- ② 베럴 내경과 같은 내경 표면부 측정에도 사용할 수 있다.
- ③ 다이얼 인디케이터 측정 지점 간격이 8"이상 일 때 사용하기 좋은 방법이다. 이 방법은 한축에 설치되는 두 개의 다이얼 인디케이터 사이의 거리가 리버스 인디케이터 기법에서 다른 축간에 설치한 다이얼 인디케이터 사이의 거리와 같거나 클 경우 리버스 인디케이터 기법의 정확도와 비슷하다.

#### (2) 단점

- ① 정확도를 얻기 위해 필요한 길이 만큼 축이 노출된 경우가 거의 없다.
- ② 기계가 슬라이딩 베어링으로 지지되고, 측정하기 위해 축을 회전시킬 때 축이 앞, 뒤 방향으로 움직인다 해도 측정치의 정확도에는 사실상 영향이 없다.

고 간주한다.

③ 브라켓 처짐은 측정해서 보정해야 한다.

### (3) 측정 절차

- ① 한 축에 브라켓을 견고히 설치하고 인디케이터를 다른 축의 원주면에 설치하는데 두 인디케이터는 축방향으로 충분한 거리를 두어 위치시킨다.
- ② 12시 위치에 “0”을 맞춘다.
- ③ 축과 브라켓을 90°간격으로 3, 6 및 9시 위치로 회전시키면서 측정값을 기록한다.
- ④ 12시 위치로 돌아 왔을 때 “0”을 가리키는지 확인한다.
- ⑤ ②~③항을 반복해서 첫 번째 측정값이 정확한지 확인한다.
- ⑥ 만약 한 개의 브라켓을 사용했다면 다른 축에 브라켓을 옮겨 ①항에서 ⑤항을 반복한다.

### 3.6 軸-커플링 스펴 技法 (Shaft to Coupling Spool Technique)

회전 기계의 양축이 전술한 다이얼 인디케이터 기법을 적용하기에 너무 멀리 떨어진 경우가 있다. 양축 끝 사이 거리가 75 cm~100 cm를 초과할 때 그림 2-35와 같은 축-커플링 스펴 기법의 사용이 추천된다. 이 기법은 쿨링 타워 팬 구동장치, 유니버설 조인트로 연결된 종이 공장의 압축 롤러 구동 장치, 건조기의 구동부, 자동차 구동축 계통, 가스 터빈과 발전기 또는 압축기 등에 적용될 수 있다. 이 기법을 사용할 때 적절한 정확도를 얻기 위해서는 커플링 양끝점에서 다이얼 인디케이터 측정 지점까지 거리가 적어도 10 cm 이상이어야 한다. 이 기법을 적용하기 위해 계측기를 설치할 때 커플링에서 인디케이터 측정 지점까지 거리와 양 커플링 사이의 거리비는 적어도 1:15 이상이어야 한다. 예를 들어 커플링 사이의 거리가 300cm라면 커플링에서 다이얼 인디케이터 측정 지점까지 거리는 적어도 20cm가 되어야 한다.



그림 2-35 Shaft-coupling Spool 기법

(1) 장점

- ① 두 축 사이의 거리가 극히 멀 때 가장 정확한 측정 기법이다.
- ② 계측기 설치하기가 쉽고 측정이 쉽다.

(2) 단점

- ① 커플링 스펴 (잭 샤프트라고도 함)이 설치되어 있으므로 양축이 함께 회전 되어야 한다.

(3) 측정 절차

- ① 한쪽 또는 양쪽축에 정렬 브라켓을 견고히 설치하고 인디 케이터를 다른 축의 원주면에 설치한다.
- ② 12시 위치에 “0”을 맞춘다.
- ③ 브라켓을 90° 간격으로 3, 6 및 9시 위치로 회전시키면서 측정값을 기록한다.
- ④ 12시 위치로 돌아 왔을 때 “0”을 가리키는지 확인한다.
- ⑤ ②~③항을 반복해서 첫 번째 측정값이 정확한지 확인한다.
- ⑥ 만약 한 개의 브라켓을 사용했다면 다른 축에 브라켓을 옮겨 ①항에서 ⑤항을 반복한다.

3.7 페이스-페이스 커플링 스펴 技法 (Face-Face Technique)

양축 사이 거리가 멀 때 측정될 상태 측정에 사용되는 또 하나의 방법은 그림 2-36에서 보는 것과 같은 페이스-페이스 기법이다. 이 방법은 커플링 양쪽에서 각각 커플링의 Flexing Point 반대쪽으로 Face 값을 측정한다. 이 기법을 사용하는 사람은 적지만 이 기법이 구체화된 미국에서 최초로 측정될 분야 특허중의 하나로 출원되었다. 이 방법은 커플링 스펴 기법 만큼 정확하지는 않지만 이 방법을 사용하여야 하는 경우가 가끔 있다. 이 기법의 정확도는 페이스 측정면의 외경이 증가할수록 증가한다.



그림 2-36 Face-face Spool 기법

**(1) 장점**

① 브라켓을 기계축에는 부착할 수 없고 스펴 피스에 부착할 수 있을 때 좋은 방법이다.

**(2) 단점**

① 축정부 직경이 작을 때는 축-커플링 스펴 기법 만큼 정확하지 않다.

**(3) 측정 절차**

- ① 커플링 스펴에 측정법 측정용 브라켓을 견고히 설치하고 지침이 축의 커플링 허브 “Face”를 읽도록 인디케이터를 설정한다.
- ② 12시 위치에서 인디케이터를 “0”에 맞춘다.
- ③ 브라켓을 90°간격으로 3, 6 및 9시 위치로 회전시키면서 측정값을 기록한다.
- ④ 12시 위치로 돌아 왔을 때 “0”을 가리키는지 확인한다.
- ⑤ ②-③항을 반복해서 첫 번째 측정값이 정확한지 확인한다.
- ⑥ 만약 한 개의 브라켓을 사용했다면 다른 축에 브라켓을 옮겨 ①항에서 ⑤항을 반복한다.

**3.8 不正確한 測定값의 發生 原因****(The Causes of Inaccurate Measurement Values)**

전술한 측정법 방법을 수행할 때 측정된 값이 두 축사이의 정확한 상대 위치를 나타내지 못할 가능성은 항상 존재한다. 실제로는 측정법 상태 측정시 고려되어야 할 다양한 문제들이 있다. 이상적인 상태에서는 좌/우 측정값의 합이 상/하 측정값의 합과 같아야 한다는 유효 법칙을 만족하여야 한다. 그러나 실제 상황에서 이를 만족하는 경우는 거의 없으며 통상 이 값의 차이가 가장 큰 측정값의  $\pm 10\%$  이내일 경우 유효한 것으로 본다. 유효 법칙이 완벽하게 만족되지 않는 이유에는 다음과 같은 부정확 요인들이 측정치에 포함되기 때문이다.

**3.8.1 不正確한 Face값의 原因 (The Causes of Inaccurate Face Values)****(1) 회전중 축의 축방향 이동**

측정법 상태 측정시 축을 회전시킬 때 축이 축방향으로 이동하는 경향이 있다. 이런 경우는 Hydrodynamic-type(Kingsbury) 추력 베어링을 가지는 기계에서는 축을 90°회전시킬때 마다 추력 베어링 쪽으로 밀어 붙이는 것이다. 가벼운 로터의 경우는 손만으로도 가능하나 무거운 로터의 경우는 Hydraulic Jack을 사용한다. 또

## 1290 — 제3편 기계의 정비 기술

한 축이 밀리지 않도록 Stopper를 설치할 수도 있다. 그러나 다이얼 인디케이터 하나로 Face를 측정할 경우 근본적으로 Error를 방지할 수 없으며 두 개 다이얼 인디케이터를 사용하여 Face를 측정하던가 또는 측정될 측정값은 두 축간의 상태값이므로 축을 90°회전시킬 때마다 내경 마이크로미터나 Block Gauge로 Face값을 측정하여야 축 회전시 축의 축방향 위치가 이동되더라도 그 영향이 제거된 참 Face값을 얻을 수 있다.

### (2) Indicator Stem의 고착

Indicator가 아무리 최상품이라 할 지라도 고착이 될 수 있으며 이를 방지하는 가장 쉬운 방법은 Stem 기어의 Binding을 제거하기 위하여 손으로 Indicator나 Bracket를 가볍게 두드리는 것이다. 만약 Stick 현상이 심하면 Indicator를 교체해야 한다.

### (3) 정확히 90°를 회전시키지 않고 측정

측정될 시행은 축을 좌우(9시, 3시 방향)로 조정 하거나 상하(12시, 6시 방향)로 조정하게 된다. 축을 좌우로 조정할 때는 상하값에 영향을 미치지 않으며 그 반대의 경우도 성립한다. 따라서 축상에 12, 3, 6 및 9시 방향에 측정점을 취하는 것이다. 그런데 측정될 측정시 인디케이터 스템이 측정점인 3, 6, 9, 12시 위치를 조금만 벗어나도 오차가 발생한다. 두 축을 정확히 90°씩 회전시켜 인디케이터 스템이 제 위치에 오도록 하기 위해서는 커플링 원주상에 표시를 해 놓는 것이 좋다. 현장에서 흔히 사용하는 방법은 두 축을 실제 결합하는 상태로 놓고 정상위치를 12시(0°)로 표시하고 커플링 원주를 측정하여 이를 4등분한 거리마다 3시, 6시, 9시 방향으로 정하고 표시한다.

### (4) Bracket 조립체의 헐거움

Bracket와 Dial Indicator가 단단히 고정되었는가 확인한다.

### (5) Indicator 스템이 커플링 허브의 측정면에 접촉되지 않는 경우

회전하는 과정중 어떤 위치에서 Indicator 스템이 측정면에 접촉되지 않아 "0" 점을 재 설정하여야하는 경우가 있다. 360°전 회전에 걸쳐서 스템이 접촉하는지 또 측정값이 0.30 mm인지, Indicator 바늘이 한바퀴 돌아 1.30 mm인지 확인하기 위하여 작은 바늘의 위치 변화를 항상 읽는 습관을 갖아야 하며 Indicator 바늘의 움직이는 방향도 주시하여야 한다.

## 3.8.2 Rim 값의 不正確한 原因 (The Causes Inaccurate Rim Values)

### (1) Bracket 처짐

Bracket가 12시 방향에서 6시 방향으로 회전하면 인디케이터와 Bracket Bar의 무게에 의하여 Bracket의 처짐이 발생하여 이 처짐에 의한 측정 오차가 발생하는데

만약 Bracket의 처짐 특성(량)을 알면 이를 보상할 수 있다. Bracket의 처짐 특성을 측정하는 방법은 그림 2-37과 같이 Roller Stand로 지지된 4~6 inch 직경의 파이프에 Indicator와 Bracket를 설치하여 12시 방향에서 Dial Indicator의 지시치를 “0”로 맞춘다. 이때 Indicator는 실제 측정하려는 기계의 커플링 거리 만큼에 위치토록 한다. 축과 Indicator Set를 함께 90°씩 회전시켜 처짐량을 측정한다. 보통 양측면에서의 측정값은 하부 측정값의 절반이다. 그리고 모든 측정값은 음(-)값이나 항상 그렇지 않다.

이것을 보상하기 위해서는 실제 측정치에 이 처짐 측정값을 더한다. 처짐값을 최소로 하기 위하여 Bracket에 보상추를 부착할 수 있다.

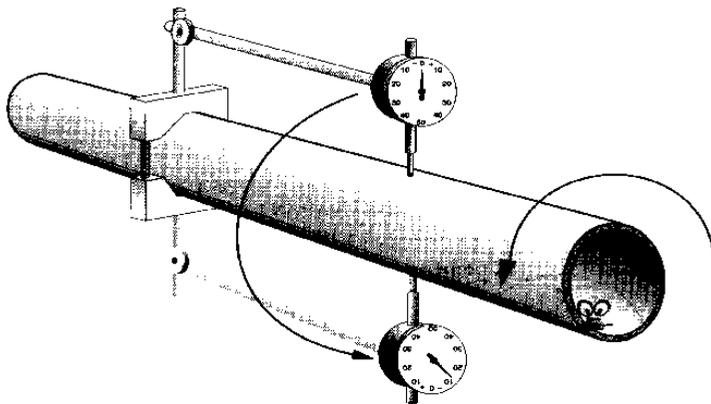


그림 2-37 Bracket의 처짐량 측정

## (2) 측정면의 타원형 그리기

만약 축에 Angular Misalignment량이 크면 인티케이터의 스템이 그림 2-38과 같이 타원형을 그린다. 이것을 보정하는 방법은 없다. 여러 경우에 축은 설비의 Thermal Growth를 고려하여 상온 조립 목표치가 Angular 값을 가지고 있기 때문에 측정면의 타원 그리기 현상은 이런 경우 필연적으로 발생한다.

Thermal Growth에 대하여는 다음에 설명하겠지만 여기서는 이런 현상이 존재하며 이것이 측정치의 부정확을 유발함을 인식하는 것이 중요하다. 현장에서 Dial Indicator로 측정을 할 때 처음 측정된 값이 정확한 값인가를 확인하기 위하여 두 번 측정하는 것이 중요하다. 만약 측정값이  $\pm 10\%$  이내로 일치하지 않으면 다시 측정하여야 한다. 만약 측정값이  $\pm 10\%$  이내로 일치하면 평균값을 사용한다.

(3) 기타 문제점

Indicator Stem의 Stick, 정확히 90°를 회전시키지 않고 측정할 때, Bracket 조립체가 헐거울때 및 축이 만곡되었거나 커플링 허브내경이 잘못가공 되었을때는 Rim 값도 Face값의 부정확한 원인 항에서 언급한 내용과 같이 부정확한 결과를 초래한다.

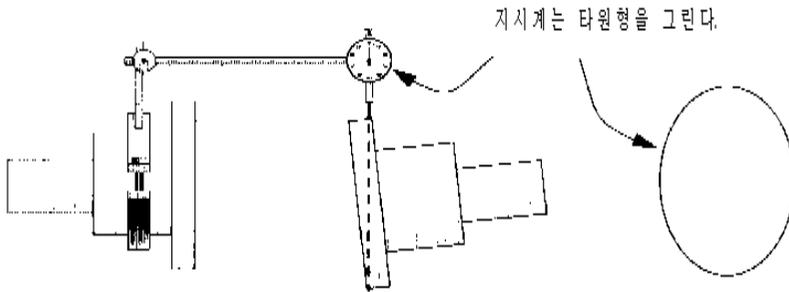


그림 2-38 측정면에서 인디케이터의 타원 그리기

3.8.3 軸整列 測定값 記録시 留意 事項 (Recording Rule of Measurement)

- ① Alignment 측정자, 측정 일시를 기록한다.
- ② Dial Indicator가 고정된 커플링과 지침이 지시한 커플링을 표시한다 (이것이 바뀌면 같은 측정값이라도 커플링의 위치는 반대가 됨).
- ③ Alignment 측정시의 기계 상태와 주변 조건(분해시, 조립시, 케이싱 조립 여부, Water 충수 여부 등)을 기록한다.
- ④ Face의 경우 측정 공구가 무엇이든 간에 실제 상태로 부호를 바꾸어 기록함을 원칙으로 한다(사용 계측기, 측정 방법에 따라 부호가 반대로 나타날 수 있다).

4. 軸整列을 위한 作圖, 計算 및 練習

(Plot, Calculation and Exercise for Shaft Alignment)

4.1 軸整列 公式 (Formula for Shaft Alignment)

4.1.1 概要 (Summary)

이 측정렬 고정방법은 Rigid Coupling을 가지는 모든 회전기계 특히 고속, 대형 및 다축 회전기계 측정렬에 아주 적합한 방법이다. 또한 이 방법은 큰 Spool Piece

가 없는 Flexible Coupling에도 적용할 수 있다.

축간의 측정법 상태를 측정한다는 것은 일반적으로 커플링에서 Face값과 Rim값을 측정하는 것이고, 측정법의 이상적인 최종 목표는 회전기계가 정상운전 조건(Hot 상태)하에서 Face 및 Rim 값이 모두 “0”인 Smooth Alignment 상태가 되도록 정지중 상온 상태(Cold 상태)하에서 미리 조정하는 것이다. 이와같이 열성장하는 회전기계에 대해서는 제작자가 상온상태(Cold 상태)에서의 측정법 설계도(Catenary Diagram)를 제공하고 있다. 그러나 이 측정법 선도(기준치)는 열계산 결과의 값이므로 실 기계에서는 운전상태에 따라 다를 수 있으므로 운전 및 정비이력을 면밀히 조사 분석하여 최적 측정법 상태를 구하여 이를 기준하여 측정법을 제시도 하여야 한다.

Alignment 값은 인접 로터 Coupling간의 상대적인 값이므로 한 로터를 기준으로 할 때 조정하고자 하는 로터의 Face 및 Rim 값이다. 예를들면 그림 2-39와 같이 LP Rotor를 기준으로 하여 HP Rotor를 조정하고자 한다. 측정법은 베어링을 이동하는 것이므로 Bearing Alignment라고도 한다. 따라서 HP Rotor를 이동, 조정할 때 #1 베어링을 이동하는 경우와 #2 베어링을 이동하는 방법 및 #1, 2 베어링을 동시에 이동하는 방법이 있게된다.

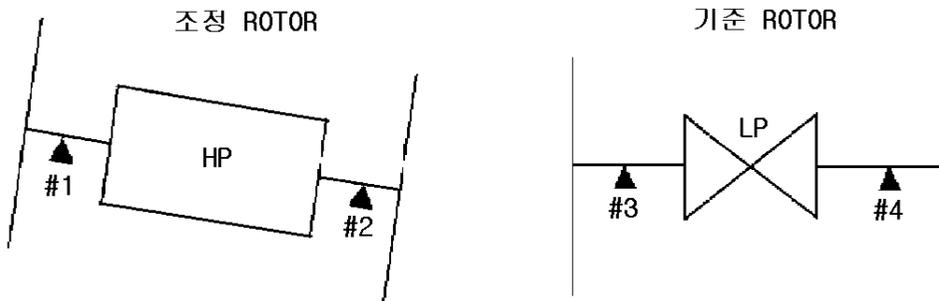


그림 2-39 기준 로터와 조정 로터

#### 4.1.2 #1 베어링 調整 (Movement of #1 Bearing)

그림 2-40은 조정 로터인 HP Rotor의 #1 베어링을  $h$ 만큼 이동 시켰을 때 Face( $f$ )와 Rim( $r$ )의 변화치를 구하려는 것이다. 이 그림에서  $\triangle MON \sim \triangle TOP \sim \triangle QTP \sim \triangle SQR$ 이다. 따라서  $a : h = d : f = b : r$ 이므로 다음 식이 성립된다.

$$h = \frac{a}{d} \cdot f \quad f = \frac{d}{a} \cdot h \quad r = \frac{b}{a} \cdot h$$

여기서  $\frac{a}{d}$ ,  $\frac{d}{a}$ ,  $\frac{b}{a}$ 는 회전기계 마다 고정된 값이다.

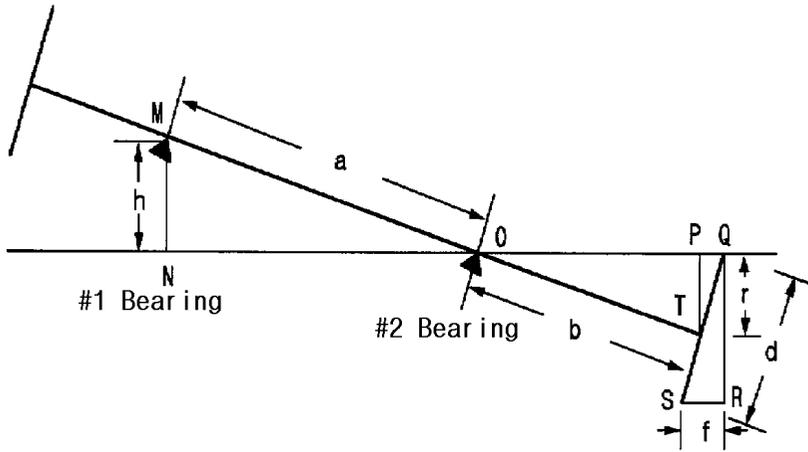


그림 2-40 기준 로터로부터 멀리 떨어진 #1 베어링 이동

#### 4.1.3 #2 베어링 調整 (Movement of #1 Bearing)

앞에서와 같은 요령으로 여기서는 #2 베어링을 h만큼 이동 시켰을 때 Face(f)와 Rim(r')를 구한다. 그림 2-41에서  $\triangle MON \sim \triangle TOP \sim \triangle QTP \sim \triangle SQR$ 이다. 따라서  $a : h = d : f = (a+b) : r'$ 이므로 다음 식이 성립된다.

$$h = \frac{a}{d} \cdot f \quad f = \frac{d}{a} \cdot h \quad r' = \frac{(a+b)}{a} \cdot h$$

여기서  $\frac{a}{d}$ ,  $\frac{d}{a}$ ,  $\frac{(a+b)}{a}$ 는 회전기계 마다 고정된 값이다.

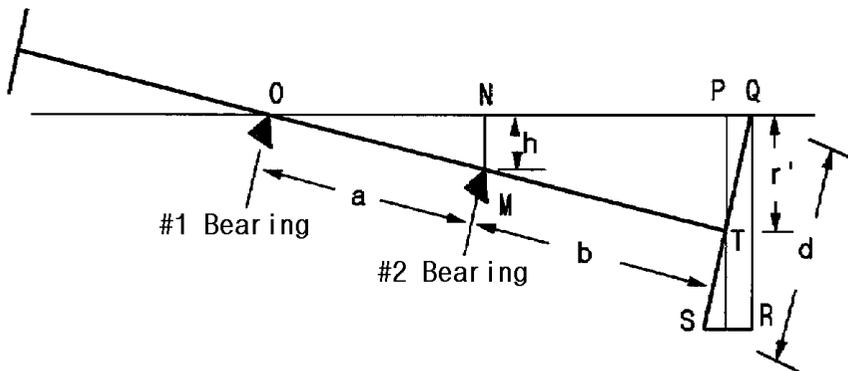


그림 2-41 기준 로터로부터 가까운 베어링 이동

앞의 공식들을 종합하면 다음과 같다.

- #1 베어링 이동량  $h$ 는 측정된 Face값( $f$ )에 따라 결정될 수 있다.
- Face( $f$ ) 값은 베어링 이동량( $h$ )에 따라 결정된다.
- Rim( $r$ 와  $r'$ ) 값은 베어링 이동량( $h$ )에 따라 결정된다.
- Face 값을 조정할 경우는 조정 로터의 어느 베어링이든 Face값에 해당하는 베어링 이동량( $h$ )은 같다.
- 기준 로터로부터 먼 베어링과 가까운 베어링을 동일량 이동( $h$ ) 시켰을 때 커플링 중심점 이동량(Rim 값인  $r$ 와  $r'$ )은 각각 다르다.

#### 4.1.4 Alignment Table의 應用 (Application of Alignment Table)

측정법 공식을 이용하면 어느 회전기계이던 쉽게 측정법을 시행할 수 있다. 그러나 측정, 교정시 마다 계산을 하는 것은 번거로우므로 이를 Table로 만들어 놓으면 영구적으로 편리하게 사용할 수 있다. 표 2-2는 평택화력 1, 2호기 터빈의 측정법 표이다. 여기서  $f$ 는 Face이고  $h$ 는 베어링 이동량, 또  $r$ 는 기준 로터로부터 먼쪽에 있는 베어링을 이동할 때 Coupling Rim의 변화량이고  $r'$ 는 기준 로터로부터 가까운 쪽에 있는 베어링을 이동할 때 Coupling Rim의 변화량이다. 여기서  $r$ 과  $r'$ 의 값은 TIR(Total Indicator Readings)값이 아니고 로터 중심의 이동량 즉 TIR 값의 1/2임에 주의를 요한다.

표 2-2a 축정렬표 (Shaft Alignment Table)

ROTOR 배치도									
F	기준	LP1 Rotor 기준				HIP Rotor 기준			
		#1 BRG이동시		#2 BRG 이동시		#3 BRG이동시		#4 BRG 이동시	
	H	C	H	CD	H	CD	H	C	
1	5.6	1.4	5.6	7.0	5.4	6.2	5.4	0.8	
2	11.0	2.8	11.0	14.0	11.0	12.0	11.0	1.5	
3	17.0	4.2	17.0	21.0	16.0	19.0	16.0	2.3	
4	22.0	5.6	22.0	28.0	22.0	25.0	22.0	3.1	
5	28.0	7.0	28.0	35.0	27.0	31.0	27.0	3.8	
6	34.0	8.4	34.0	42.0	33.0	37.0	33.0	4.6	
7	39.0	9.8	39.0	49.0	38.0	43.0	38.0	5.3	
8	45.0	11.2	45.0	56.0	43.0	49.0	43.0	6.1	
9	50.0	12.6	50.0	63.0	49.0	56.0	49.0	6.9	
10	56.0	14.0	56.0	70.0	54.0	62.0	54.0	7.6	
11	62.0	15.4	62.0	77.0	60.0	68.0	60.0	8.4	
12	67.0	16.8	67.0	84.0	65.0	74.0	65.0	9.2	
13	73.0	18.2	73.0	91.0	70.0	80.0	70.0	9.9	
14	78.0	19.6	78.0	98.0	76.0	86.0	76.0	10.7	
15	84.0	21.0	84.0	105	81.0	93.0	81.0	11.5	
16	90.0	22.4	90.0	112	87.0	99.0	87.0	12.2	
17	95.0	23.8	95.0	119	92.0	105	92.0	13.0	
18	101	25.2	101	126	97.0	111	97.0	13.7	
19	106	26.6	106	133	103	117	103	14.6	
20	112	28.0	112	140	108	123	108	15.3	

표 2-2b 측정렬표 (Shaft Alignment Table)

ROTOR 배치도									
기준 F	LP2 Rotor 기준				LP1 Rotor 기준				
	#3 BRG이동시		#4 BRG이동시		#5 BRG이동시		#6 BRG이동시		
	H	C	H	CD	H	CD	H	C	
1	4.8	1.1	4.8	5.9	4.8	5.9	4.8	1.1	
2	9.7	2.2	9.7	12.0	9.7	12.0	9.7	2.2	
3	14.5	3.2	14.5	18.0	14.5	18.0	14.5	3.2	
4	19.3	4.3	19.3	24.0	19.3	24.0	19.3	4.3	
5	24.1	5.4	24.1	30.0	24.1	30.0	24.1	5.4	
6	29.0	6.5	29.0	35.0	29.0	35.0	29.0	6.5	
7	33.8	7.6	33.8	41.0	33.8	41.0	33.8	7.6	
8	38.6	8.6	38.6	47.0	38.6	47.0	38.6	8.6	
9	43.4	9.7	43.4	53.0	43.4	53.0	43.4	9.7	
10	48.3	10.8	48.3	59.0	48.3	59.0	48.3	10.8	
11	53.1	11.9	53.1	65.0	53.1	65.0	53.1	11.9	
12	57.9	12.9	57.9	71.0	57.9	71.0	57.9	12.9	
13	62.7	14.0	62.7	77.0	62.7	77.0	62.7	14.0	
14	67.6	15.1	67.6	83.0	67.6	83.0	67.6	15.1	
15	72.4	16.2	72.4	89.0	72.4	89.0	72.4	16.2	
16	77.2	17.3	77.2	95.0	77.2	95.0	77.2	17.3	
17	82.0	18.3	82.0	100	82.0	100	82.0	18.3	
18	86.9	19.4	86.9	106	86.9	106	86.9	19.4	
19	91.7	20.5	91.7	112	91.7	112	91.7	20.5	
20	96.5	21.6	96.5	118	96.5	118	96.5	21.6	

표 2-2c 축정렬표 (Shaft Alignment Table)

ROTOR 배치도									
		GEN 기준				LP2 Rotor 기준			
F.	기준	#5 BRG이동시		#6 BRG이동시		#7 BRG이동시		#8 BRG이동시	
		H	C	H	CD	H	CD	H	C
1		4.5	1.1	4.5	5.5	8.2	9.1	8.2	0.9
2		9.0	2.2	9.0	11.0	16.0	18.0	16.0	1.8
3		13.5	3.2	13.5	17.0	25.0	27.0	25.0	2.7
4		18.0	4.3	18.0	22.0	33.0	36.0	33.0	3.7
5		22.4	5.4	22.4	28.0	41.0	46.0	41.0	4.6
6		26.9	6.5	26.9	33.0	49.0	55.0	49.0	5.5
7		31.4	7.6	31.4	39.0	57.0	64.0	57.0	6.4
8		35.9	8.6	35.9	45.0	66.0	73.0	66.0	7.3
9		40.4	9.7	40.4	50.0	74.0	82.0	74.0	8.2
10		44.9	10.8	44.9	56.0	82.0	91.0	82.0	9.1
11		49.4	11.9	49.4	61.0	90.0	100	90.0	10.0
12		53.9	13.0	53.9	67.0	98.0	109	98.0	11.0
13		58.4	14.0	58.4	72.0	106	118	106	11.9
14		62.8	15.1	62.8	78.0	115	127	115	12.8
15		67.3	16.2	67.3	84.0	123	136	123	13.7
16		71.8	17.3	71.8	89.0	131	146	131	14.6
17		76.3	18.3	76.3	95.0	139	155	139	15.5
18		80.8	19.4	80.8	100	147	164	147	16.4
19		85.3	20.5	85.3	106	156	173	156	17.3
20		89.8	21.6	89.8	111	164	182	164	18.3

표 2-2d 측정렬표 (Shaft Alignment Table)

ROTOR 배치도										
기준 F	LP2 Rotor 기준									
	#7 Foot이동시		#8 Foot이동시		F	#7 Foot이동시		#8 Foot이동시		
	H	CD	H	C		H	CD	H	C	
1	4.9	7.4	4.9	2.5	21	102	155	102	53.3	
2	9.7	15.0	9.7	5.1	22	107	163	107	55.9	
3	14.6	22.0	14.6	7.6	23	112	170	112	58.4	
4	19.5	30.0	19.5	10.2	24	117	178	117	61.0	
5	24.3	37.0	24.3	12.7	25	122	185	122	63.5	
6	29.2	44.0	29.2	15.2	26	126	192	126	66.0	
7	34.0	52.0	34.0	17.8	27	131	200	131	68.6	
8	38.9	60.0	38.9	20.3	28	136	207	136	71.1	
9	43.8	67.0	43.3	22.9	29	141	215	141	73.6	
10	48.6	74.0	48.6	25.4	30	146	222	146	76.2	
11	53.5	81.0	53.5	27.9	31	151	229	151	78.7	
12	58.3	89.0	58.3	30.5	32	156	237	156	81.3	
13	63.2	96.0	63.2	33.0	33	160	244	160	83.8	
14	68.1	104	68.1	35.6	34	165	252	165	86.3	
15	72.9	111	72.9	38.1	35	170	259	170	88.9	
16	77.8	118	77.8	40.6	36	175	266	175	91.4	
17	82.6	126	82.6	43.2	37	180	274	180	94.0	
18	87.5	138	87.5	45.7	38	185	281	185	96.5	
19	92.4	141	92.4	48.3	39	190	289	190	99.0	
20	97.2	148	97.2	50.8	40	194	296	194	102	

### 4.2 베어링 Shim Plate 調整 方法 (Adjustment of Bearing Shim Plate)

축정렬 작업은 축을 상, 하, 좌, 우로 이동하여 축을 정렬하는 것이다. 그런데 그림 2-42와 같이 축은 베어링 위에 얹혀있고, 베어링은 조정 Ring 위에 놓여있으며 또 조정 Ring은 베어링 페테스탈과 구면 접촉면을 갖는 베어링 Shim Pad에 의해 지지된다. Shim Pad와 베어링 사이에 Shim Plate가 있는데 이 두께를 가감하여 축을 이동하게 된다.

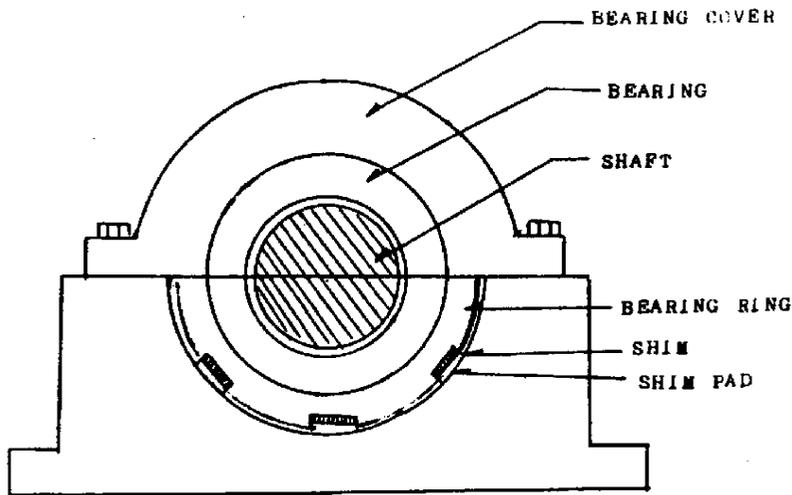


그림 2-42 베어링의 구조도

베어링을 상, 하, 좌, 우로 이동하고자할 때 Shim Pad의 위치가 수직(아래) 및 수평(좌, 우)에만 있으면 축정렬표 2-2를 그대로 이용하면 되는데 이 Shim Pad 위치가 회전기계마다 또 같은 회전기계라도 베어링마다 다른 경우가 많다.

이러한 경우 베어링의 상, 하, 좌, 우 이동량에 해당하는 Shim Plate의 조정량을 산출할 필요가 있다. 그림 2-43은 Shim Plate 조정량 산출 공식이다.

여기서 V = 베어링의 수직방향 이동량

Vc = Shim Plate의 수직 방향 가감량

H = 베어링의 수평방향 이동량

Hs = Shim Plate의 수평 방향 가감량

$\theta_1, \theta_2$  = Shim Plate 위치 각도

발전소 터빈 베어링의 Shim Plate 위치는 대략 표 2-3의 그림과 같으므로 베어링 이동량에 해당하는 각 Shim Plate 위치별로 Shim Plate 조정량을 앞의 공식에 따라 계산

하여 조정하면 되며 이를 이용하기 쉽게 표로 만든 것이 표 2-3의 Bearing Shim Table이다.

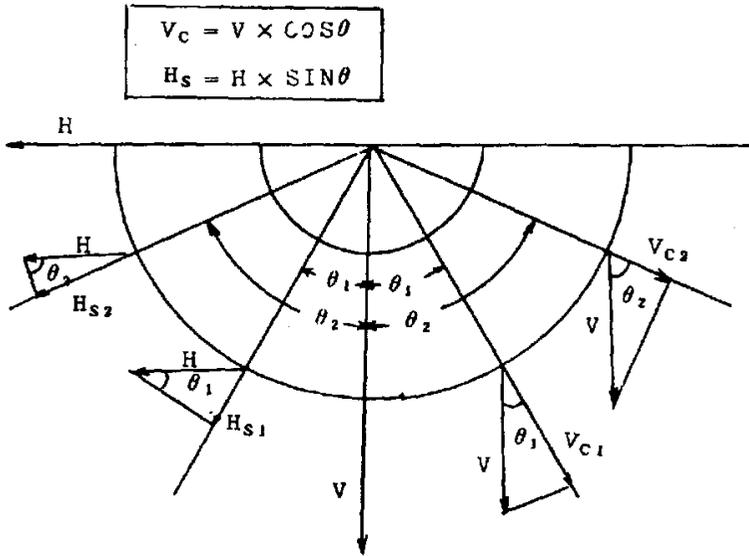
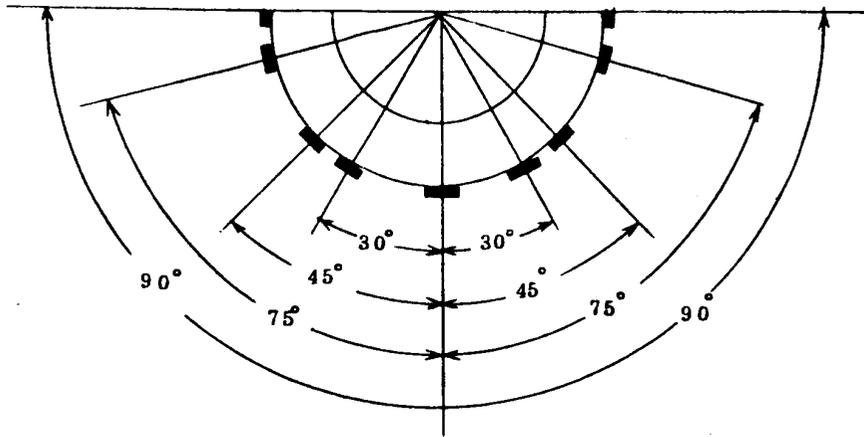


그림 2-43 베어링 이동량과 실제 shim 조정량 계산 공식

표 2-3 Bearing Shim Table



구분 위치 이동량	수 직 이 동 시 (Vc)						수 평 이 동 시 (Hs)					
	Bott- om	30	45	75	82	Side	LH Side	30	45	75	82	RH Side
1	1	0.9	0.7	0.3	0.1	0	± 1	0.5	0.7	1.0	1.0	± 1
2	2	1.7	1.4	0.5	0.3	0	2	1.0	1.4	1.9	2.0	2
3	3	2.6	2.1	0.8	0.4	0	3	1.5	2.1	2.9	3.0	3
4	4	3.5	2.8	1.0	0.6	0	4	2.0	2.8	3.9	4.0	4
5	5	4.3	3.5	1.3	0.7	0	5	2.5	3.5	4.8	5.0	5
6	6	5.2	4.2	1.6	0.8	0	6	3.0	4.2	5.8	5.9	6
7	7	6.1	4.9	1.8	1.0	0	7	3.5	4.9	6.8	6.9	7
8	8	6.9	5.7	2.1	1.1	0	8	4.0	5.7	7.7	7.9	8
9	9	7.8	6.4	2.3	1.3	0	9	4.5	6.4	8.7	8.9	9
10	10	8.7	7.1	2.6	1.4	0	10	5.0	7.1	9.7	9.9	10
11	11	9.5	7.8	2.8	1.5	0	11	5.5	7.8	10.6	10.9	11
12	12	10	8.5	3.1	1.7	0	12	6.0	8.5	11.6	11.9	12
13	13	11	9.2	3.4	1.8	0	13	6.5	9.2	12.6	12.9	13
14	14	12	9.9	3.6	1.9	0	14	7.0	9.9	13.5	13.9	14
15	15	13	10.6	3.9	2.1	0	15	7.5	10.6	14.5	14.9	15

### 4.3 軸整列 線圖 作成法 (How to Draw Shaft Arrangement Plot)

측정렬 상태 측정용 Dial Gauge를 그림 2-44와 같이 설치하고(실제로 이와 같이 설치하면 회전시 축의 축방향 이동으로 Face 측정값에 오류가 발생하나 여기서는 축방향 이동이 발생치 않는 것으로 가정하며 또한 Face 측정용 Dial Gauge 지침이 커플링 뒷면을 읽도록한 것은 Block Gauge로 측정한 값과 부호가 같도록 하기 위해 이렇게 설정한 것임), 기준 로터와 조정 로터를 동시에 90°씩 회전시켜 측정한 값은 다음과 같다. 이 경우 로터의 Alignment 상태를 수직면(상, 하 방향)과 수평면(좌, 우 방향)으로 나누어 작도해 본다.

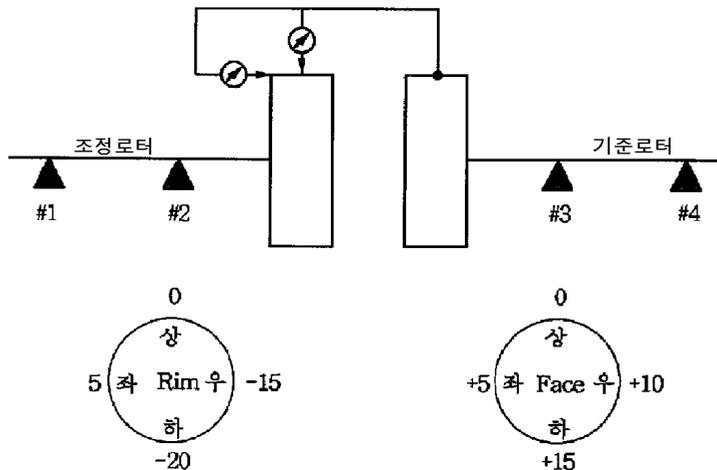


그림 2-44 Alignment 측정용 Dial Indicator 설치 예 (단위 : 1/100 mm)

#### 4.3.1 垂直(上, 下) 狀態圖 (Side View Plot)

- ㉞ Dial Gauge를 상부에 놓고 지침을 영(Zero)로 조정해 놓는다. 즉 Rim이나 Face 모두 시발점이 영(Zero)이다.
- ㉟ 두 로터를 180° 회전시켰을 때 Dial Gauge에 나타난 Rim값은 -0.20 mm, Face 값은 +0.15 mm를 나타냈다.
- ㊱ 상부를 기준(Zero Setting)으로 했을 때 Rim 값의 -0.20 mm는 조정 로터 커플링이 기준 로터 커플링보다 0.1 mm 올라가 있는 상태이다. 즉 측정값은 Dial Gauge의 지시치(TIR 값)이므로 Rim 측정 Dial Gauge 지시치 -0.20 mm의 반인 -0.10 mm 만큼 커플링의 중심이동이 Offset 되어있는 상태이다. 또한 부호가 (-)인 것은 기준 로터보다 조정 로터가 올라가 있는 상태를

말한다. 만일 (+) 기호이면 조정 로터가 기준 로터보다 밑으로 내려가 있는 상태이다. 이 상태를 그림으로 나타내면 그림 2-45와 같다.

- ㉞ 상기 ㉞항에서와 같이 Face 값도 상부에서 영(Zero)이고 두 로터를 동시에 180°회전시켰을 때 하부에서의 Gauge 지시치가 +0.15 mm이었다. 앞의 그림 2-44와 같이 계측기를 설치했기 때문에 (+) 부호는 기준 로터 커플링과 조정 로터 커플링이 상부보다 하부에서 0.15 mm 더 벌어져 있음을 나타낸다. 만일 (-) 부호라면 좁아져 있는 상태가 된다. 이를 그림으로 나타내면 그림 2-46과 같다.

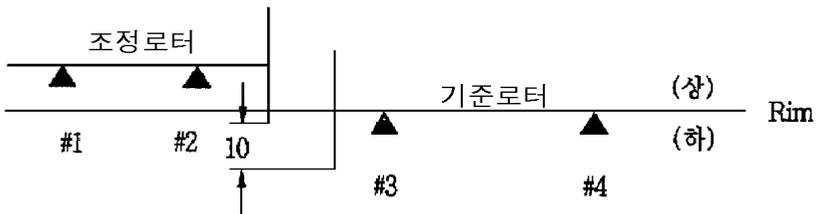


그림 2-45 Rim의 수직(상, 하) 상태도

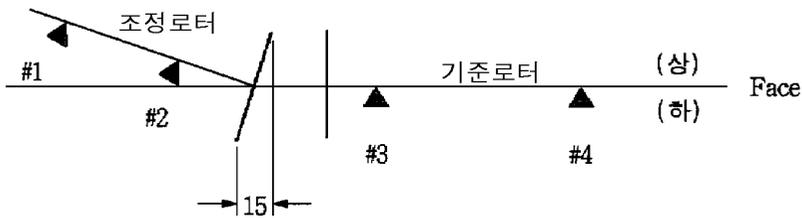


그림 2-46 Face의 수직(상, 하) 상태도

- ㉞ 상기 ㉞ 및 ㉞항에서 작도한 두 그림을 종합하면 그림 2-47과 같이 기준 로터에 대한 조정 로터의 상/하 방향의 상대 위치를 나타낸다. 즉 기준 로터에 대하여 조정 로터가 0.1 mm 올라가 있고 하부가 0.15 mm 벌어져 있는 상태이다.

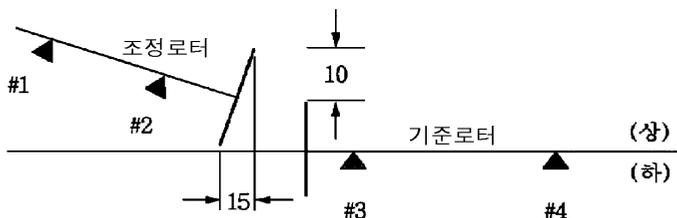


그림 2-47 Rim 및 Face의 수직(상, 하) 상태도

## 4.3.2 水平(左, 右) 狀態圖 (Top View Plot)

- ㉑ 수직 상태도에서는 상부를 기준점(Zero)으로 잡았으나 수평 상태도에서는 좌측을 기준점으로 삼는 것으로 한다.
- ㉒ 기준 로터와 조정 로터를 동시에  $90^\circ$  및  $270^\circ$ 회전 시켰을 때 Rim 및 Face의 TIR 값이 각각  $-0.05\text{ mm}$ ,  $-0.15\text{ mm}$ 와  $+0.05\text{ mm}$ ,  $+0.10\text{ mm}$ 이므로 좌측을 기준점으로 하면 Rim 값은  $90^\circ$ 에서  $0.0\text{ mm}$ ,  $270^\circ$ 에서  $-10\text{ mm}$ , Face 값은  $90^\circ$ 에서  $0.0\text{ mm}$ ,  $270^\circ$ 에서  $+0.05\text{ mm}$ 가 된다.
- ㉓ ㉒항에서 Rim의 TIR값이  $-0.10\text{ mm}$  이므로 기준로터와의 중심선으로부터는 TIR값의 반인  $-0.05\text{ mm}$  차이가 있게된다. Rim 값을 작도하면 그림 2-48과 같다.

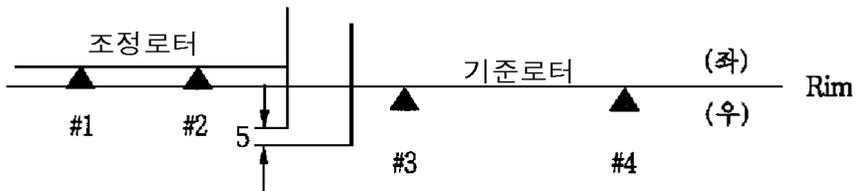


그림 2-48 Rim의 수평(좌, 우) 상태도

- ㉔ Face의 TIR 값이  $+0.05\text{ mm}$ 이므로 조정 로터의 우측 커플링 면이 기준 로터의 커플링 면으로부터  $0.05\text{ mm}$  떨어져 있는 상태가 된다. 이를 작도하면 그림 2-49와 같다.

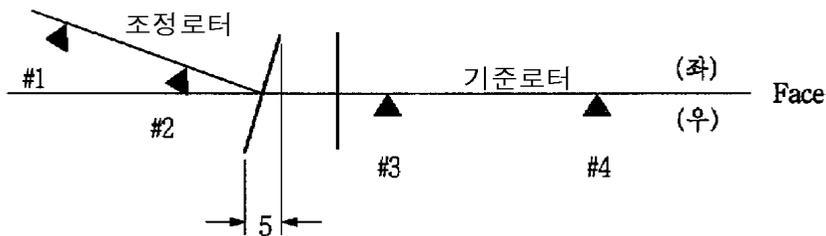


그림 2-49 Face의 수평(좌, 우) 상태도

- ㉕ 상기 ㉒ 및 ㉔항에서 작도한 두 그림을 종합하면 기준로터에 대한 조정 로터의 상대위치를 나타낸다. 즉 기준 로터에 대하여 조정 로터가 좌측으로  $0.05\text{ mm}$  이동되었고 우측이  $0.05\text{ mm}$  떨어져 있는 상태이다. 이를 종합 작도하면 그림 2-50과 같다.

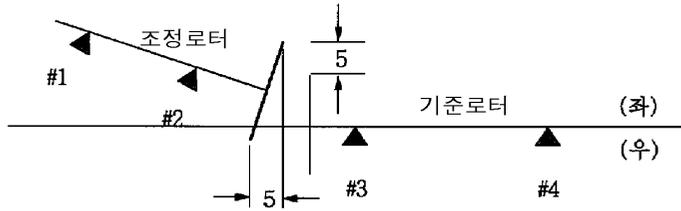


그림 2-50 Rim 및 Face의 수평(좌, 우) 상태도

#### 4.4 軸整列 圖上 練習 (Exercise on the Map of Shaft Alignment)

##### 4.4.1 軸整列 基準值 및 測定值

##### (Design Value and Readings of Shaft Alignment)

평택화력 1, 2호기 터빈 로터의 Alignment 설계 기준치가 그림 2-51과 같다고 하자.

또한 그림 2-51 로터에서 후측 커플링에 브라켓을 고정시키고 전측 커플링에 Dial Gauge를 설치, 전체 로터의 Alignment 상태를 측정된 결과 그림 2-52와 같았다. Rotor Position을 측정된 결과 LP2 Rotor는 기준선 위에 있다고 가정한다. 측정값을 기록할 때 보통 단위를 1/100 mm로 하기 때문에 여기서 사용된 단위도 1/100 mm로 하였다.

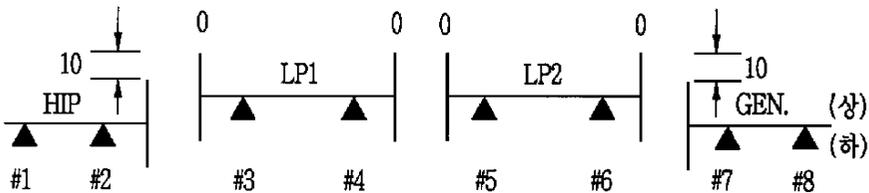


그림 2-51 평택화력 1호기 터빈의 측정렬 기준치

##### 4.4.2 軸整列 線圖 作成 (Plotting Top and Side View of Shaft Alignment)

터빈에서 발전기측을 보아 방향을 상, 하, 좌, 우로 정하며 상/하 상태도에서는 상측을 기준(Zero)하고 좌/우 상태도에서는 좌측을 기준(Zero)하여 상대 편차를 고려한다.

##### (1) Face 상태도

상하 또는 좌우 Face 측정값을 상대 비교하여 수직 및 수평 상태도를 작도할 때 상측 또는 좌측값을 기준(0)으로 하기 때문에 하측값 또는 우측값이(+)이면 커플링의 하측면 또는 우측면이 벌어진 상태이고, (-)이면 상측 및 좌측면이 벌어진 상태이다.

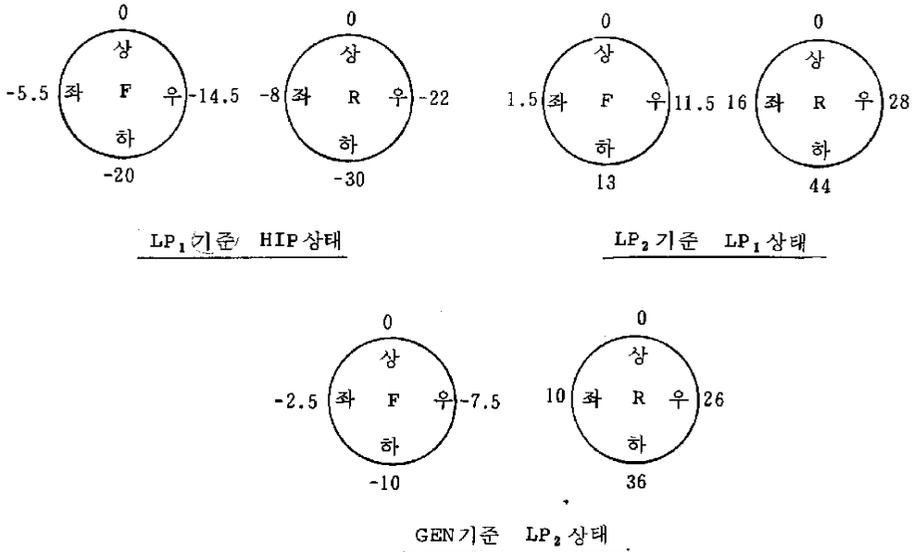


그림 2-52 측정렬 상태 측정치

(2) Rim 상태도

상하 또는 좌우 Rim 측정값을 상대비교하여 수직 및 수평 상태도를 작도할 때 상측 또는 좌측값을 기준(0)으로하기 때문에 하측값 또는 우측값이 (+)이면 다이얼 인디케이터가 설치된 전측 커플링이 기준(후측) 커플링보다 하부로 또 우측으로 이동된 상태이다.

Rim 측정값은 TIR 값이므로 두 축간의 축중심 편차는 TIR값의 1/2이다.

그림 2-52의 Face 및 Rim 측정값을 4.3항과 같은 방법으로 측정렬 상태를 작도한 것이 그림 2-53이다.

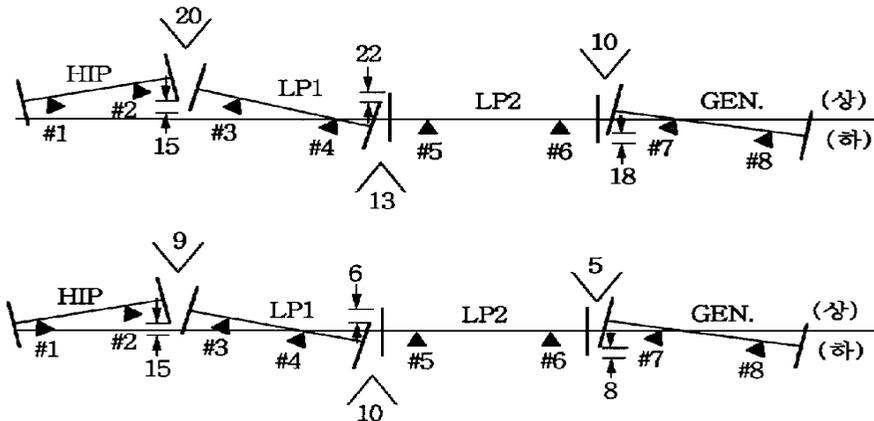


그림 2-53 측정렬 상태도

4.4.3 베어링 垂直 方向(上/下) 移動 (Vertical Movement of Bearing)

측정렬하는 순서는 LP2 Rotor가 기준선 위에 있는 기준 로터이므로 이를 기준하여 LP1 Rotor를 이동하여 설계치로 측정렬 한 후 같은 방법으로 이미 이동한 LP1 Rotor를 기준하여 HIP Rotor를 이동하여 측정렬 한다. 그후 LP2 Rotor를 기준하여 Generator Rotor를 측정렬하는 것으로 한다.

Shaft Alignment Table은 표 2-2(평택화력 발전소의 경우)를 이용하며, 표 2-4와 같은 양식을 사용, 일목 요연하게 계산 과정을 정리 하면 최종 이동 필요량을 쉽게 계산할 수 있다. 여기서 기호는 편의상 사용한 것이며 화살표(↑↓)는 베어링을 이동해야 할 방향을 나타내고 별표(\*)는 Rim 상태(Rim값을 나타내는 숫자를 중심으로 좌 혹은 우측에 별표\*)를 하는데 \*가 표시된 축의 커플링이 위로 돌출하였음을 나타냄)를 표시하고 꺾쇠(∧,∨)는 커플링 Face의 모양을 나타낸다.

또한 이러한 계산 과정을 모두 컴퓨터에서 수행하는 Alignment Program이 개발, 운영되고 있다. Program에서 목표치(설계치)와 현재 상태를 입력하면 베어링 이동량 뿐만 아니라 베어링 심(Shim)의 조정량까지 계산하여 출력한다.

표 2-4 베어링 수직 방향(상, 하) 이동량 계산표

단위 : 0.01 mm

Brg No. 구분	Bearing 이동량(상, 하)						HIP/LP1		LP1/LP2		LP2/Gen	
	1	2	3	4	7F	8F	Face	Rim	Face	Rim	Face	Rim
현상태							20∨	*15	13∧	22*	10∨	18*
F 조정			62.7↓				11.5∧	*71	13∨	*14		
중간상태							8.5∨	*86	0	8*		
R 조정			8↑	8↑			-	8*	-	*8		
중간상태							8.5∨	*78	0	0		
F 조정		47.5↓					8.5∧	59.5*				
중간상태							0	*18.5				
R 조정	28.5↓	28.5↓					-	28.5*				
중간상태							0	10*	0	0	10∨	18*
F 조정					48.6↓						10∧	*74
중간상태											0	*56
R 조정					46↑	46↑					0	46*
최종상태	28.5↓	76↓	54.7↓	8↑	2.6↓	46↑	0	10*	0	0	0	*10

4.4.4 베어링 水平 方向(左/右) 移動 (Horizontal Movement of Bearing)

베어링의 수평방향 이동량 산출결과는 표 2-5와 같으며 계산 방법은 상/하 이동 계산 방법과 같다. 그러나 Alignment 상태도의 방향이 수직 이동시와 달라 혼동하기 쉽다. 따라서 左는 上이라고 생각하고 右는 下라고 생각하여 작성하면 된다. 어느 터빈이든 특별한 경우를 제외하고는 좌/우 Alignment 기준치는 Rim 및 Face 모두 영(Zero)임을 유의해야 한다. 여기서도 기호는 편의상 사용한 것이며 화살표(←, →)는 베어링의 이동해야할 방향을 나타내고 별표(\*)는 Rim 상태(Rim값을 나타내는 숫자를 중심으로 좌 혹은 우측에 별표\*)를 하는데 \*가 표시된 측의 커플링이 돌출하였음을 나타냄)를 표시하고 부등호(<, >)는 커플링 Face의 모양을 나타낸다.

표 2-5 베어링 수평 방향(좌, 우) 이동량 계산표

단위 : 0.01 mm

Brg No. 구분	Bearing 이동량 (좌, 우)						HIP/LP1		LP1/LP2		LP2/Gen	
	1	2	3	4	7F	8F	Face	Rim	Face	Rim	Face	Rim
현상태							9>	*7	10<	6*	5>	8*
F 조정			48.3→				8.9<	*55.2	10>	*10.8		
중간상태							0.1>	*62.2	0	*4.8		
R 조정			4.8↑	4.8↑			-	*4.8	-	4.8*		
중간상태							0.1>	*67	0	0		
F 조정		0.6→					0.1<	0.7*				
중간상태							0	*66.3				
R 조정	66.3→	66.3→					-	66.3*				
중간상태							0	0	0	0	5>	8*
F 조정						24.3←					5<	*12.7
중간상태											0	*4.7
R 조정					4.7←	4.7←					0	4.7*
최종상태	66.3→	66.9→	53.1→	4.8→	4.7←	29←	0	0	0	0	0	0

### 4.4.5 베어링 Shim Plate 調整 (Bearing Shim Plate Adjustment)

앞의 “4.4.3” 및 “4.4.4”항에서 베어링의 수직 및 수평방향 이동량을 산출하였다. 그러나 평택화력 터빈 베어링의 Shim Plate 위치는 베어링별로 각각 다르다. 따라서 상기 “4.2”항에 의거 각 베어링 별로 베어링의 상/하, 좌/우 이동량에 해당하는 Shim Plate 두께량을 표 2-6 및 2-7과 같이 산출하여야한다.

#### (1) 수직(상, 하) 방향의 Shim Plate 조정

표 2-6 수직(상/하) 방향의 Shim Plate 조정량 계산

베어링 번호 Shim위치		# 1		# 2		# 3		# 4		# 7F		# 8F	
		좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
베어링 상하이동량		28.5 하향이동		76.0 하향이동		54.7 하향이동		8.0 상향이동		2.6 하향이동		46.0 상향이동	
“침” 조정 량	0°(하)	-28.5		No		No		No		-2.6		+46	
	30°	-24.8	-24.8	-65.8	-65.8	-47.6	-47.6	+7.0	+7.0	No		No	
	75°	-7.4	-7.4	-19.7	-19.7	No		No		No		No	
	90°(측)	No		No		0	0	0	0	0	0	0	0
비 고		① 부호 +, -는 Shim Plate의 삽입, 취외를 뜻함. ② 단위는 1/100 mm임. ③ 베어링의 상하이동은 좌우에 있는 Shim Plate의 같은 량을 삽입하거나 취외하면 된다. ④ Shim Plate량=베어링 이동량×Shim Plate 위치 각도의 여현값 ( $V_c = V \times \cos\theta$ )											

(2) 수평(좌, 우) 방향의 Shim Plate 조정

표 2-7 수평(좌/우) 방향의 Shim Plate 조정량 계산

BRG NO. Shim위치		# 1		# 2		# 3		# 4		# 7F		# 8F	
		좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
Bearing 좌우이동량		66.3 우로이동		66.9 우로이동		53.1 우로이동		4.8 우로이동		4.7 좌로이동		29.0 좌로이동	
“삽” 조정량	0°(하)	0		No		No		No		0		0	
	30°	+33.1	-33.1	+33.5	-33.5	+26.6	-26.6	+2.4	-2.4	No		No	
	75°	+64.3	-64.3	+64.9	-64.9	No		No		No		No	
	90°(측)	No		No		+53.1	-53.1	+4.8	-4.8	4.7좌로이동		29.0좌로이동	
비 고		① 부호 +, -는 Shim Plate의 삽입, 취외를 뜻함. ② 단위는 1/100 mm임. ③ 베어링을 우측으로 이동하려면 우측의 Shim Plate를 취외하여 그대로 좌측에 삽입하면 된다. ④ Shim Plate량=베어링 이동량×Shim Plate 위치 각도의 정현값 (Hs=H×sinθ)											

(3) 최종 베어링 Shim Plate 조정량

베어링의 상/하나 좌/우 이동은 모두 Shim Plate를 삽입 혹은 취외하므로써 행해지므로 이를 종합하여 조정하면 동시에 상, 하, 좌, 우 이동을 하게되고 또 각 베어링 별로 동시에 작업하면 일시에 터빈/발전기 Bearing Alignment가 완료된다. 표 2-8은 앞의 “(1), (2)”항의 Shim Plate량을 합한 값이다.

표 2-8 최종 베어링 Shim 조정량

단위 : 0.01 mm

BRG NO. Shim위치		# 1		# 2		# 3		# 4		# 7F		# 8F	
		좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
“삽” 조정량	0°(하)	-28.5		No		No		No		-2.6		+46.0	
	30°	+8.3	-57.9	-32.3	-99.3	-21.0	-74.2	+9.4	+4.6	No		No	
	75°	+56.9	-71.7	+45.2	-84.6	No		No		No		No	
	90°(측)	No		No		+53.1	-53.1	+4.8	-4.8	4.7좌로이동		29.0좌로이동	

#### 4.5 發電機 軸整列 (Generator Shaft Alignment)

터빈을 기준하여 발전기를 Alignment할 때 발전기 구조상 터빈의 경우와는 다소 차이가 있다. 터빈의 경우는 터빈 본체(케이싱)와 베어링이 분리되어 있어서 우선 Casing Alignment를 한 후 다음에 이를 기준하여 축정렬을 하게된다. 이 경우 각 터빈마다 케이싱과 로터가 운전중에 Rubbing이 발생하지 않을 정도이면 로터가 케이싱 중심선에서 벗어나도 큰 문제는 없다.

그러나 발전기의 경우 회전자가 고정자내에서 중심선상에 있지 않을 때 전기적인 불평형으로 인하여 진동의 원인이 될 수도 있으나 보다 중요한 것은 회전자와 발전기 Seal Ring간의 간극이 작기 때문에 이 간극이 유지 안되면 운전중 Seal Ring이 손상되어 작게는 수소 누설이 발생하고 크게는 화재 및 폭발 사고가 발생할 수 있어 위험하다. 따라서 가능하면 고정자내에서 회전자의 위치는 변화시키지 않고 축정렬을 실시하는 것이 바람직하다. 다시말해 발전기 Air Gap이나 Seal Ring의 적정 간극 유지는 발전기 베어링을 조정하여 자체 Alignment하고 터빈 축에 대한 발전기 축의 Alignment는 상/하 이동시에는 발전기 Foot 밑에 있는 Shim Plate(또는 Packer)의 조정으로 실시하고 좌/우 이동시에는 발전기 몸체를 좌/우로 이동시켜 실시한다. 발전기 몸체를 상/하로 또는 좌/우로 이동하는 것은 발전기 구조에 따라 고려해야할 사항이 다소 다르므로 이에 대해 설명한다.

##### 4.5.1 베어링 모두가 發電機 내에 있는 構造

###### (The Case of Both Bearings are Installed inside Generator)

발전기 전/후 Foot 밑에는 여러개의 Shim Plate(그림 2-54에서는 전/후 각각 3조씩 있음)가 있다. 베어링 조정은 고정자 내에서 축이 중심에 오도록 할 때만 시행하고 축정렬시는 Foot 아래에 있는 Shim Plate를 조정한다. 이들 Shim Plate중 전/후측에서 한 개씩 선정하여(그림 2-54에서 2와 5) 이 선정된 Shim Plate가 터빈의 경우의 베어링으로 간주하고 새로운 Alignment Table을 작성한다. 표 2-2d의 축정렬표에 있는 “#7 또는 #8 Foot 이동시”의 의미가 곧 선정된 Shim Plate를 기준한 축정렬표이다. 이 Alignment Table에 의하여 계산한 결과가 #2 Shim Plate는  $h_2$ 만큼 내려야 하고 #5 Shim Plate는  $h_5$ 만큼 올려야 한다고 가정하면 나머지 Shim Plate도  $h_1, h_3, h_4, h_6$ 만큼 조정해야만 한다.

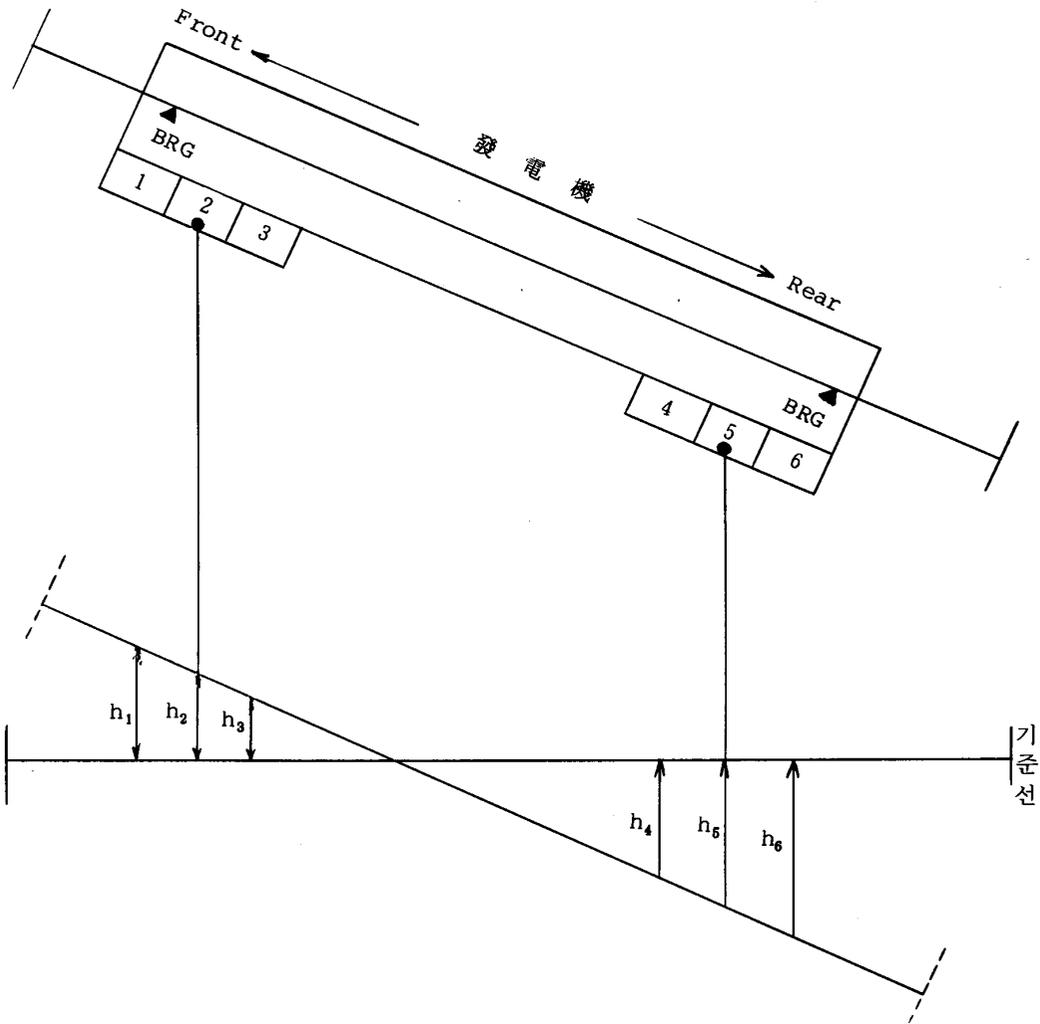


그림 2-54 베어링 모두가 발전기 내에 있는 구조

#### 4.5.2 Front Bearing이 發電機 밖에 있는 構造

(The Case of Front Bearing is Installed outside Generator)

Shim Plate 조정은 상기 “4.5.1”항의 경우와 같으나 회전자가 고정자 중심선에 위치하기 위해서는 Front Bearing을  $h_B$ 만큼 하향 조정해야 한다 (그림 2-55 참조).

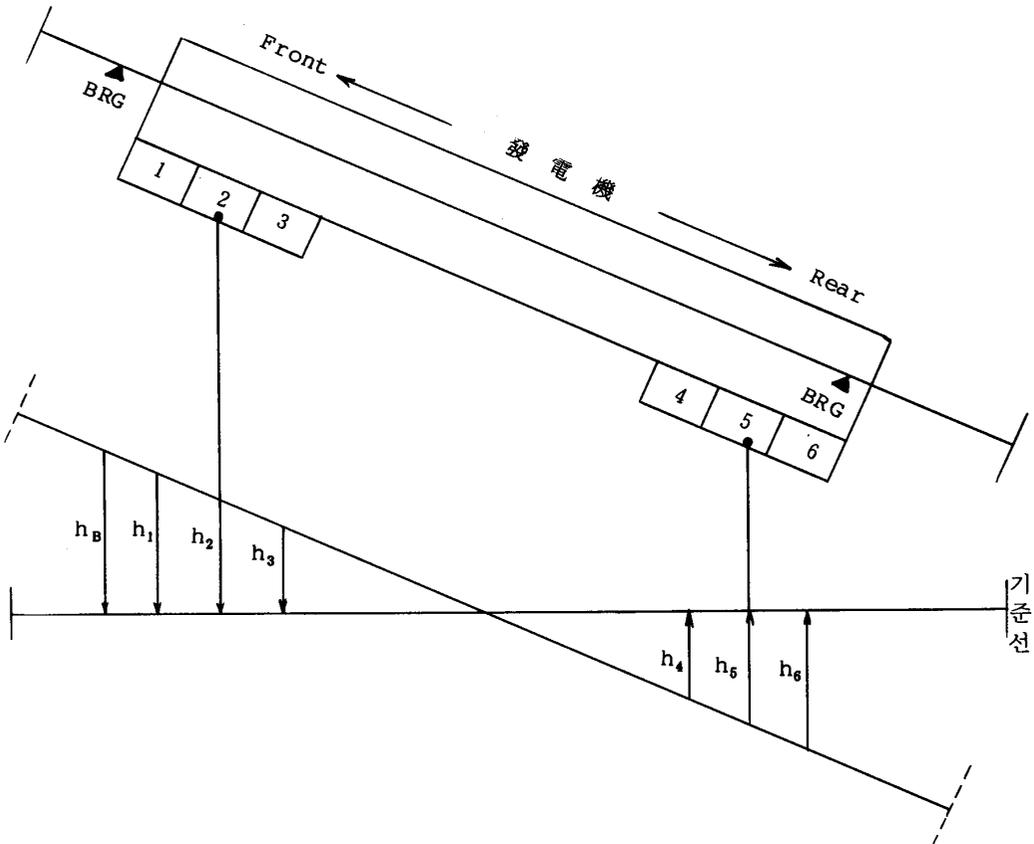


그림 2-55 Front Bearing이 발전기 밖에 있는 구조

### 4.5.3 베어링 모두가 發電機 밖에 있는 構造

(The Case of Both Bearings are Installed outside Generator)

이 경우는 터빈의 경우와 마찬가지로이다. 그러나 축정렬 완료후 Air Gap이 원주 방향에서 같도록 Shaft를 기준하여 Stator를 상기 “4.5.1” 및 “4.5.2”항에 의거 이동 시키면 된다.

발전기 좌/우 이동에 관하여 기술하면 발전기 좌/우에는 Shim Plate가 없기 때문에 이동하고자 하는 만큼 좌/우로 밀거나 당기면 되나 이에 앞서 Axial Key(Center Key)를 취외하도록 한다. 또한 만약 베어링이 발전기 밖에 위치하고 있는 경우 앞의 상기 “4.5.2”항에서 언급한 것처럼 회전자가 고정자 중심선에 위치하도록 베어링도 조정하여

야 한다. 발전기 좌/우 이동시 먼저 전, 후, 좌, 우에 Dial Gauge를 Setting한 다음 발전기 몸체를 밀고자 하는 위치에 Oil Jack을 설치한다. Dial Gauge를 보면서 밀고자하는 양만큼 Oil Jack을 작동했을 때 커플링이나 Oil Jack 설치 맞은편의 Dial Gauge 수치는 이값에 못미친다. 이것은 발전기 자중이 커서 양쪽이 똑같이 밀리지 못하고 굽은 형태로 되기 때문이다. 따라서 덜밀린 맞은편 발전기를 Hammering하여 양쪽 Dial Gauge 값이 같도록 Stress Relieving을 시켜 주어야 한다. 또 한가지 주의할 것은 발전기 Alignment 완료후 발전기 Center Key Way를 정밀 측정하여 Key를 다시 제작하여 삽입하여야 한다. 만일 Key가 정밀 가공되지 않아 Key가 큰 경우는 삽입할 때 Alignment가 변하며 작은 경우는 운전중 발전기가 이동되어 진동이 발생할 수 있다.

## 5. 機械 移動量을 구하기 위한 여러 가지 作圖技法

### (Various Plotting Techniques to Determine Machinery Movement)

#### 5.1 Point to Point 逆 인디케이터 技法의 作圖 節次 (Procedure for Plotting the Point to Point Reverse Indicator Technique)

##### (1) 1단계

그림 2-56과 같이, 가로축은 배열된 기계의 칫수를 나타낼 수 있는 눈금을 또 세로축은 측정법 측정치를 나타낼 수 있는 눈금을 가진 축적된 모눈종이를 준비하여 이곳에 기계의 명칭과 칫수가 기재된 기계 이동용 Shim Plate(Foot) 위치, 커플링상의 측정위치를 표시하고 아래에는 측정용 Bracket의 처짐량을 보상한 측정법 측정치를 기입하고 위에는 기계를 바라본 방향 즉 기계를 이동(수직 또는 수평)하려는 방향 표시(그림 2-56에서는 "Side View")를 기입한다.

##### (2) 2단계

세로축 한 눈금의 크기는 두 기계의 하부측 측정법 측정치중 절대값이 큰 것을 참고하여 결정한다. 이 예에서는 펌프측이 모눈종이 범위내에 그려지도록 한다. 그러면 하부 측정값이 작은 전동기 측도 모눈종이 범위내에 그려지게 된다.

그림 2-57에서 중심선 위쪽은 측정값이 (-)인 지역이고 아래쪽은 (+)인 지역으로 정한다. 펌프의 하측 측정값이 -56 mils이므로 두 축중심선 간의 Offset량은  $56/2=28$  mils이고, (-)값 이므로 중심선위쪽에 즉 펌프 커플링 측정점상에 이 하부 측정값에 해당하는 위치(점)를 선정한다. 이 점과 전동기 커플링 측정위치와 중심선과의 교점을 연결한 선을 긋는다.

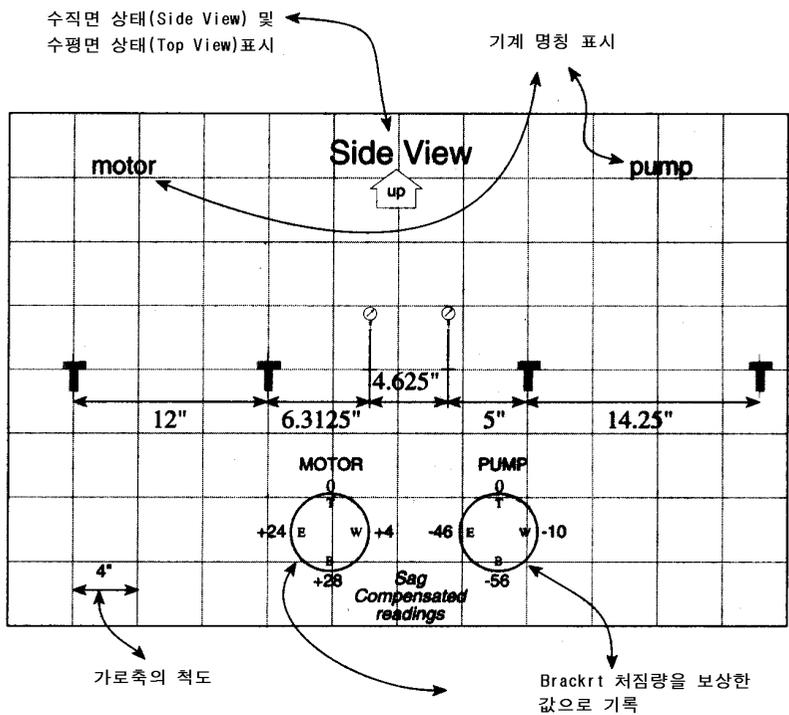


그림 2-56 기계 배치 및 측정치 작도 기법

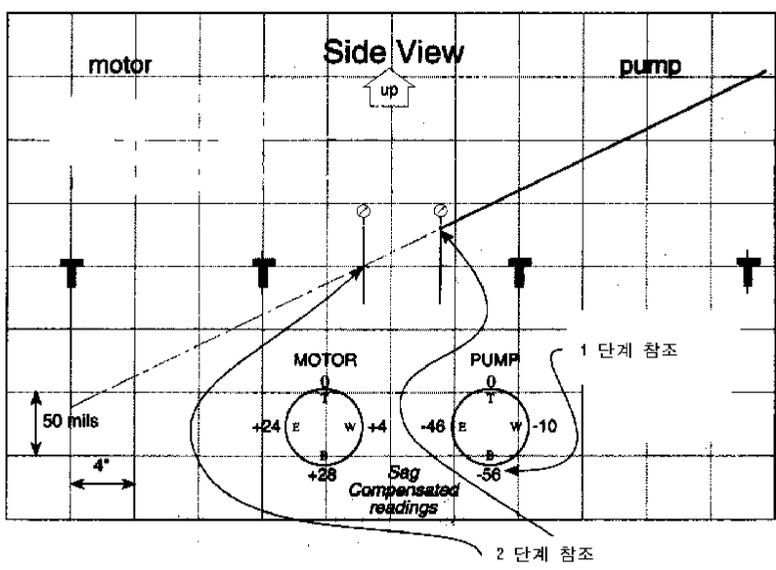


그림 2-57 펌프 측정렬 상태 작도

(3) 3단계

2단계의 작도법과 마찬가지로 방법으로 전동기의 하부 측정렬 값을 가지고 전동기의 측정렬 상태를 그릴 수 있다. 또한 두 회전기계의 좌우측 측정렬 상태(Top View)도 상하측 측정렬 상태(Side View) 작도법과 마찬가지로 그릴 수 있다.

그림 2-58은 Point to Point Reverse Indicator 측정기법을 이용한 상하 및 좌우 측정렬 상태를 작도한 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 두 축을 서로 중심선상에 오도록 측정렬 할 수 있는 경우는 무수히 많다. 그러나 파이프, 기초볼트, 케이블링 등의 주변 여건에 따라 실제로는 상당히 제한되어 있다. 일단 측정렬 조정방안이 결정되면 각 위치에서의 이동량은 모눈종이 상에서 쉽게 구할 수 있다.

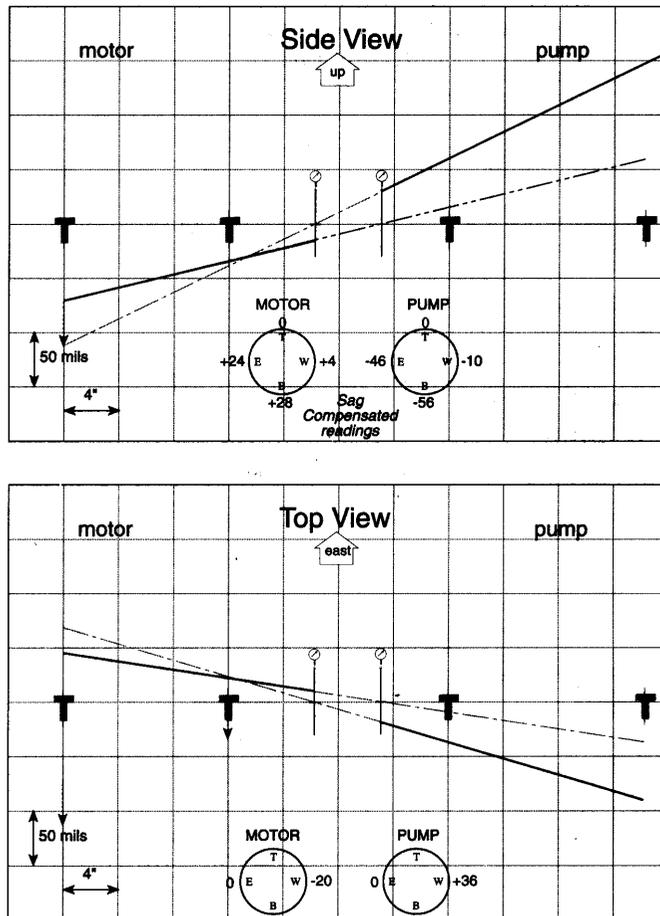


그림 2-58 Reverse Indicator Point to Point 기법에 의한 측정렬 상태 (Side 및 Top Views) 작도

## 5.2 Line to Point 逆 인디케이터 技法의 作圖 節次 (Procedure for Plotting the Line to Point Reverse Indicator Technique)

### (1) 1단계

그림 2-59와 2-60에서와 같이, 두 개의 회전기계 축중 하나를 모눈종이 중심선 상에 직접 그린다. 그림 2-59의 경우는 전동기가 또 그림 2-60의 경우는 펌프가 중심선 상에 그려졌다.

### (2) 2단계

모눈종이 중심선 상에 그려지지 않는 상대방축의 하부 측정렬 측정치의 1/2인 값에 해당하는 점을 커플링 상에 표시한다. 그림 2-59의 경우는 펌프의 하부 측정렬 측정치가 (-)이므로 모눈종이 중심선보다 위에 있게 되고 그림 2-60의 경우는 전동기의 하부 측정렬 측정치가 (+)이므로 모눈종이 중심선보다 아래에 있게 된다(Point to Point 작도 기법과 같다).

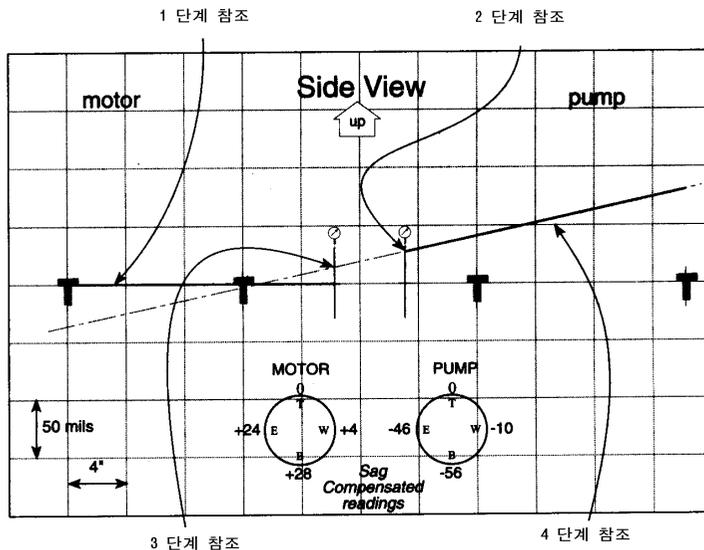


그림 2-59 Reverse Indicator Line to Point 기법에 의한 측정렬 상태작도  
(전동기 축이 모눈종이 중심선 상에 위치한 경우)

### (3) 3단계

모눈종이 중심선 상에 그려진 축의 하부 측정렬 측정치의 1/2인 값에 해당하는 점을 커플링 상에 표시한다. 이때 하부 측정치가 (-)이면 모눈종이 중심선 아래 쪽에

기입하고 (+)이면 위쪽에 기입한다 (Point to Point 작도 기법과 반대).

(4) 4단계

2 및 3단계에서 표시해 놓은 두 점을 연결하는 선을 그린다. 이 선이 바로 상대방 축의 회전 중심선이다.

이 작도법은 두 개의 회전기계중 하나는 고정시키고 상대방 기계를 여기에 맞게 측정할 때 사용된다.

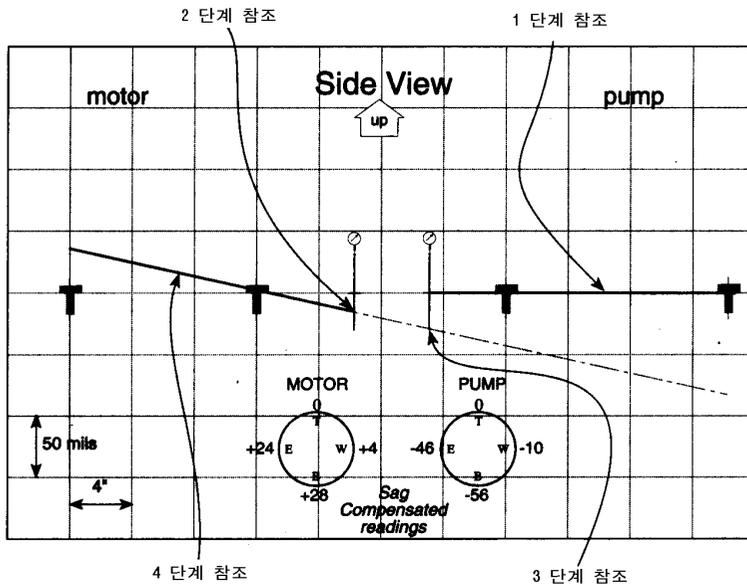


그림 2-60 Reverse Indicator Line to Point 기법에 의한 측정법 상태 작도 (펌프 축이 모눈종이 중심선 상에 위치한 경우)

5.3 Face와 Rim 技法의 作圖 節次

(Proceduure for Plotting the Face and Rim Technique)

Face-Rim 기법은 기준축 중심선에 대한 조정축 중심선의 Rim(Offset)과 Face(Angle)를 측정하는 것으로 이를 작도하기 위해서는 플라스틱으로된 T자형 투명 피복지(T Bar Overlay)가 필요하다. T자형 투명 피복지는 모눈종이 상의 기계 칫수와 같은 척도를 사용해야 하며, T자의 위쪽부분 (-)은 다이얼 인디케이터가 설치된 축의 Face를 나타내주며 T자의 기간이 되는 부분(1)은 축의 회전 중심선을 나타낸다. T자형 투명 피복지는 항상 다이얼 인디케이터가 설치된 축상에 놓는다.

(1) 모눈종이 중심선상에 Bracket이 설치된 축을 그린다.

- (2) 다이얼 인디케이터가 설치된 축의 원주상에서 취한 측정치를 나타내도록 T자형 투명 피복지를 위치시킨다. 만일 하부 Rim 값이 (-)라면 T자형 투명 피복지의 기간이 되는 부분을 모눈종이 중심선으로부터 Rim 값의 절반만큼 모눈종이 중심선 상부쪽으로 이동한다. 만일 하부 Rim 값이 (+)라면 모눈종이 중심선 하부쪽으로 이동한다.
- (3) 측정된 Face 값이 나타나도록 T자형 투명 피복지를 선회 조정한다. 이상과 같이 T자형 투명 피복지를 적절하게 위치 시킨 다음 두 개의 중심선들이 서로 일치하도록 최적의 이동량을 구한다.

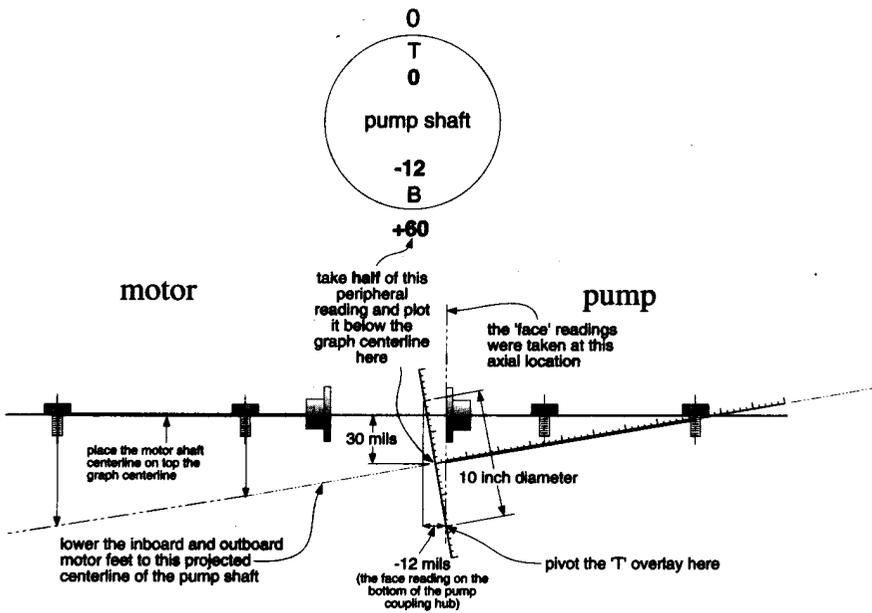
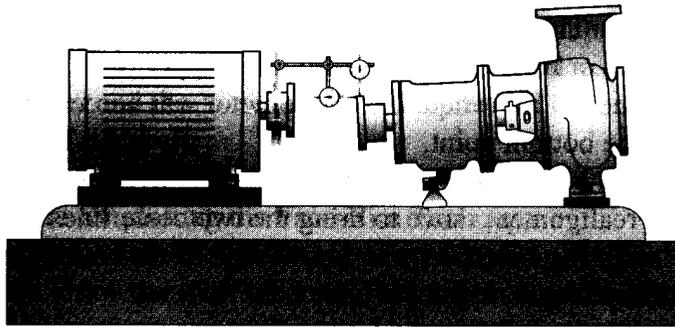


그림 2-61 Face-Rim 작도법 예 1 (Side View)

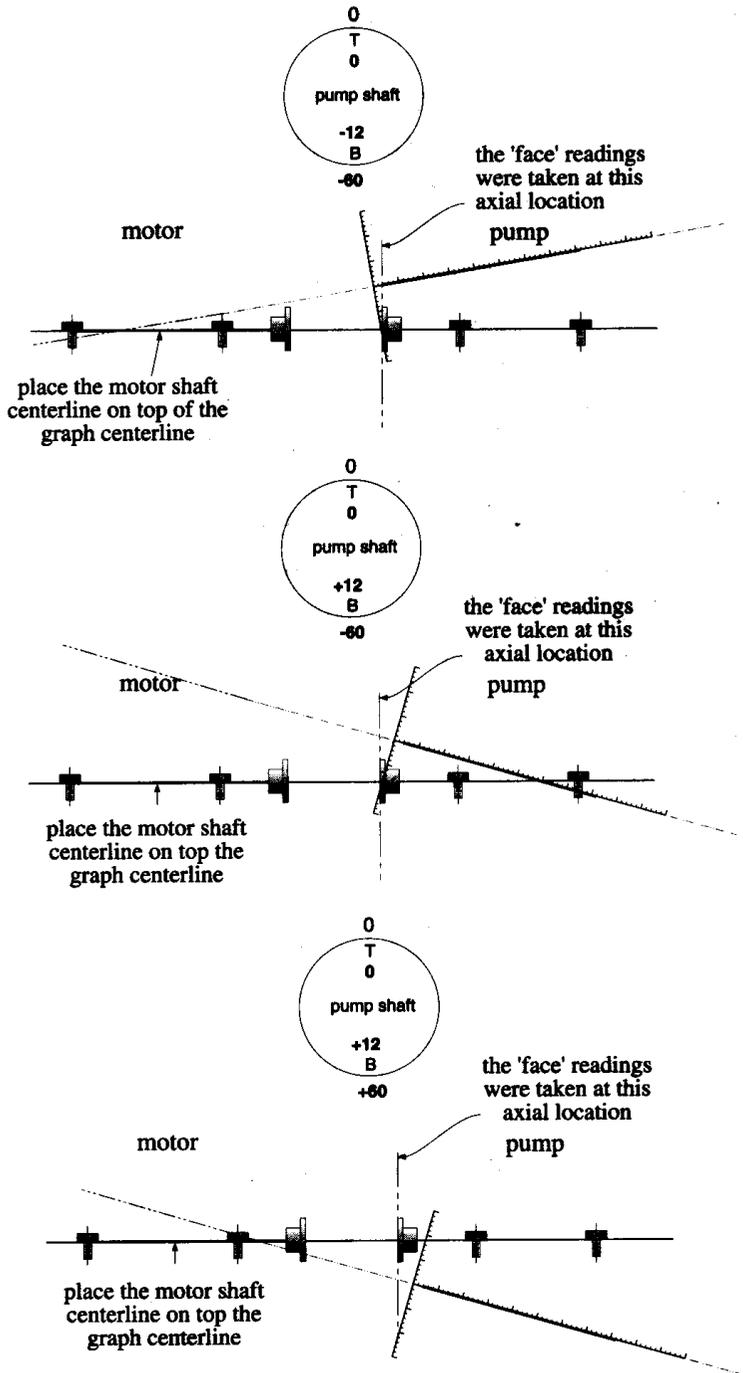


그림 2-62 Face-Rim 작도법 예 2 (Side View)

### 5.4 더블 레이디얼 인디케이터 技法의 作圖 節次 (Procedure for Platting the Double Radial Indicator Technique)

이 기법은 축의 길이 방향에 따라 서로 다른 지점에서 2개 이상의 Rim 값을 취하는데 있다.

- (1) 그림 2-63과 같이 모눈종이 중심선상에 Alignment Bracket이 설치된 전동기 축을 그리고, 또 Rim 값을 취하게 되는 Fan축의 길이 방향으로 두 개의 다른 위치에 인디케이터들을 위치시킨 Fan축을 그린다.
- (2) 모눈종이 중심선으로부터 'NEAR' 인디케이터가 설치된 수직선 상에 하부측정치(-20 mils)의 반(10 mils)만큼 중심선 위쪽에 표시한다 (Point to Point 기법과 동일).
- (3) 모눈종이 중심선으로부터 'FAR' 인디케이터가 설치된 수직선상에 하부 측정치(+12 mils)의 반(6 mils)만큼 중심선 아래쪽에 표시한다.
- (4) 이 두 점이 Fan축의 회전 중심점이고 이들을 연결한 선이 회전 중심선이다.

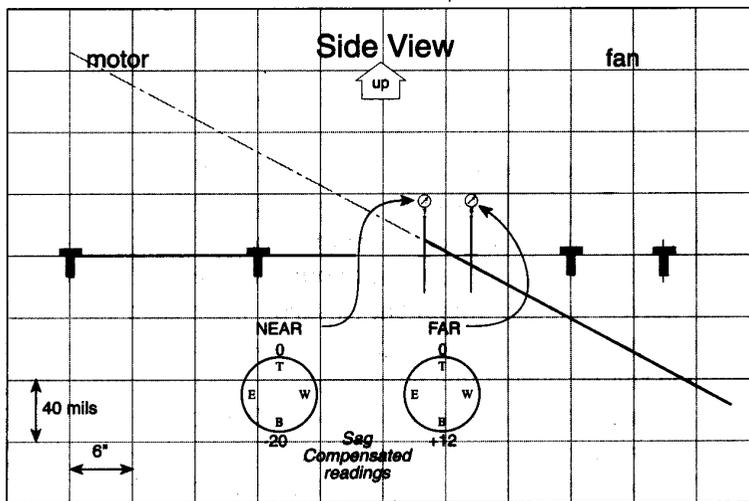


그림 2-63 Double Radial Indicator 기법의 작도법 (Side View).

### 5.5 軸과 커플링 스플 技法의 作圖法

#### (Procedure for Plotting the Shaft to Coupling Spool Technique)

이 기법은 각 축의 중심선과 커플링 스플(또는 Jack Shaft)의 중심선 간의 각도

(Face)를 측정하는데 있다. 각 축의 끝에 오직 하나의 탄성점(Flex Point)이 있기 때문에 거의 완벽한 Face Alignment는 각 축과 커플링 스플 간에 있게 된다. 커플링 스플은 작도 절차중에는 축에 연결한 상태로 놓는다.

- (1) 그림 2-64와 같이 모눈종이 중심선상에 커플링 스플을 그린다.
- (2) Alignment Bracket을 전동기에 설치하고 커플링 스플에서 Rim값을 측정한다. 다이얼 인디케이터가 설치된 수직선상에 하부 Rim 측정치의 반만큼의 위치를 표시한다. 이 경우 하부 Rim 측정치가 (-)이면 모눈종이 중심선 아래쪽에 또 (+)이면 위쪽에 표시한다. 그림 2-64에서는 하부 측정치가 +40 mils이므로 이 값의 반인 20 mils 만큼 모눈종이 중심선 위쪽에 표시하면 된다. 이 점과 탄성점을 연결한 선을 그린다. 이 연결선이 전동기의 회전 중심선이 된다.
- (3) 이번에는 Alignment Bracket을 Gear Box에 설치하고 커플링 스플에서 Rim값을 측정한다. (2) 항에서와 같은 방법으로 작도하면 된다. 즉 그림 2-64에서 하부 Rim 측정치가 -30 mils이므로 이 값의 반이 15 mils 만큼 모눈종이 중심선 아래쪽에 표시하면 된다. 이 점과 탄성점을 연결한 선을 그린다. 이 연결선이 Gear Box의 회전중심선이다.

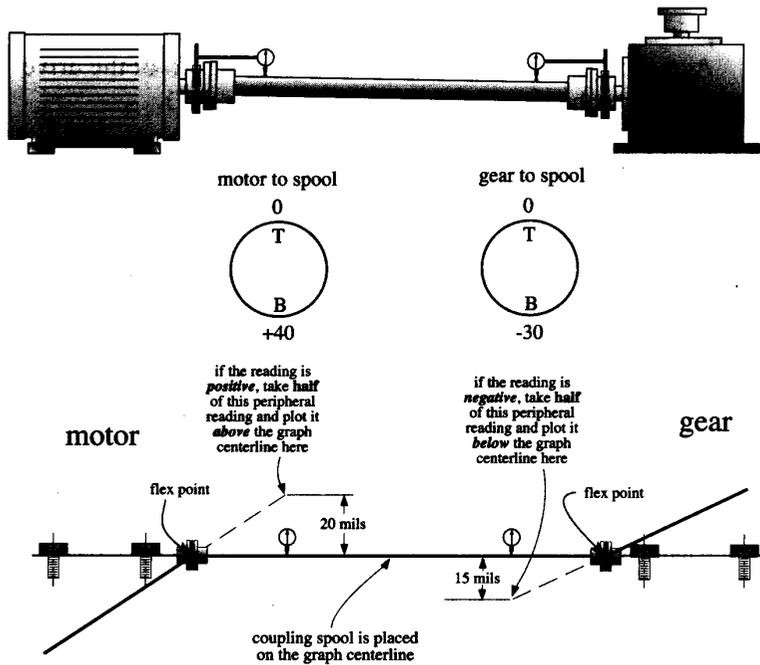


그림 2-64 축과 커플링 스플 기법의 작도법 (Side View)

## 6. 特異形 로터 시스템의 軸整列 (Alignment of Specific Rotor System)

### 6.1 特異形 로터 시스템의 種類 (Classification of Specific Rotor System)

통상의 로터 시스템은 1개의 로터가 2개의 베어링에 의하여 지지되나 아래와 같이 1개 혹은 3개의 베어링에 의하여 지지되는 특이형이 있다.

#### (1) 순수 Single Bearing 로터 시스템

순수 Single Bearing 로터 시스템의 베어링 배치는 그림 2-65와 같으며 다음과 같은 특징이 있다.

- 베어링이 없는 쪽의 로터 하중은 인접 로터의 베어링이 지지한다. 따라서 Two Bearing 로터 시스템에서와 같이 축정렬 불량에 의한 베어링 하중 분포 불량에 기인한 베어링 유막 불안정 진동은 발생 가능성이 매우 적다.
- 모든 커플링은 현장에서 해체 가능하며 커플링이 7.2(1)과 같은 Rabbitt (Spigot Fit)형으로 되어 있어 커플링 볼트를 취외하여도 Rabbitt에 의하여 로터는 인접 베어링에 의해 지지된 상태로 유지된다.
- 축정렬은 커플링이 Spigot에 의하여 맞물려 있으므로 Rim의 차이는 없는 것 (0)으로 하고 Face만 측정하여 시행한다. Face값 측정시 통상 커플링을 약간 벌려서 시행한다.

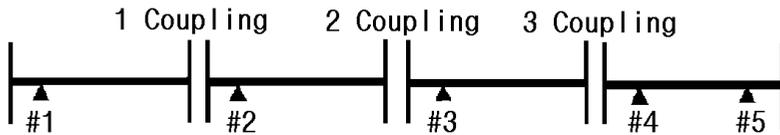


그림 2-65 순수 Single Bearing 로터 시스템

#### (2) 변형 Single Bearing 로터 시스템 (1 로터 3 베어링 시스템)

그림 2-66은 얼핏 보기엔 LP 터빈 로터가 Single Bearing Rotor로 보이나 No1 커플링을 현장에서 분해하지 못하도록 되어있어 축정렬 및 로터 Lifting시 사실상 HP와 LP 로터를 하나의 로터로 인식, 일체인 로터로 취급하므로 HP 및 LP 로터 시스템은 1 로터 3 베어링 시스템으로 생각해야 된다.

따라서 전술한 순수 Single Bearing 로터 시스템은 로터를 베어링에 안착하여 커플

링의 Face를 측정하여 No1, 2, 3 베어링 위치를 알 수 있었으나 이런 로터 시스템에서는 No1 커플링의 Face 값을 측정하지 못하므로 이를 알 수 없게 된다.

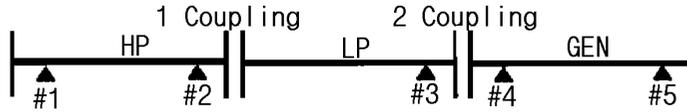


그림 2-66 변형 Single Bearing 로터 시스템  
(1 로터 3 베어링 시스템)

## 6.2 特異形 로터 시스템의 軸整列 測定 및 計算

### (Alignment Measurement and Calculation of Specific Rotor System)

#### 6.2.1 純粹 Single Bearing 로터 시스템의 測定 및 計算

측정법은 전술한 것처럼 커플링이 Spigot Fit으로 연결되어 하나의 베어링에 의하여 지지되므로 Rim은 차이가 없어 “0”로 간주하고 Face값만을 측정하여 실시한다. Face 측정 후 이 값으로 실제 베어링 이동량을 계산하는 전술한 4.1항에서 언급한 “One Rotor Two Bearing”의 일반 측정법 계산 공식을 응용하거나 다음의 새로운 공식을 적용할 수 있는데 양자 모두 같은 원리를 이용한 것이므로 실제적 차이는 없다.

##### (1) 일반 측정법 계산 공식 응용

Single Bearing 로터 시스템의 측정법시 “One Rotor Two Bearing”의 일반 측정법 계산 공식 응용 개념 및 절차를 설명하면 다음과 같다.

- 그림 2-67과 같이 베어링이 없는 쪽의 커플링 면에 베어링이 설치되어 있는 것으로 가정한다.
- 베어링을 조정하면 인접한 가상 베어링도 커플링 이동량 만큼 이동한다.
- 따라서 어느 한 베어링 이동시 Face 변화량은 자체 베어링의 이동에 기인한 변화량과 인접한 가상 베어링의 이동에 의한 Face 변화량을 합한 것이 된다.
- 가상 베어링 이동에 의한 Face 변화량은 전술한 4.1.3항(기준 로터와 가까운 베어링 이동) 공식을 사용하며 이때 b(이동하는 베어링으로부터 커플링 까지 거리)는 “0”이고 a(두 베어링간의 거리)는 자기 로터에서 실제 베어링(이동하지 않는 베어링)과 가상 베어링과의 거리가 된다.
- Single Bearing 로터 시스템에서도 베어링 이동시 커플링 Face의 변화량은 양측 커플링에서 같다.

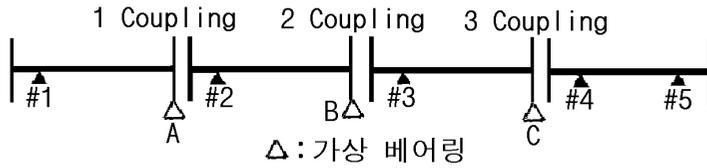


그림 2-67 순수 Single Bearing Rotor System과 가상 베어링

(2) Single Bearing Shaft 측정법 공식

다음 공식을 직접 사용하여 이동량을 계산할 수도 있다.

(가) 커플링이 평행이 되도록 하기 위한 베어링 이동량 계산 공식

그림 2-68과 같은 Single Bearing 로터 시스템에서 커플링이 평행(즉 Face 값이 “0”)이 되도록 하려면 No2 베어링을 얼마나 올려야 할까.

먼저 커플링에서 Face 값이 “0”이 되도록 No1 베어링 내린다. 이 값을 S1 이라고 하고 그 값을 구하면 다음과 같다.

$$L1 : d = S1 : \Delta a$$

따라서  $S1 = \frac{(L1 \times \Delta a)}{d}$  이 된다. 이 상태에서 축을 기준선으로 올리기 위해 No1, 2 베어링을 올리면

$$S1 : S2 = (L1+L3) : (L3-L2)$$

따라서  $S2 = \frac{S1 \times (L3 - L2)}{(L1 + L3)}$  가 된다. 여기에 상기 식 S1의 값을 대입하면 최종으로 다음 식을 얻을 수 있다.

$$S2 = \frac{L1 \times \Delta a \times (L3 - L2)}{(L1 + L3) \times d}$$

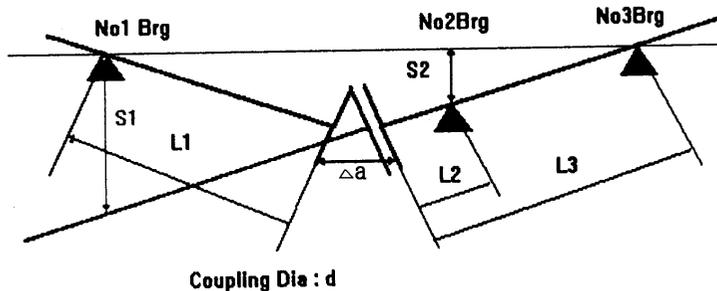


그림 2-68 Single Bearing 로터 시스템에서의 측정법

(나) 베어링 이동시 커플링 Face 변화량 계산 공식

그림 2-69에서 #3 베어링을  $\Delta S$ 만큼 이동시켰을 때  $d1, d3$  커플링에서 변하는 Face 값을 구하면 다음과 같다. 여기서 구한 공식도 전술한 4.1.3항의 공식과 같은 개념이며 그 것의 특이형으로 생각하면 된다.

$\triangle abc \sim \triangle fgm \sim \triangle lnm$  이고  $\triangle rst \sim \triangle opq \sim \triangle ojk$  이다.

여기서 커플링 이동량  $\Delta c$ 는 양 축에서 커플링이 조합되어 있으므로 그 값이 서로 같다. 즉  $\triangle lnm$ 과  $\triangle opq$ 에서 커플링 이동량인 선분  $nl, pq$ 는 서로 같다.

이 관계를 비례식으로 표현하여 각 커플링에서 Face의 변화량을 식으로 유도하면 다음과 같다.

- #3 베어링을  $\Delta s$ 만큼 이동했을 때 Face  $\Delta a1$ 의 변화량

$$L3 : \Delta c = (L3-L2) : \Delta S \text{ 이므로}$$

$$\Delta c = \frac{L3 \times \Delta S}{L3 - L2} \text{ 가 된다. 또한}$$

$$\Delta a1 : d1 = \Delta c : L1 \text{ 이므로}$$

$$\Delta a1 = \frac{d1 \times \Delta c}{L1} \text{ 가 되며 이를 상기 식에 치환 하면}$$

$$\Delta a1 = \frac{d1 \times L3 \times \Delta S}{L1 \times (L3 - L2)} \text{ 가 된다.}$$

- #3 베어링을  $\Delta s$ 만큼 이동했을 때 Face  $\Delta a3$ 의 변화량

$$(L3-L2) : \Delta s = d3 : \Delta a3 \text{ 이므로}$$

$$\Delta a3 = \frac{d3 \times \Delta S}{L3 - L2} \text{ 가 된다.}$$

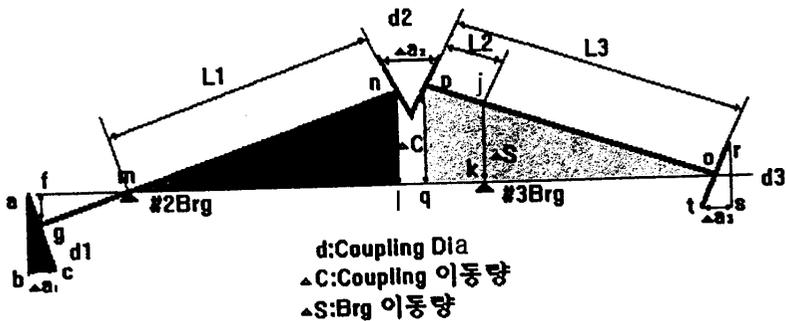


그림 2-69 Single Bearing 로터에서 베어링 이동시 커플링 Face의 변화

### 6.2.2 變形 Single Bearing 로터(1 로터 3 베어링) 시스템의 軸整列

이러한 로터는 그림 2-70의 No1 커플링과 같이 현장에서 분해가 불가하므로 로터를 베어링에 안착시켜 커플링에서 Rim과 Face 혹은 Face만 측정하여 베어링 이동량을 결정, 측정렬을 실시하는 통상의 측정렬 기법을 적용할 수 없다. 따라서 축을 베어링으로부터 취외한 후 No1 베어링으로부터 No3 베어링까지 2항에서 전술한 피아노 와이어를 설치하여 베어링의 위치를 측정, 설게 Level이 되도록 조정한 후 로터를 다시 안착한다. 이때 베어링의 정렬이 잘 되었는가 확인하려면 각 베어링 부하를 측정하여 설계치와 비교하며 커플링의 조립 상태를 확인하려면 Sling Check를 실시한다. 이 경우도 No3 커플링은 통상의 측정렬 기법으로 정렬한다.

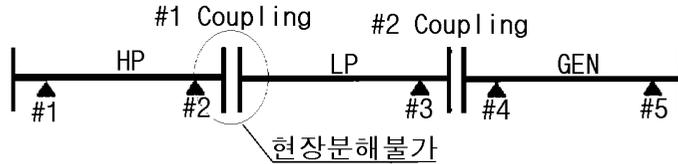


그림 2-70 변형 Single Bearing 로터 시스템 (1 로터 3 베어링 시스템)

## 7. 剛性 커플링 整列 (Rigid Coupling Alignment)

측정렬이 완료되면 각 단위 로터를 축 중심이 일치되도록 볼트로 결합하여 하나의 단일 회전체로 만드는 공정을 Rigid Coupling Alignment라 한다.

### 7.1 커플링 整列의 重要性 (The Importance of Coupling Alignment)

아무리 측정렬을 정확히 시행했다 하더라도 막대한 동력 전달과 고속 회전하는 로터가 커플링에서 정렬작업이 잘못되어 Crank 상태로 조립되면 축진동 발생과 과도한 축응력 발생으로 피로 파손의 원인이 되며 Bending Moment가 유발되거나 인접 로터를 휘게하여 질량 불평형이 발생된다. 이와 같은 불평형인 경우는 Weight Balancing을 하므로써 다소 감소시킬 수가 있으나 커플링이 완전히 기준치내로 정렬 되기 전에는 진동치가 만족할 만한 값에 도달할 수 없다.

따라서 커플링 원주상에서 Runout Check를 하여 최대, 최소치가 0.02 mm이내에 오도록 수정하여야 한다. 커플링의 역할 중 하나가 축의 회전력을 전달하는 것으로 이 회전력의 전달은 양 커플링의 면접촉력으로 이루어진다 (근래 사용되기 시작한 유압 Coupling Bolt로 체결된 커플링은 면 접촉력과 볼트 전단력이 동시에 작용함). 따라서 만일 Coupling Bolt의 체결력이 부족하거나 커플링면의 청결 상태 불량 등으로 마찰계

수가 낮아지면 Coupling Slip이 생겨 커플링 정렬 상태가 흐트러지게 된다. 커플링의 Misalignment는 흔히 Coupling Stud Bolt를 조일 때 체결력의 불균등, Coupling Face의 불량 등으로 발생되므로 최종 조립시 주의를 기울여 정밀 조정해야 한다.

## 7.2 剛性 커플링의 形態 (Types of Rigid Coupling)

### (1) Rabbet형 (Spigot Fit)

Rabbet부가 정밀하게 가공되어 있는 커플링에서는 양쪽 커플링을 결합하면 자연스럽게 중심이 일치되어 정확한 커플링 정렬이 쉽게 이루어지는 이점이 있고 출력의 급변이나 충격을 받았을 때 Coupling Slip이 방지되는 이점이 있다. 그러나 여러번 분해, 조립을 반복하면 Rabbet부가 손상되어 간극이 커지므로 항상 정렬 상태가 정확하다는 고정 관념을 버려야 한다. 따라서 Rabbet 부위는 원형이 보존되도록 분해, 조립시 각별한 주의를 기울여야 한다. 대형 회전기계에서 요즘의 설계경향은 Spigot 직경을 Faucet 직경보다 0.01 mm 정도 크게하여 조립시 억지끼워 맞추하여 양축의 중심선이 일치하도록 하고 있다.

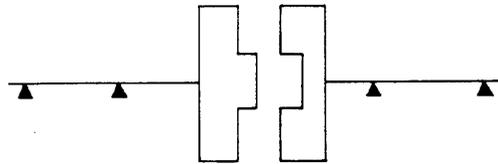


그림 2-71 Rabbet형(Spigot Fit형) 커플링

### (2) Flat Spacer Plate형

커플링면이 평평한 양 커플링 사이에 Spacer Plate를 삽입하는 형식으로써 정확한 정렬 작업을 하는데는 보다 많은 시간과 기술을 요한다. 그러나 터빈 축방향 간극 조정이 필요할 때 터빈 케이싱 이동없이 Spacer Plate를 취외하므로써 쉽게 정밀 조정 작업을 할 수 있고, 축정렬 상태 측정 작업시 측정 공기구의 설치가 용이하다.

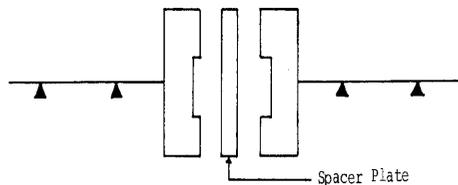


그림 2-72 Flat Spacer Plate형 커플링

### (3) Rabbet Spacer Plate형

이 형은 Rabbet형과 Flat Spacer Plate형의 장단점을 갖고 있다.

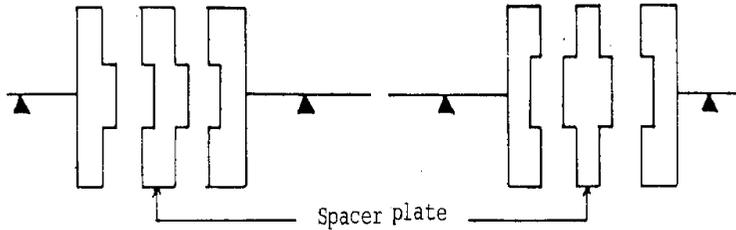


그림 2-73 Rabbet Spacer Plate형 커플링

### 7.3 油壓 組立式 커플링 볼트 (Supergrip Coupling Bolt)

터빈 커플링 볼트는 과거에는 Reamer Bolt를 사용하였으나 이는 조립 및 취외시 조립 간극이 작아 볼트 및 Bolt Hole의 Reaming 부위가 손상되는 일이 많고 심한 경우 볼트를 절단 및 Drilling하여 취외해야 하는 경우도 발생한다. 또 장시간 사용함에 따라 조립 간극이 증가하여 운전중 고진동이나 Unit Trip시 커플링에 미치는 큰 토크에 의하여 커플링 정렬상태가 변화되어 고진동의 원인이 되기도 한다. 뿐만아니라 가열 토취, 또는 대형 해머를 사용하여 분해, 조립을 하여야 하므로 분해, 조립에 시간이 많이 걸리는 단점이 있다.

Reamer Bolt의 이런 문제점을 해결한 것이 그림 2-74와 같은 유압 조립식 커플링이다. 이는 구조가 약간 복잡하기는 하나 분해, 조립시 유압을 이용하므로 작업시간이 빠르고 일단 조립이 완료되면 볼트와 볼트 구멍간에 간극이 없으므로 처음부터 볼트의 전단력이 토크 전달에 기여하는 등 장점이 많다. 한전에서는 1989년 고리원자력 1호기 터빈 커플링 볼트 개선을 시작으로 현재는 원자력과 기력을 불문하고 거의 모든 대형 터빈의 재래식 리이머 커플링 볼트를 유압 커플링 볼트로 개조하였으며 신규 설치 터빈은 건설시부터 이를 사용하고 있다. 유압 커플링 볼트의 특징은 다음과 같다.

- ① 유압을 이용하여 분해, 조립하므로 신속한 작업이 가능하다.
- ② 커플링 면의 마찰과 볼트의 전단력에 의하여 토크를 전달한다 (마찰력 : 20%, 전단력 : 80%). 따라서 Slip이 발생치 않는다.
- ③ Hammer 등을 사용하지 않으므로 설비에 충격이 없다.
- ④ Coupling Bolt의 고착이 발생치 않는다.
- ⑤ Coupling Concentricity 작업이 용이하다.

### 7.4 커플링 結合前 點檢 事項 (Checks Prior to Coupling Assembly)

커플링 결합작업에 앞서 다음 조건을 점검 확인하여야 한다.

- ① 현장에서 Reamer 작업을 행할 경우는 Coupling Bolt, Nut, Washer의 중량 조정이 완료되어 있을 것.
- ② Rabbet Fit Type의 커플링에 대해서는 Male & Female Rabbet Fit부에 Stick 방지제를 얇게 도포할 것.
- ③ 상부 베어링을 조립하지 않은 상태에서 로터를 회전시킬 경우는 하부 베어링의 회전 방지 대책을 세워둘 것.
- ④ 축방향 이동 방지용 Jig가 완전하게 취부되어 있는지 확인할 것
- ⑤ 로터를 회전시킬 경우는 윤활유를 베어링에 주입할 것.
- ⑥ 수소냉각 방식의 발전기는 터빈/발전기간 축정렬 작업에 앞서 발전기 수소는 Purge되어 있어야 하며 또 수냉각 방식의 발전기는 Stator 냉각 계통이 정지되어 있을 것.

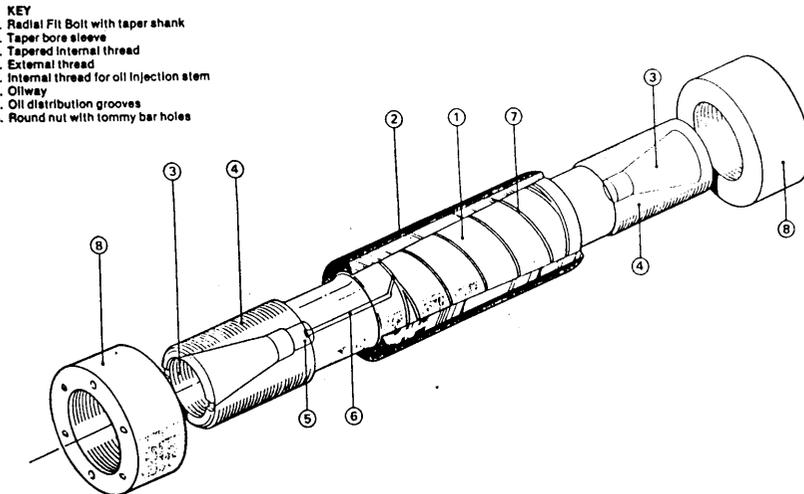


그림 2-74 유압 커플링 볼트

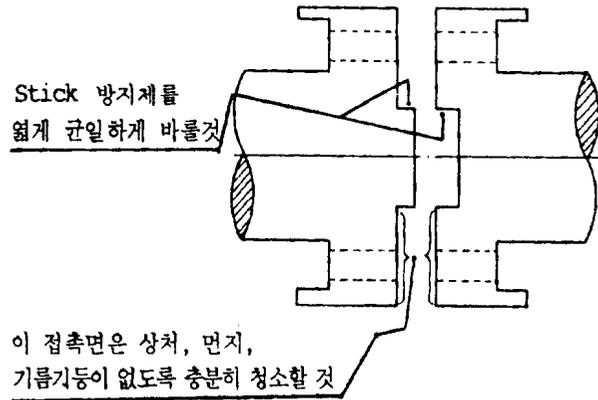


그림 2-75 커플링 체결전 확인 사항

## 7.5 커플링 結合시 注意 事項 (Considerations on Coupling Assembly)

### (1) Coupling Alignment

- ① 임시 베어링이 있는 경우는 임시 베어링으로 상대측 커플링과 동일 중심이 되도록 조정한다.
- ② 임시 베어링이 없는 경우에는 Level이 낮은 쪽의 로터를 Hydraulic Oil Jack 등으로 높은 쪽의 커플링 중심에 맞춘다.
- ③ Spacer Type의 경우는 Spacer 삽입 간격을 확보한다.

### (2) “A” Mark(조립 표시) 맞추기

- ① 양쪽 커플링 원주에 표시된 “A” Mark를 맞춘다(신규 500Mw 터빈의 경우 “L”과 “H” Mark를 맞춘다).
- ② 한쪽 로터가 임시 베어링 또는 Hydraulic Oil Jack 등으로 정렬되어있는 경우는 그 반대측의 로터를 회전시켜 맞출 것.
- ③ 회전량이 많은 경우는 Crane 등으로 돌리지만 적은 경우는 Hydraulic Oil Jack 등에 의해 볼트 체결 구멍과 Pin 등을 사용해서 조금씩 주의 깊게 회전할 것.
- ④ Reamer Bolt로 체결하는 경우는 Reamer Bolt가 순조롭게 들어갈 수 있도록 Alignment Pin으로 정렬작업 할 것.
- ⑤ Spacer Type의 것은 “A” Mark를 확인하고 Chain Block 등으로 정렬하여 구멍을 맞추지만 특히 Spacer 안밖을 틀리지 않도록 주의할 것.

**(3) 로터 당기기**

- ① 케이싱과 함께 로터를 끌어당기는 형태인 경우는 케이싱에서 로터로 Dial Gauge를 취부하여 축방향의 간극이 허용치 이내에 있도록 감시할 것.
- ② 끌어당기지 않는 축의 로터는 이동되지 않도록 감시하고 필요에 따라서 Thrust 또는 Stopper를 설치할 것.
- ③ 측정법 하기 위해 사용했던 Hydraulic Oil Jack과 기타 Jig는 로터를 끌어당길 때 지장을 주지 않도록 주의할 것.
- ④ 케이싱을 이동시키지 않는 형태인 경우는 축방향의 간극을 확인하고 로터 회전부가 정지부에 접촉되지 않도록 주의한다. 어느 경우라도 로터 회전부와 케이싱 고정부와 접촉되어서는 안된다.

**(4) Reamer Bolt 삽입**

- ① Reamer 부에는 Stick 방지제를 얹고 균일하게 바른후 삽입할 것.
- ② Reamer Bolt에는 번호가 표시되어 있으므로 반드시 같은 번호의 Hole에 삽입할 것.

**7.6 Coupling Bolt 締結 (Coupling Bolt Tightening)**

Coupling Bolt를 체결하는 경우 중심이탈(中心離脫), 공진(共振), Run Out을 감시하면서 행할 것.

- ① 대각선상에 위치하는 볼트 4본을 볼트 유효길이의 0.5/1000~0.6/1000 (볼트 체결 설계치의 약 1/2정도)까지 체결한다.
- ② 커플링의 Runout을 계측하여 중심이탈, 공진을 구하고 가능한 한 목표치 내에 들도록 한다.
- ③ 남은 모든 볼트를 볼트 유효길이의 0.5/1000~0.6/1000 (볼트 체결 설계치의 약 1/2정도)까지 체결한다.
- ④ 커플링의 Runout을 계측하여 중심이탈, 공진을 구한다.
- ⑤ 볼트 전체를 설계치까지 체결한다.
- ⑥ 커플링의 Runout을 계측하여 중심이탈, 공진을 구한다.

※ 중심이탈(中心離脫), 공진(共振)의 목표 및 허용치

- |                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| • 목표치: 1.25/100 mm | • 목표치: 2.5/100 mm |
| • 허용치: 2.5/100 mm  | • 허용치: 3.8/100 mm |

### 7.7 共心離脫 및 共振 (Movement of Coupling Centers by Bolting)

#### (1) 커플링 외주 Runout 측정

체결된 커플링 각각에 Dial Gauge를 설치, 로터 “0” Mark를 기준점으로 8등분 하여 계측한다. 8등분 기호는 “0” Mark를 기준으로 회전 반대 방향으로 A, B, C...로 함을 원칙으로 한다. 즉 로터를 회전시킬 때 Dial Indicator 지침이 A, B, C 순으로 가리키도록 표시한다. 측정치의 환산은 Dial Gauge의 최소 지시치를 “0”으로 하고 그 값을 기준으로 하여 이보다 큰 값은 “+”로 표시한다.

#### (2) Vector법에 의한 중심위치 산출

터빈 및 발전기측 커플링에서 계측한 Runout치의 Vector를 그림 2-77, 78, 79와 같이 Polar Graph에 작도한다. 각 4개의 Vector를 합성하면 터빈측은  $16 \angle 230^\circ$ 이고 발전기측은  $12.4 \angle 210^\circ$ 이다. 이 값들은 4개의 Vector가 합성된 값이므로 이를 평균한 것이 각 커플링에서의 중심이다. 즉 터빈측은  $4 \angle 230^\circ$ , 발전기측은  $3.1 \angle 210^\circ$  위치에 중심이 있는 것이다.

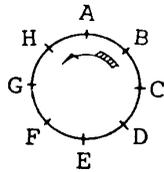


그림 2-76 Runout 측정을 위한 표시

예로서 터빈 발전기측 커플링에서 계측한 Runout치는 다음 표 2-9와 같다.

표 2-9 터빈/발전기 커플링에서 계측된 Runout 값

단위 : 1/100 mm

측정위치 Runout치		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	0°	최대
		A	B	C	D	E	F	G	H	A	
터 빈 측	지시치	-2	-1	0	2	6	6	6	3	-2	8
	환산치	0	1	2	4	8	8	8	5	0	8
	Vector	A-E $8 \angle 180^\circ$		B-F $7 \angle 225^\circ$		C-G $6 \angle 270^\circ$		D-H $1 \angle 315^\circ$			
발 전 기 측	지시치	2	-4	0	6	6	1	6	1	2	10
	환산치	6	0	4	10	10	5	10	5	6	10
	Vector	A-E $4 \angle 180^\circ$		B-F $5 \angle 225^\circ$		C-G $6 \angle 270^\circ$		D-H $5 \angle 135^\circ$			

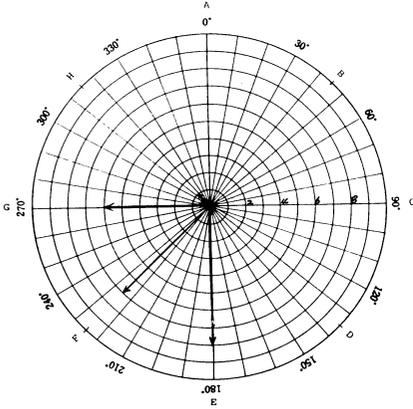


그림 2-77 터빈축 커플링의 벡터

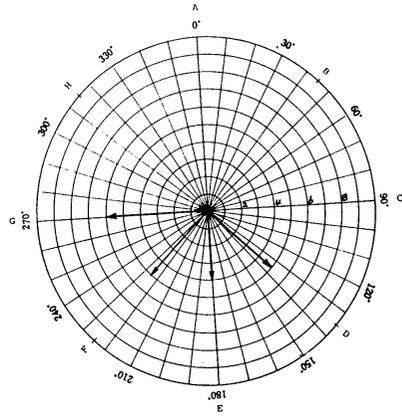


그림 2-78 발전기축 커플링의 벡터도

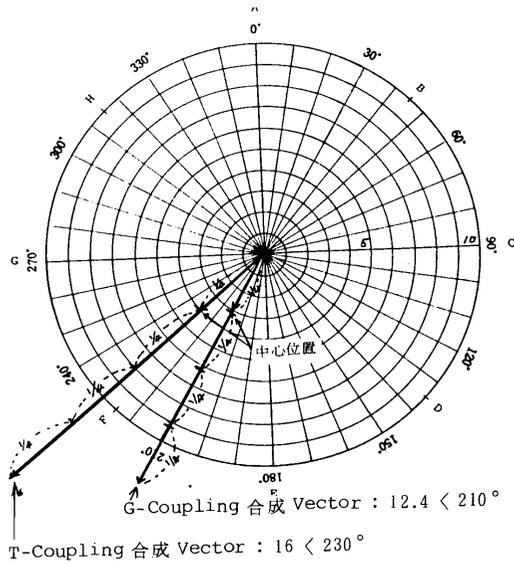


그림 2-79 합성 벡터의 중심 위치

### (3) 수직 이등분선에 의한 중심 위치 산출

8점 계측된 커플링 외주의 Runout의 평균 합성 Vector를 그림 2-80과 같이 Polar Graph(극좌표)에 확대 작도한다. 중심은 확대 작도된 쌍방의 대각 계측점을 연결한 대각선의 수직 2등분선에 위치한다. 따라서 계측한 8점의 개개의 대각선으로부터

개개의 수직 2등분선의 교점을 중심이라 부른다. 이론적으로 4개의 전 교점은 1점에 집중되지만 현실적으로는 4개의 수직 2등분선이 1점으로 교점을 만들지 않고 5점 또는 6점의 교점을 만들어 내는 것이 보통이다. 그와 같은 경우 계측 오차값을 고려하여 중심을 집약하여 중심의 절대량, 각도를 구한다.

(4) 중심이탈, 공심이탈 및 공진

다음 그림 2-80과 같이 중심이탈은 양쪽 커플링의 중심을 연결한 거리를 말하며 공진은 양쪽 커플링에 공유하는 Runout이다. 또 원점에서 중심이탈의 1/2위치까지의 거리를 공심이탈이라 하며 이의 2배가 공진이다.

(5) Misalignment 교정 방법

Coupling Bolt 체결 요령은 앞에서 설명한 방법에 의거 실시하는 것이 바람직하다. 그러나 앞의 예에서와 같이 커플링 체결후 중심이탈은 1.6/100 mm로 허용치(2.5/100 mm)이내에 있으나 목표치(1.25/100 mm)보다는 크며, 공진은 7.1/100 mm로 허용치(3.8/100 mm)를 초과하고 있어 교정이 필요하다. 특히 공진 Vector가 “F” 커플링 볼트 쪽으로 치우쳐 있으므로 “F” 커플링 볼트 반대측의 커플링 볼트 “A”, “B”, “C”를 풀고 “E”, “F”, “G”를 최고 허용 신장량으로 조인후 풀었던 “A”, “B”, “C”는 최저 허용 신장량으로 다시 조인다. 커플링 볼트 체결이 완료되면 다시 앞의 절차를 반복하여 체결 상태를 확인한다.

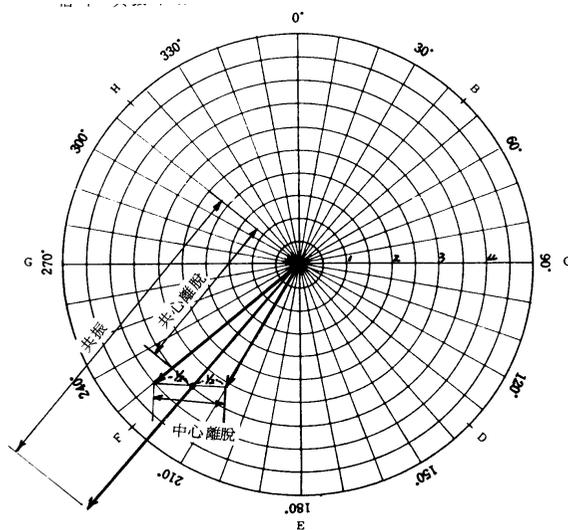


그림 2-80 중심이탈, 공심이탈 및 공진

### 7.8 커플링 토오크 (Coupling Torque)

커플링의 역할중 하나가 축의 회전력(토오크)을 전달하는 것으로써 이 회전력의 전달은 그림 2-81과 같이 양 커플링의 면접촉력으로 이루어진다. 그림에서 커플링 면에서의 회전 토오크  $T_c$ 는

$$T_c = n \cdot Q \cdot R_f \cdot \mu \quad (1)$$

축동력  $P_s$ 는

$$P_s = \frac{2\pi \cdot N \cdot T_s}{7 \times 100 \times 60} \quad (2)$$

여기서

$T_c$  : 커플링의 전달 토오크(kg-cm)

$T_s$  : 축의 비틀림 모멘트(kg-cm)

$P_s$  : 축동력

$n$  : 볼트수

$\mu$  : 접촉면 마찰계수(0.15~0.20)

$Q$  : 볼트 조임력(kg)

$R_f$  : 접촉면 평균 반경( $C_m$ )= $(R_1+R_2)/2$

$N$  : 축의 분당 회전수( $\text{min}^{-1}$ )

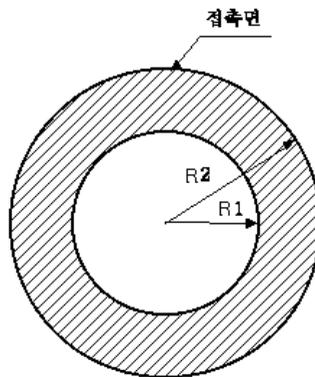


그림 2-81 커플링 접촉면

커플링의 회전 토오크  $T_c$ 는 (1)식에서 보는 바와 같이 볼트 수량  $n$ 와 접촉면의 평균 반경  $R$ 는 고정된 값이므로 볼트의 체결력  $Q$ 와 마찰계수  $\mu$ 에 따라 좌우된다. 마찰계수는 커플링 접촉면의 상태와 관계되므로 커플링 접촉면을 점검해야 하는 이유도 여기

에 있음을 알 수 있다. 설계상  $T_c \approx 2T_s$ 이상으로 하나 만약 커플링 볼트 체결력 부족이나 접촉면 불량으로  $T_c < T_s$ 가 되면 Coupling Slip이 생겨 커플링 정렬상태가 흐트러지게 된다. 일반적으로 Coupling Slip의 원인은 전력 계통 사고로 발전기가 병해 혹은 재폐로 될 때의 충격과 로터의 굽힘이나 Misalignment에 기인한 편심에 의한 원심력으로 발생될 수 있다. 따라서 이러한 비정상적인 충격에 대한 보완 조치로서 Rabbet 형을 많이 채용하고 있다.

## 8. 現場에서 機械 移動時 考慮事項

### (Considerations for Moving Machinery in the Field)

#### 8.1 런아웃과 軸整列 公差 (Runout and Shaft Alignment Tolerance)

##### 8.1.1 런아웃 (Runout)

Runout이란 용어는 회전기계 축상에 존재하는 진원도 및 수직도의 불량 상태를 나타내는 양이며, 측정렬을 하기전에 점검해야 할 사항중 하나이다. 모든 회전기계의 축, 커플링 허브, 임펠러 또는 축에 견고하게 부착되어 있는 다른 부품들도 어느 정도의 Runout(작은 것은 1 mm로부터 큰 것은 3 mm까지)을 가지고 있다.

반경방향(Rim)의 Runout은 축의 회전중심선에 관하여 축에 견고하게 부착된 부품 또는 축의 외주 표면에서의 편심이다. Face Runout은 축의 끝부분이나 축에 견고하게 부착된 부품의 표면에 존재하는 비 수직도의 양이다. Runout 상태는 통상 다이얼 인디케이터로 측정하며, 로터 길이 방향에 따라 몇몇 위치에서 점검해야 한다. Face Runout의 양은 회전 중심선으로부터의 거리에 따라 변할 수 있다. Coupling에서 Runout 문제가 원천적으로 발생하는 3가지 범주는 커플링 허브 내경의 중심이 어긋나게 가공된 경우, 커플링 허브 내경이 비스듬히 가공된 경우와 축이 휜 경우이다. 또한 Runout 문제가 조립시 발생하는 경우는 커플링 볼트 및 볼트 구멍의 표면 불량으로 Coupling Slip이 운전중 발생하기 때문이고 또 커플링 볼트의 체결력이 불균일하여 공심 및 중심 이탈이 발생하기 때문이다.

회전기계 축에 관하여 허용 Rim Runout 값의 지침으로는 표 2-10이 사용되며 Face Runout 값은 0.02 mm 이하를 추천하고 있다. 한편 Runout 값 측정 기록시 주의할 사항은 최고점(High Spots)과 돌출부(Hills)는 같지 않으며 역시 최저점(Low Spots)과 오목부(Valleys)도 같지 않다는 것이다. 즉 최고점과 최저점은 180°떨어져 발생해야 하며, 돌출부와 오목부는 예를들면 커플링 허브의 외주 어느 곳에서도 발생할 수 있다. 따라서 이와 같은 돌출부와 오목부에서의 Runout 값은 제외시켜야 한다.

표 2-10 최대 Rim Runout 권고치

기계 속도 (rpm)	최대 허용 Runout 값 (T.I.R)
0~1800	0.125 mm
1800~3600	0.05 mm
3600 이상	0.05 mm이하

### 8.1.2 軸整列 公差 (Shaft Alignment Tolerance)

Flexible Coupling에서 축의 Misalignment란 기계가 정상운전 상태일 때 동력전달점에서 측정된 공동선형(Colinear) 회전축으로 부터의 상대적인 축위치의 편차(Offset)이다. 공동선형이란 동일선 또는 동일 축선을 의미한다. 두 축이 공동선형 상태일 때 두 축은 정렬 되어 있다고 볼 수 있다. 상대적인 축위치의 편차는 한 축의 회전 중심선과 상대축의 회전 중심선과의 차이를 측정하여 계산한다.

그림 2-82의 Flexible Coupling의 경우 수직면(Side View)과 수평면(Top View) 각각의 동력 전달점에서의 편차가 4개 있다. 만일 이 4개의 편차중 최대치가 6 mils 이고 동력 전달점간의 거리가 4 inch 라면 최대 Misalignment 편차는  $6 \text{ mils}/4 \text{ inch}=1.5 \text{ mils/inch}$  이다.

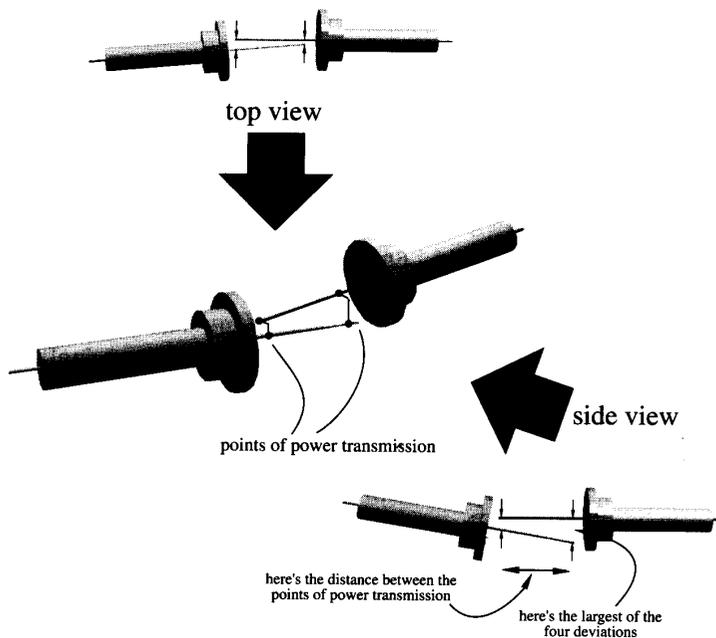


그림 2-82 Flexible Coupling에서 4개의 편차

Flexible Coupling을 가지는 기계에서 축정렬의 목표는 4곳의 편차가 어떠한 공차값 이하가 되도록 기계 케이싱을 위치 시키는 것이다. 그림 2-83은 회전기계의 속도, 동력 전달점에서의 최대 편차(Rim)와 각도(Face)간의 관계를 보여주며 또한 Flexible Coupling을 가지는 회전 기계의 허용 축정렬값의 지침으로 사용되고 있다.

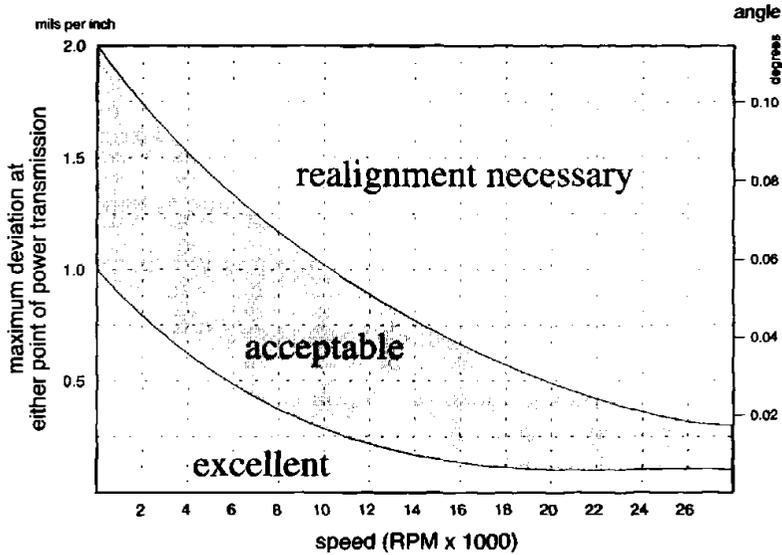


그림 2-83 축정렬 공차지침 (Flexible Coupling의 경우)

### 8.1.3 水平度 (Level)

수평도를 조정한다는 말은 정렬 작업을 한다는 말과 다른 의미이다. 수평도란 말은 지구의 중력과 관계가 있다. 어떤 물체가 수평상태에 있을 때나 물체의 길이 방향에 따라 여러 점들이 동일한 고도에 있을 때 그 물체는 수평(Level)을 이루고 있다고 한다. 다른 말로 표현하면 물체의 표면이 중력선에 수직인 경우 수평을 이루고 있다고 한다. 지구의 표면이 곡선이기 때문에 지역에 따라 수평상태의 회전기계 기초는 서로 평행 상태일 수는 없다.

비록 드문 일 이기는 하지만 구동기의 수평조정과 축정렬을 동시에 맞출 수는 있다. 또한 수평조정은 행하고 축정렬은 안되는 경우도 있고 반대로 축정렬은 행하고 수평조정은 안되는 경우도 있다. 축정렬 작업은 축의 회전 중심선들을 맞추는 것이기 때문에 중력선에 수직인 회전 중심선들을 가질 수도 있고 갖지 않을 수도 있다. 표 2-11은 수평방향으로 설치된 회전기계에 대한 추천된 수평도 범위이다.

표 2-11 수평 회전기계의 수평도 범위

회전기계의 형식	최소 권고 수평도	최대 권고 수평도
구름 베어링으로 지지된 일반 용도의 기기	10 mils/ft	30 mils/ft
슬리브 베어링으로 지지된 일반용도의 기기(500HP 이상)	5 mils/ft	15 mils/ft
구름 베어링으로 지지된 특수용도의 기기(500HP 이상)	5 mils/ft	20 mils/ft
슬리브 베어링으로 지지된 특수용도의 기기(500HP 이상)	2 mils/ft	8 mils/ft
Machine tools	1 mils/ft	5 mils/ft

## 8.2 冷間 및 熱間 軸整列 (Cold and Hot Shaft Alignment)

Cold Alignment는 운전조건이 아닌 정지 상태에서 2개 이상의 축을 원하는 축정렬 값으로 조정하는 기법이다. 이 냉간 축정렬 작업은 50℃ 이하의 순환유만을 공급하는 것이 관례이다. 이와같이 하는 데는 2가지 장점이 있는데 그 하나는 베어링이 너무 뜨겁거나 찬 공정 과정중의 열이 없는 아주 안정된 대기 온도 상태로 하기 위한 것이고 또 하나는 축정렬 측정치를 얻기 위해 축을 회전시키는데 편리하기 위하여 사전에 윤활을 하기 위한 것이다.

앞의 2~5항에서 기술한 축정렬의 측정, 작도 및 계산기법(예를들면 Rim 및 Face 기법, 역 다이얼 인디케이터 기법, Double Radial 인디케이터 기법, 축과 커플링 스플 기법 및 Face 와 Face 기법 등)은 모두 Cold Alignment 작업을 위한 기법들이다.

실제로 모든 회전체는 기동시와 운전 과정중에 위치가 변화하여 축정렬에 영향을 미친다. 축이 정상적인 운전조건 하에서도 동일 직선상에서 운전되기 위해서는 축의 이동량과 방향을 측정하여 이를 냉간 축정렬 과정에서 보상하는 것이 바람직하다.

현존하는 회전기계의 약 60%는 이동량이 미미하여 무시할 정도이나 나머지의 경우는 원활한 운전을 하는 기계도 있는 반면에 이로인해 문제가 되어 골치를 썩이는 기계도 있다.

일단 기계가 가동되면 기계를 이동하게 하는 여러 가지 인자들이 있다. 가장 일반적인 원인은 기계 자체의 온도변화(가스를 압축할때나 베어링에서 마찰로 인해 윤활유가 가열될 때) 때문이며, 따라서 이를 일반적으로 열적 이동(성장) 이라고 한다. 그외 기

계를 움직이게 하는 원인들로는 고정 볼트의 이완, 옥외 설치된 기계에 미치는 기후조건 변화, 콘크리트 페데스탈의 가열 및 냉각, 무부하로부터 부하상태까지의 운전조건 변화 및 로터 회전시 원심력에 대한 케이싱 및 지지구조물의 반작용 등을 들 수 있다.

기동정지가 빈번하거나 운전중 부하가 급변하는 기계에 대해서는 특별한 관심을 가져야 한다. 이와 같은 경우에는 특정 상태에서의 지속시간, 기계 이동량의 최대 및 최소치의 변화량 및 커플링과 Alignment의 공차 등과 같은 인자들에 가중치를 두고 절충 운전을 하여야 한다. 이러한 변화를 잘 관찰하고 기록하기 위해서는 주기적인 점검을 해야하며, 연속적인 축 위치도 감시하여야 한다.

정지상태로부터 운전상태로 변환에 따라 회전기계의 이동량을 관찰 한다는 것은 얼른 보기에는 대단히 복잡한 것 같이 보일지 모르지만 이 측정은 기계가 정지 상태일 때의 회전 중심선들의 위치와 운전상태 일때의 회전중심선들의 위치를 비교하는 것에 불과하다. 따라서 자료를 정지중일 때(냉간상태)와 운전중일때(열간상태) 취해야 한다.

기계가 정지 상태에서 정상 운전 상태까지의 측정될 변화량을 측정할 수 있는 방법으로는 기계정지 직후 측정하는 법, Water Stand 사용법, Optical Equipment 이용법, Laser Beam 이용법, Proximity Probe 이용법 등 다양하지만 각각 장단점을 가지고 있기 때문에 2개 이상의 방법으로 측정한 결과를 비교하여 선정하는 것이 바람직하다.

증기터빈, 가스터빈, 원심펌프, 왕복동기계 및 변속기 등은 단위 기계간의 유체 온도 차이로 인하여 좌우 및 축방향의 열팽창 뿐만 아니라 상하(수직)방향으로 Thermal Growth 차이로 인해 베어링간의 부하 안배가 균등하지 못하여 Oil Whip에 의한 고진동이 발생하게 된다. 재질에 따라 열팽창 계수가 다르지만 통상적으로 강의 열팽창량은 물체의 길이가 1 m일때 100℃를 올리면 이 물체는 1내지 1.1 mm늘어난다(1 mm/m/100°≈0.6 mils/inch/100°F). 이 팽창량을 감안하여 냉간 측정될시 이를 보상 하므로써 정상운전(열간 측정될 상태)중에 Smooth Alignment(Face 및 Rim 모두 Zero인 측정될)가 되도록 하는 것이다.

### 8.3 現場에서 機械移動 作業과 制限

#### (Machinery Movement and Restrictions in the Field)

현장에서 측정될 하는데 7가지 기본 절차(① 안전조치 ② 사전 점검 ③ 축위치 측정 ④ 계산 ⑤ 이동량 결정 ⑥ 기계의 이동 ⑦ 운전과 점검)가 있다. 이런 절차중 현장에서 측정될 하는데 가장 많이 시간이 소요되는 절차는 사전점검(커플링의 손상부품 확인, 기초 문제점의 확인, 베어링 간극 측정, Runout 및 Soft Foot 확인 등)

항목과 기계이동 및 측정 항목이다. 따라서 측정법 작업을 단축 시키기 위해서는 값비싼 측정 장비를 구입 사용하는 것 보다 정확한 기계 이동을 위한 각종 Device를 설치하는 것이 바람직하다.

기계를 원하는 측정법 위치로 옮기는 기술이야말로 중요한 기술이다. 아무리 0.01 mm 정밀도로 측정하고 계산하여도 그렇게 정밀하게 이동할 수 있는 기술이 없다면 그것은 의미가 없는 일이다. 만약 그렇게 할 수 없다면 그 이전단계에 기울었던 모든 노력과 정성이 헛수고로 된다. 정확하게 기계를 이동 수정하는 기술이야말로 측정법에서 노련미를 나타내는 척도이고 앞으로 개발하여야할 과제이다. 지금까지 땀흘리며, 온갖 정성을 기울여 작업하여 왔던 그 결과가 바로 여기에 좌우된다.

### 8.3.1 機械移動의 基本節次 (Machinery Positioning Basics)

#### (1) 축간 거리 (Axial Spacing)

구름 베어링으로 지지되는 로터의 경우 양 축사이의 거리는 정말 중요하다. 추력 베어링과 미끄럼 베어링으로 지지되는 로터의 경우는 로터의 실제 위치를 반드시 고려하여야한다. 예를 들어 슬리브 베어링에 의해 지지되는 전동기 회전자에 계자전류를 가하면 이 전자기장은 회전자를 고정자 계자장의 중심에 오도록 한다. 이 위치를 Magnetic Center라 하며, 전동기를 단독 운전하여 베어링실(Bearing Seal)과 같은 고정 기준점 근처에서 날카로운 Pen이나 Soap Stone으로 회전축상에 선을 긋는다. 이와 같은 전동기의 경우는 축간 거리를 결정하기 전에 Magnetic Center를 찾아 이를 보상(참고) 하여야 한다. 또한 원심 압축기, 터빈 등은 "Active" 추력 베어링과 접촉하여 운전하게 되므로 축간 거리를 설정할 때 "Active" 추력 베어링과 Thrust Collar가 접촉되도록 하여 측정해야 한다.

기계 제작자의 특별한 언급이 없는 한 축간 거리는 회전축 중심선에 가능한 가까운 곳에서 측정되어야 한다. 공차가 주어지지 않았다면 대충  $\pm 0.010$ " 이내로 조립한다. 커플링의 잠금 현상은 이 Gap이 부적절하거나 과도한 축의 Misalignment가 있을 때 발생하므로 축간 거리의 중요성에 대하여 강조하지 않을 수 없다. 커플링의 목적은 회전력을 전달 하는 것이지 축사이의 추력을 전달하는 것이 아니다.

#### (2) shim 넣기 (Shim Stock)

기계의 상하 및 좌우 이동을 하는데 가장 일반적으로 사용하는 것이 바로 shim이다. shim의 두께는 보통 1 mil에서 100 mils이며 100 mils 이상이 되면 스페이서(Spacer) 또는 플레이트(Plate)라고 부른다. 보통 shim은 동, 탄소강, 스테인레스 등으로

만들지만 필요에 의해서 다른 금속으로도 만들 수 있다. 심 두께의 정확도는 통상 +/- 5%이다.

### (3) 좌우 이동 (Lateral Movement)

나사 잭(Jackscrews)이나 다른 장비 등 어떤 것을 사용하던지 베이스 볼트를 풀고 조이는데 지장이 없도록 하여 가능한한 측정될 목표값에 근접하도록 해야한다. 좌우 이동량을 확인하는데 사용되는 다이얼게이지의 부착위치는 나사 잭(Jackscrews)을 조이고 풀때 생기는 충격을 최소화하기 위해 움직이고자 하는 나사 잭(Jackscrews)의 반대 위치에 부착한다. 좌우로 움직일 때 베이스 볼트 한쪽을 고정점으로 하고 반대쪽을 움직인다. 한쪽을 목표 값만큼 충분히 이동시킨 후 베이스 볼트를 고정하고 반대쪽 볼트를 풀어 다시 목표 값으로 이동시킨다.

보통 기계를 측면 이동할 때 큰 실수를 범하기 쉽다. 대부분의 기계에서 한 지점을 고정하고 한쪽만 움직이는 것보다 양쪽을 똑 같이 수평으로 이동하는 경우가 더 많을 것이다. 예를 들어 Outboard를 움직일 때 Inboard가 움직이는 양을 감시하지 않으면 모르는 사이에 Inboard에서 변화가 생길지도 모른다. 따라서 문제점을 최소화하기 위하여 몇가지 제안을 한다.

- 기계의 Inboard와 Outboard 양쪽에 똑같이 인디케이터를 부착한다.
- 기계에 덕트나 파이프가 부착되어 있다면 볼트를 풀기전 인디케이트를 '0'로 조정한다 (만약 케이싱 볼트를 푼후 2 mils이상 움직인다면 "Soft Foot" 문제나 파이프 Stress문제를 수정하는 방안도 검토해 보아야 한다).
- 기계를 움직일때는 반드시 나사 잭을 사용한다.
- 만약 나사잭을 사용하지 않는다면 베이스 볼트 하나를 고정점으로 하여 먼저 Outboard를 움직이고 다시 Inboard를 움직이는 방법을 택한다.

Inboard쪽 움직임을 확인하기 위하여 기계 케이싱의 한쪽에 다이얼게이지를 부착하거나 커플링에 부착한 다이얼게이지를 이용한다. 커플링 허브에 부착한 다이얼게이지를 한쪽 면에 고정하고 '0'으로 고정한 후 180°돌려서 나온 값을 읽는다. 커플링에 장착한 다이얼게이지의 값이 목표 값의 반이 될 때까지 Inboard쪽을 원하는 방향으로 움직인다. 다시 다이얼 게이지의 값을 '0'으로 고정하고 축을 반대로 180°돌려서 처음의 다이얼게이지의 값을 '0'으로 고정한 위치로 가서 그 값을 읽는다. 만약 그 값이 '0'이 나오지 않으면 Inboard쪽을 다시 미세 조정하여야 한다. 또한 각 베이스를 동시에 다이얼게이지와 나사 잭을 사용하여 움직여도 무방하다.

#### (4) 수직 이동 (Vertical Movement)

기계를 상하로 이동하는 것은 좌우로 움직이는 것보다 주변 여건상 훨씬 어렵다. 따라서 정확한 수직위치에 기계를 고정시키기 위하여 최소한의 기계만을 움직이고 수직 이동을 한후에 수평 이동을 하는 것이 바람직하며 시간도 절약된다.

#### 8.3.2 移動 制限値 (Movement Restrictions)

측정렬 상태 측정, 이동량 계산 다음에는 실제로 기계를 이동하여 원하는 측정렬 상태로 조정해야 한다. 물론 허용공차 이내로 측정렬을 하게 되지만 로터가 고정자 내에서 완전히 정렬되어 고정자(케이싱)을 이동하는 경우와 터빈과 같이 케이싱 정렬이 이루어진 상태에서 로터를 케이싱 간극 내에서 측정렬을 하게 되는 경우가 있다.

케이싱을 이동하여 측정렬 하는 경우 상방향 이동은 대체로 큰 량도 가능하다. 하방향 이동은 이미 Foot 밑에있는 Shim Plate 두께 이상으로는 불가능하다. 이것이 상하방향 이동의 제한치 이다. 한편 좌우방향의 이동은 부착된 파이핑 시스템에 의한 이동 제한과 기초볼트와 기초볼트 구멍간의 간격이 이동제한치 이다. 측정렬시 이동 제한치에 해당되면 한쪽 기계를 고정시키고 다른 기계를 이동시켜 측정렬 하려고 하지말고 두 기계를 동시에 이동시킨다면 이 제한치 내에서도 측정렬이 가능한 경우가 훨씬 많아진다.

케이싱 정렬 완료후 케이싱 내에서 허용공차 이내로 측정렬할 경우는 내부 간극이 작기 때문에 비록 측정렬은 잘되었어도 운전중 로터와 케이싱간에 Rubbing이 발생할 수 있다. 이러한 경우를 피하기 위해서는 모눈종이 위에 상하, 좌우 이동상태별로 각 부위마다 설계 간극 및 실제 간극을 표시하여 로터를 이동할 수 있는 간극을 알 수 있게 한다. 이를 Clearance Map이라고 하며 이를 근거로 하여 Rubbing 없이 측정렬 허용치 이내로 로터를 상하 또는 좌우 이동할 수 있다.

#### 8.3.3 機械 移動時 留意 事項 (The Do's and Don'ts of Moving Machinery)

- 기계 Foot 아래와 Base와의 접촉면은 먼지가 없고, 평면도를 유지하고 깨끗해야한다 (이때 필요하다면 “Soft Shim”을 사용한다). 수평 이동이 쉽도록 마찰면 사이에 윤활유를 얇게 발라도 무방하다.
- 기계아래 심을 넣고 뺄 때 손가락을 사용하지 말고 플라이어를 사용하라.
- 얇은 심이 여러장 들어 있다면 이를 제거하고 그에 대응하는 한 개의 두꺼운 철판으로 대신하라.
- 파이프가 설치되어 있는 경우 이것이 기계 이동에 어떠한 영향을 미치며 또

그 응력을 제거할 수 있는 방법을 고려하라.

- 수평이동 없이 하부에 심을 조정할 필요가 있을 때는 양쪽에 나사 잭을 고정시키고 작업을 하라. 만약 나사잭이 설치되지 않았다면 가능한 조정하지 않는 쪽은 볼트를 풀지 말고 조정할쪽만 나사를 풀어 심을 수정하라.
- 하부 심을 수정한 후 볼트를 조일 때 다이얼 게이지를 부착하여 측정렬이 흔들리지 않는가 확인하라. 흔들리진다면 교정되지 않은 Soft Foot 때문이다.
- 기계를 움직인 후에는 볼트를 꼭 잠갔는지 확인하라.
- 기계 축을 돌릴 때 커플링 볼트 사이에 파이프 렌치나 지렛대를 사용하지 말라. 체인 렌치나 특수공구를 제작하여 사용하라.
- 일반 탄소강 심을 사용하거나 페인트가 칠해진 심을 사용하지 말라.
- 얇은 심을 여러장 넣지 말라.
- 기계의 움직임을 알기 위하여 다이얼게이지를 설치하기전에는 볼트를 풀지 말라.
- 베이스 볼트를 언더 컷(Under Cut)하지 말라.
- 기계와 베이스를 다우엘(Dowel) 핀으로 고정하지 말라.

### 8.3.4 軸 整列 問題點의 解決指針

#### (The Alignment Problems Troubleshooting Guide)

간혹 측정렬한 것이 도리어 더 나쁜 쪽으로 진행되는 경우도 있다. 또는 전체 측정렬 값은 어느 정도 잘 조정되었으나 허용공차를 벗어나는 경우도 있다. 같은 량의 심을 빼냈다가 다시 제자리에 넣은 경우 볼트를 조일 때 옆으로 움직이는 경우도 있다. 이렇게 난처하게 만든 것이 도대체 무엇이란 말인가 ?

- ① 잠시 멈추고 하던 일손을 놓아라. 큰 문제를 야기 시키는 원인은 조그만 일들 속에 있다. 다음 단계로 나가기 전에 지금까지 당연시해왔던 여러 일들을 다시 한번 생각하고 처음부터 확인해 보라.
- ② 1.6항(측정렬전 점검사항)에 특별한 주의를 기울여라. 측정렬에 문제가 있다면 반 이상이 바로 이부분에서 일어난다. 반복적으로 확인 작업을 하지 않았다면 다시한번 측정을 해보라. 만약 반복측정을 했다 하더라도 다시 한번 측정을 해보라. 만일 Runout 값이 과도하던지, Soft Foot이던가, 베어링 조립에 잘못이 있다면, 베이스의 뒤틀림이나 기초대의 변형 또는 과도한 파이프의 응력이 있다면 그 문제점을 해결하라.

- ③ 지금까지 아무런 문제점을 발견하지 못했다면 좋은 징조이다. 자 이제 측정렬 측정시스템을 조사해보자. 만약 여러분이 다이얼게이지를 사용한다면 그것을 떼어내고 손으로 접촉면을 만져보아 튀어나온 점이 있는지 또 다이얼게이지 스템이 이동하는데 지장은 없는지 조사해 보라. 다이얼게이지의 스템이 부드럽게 움직이지 않으면 교체하라. 만약 여러분이 레이저 시스템이나 광학 장치를 사용하고 있다면 연결선의 상태가 양호한지 센서하고 연결은 잘되어있는지 확인하라. 배터리 상태도 확인하라. 축에 부착한 Clamp 상태도 확인하라. 축에 견고하게 부착되어 있는가? 레이저와 판독기가 브라켓에 잘 부착되어 있는가? 그리고 Clamp 장치의 처짐도 확인해 보라. 베이스 볼트의 Soft Foot 현상은 없는지 조사한다. 볼트를 여러번 풀고 조여서 그 변화값이 항상 일정한지 조사한다. 다이얼게이지의 값은 정확하게 읽었는지 의심이 나면 다시 한번 읽는 사람을 바꾸어가면서 확인한다. 그리고 읽은 값을 비교해 보라.
- ④ 측정렬 작도 기법을 사용한다면 정확히 작도하였는가를 점검한다. 만약 의심이 간다면 그 작업에 대하여 잘 아는 믿을만한 사람에게 다시 한번 해 보게 한후 그래프 2개를 비교해본다.
- ⑤ 지금까지 점검한 모든 결과가 만족하다고 느끼는가? 그럼 이제 기계가 원하는 방향으로 정확하게 갔는가를 점검한다. 심을 삽입하기 전에 마이크로미터로 정확하게 심 두께를 측정하였는가? 심을 정확히 기계 밑에 설치하였는가? 심을 정확하게 양쪽 볼트 밑에 놓았는가? 새로운 심을 넣을 때 기존심을 빼내었는가? 새로운 심을 넣을 때 Soft Foot를 확인하였는가? 심 설치후 베이스 볼트를 정확하게 조립하였는가? 기계를 움직일 때 다이얼게이지를 부착하여 이동값을 확인했는가?
- ⑥ 움직임을 끝내고 다시 한번 측정렬 값을 측정해 보라. 만약 다이얼게이지를 사용했다면 축을 한바퀴 돌려도 항상 '0'값이 나왔는가? 그래프를 그릴때 원하는 Hot Alignment값을 고려하여 작성하였는가? 측정렬 허용공차를 알고 그 범위내에 조립하였는가? 정확한 측정렬을 위하여 심 조정값을 1 mil 단위로 조정하였는가를 확인해 보라.
- ⑦ 기계를 운전하고 난후 진동, 온도, 기타 운전변수를 측정했는가? 진동이 올라간다고 측정렬을 잘못하였다고 탓하는 이는 없는가? 만약 그렇다면 그들에게 이 책을 다시 읽어보라고 권해 보라.

해결 지침은 이상과 같이 단순하다. 만약 여러분이 측정렬을 잘하였다면 기초대는 안정적이고, “Soft Foot” 현상도 없고 파이프 응력도 없고 측정렬 작도는 완벽하게 한 것이고 운전중 기계의 거동상태도 잘 고려하여 완벽하게 작업을 한 것이다.

## 9. 레이저 整列 (Laser Alignment)

현재 발전소를 비롯한 일반 공장에서 행하는 Alignment는 케이싱 정렬의 경우 Piano Wire 기법을 사용하고 측정렬의 경우 Dial Gauge를 이용한 Shaft Alignment와 Inside-Micrometer를 이용한 Rotor Position 측정이 현재 가장 일반적으로 사용되는 방법이다. 이 방법의 장점은 다음과 같다.

- 상대적으로 가격이 싸다
- Dial Indicator 측정법 5가지 모두를 수행할 수 있다.
- 정확도는  $\pm 0.025$  mm(1 mils)이다.
- Dial Indicator로 예비 측정렬의 여러 단계(Runout, Soft Foot 측정 등)를 수행할 수 있다.
- 커플링이 분해된 상태에서 측정이 가능하다.

이 방법은 다음과 같은 단점도 있다.

- Bracket에서 Sag가 발생한다. 따라서 보다 정확한 측정을 위해서는 Bracket Sag 값을 측정하여 보상해야 하나 이것이 쉽지 않다.

그러나 보다 정확 신속하고 용이하게 축 및 케이싱을 정렬하기 위하여 Laser Alignment System을 개발하게 되었고 아직도 Dial Gauge를 사용하는 경우가 대부분이긴 하나 Laser Alignment System의 사용이 점점 더 확장되는 추세이며 이의 장·단점은 다음과 같다.

### 장점

- Bracket 처짐이 없다.
- 정확도는  $\pm 3\mu\text{m}$ 에 달할 수도 있다.

### 단점

- 가격이 비싸다.
- 대부분의 제작자가 10×10 mm 감지기를 사용하기 때문에 측정범위가 다소 제한된다.
- Runout 상태는 측정할 수 없다.

- 대부분의 경우 커플링 볼트가 체결된 상태로 양측이 동시에 회전될 것을 요구한다.
- 아주 밝은 곳에서는 측정이 불가능할 경우도 있다.
- 과도한 증기나 열기가 있는 곳에서는 정밀도가 감소한다.

## 9.1 레이저 光學 測定 시스템에 대한 基礎 理論 (Basic Theory for Laser Optical Measurement System)

### 9.1.1 레이저의 特徵 (Laser Characteristics)

레이저 광선은 인간이 만들어 얻은 유일한 인공 광선이다. 레이저의 빛은 태양과 같이 혼합된 것이 아니고 단일 빛이다 (레이저의 단색성). 일반적으로 보통 빛에 비하여 레이저 빛은 단색성, 지향성, 간섭성, 에너지 집중도 및 휘도성이 우수하다.

#### (1) 단색성

이것은 여러 가지 빛이 혼합되어 있지 않고 어느 정도의 순수한 단일광 인가를 나타내는 것이다. 태양 빛은 여러 가지 빛이 혼합되어 있어서 프리즘을 통과하면 일곱 가지 색으로 분리되는데, 이것은 햇빛이 여러 가지 파장 또는 주파수의 빛으로 구성되어 있다는 것을 의미한다. 단색성이란 순수한 단일 주파수 즉 한 개의 주파수에 의 접근 여부를 말하는 것이다 (그림 2-84 참조).

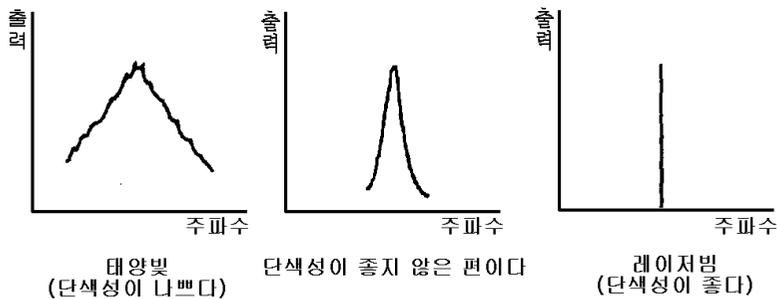


그림 2-84 레이저의 단색성

#### (2) 지향성

이것은 빛이 퍼지지 않고 일정한 방향으로 어느 정도 직진하는가를 말한다. 한가지 예로써 회전 전등 빛과 레이저 빛을 비교해 보자. 회중 전등 빛은 앞으로 진행함에 따라 빛이 넓어지지만 레이저는 거의 넓어지지 않은 채 진행한다. 따라서 레이저 빛이 회중 전등 빛보다 지향성이 더 우수하다고 할 수 있다 (그림 2-85 참조).

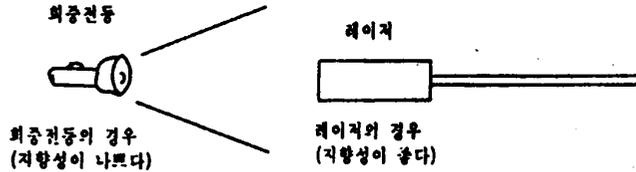


그림 2-85 레이저의 지향성

### (3) 간섭성

간섭이란 위상의 차이에 따라 명암의 무늬가 나타나는 현상으로, 레이저는 위상이 균일하기 때문에 약간의 장애물에 부딪히면 곧 간섭을 일으킨다. 그러나 햇빛과 같은 일반적인 빛은 주파수도, 위상도 가지각색이므로 간섭이 일어나기 어렵다 (그림 2-86 참조).

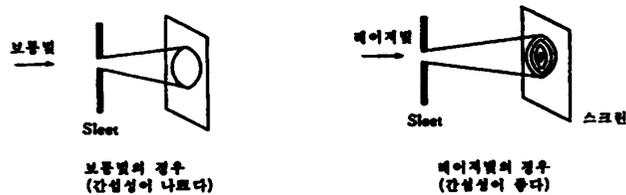


그림 2-86 레이저의 간섭성

### (4) 에너지 집중도 및 고휘도성

태양 빛을 렌즈에 집중시키면 종이나 나무를 태울 수 있는 정도이지만, 레이저 빛의 경우에는 에너지 밀도가 높기 때문에 철판까지도 녹인다.

#### 9.1.2 레이저 發振器의 構造와 諸元

##### (Structure and Specifications of Laser Generator)

일반적으로 레이저 빛을 얻기 위해서는 레이저 발진기가 있어야 한다. 여기서는 레이저 발진기의 기본 구성에 대하여 고찰해 보자. 우선 레이저 발진 작용을 발생시키려면 그 원인이 되는 물질이 필요한데 이 물질을 레이저 매질이라고 한다. 그리고 외부에서 여기하기 위한 여기 매체(Pumping Source)와 공진기(Resonator) 등도 필요하다.

**(1) 레이저 매질**

레이저 매질은 액체, 기체, 고체 및 반도체의 4종류로 분리할 수 있다.

- 액체 --- 색소
- 기체 --- He-Ne, Ar, Kr, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, XeF
- 고체 --- Nd, 루비, 유리
- 반도체 --- GaAs, Inp, GaAs-P, InAs

**(2) 여기 매체**

레이저 매질에 따라 여러 가지 여기 매체가 있는데, 구체적으로 레이저 이름과 그 방법을 서술하면 다음과 같다.

- 방전 --- He-Ne Laser, Ar Laser, Kr Laser, N<sub>2</sub> Laser, CO<sub>2</sub> Laser
- 진류 --- 반도체 레이저
- Flash Lamp --- Nd:YAG Laser, 루비 레이저, 색소 레이저, 유리 레이저
- Laser --- 색소 레이저

**(3) 공진기**

일반적으로 공진기는 2개의 반사형으로 구성된 Fabry-Perot 간섭계가 사용된다. 이것은 레이저 매질을 중심으로 양끝에 반사경을 부착시킨 것으로, 평면형과 구면형이 있으며, 보통 구면형의 거울은 반사율이 크기 때문에 고반사 거울이라 부르며, 출력측의 거울은 출력결합 거울이라 부른다.

**(4) 레이저의 증폭작용**

레이저의 기본 구성으로 레이저 매질, 여기 매체, 그리고 공진기가 있다. 이 기본 구성을 기본으로 레이저 광선이 형성되는 과정을 살펴본다. 레이저의 증폭 작용을 보여주는 그림 2-87의 A, B, C, D, E에서

(A) 레이저 매질의 양끝에 거울을 부착시킨 공진기로 여기 되기 전의 상태이다. 여기서 간단히 하기 위하여 H.R(후부반사거울)의 반사율은 완전 반사에 가까운 것으로, O.C(출력 거울)는 일부만 투과하는 것으로 한다.

(B) 여기 매체에 따라 대부분의 원자가 여기 상태로 이동한다.

(C) 몇 개의 원자는 자연 방출되며 어떤 원자는 외부로 빠져나간다. 짧은 화살표 방향으로(축에 평행) 이동하는 광자가 부근의 원자에 충돌하여 2개의 광자를 여기하여 방출시킨다. 또 이 2개의 광자가 다음의 원자에 충돌하여 4개의 광자를 방출시킨다. 이것이 계속해서 일어난다.

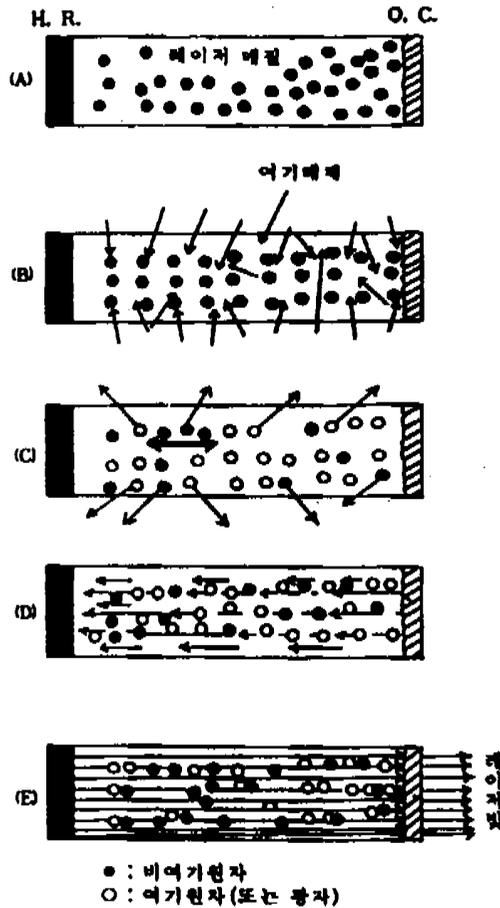


그림 2-87 레이저의 증폭작용

(D) 반사 표면까지 도달한 빛은 반사되어 거울 면으로 회절되며, 다시 같은 여기 방출을 몇 번이고 반복한다.

(E) 반사할 때의 손실이 레이저의 이득보다 적지 않으면 발진은 성장하며, 여기 매체에 의해서 주어지는 에너지를 완전히 방출시키기까지 힘은 증대한다. 이때 공진기 내부의 발진광이 일부 투과거울에 의해 누설되며, 방출된 빛이 레이저 빛의 출력이 된다.

### (5) 레이저 장치의 제원

레이저 장치의 성능을 표시하는 항목과 제원에 대하여 서술하기로 한다. 레이저 빛의 특성을 이야기한다는 것은 레이저 매질 바로 그것의 차이를 밝히는 것이다. 기체 레이저는 여기가 균일하지 않거나 레이저 매질이 불균일할 경우 출력은 불안

정하게 된다. 또한 불순물의 혼입도 고려해야 되며 레이저 매질은 일정한 기간이 지나면 교환되어야 하고 항상 순환한다.

① 발진 파장 (Wavelength)

발진하고 있는 레이저 빛의 중심 파장을 발진 파장이라고 한다 (예: 632.8 nm).

② 레이저 출력

연속 발진과 간헐 발진과는 레이저 출력의 표현 방법이 다르다. 연속 발진의 경우는 Watt, 간헐 발진의 경우에는 Joule로 표시한다 (그림 2-88 참조).

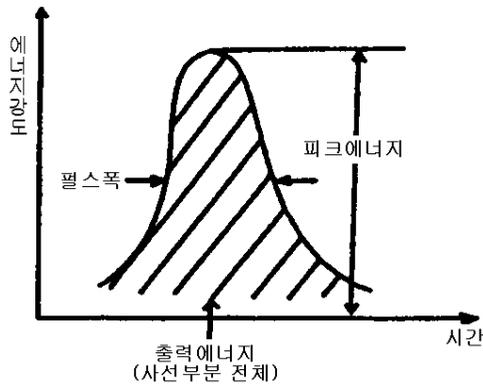


그림 2-88 레이저의 출력 에너지

③ 빔 직경

레이저 장치의 출구에서 측정된 빔의  $\lambda e^2$  또는 86.4%의 출력광이 얻어지는 점이 바로 빔 직경이다. 빔은 진행함에 따라 확산되기 때문에 거리의 함수로 표시할 수 있다 (예: 4.65 mm).

④ Warm-Up 특성

이것은 전원을 투입한 이후 완전히 안정한 상태로 되기까지(열적 평형 상태에 도달할 때까지) 충분히 동작할 때의 출력을 기본으로 하며 출력의 달성도 또는 출력의 비율을 말한다. 예를 들어, 전원 투입후 30분간을 Warm-Up 시간이라고 규정하며 이후 1시간 동안의 출력 평균치를 안정 출력 상태라고 한다. 이 출력에 대하여 전원 투입 시의 출력은 75%, 15분 후에는 95%에 도달하고 있다는 것을 의미한다 (그림 2-89 참조).

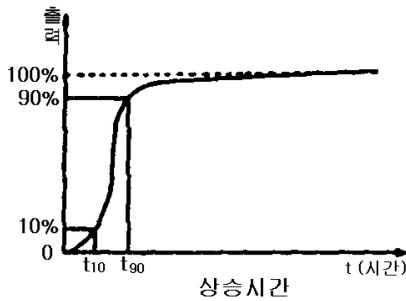


그림 2-89 레이저 출력 상승 시간

### 9.1.3 레이저 Beam의 基本 操作 (Basic Operation of Laser Beam)

레이저 빛을 실제로 응용할 경우 레이저 발진기로부터 나오는 빛을 그대로 사용하는 것은 매우 드문 일이므로 일반적으로는 구부리고, 넓히고, 좁히고, 진동시키고 그리고 변조시켜서 사용한다 (그림 2-90 참조).

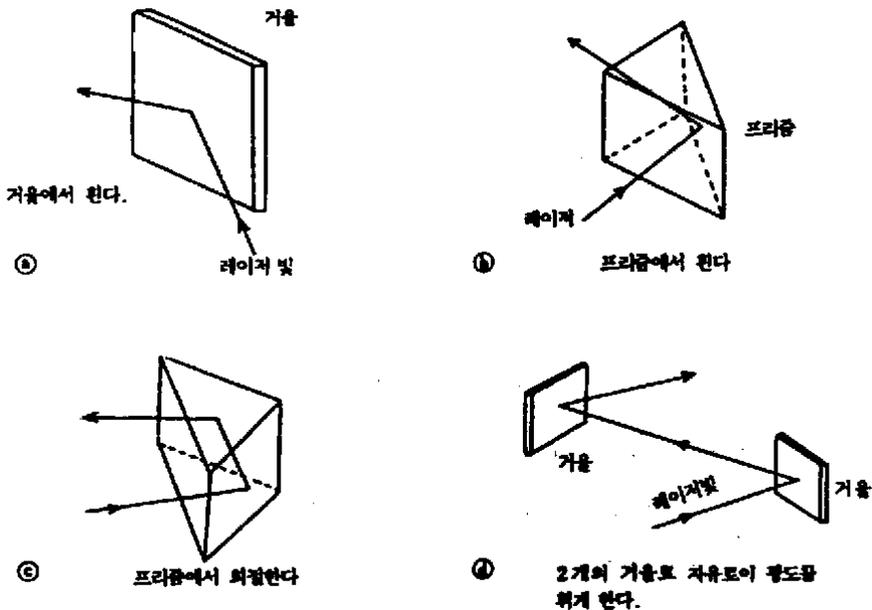


그림 2-90 레이저빔의 기본 조작

#### (1) 구부린다.

레이저 빛의 진로를 구부릴 경우 거울이나 프리즘에 반사시켜서 목적하고자 하는 방향으로 빛을 휘게 한다. 표면의 평탄도가 좋은 글래스 기판 등에 알루미늄

높 등의 금속이나 유전체의 박막을 코팅한 것을 사용하고 빔의 거울이 기본적으로 2개가 있다면 어느 방향으로도 구부릴 수 있다. 더구나 평탄도가 나쁘면 거울에서 약간 산란된 빔이 먼 곳에서는 극단적으로 넓어지는 경우도 있다. 글래서 기관 외에 금속이나 특수한 광학 결정 등을 사용하는 경우도 있다. 또한 빔이 입사된 방향과 동일한 방향으로 휘어지는 것을 코너 큐브라고 한다.

### (2) 넓힌다.

레이저 빛은 일반적으로 직경이 1 mm 이하인 것에서 2~3 cm 각형인 것까지의 여러가지 빔 형상이 있다. 레이저 빔 직경을 확대하는 것을 Beam Expander(빔 확대기)라고 하며 이것은 렌즈나 프리즘을 조합하여 만든다. 1개의 렌즈에서도 빔을 확대시킬 수 있지만 두개의 요철 렌즈로 구성된 것을 갈릴레오식의 Telescope라고 한다. 또 빔을 확대시킨 후에 빛을 평행으로 하는 것을 콜리메터라 한다.

### (3) 좁힌다.

레이저 빛은 에너지의 집중도가 좋기 때문에 레이저 빛이 좁아짐에 따라 모든 에너지를 한 점으로 집중시킬 수 있으며 렌즈를 사용하면 간단히 하나의 축으로 모이게 하는 것이 가능하다. 어느 정도 작은 Spot으로 좁아지는가는 빔의 질(빔형상, 모드 및 넓이각 등)에 따라 다르다.

### (4) 빛을 받는다.

대부분의 경우 빛을 방사하거나 또는 받을 필요가 있다. 광신호를 전기 신호로 변환하는 것을 수광기(Detector)라고 하며 수광기에는 빛을 직접 전류로 변환하는 것, 빛을 열로 변환하여 열을 전기로 변환하는 것, 그리고 빛을 열 변화량으로 하여 전기로 변환하는 것 등의 여러 종류가 있으며 그 외에 광량이나 파장에 따라 여러 가지 형태가 있다.

## 9.1.4 레이저의 種類와 媒質 (Classifications and Mediums of Laser)

현재 레이저의 종류는 수백에서 수천 가지에 이르고 있다.

### (1) 기체 레이저( 헬륨 - 네온 레이저 중심으로)

기체 레이저는 균일한 매질이므로 손실이 작기 때문에 공진기를 크게 하면 이득이 좋게 되는 장점이 있다. 일반적으로 기체 레이저 장치는 규모가 크며 출력은 작아도 연속 발진이 가능하고 발진 파장의 수가 많아 가간섭성 등이 우수하다. 오랫동안 사용되어온 헬륨-네온 레이저는 수명도 꽤 길어졌고 비교적 안정된 레이저이다. 헬륨-네온 레이저는 레이저 매질로서 He(90%)과 NE(약 10%) 혼합기체를 사용한 것으로 크게 나누면 내부 거울형과 외부 거울형 2가지가 있다. 내부 거울형이라 하는

것은 레이저 튜브에 직접 거울을 부착시킨 것으로 내부에 브루스터 각을 만드는 창을 부착하여 직선 편광으로한 것과 단지 거울만 부착한 무편광의 것이 있고 출력은 0.5~19 mW 정도이다. 이 이상의 출력을 얻는다고 하면 레이저 튜브의 열팽창에 따라 양단면에 있는 거울의 평행도가 그 균형을 잃기 때문에 출력은 약 10 mW 정도가 내부 거울형의 한계이다. 주파수의 안정도는 거울 간격의 안정성에 따라 다르다. 내부 거울형의 경우 단지 거울만이 레이저 튜브에 부착되기 때문에 열에 의해 거울 간격의 변동이 현저하고 안정도는 나빠진다. 따라서 내부 거울형의 헬륨-네온 레이저의 사용은 주파수 안정성을 요구하는 응용에 적당하지 않으며 레이저의 직진성을 이용한 축의 조정이나 각종 조준으로서의 응용이나 위치 검출, 레이저의 에너지 밀도를 이용한 프린터 등의 광원으로서의 응용에 적당하다. 내부 거울형의 경우 소비자용이 대량 나와 있으며 가격도 저렴하고 수명도 길다. 또 레이저 튜브에 거울이 직접 부착되어 있기 때문에 거울을 조정할 필요가 없다.

외부 거울형은 레이저 튜브를 중심에 놓고 거울을 공진기의 양단에 배치한 것으로 레이저 튜브의 양단에는 부루스트 창이 부착되어 있다. 레이저 튜브의 발열의 영향은 내부 거울형에 비해 매우 적으며 안정한 레이저 장치이다. 내부 거울형의 레이저 파장과 색은 632.8 nm의 적색인데 비해 외부 거울형의 경우에는 거울의 코팅을 변화시킴에 따라 녹색, 황색 등 여러 색의 발진 파장을 얻을 수 있다.

### (2) 고체 레이저

고체 레이저는 소형장치로도 큰 출력을 얻을 수 있고 가시영역에서는 근적외선 영역으로 그 발진파장의 영역이 좁혀지기 때문에 가간섭성이 낮다는 결점이 있다.

### (3) 반도체 레이저

반도체 레이저의 특징은 전류를 흘리는 것만으로도 레이저 발진을 얻을 수 있고 직접 트랜지스터 회로와 결합시켜 발진이나 변조를 시킬 수 있다. 또한 소형으로 신뢰성이 높으며 양산성 등이 우수하다. 결점으로는 지향성에 결함이 있으며 출력이 작다는 것을 들 수 있다.

## 9.1.5 레이저 軸整列 시스템에 의한 측정렬시 有意 事項

- 장치 설치, 조정 혹은 운전중을 포함하여 어떤 경우이건 Laser Beam을 직접 보지 말 것.
- 감지기, 발진기, 컴퓨터 등 장비의 하우징을 열거나 제거하여서는 안된다.
- 기계를 기동하기 전에 기계로부터 측정장비를 확실히 제거하여야 한다.

## 9.2 레이저 軸整列 시스템 (Laser Shaft Alignment System)

### 9.2.1 測定 시스템의 種類 (Classifications of Measuring System)

그림 2-91은 모든 제작자들이 사용하는 세 가지 기본 측정 기법을 보여준다. 가장 위의 그림인 루프 프리즘, Laser/Detector 시스템은 Prüftechink사의 대부분의 시스템에서, Dual Laser/Dual Detector 시스템은 AlignX, Fixuure Laser AB 및 Computational Systems Inc.사에서 또 Laser/Beam Splitter/Dual Detector 시스템은 Hammer, MMS 및 Prüftechink사에서 사용하고 있다.

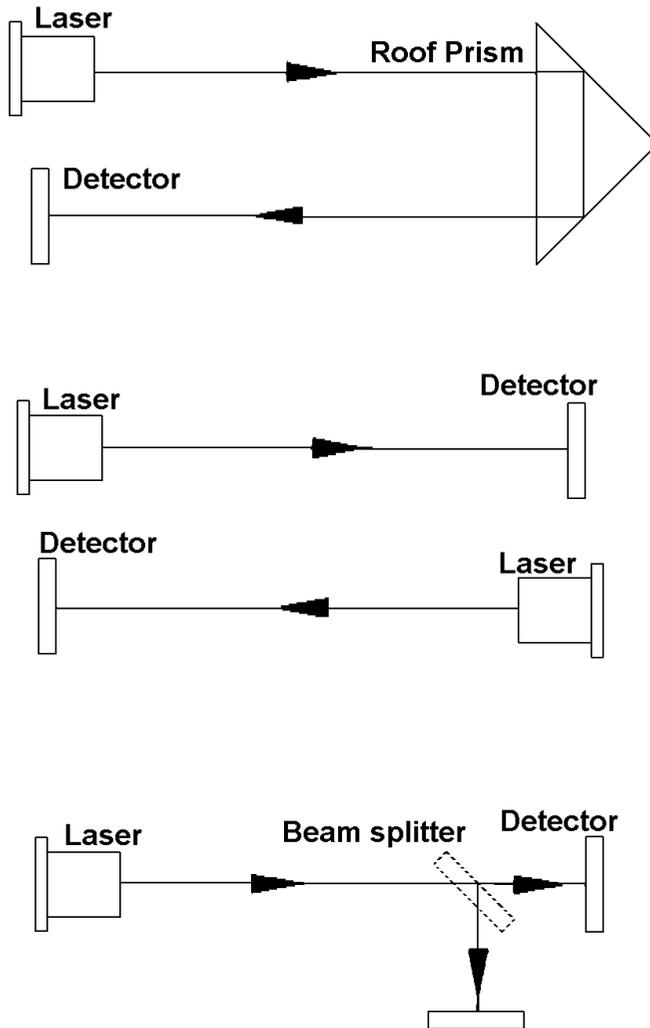


그림 2-91 레이저 측정렬 시스템의 기본 원리

### 9.2.2 L-711 Laser Alignment System

#### (1) L- 711 시스템의 구성

##### ① Laser 본체

Model 711 Laser Unit는 Hammer사의 제품으로 Laser, Power Supply, Expending Optics, Sweep Optics, 두개의 Precision Levels와 기계적인 조정을 위한 구성품으로 구성되어 있다. Laser의 Basic Frame은 장비의 상단에 있는 Coarse Leveling 나사로 두 방향을 조정할 수 있도록 되어 있다 (그림 2-92 참조). 그리고 장비의 밑부분 즉 상단에 있는 Coarse Leveling 나사 바로 밑에는 Fine Leveling Micrometer(Micrometer에서 0.001"이면 10 feet에서 0.001" Tilt 된다)들이 있어 미세 조정할 수 있다. Sweep Turret는 일반적으로 Beam Point를 오른쪽 방향으로 손으로 돌릴 수 있으며, Sweep Turret 자체에 Coarse Thumb 나사와 미세하게 조정하는 Fine Micrometer(Azimuth Adjustment)가 있다. Model 711 Laser Unit은 Magnetic Base로 고정할 수 있도록 되어 있다 (그림 2-92, 93 참조).

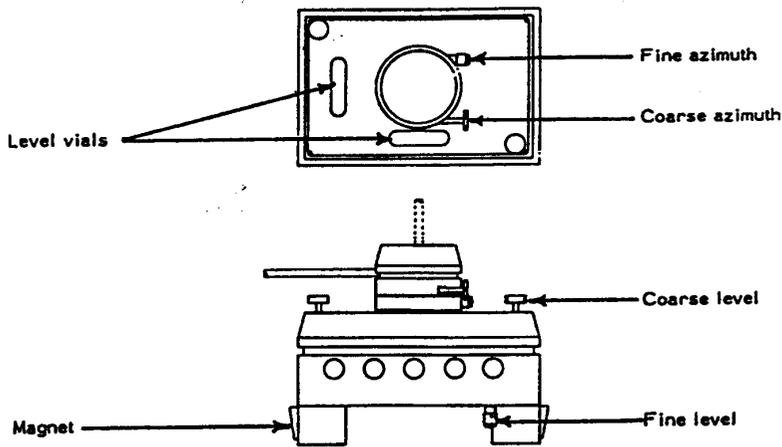


그림 2-92 레이저 본체의 정밀 조정 장치

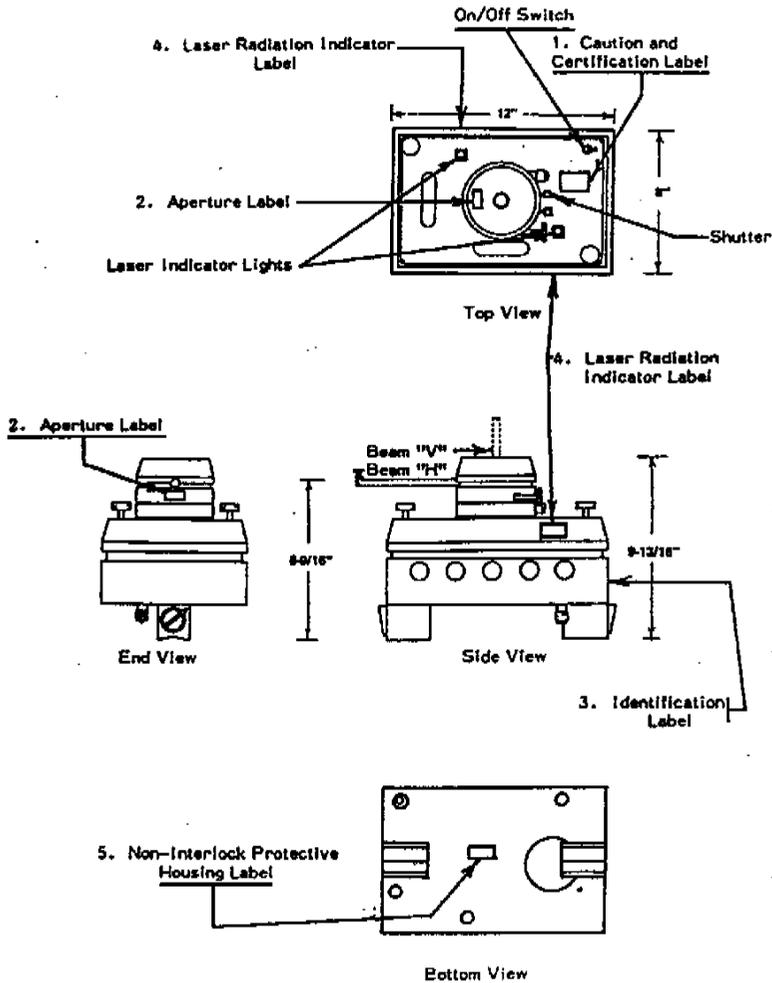


그림 2-93 레이저 본체 장치

② Target과 Target Stand

대부분의 Machine Tool 작업시에는 Model T212 Dual Axis Target과 T230 Target Stand를 사용한다. Target은 두쌍의 Silicon Solar Cell로 되어 있으며, Laser Beam이 Target 중앙의 위치에 있을 때 Readout에 의해서 출력이 나타난다. Target Cell은 1.500"직경으로 0.001"까지 Centering할 수 있다. T230 Target Stand는 Magnetic Base로 고정할 수 있도록 되어 있으며 두개의 직각 Micrometer로 ±0.25" 범위까지 조정할 수 있도록 되어 있다. 또한 이 T230은 Target을 고정 및 지지를 해주며, 지시치(Readout)를 조정할 때 사용한다 (그림 2-94 참조).

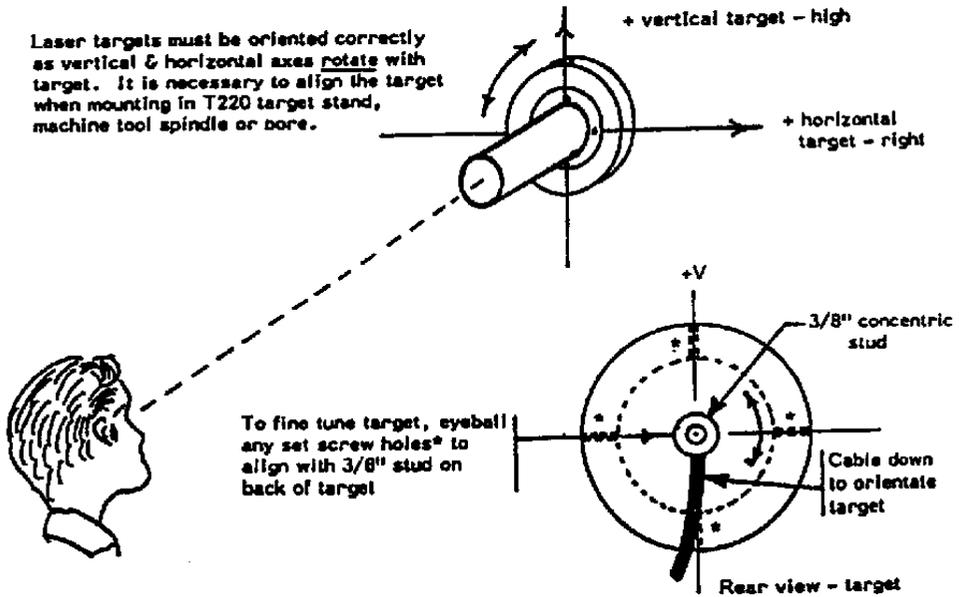


그림 2-94 Target 장치

③ Readout

이 Target Readout은 두 채널 디지털 지시치를 나타내는 시스템으로서 Laser Beam의 Center를 inch로 나타내며 Target Center의 상대적인 Alignment를 나타낸다. Readout Unit의 전면부에는 두개의 디지털 Meter가 있고 그 중에 하나는 Vertical Channel이고 다른 하나는 Horizontal Channel이다 (그림 2-95 참조). 각 Channel를 위한 독립된 조정단이 전면판에 있다. 또한, 3단 선택 스위치가 있는데 전원 On/Off 스위치와 세 번째 단의 명칭은 "Slow Response"라 되어 있다. 이 세 번째 단의 용도는 대기로 인하여 흔들리는 상태에서 출력값을 평균을 내도록 회로가 설계되어 전자적인 Damping을 막아준다.

(2) Laser Alignment 기본개념

Laser는 그 중심의 에너지가 절대적으로 직선을 그리면서 빛의 강도를 제공하는 것이다. 이 Beam의 직경은 약 3/8"(9.5 mm)이며, 100'(30 m)까지는 Beam이 전혀 퍼지지 않고 그 이후의 거리에서는 일부가 급격히 퍼진다. Laser Beam의 중심 에너지를 잡기 위해서 Target이 필요하며, Readout 유닛이 Target의 중심과 Laser Beam의 중심사이의 수평방향과 수직방향에 대한 편차를 화면에 나타낸다. Laser 시스템이 직접적으로 이러한 변위를 측정하는 것은 매우 중요한데, 이러한 방향에 대한

윤곽을 측정함으로써, Target을 요구되는 간격으로 방향을 따라 이동시킬 수 있는 것이다. 그림 2-95는 바로 Target이 0.011"(0.2794 mm)만큼 낮은 지점에 위치하고 있다는 것을 보여주고 있다.

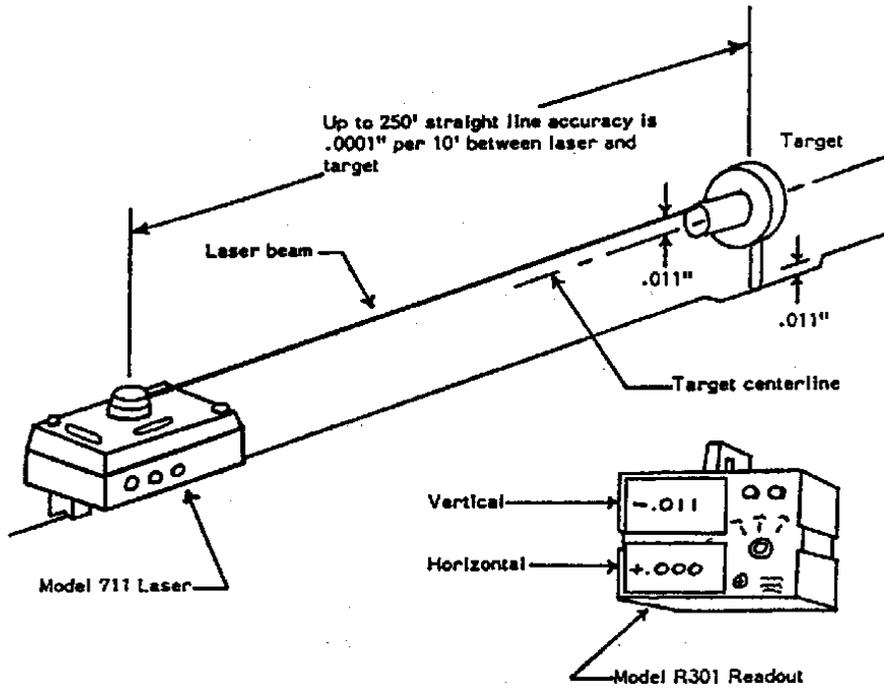


그림 2-95 레이저 측정법 기본 개념

### (3) 측정시 고려사항

#### ① 측정 지점의 기울기

A-517 Target 앞에 부착된 유리 부분에서 Laser Beam이 통과할 때 굴절이 일어나며 이는 A-517 Target의 기울기와 비례한다. 실제 측정시험 결과 A-517 Target 아래에 0.08 mm의 Shim을 삽입한 상태까지는 그 영향이 작아 측정값의 신뢰성에 큰 문제가 없으며 이는 착탈식 Magnet에 부착된 수준기의 기포가 중앙원 범위 내에 있을 때이다. 따라서 Laser Beam을 이용하여 Level을 측정할 때 L-711 본체의 절대 수평과 A-517 Target의 절대 수평을 동시에 만족시켜야 한다.

#### ② Target Cell의 영향

HAMAR Laser에서는 현재 United Detector Technology of California에서 개발한 모델명 SC10D Position Sensitive Cell을 사용하고 있다. 이 Type의 Cell

은 Light Spot의 모양이나 크기에 관계없이, 표면을 발광시키는 Light Spot의 Energy Center를 찾고 결합시킨다. Cell의 앞면에 4개의 접합부(수직축 2개, 수평축 2개)가 있고 뒷면에는 5개정도의 연결부가 있다. 두개의 수직 연결선은 Cell의 상부와 하부에 각 1개씩 Light Spot의 Energy Center 위치와 비례해서 Positive Voltage를 만든다.

이 두 수직 신호가 전자공학적으로 결합하여  $\pm DC$  Voltage는 Target의 전기적 중심과 레이저빔의 에너지 중심과의 차이를 선형적으로 나타낸다. 만약 양전압이 같다면, 레이저빔의 중심과 Target의 전기적 중심은 일치하게 된다 (일반적으로, Target의 전기적 중심은 Cell의 실지 면적의 중심에 위치한다). 이상은 수평축에서도 같은 원리로 되어있다.

Cell의 해상도는 0.0001" (2.5 Microns)이고, Cell의 선형성은 약 5%이다. 일반적으로 Cell이 한 축으로만 움직인다고 하고,  $\pm 0.100(2.5 \text{ mm})$  범위 내에서 움직인다고 할 때 2% 이내로 선형성이 있다. 하지만 만약 Cell이 양 축으로 결합해서 움직인다면, Cell의 구석에서는 Roll Off(감도의 손실)가 일어난다. 이때 제작사에서 제시한 선형도는 5%이다. 환언하면 한 축에서는 매우 선형적이고, 두 축이 결합해서 움직이면 오차가 발생한다. Cell은 단축으로 사용하거나, 0.5 mm 범위 이내에서 사용할 때 가장 정확도가 높다. 현장 경험은 필요한 Level의 정밀도가 2.5 micron 수준으로 요구될 때는 영점 부근에서 작업하는 것이 가장 정확한 결과를 나타낸다. 또한 원거리에서 사용할 때는(8 m 이상) Air Turbulence 문제를 해결하여야 한다.

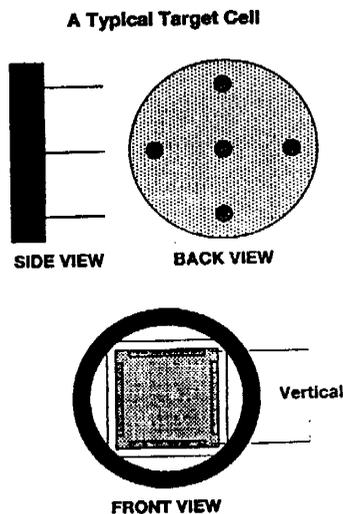


그림 2-96 대표적인 Target Cell

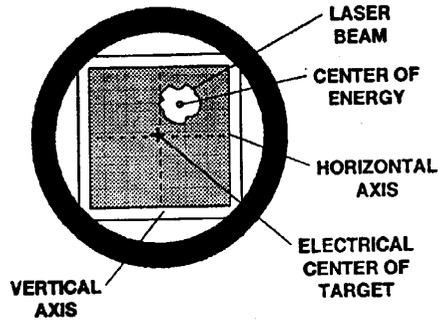


그림 2-97 Target Cell Sensing

③ Air Turbulence

Laser 시스템의 성능은 대기의 Turbulence에 의해서 제한을 받게되는데, 일반적으로 그 허용치는 기계가 이상적인 상태라고 했을 때 Laser와 Target 사이의 거리가 10 ft(3 m)일 때 0.0001"(0.00254 mm)이다. 그 정확도는 Air가 차갑거나 농도가 큰 겨울 같은 때는 Factor 2보다 더 안 좋고, Air가 뜨겁거나 습도가 높고 또한 농도가 낮은 여름 같은 경우에는 Factor 2보다 더 낮다 (그림 2-98 참조).

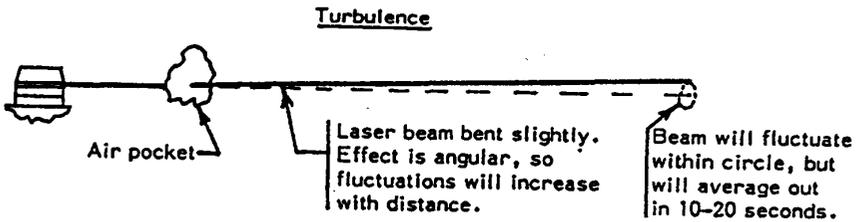


그림 2-98 Air Pocket 효과

시스템의 정확도에 있어서는 대기에서 두 가지가 그 영향을 끼치는데 첫 번째는 Laser Beam이 통과할 때 마치 약한 렌즈의 역할을 해서 대기에서 온도의 높낮이가 형성되는 에어 포켓 현상으로 인한 Turbulence가 생기는데 이것을 앵글러 효과라고도 한다. 이 현상은 Target이 멀리 떨어져 있으면 있을수록 그 정도는 더 심하게 된다. 이것은 봄철에 잘 나타나는 아지랑이와 비슷한 현상이며 동일한 효과가 작업장에서도 나타나게 된다. 불행히도 사람의 육안으로는 확인이 되지 않는다.

다른 영향은 수직으로 온도의 구배 또는 굴절 현상으로 인한 것이다. Air가 정지해 있을 때는 그 Air의 온도는 바닥보다도 천장에 가까우면 가까울수록 높다. 이러한 조

건은 결국 Laser Beam이 아래쪽으로 휩이 일어나는 현상을 가져오게 한다. 그것은 10°C인 상태에서 12m 거리에서 0.20 mm 만큼의 영향을 끼친다 (그림 2-99 참조). 이러한 현상은 현장에서 Air가 전혀 움직이지 않을 때 일어날 수 있는 현상이다. 보통 수직 온도 구배로 인한 오차가 발생할 때는 Turbulence는 그 영향력이 상대적으로 낮게 된다. 결국 10에서 20초 정도의 주기 동안에 평균에 도달한 다음, 그 편차가 좁혀지는 것을 확인하고서 그 값을 산정하는 것이 좋다.

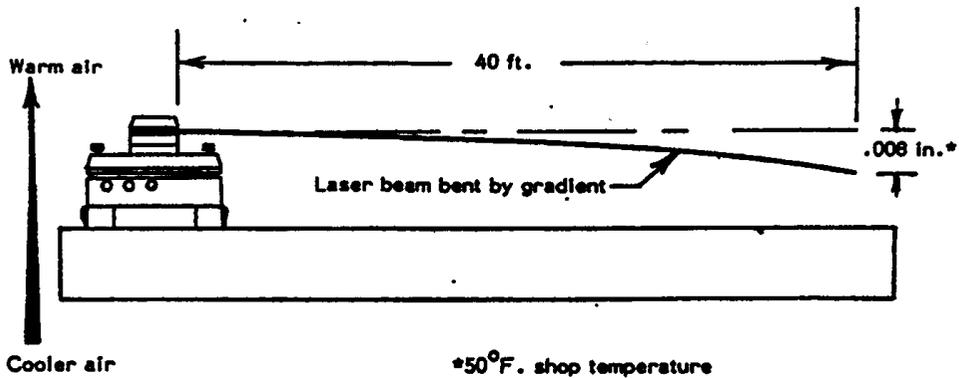


그림 2-99 Vertical Temperature 구배

대기 영향을 줄이기 위해서는 다음의 조치가 도움이 된다.

- Fan을 사용

실질적으로 Turbulence의 파동을 감소시키고 수직 온도 구배를 제거시키는 방법으로서 가장 좋은 것은 Fan을 사용하고 그 위치는 Target 뒤쪽에 설치하여 Laser 방향으로 작동시킨다. 그렇게 함으로써 Turbulence 효과와 수직 온도 구배를 파괴시킬 수 있다. 이 Fan이 리드아웃 스위치의 위치 “Slow Response”와 결합되어 사용하게 되면, 10이라는 값까지 Turbulence가 감소하게 되며 수직 온도 구배는 자연 소멸하게 된다. 시스템이 상당히 높은 정확성이 요구된다면, Fan과 전자적인 댄핑 둘 다 사용하는 것이 매우 중요하다. 여름에 정밀도가 6 m에서 0.025 mm가 요구되면 그때는 Fan과 댄핑 둘 다 사용할 필요가 없다. 그러나 같은 거리에서 0.0025 mm가 요구되면 그때는 둘 다 사용해야만 한다.

- 사용할 Fan의 종류

두 가지 Fan 종류중 한가지를 사용하게 되는데, 첫번째 종류는 가격이 덜 비싼 평범한 박스 윈도우 Fan으로써 일반적인 백화점에서 구입이 가능하다. 보통 상대적으

로 가격이 덜 비싼 Fan은 Air를 콘 타입으로 불어내기보다는 실린더 타입으로 불어내기 때문에 더 이상적이다.

거리가 7.62 m 내외이면 한 개의 Fan으로 사용할 수 있지만 거리가 그 이상이면 2개 이상의 Fan을 사용하는 것이 좋으며 다음 그림 2-100을 참조해 주기 바란다. 이러한 Fan을 사용함으로써 Fan에 문제가 없다면 상당히 정확성을 상승시킬 수 있다. 만일 Fan을 사용하는데도 불구하고 더 안좋아진다면 그때는 더 이상의 Fan을 사용하지 말기를 권고한다.

두 번째 종류의 Fan으로서 큰 프로펠러를 갖고 있는 현장 Fan이다. 이러한 Fan들은 상당히 큰데 보통 15 m 이상이 된다. 그러나 그것들은 운반하기가 어려운 Fan들이다. 대부분 둥근 블레이드로 되어있는 오실레이팅 Fan이나 오피스 Fan들은 작업하기가 용이하지 않다.

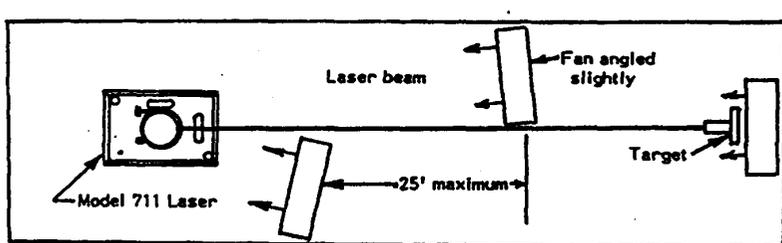


그림 2-100 Fan의 설치

- 전자 댐핑

전자 댐핑은 Readout Display 앞에 선택 스위치를 포함하고 있다. 보통 이러한 스위치로 수행되는 모든 조정은 “Fast Response”로 셋트한다.

“Slow Response”로 놓게 됐을때, 추가적인 댐핑이나 또는 전자 에버러징은 스위치 상태에 있게 되고 실질적으로 공기 터벌런스로부터 파형의 크기가 감소하게 될 것이다. 초기에 “Slow Response”로 스위치를 놓게 됐을 때는 메타가 읽는 값이 대부분 서로 다른 값으로 점프하게 될 것이며 이것이 완전한 정상 상태인 것이다. 이런 후 10에서 20초 정도 지나면 그 값은 원래의 값으로 진정될 것이다 (주목할 점은 임의의 시간 주기가 지나간 다음이라도 그 값을 받아 들이지 말라. 왜냐하면 그 값이 오류가 될 가능성이 있기 때문이다). 이러한 점프현상은 커패시터에 잔량의 전하가 있을 때 발생하게 된다.

크기가 많이 감소하였다 하더라도 파형이 여전히 있으면, 그때 그 값을 수집하지 말고 어느 정도 간격이 좁혀질 때까지 계속 주시하라. 이러한 절차는 터벌런스에 대하여는 잘 작용하지만 수직 온도 구배에는 잘 먹혀 들어가지 않는다.

- 외부에서 사용 - 고정 센타라인

외부에서 Alignment할 때는 공장 내에서 하는 것과는 달리 공기 터벌런스나 온도 구배의 영향을 받을 가능성이 높기 때문에 그러한 보호 장치를 해야하는데 그렇게 하기 위해서는 레이저 빔을 보호하기 위한 투명한 플라스틱 파이프를 이용하고 이 안에서 그러한 현상이 일어날 수 있기 때문에 “T”자나 엘보를 만들어 결합시킨후 블로워를 이용하여 바람을 불어넣어 이러한 터벌런스나 온도 구배를 제거한다.

### 9.3 Laser Optical 시스템의 利用 (Uses of Laser Optical System)

#### 9.3.1 軸整列 (Shaft Alignment)

그림 2-101과 같이 Laser Shaft Alignment System을 설치하고 두 축을 함께 회전시키면 두 축의 상대적 위치가 정확히 측정된다. 축과 베어링 하우징 케이싱과의 공간이 작아, 돌출되어 설치된 계측기가 걸려 360°를 회전시킬 수 없는 경우 일부만 회전하여 측정될 상태 측정이 가능하나 정확도는 저하한다. Prüftechnik사의 ROTALIGN 장비를 이용한 측정 절차는 간단 소개하면 다음과 같다.

- 기계의 측정될 준비 상태 점검 (전술한 1.6 측정절전 점검 사항에 준함)
- Bracket를 장착한다.
  - 적용 가능한 가장 짧은 Support Post를 선택한다.
  - Bracket를 축이나 커플링에 단단히 고정한다.
  - 커플링의 양쪽을 회전시킬수 없으면 Sliding Magnetic Bracket를 사용한다.
- Laser 발진기 및 수신기를 장착하고 수신기를 컴퓨터와 연결한다 (발진기는 고정 기계에, 수신기는 이동할 기계에 설치한다).
- 컴퓨터를 켜고 메뉴에서 원하는 항목(예 : 수평기계의 측정될)을 선택한다.
- 기계의 치수를 입력한다.
  - 이동시킬 기계의 Foot간 거리
  - 이동시킬 기계의 Front Foot로부터 수신기까지의 거리
  - 커플링 직경
  - 커플링간의 중심으로부터 수신기 까지의 거리

- Laser Beam을 조정한다.
  - Laser는 수신기의 중심에 수직 상태로 입사되어야 한다.
- 측정을 시행한다. 측정 Mode에는 다음의 5가지가 있다.
  - 연속 회전 측정(Default 측정 Mode임)
  - 0, 3, 6, 9시 방향에서 정지하여 측정
  - 다수 포인트 측정(원하는 5 포인트 이상)
  - Dial Gauge 값(Dial Gauge 값을 입력하여 컴퓨터가 계산토록 함)
- 결과 보기
  - 측정 결과가 수직, 수평 기준으로 상, 하, 좌, 우 값을 표시한다.
- 이동 값 보기
  - 이동할 기계의 각 Foot에서 이동하여야 할 값이 표시된다.

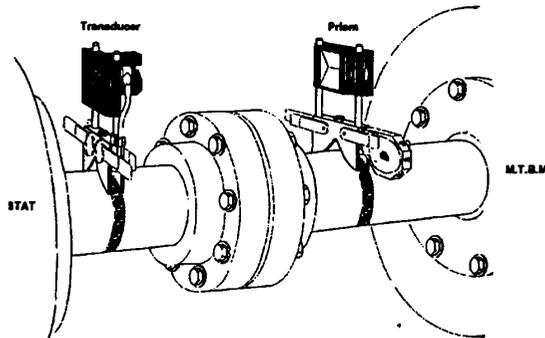


그림 2-101 측정렬 상태 측정을 위해 설치된 레이저 측정렬 시스템

### 9.3.2. Bench Mark 측정

터빈 기초의 일반적인 구조는 Column의 형태에 따라 3가지 종류로 나눈다. 가장 많은 형태인 Reinforced Concrete Type과 ABB사의 Spring Type, 산업용 중, 소형 터빈의 Steel Beam Type으로 분류할 수 있다. 이 Column 위에 터빈 Top Table이 놓이게 된다. 터빈 Top Table은 I-Beam과 콘크리트로 구성된 평판으로 발전소에서는 노란색으로 칠해져있다. 이 터빈 Top Table 위에 고압, 중압, 저압 등 여러 터빈들이 설치되어 이들의 하중을 받고있다. 이 하중으로 인해 터빈 Top Table은 연속적으로

굽힘응력을 받는 상태가 되어 중립면(Neutral Surface) 상부는 압축 응력, 하부는 인장 응력이 발생한다. 중립면 하부의 인장응력을 받는 부위가 변형이 발생하고 심하면 콘크리트부에 균열이 발생한다. 터빈 Top Table의 변형 혹은 이를 지지하는 Column의 부등 침하 여부를 관찰하기 위하여 설치해 놓은 관측점이 Bench Mark이다. 이 Bench Mark의 Level을 일정한 주기로 측정하여 경년변화를 관찰한다. 그 변동량이 심하면 터빈 Top Table의 콘크리트부 균열 여부를 정밀진단하고 터빈 측정될시 그 영향을 반영한다. 지금까지 Bench Mark 측정은 Water Pot나 Optical Level을 사용하여 측정하였으나 Laser 측정될 시스템으로도 측정이 가능하다.

Bench Mark 측정 절차를 Hamar사의 L-711 장비를 기준으로 설명하면 다음과 같다.

### (1) 작업전 준비

- 각 Bench Mark의 Measuring Plate 형태가 일반 착탈식 Magnet를 설치할 수 있는 구조인지 확인한다. 만약 일반 착탈식 Magnet를 설치할 수 없는 구조라면 상하부 면은 평형하게 가공하고 중심에는 Base Plate와 고정시킬 수 있도록 나사산을 가공한다. 재질은 녹이 발생하지 않고 자석이 붙을 수 있는 것으로 설치한다. 새로이 Measuring Plate를 설치하고 최초의 측정값이 균일하게 나오도록 하기 위해서는 가공된 각 Bench Mark의 Level을 측정하여 그 변동값이 보상이 될 수 있는 Measuring Plate의 높이를 결정한다.
- 각 Bench Mark의 일련번호를 도면과 일치하는지 확인한다.
- Bench Mark 내부와 측정면을 청소한다.
- 장비의 사용온도 차를 줄이기 위해 미리 작업 현장에 장비를 옮겨 놓는다.
- L-711 Laser 본체를 한 점에 고정시켜 놓고 전체 Bench Mark를 측정할 수 없는 조건이면, 미리 본체를 옮길 위치와 측정 Point를 결정한다. 참고로 이상적인 Laser Beam의 수광 거리는 약 15 m이다.

### (2) 장비의 교정

(가) L-711 Laser Turret의 중앙에 Beam이 오도록 조정한다.

가장 정확하게 Sweep 작업을 하기 위해서는 Laser Beam을 Turret축의 중앙에 오도록 조정해야 한다. 이 중심내기 작업에서 오차는 평면도 측정에서는 2배의 결과를 나타낸다.

- 레이저 본체를 L-104 Floor Stand 또는 Machine Bed의 안정된 면에

놓는다.

- 양쪽 Magnet 스위치를 ON 위치로 돌려 견고하게 고정한다.
- 전원 플러그를 연결하고, 레이저 상부의 스위치를 ON 한다.
- Level이 작업자를 향하게 하고 단축 Level이 왼쪽에 오게 L-711을 설치한다.
- Turret의 Coarse, Fine Knob가 12시 방향이 되도록 회전한다. 즉 Index Screw가 6시 방향이 되도록 한다.
- Laser Beam 위치 신호가 Read-Out과 직결되도록 Prism 조정 핸들을 Coarse측은 상부로 Fine측은 평형으로 조정한다.
- Turret 상부 단자와 Read-out을 연결하고, Read-out의 전원을 켜고 1/1000 mm과 Fast로 선택 스위치를 조정한다.
- Index Screw가 6시 방향일때와 12시 방향일때의 Horizontal, Vertical 값을 기록한다.
- 목표 조정값 계산은 다음 식으로 하는데 Horizontal, Vertical 양쪽 같은 공식을 사용한다.  

$$S(\text{목표 조정값}) = (6\text{시 방향 값} - 12\text{시 방향값}) / 2$$
- 목표 조정값을 구했으면 3/32 Allen Wrench를 사용하여 Horizontal, Vertical 조정 나사를 돌려 목표 조정값으로 교정한다. 민감하게 조정값이 변하므로 조심스럽게 조정한다.
- 목표 조정값이 0이 될 때까지 위의 과정을 반복한다.

#### (나) Calibration of Level Vials

레이저 본체를 측정하고자 하는 면에 고정한 후, Leveling Screw를 조정하여 Vial의 중앙에 Bubble이 오도록 한다. 미세 조정은 Micro-Screw를 이용하여 프리즘에 나타난 양 쪽 기포 끝 부분이 일치된 타원형이 되도록 조정한다.

- 레이저 본체를 L-104 Floor Stand 또는 Machine Bed의 안정된 면에 놓는다.
- 양쪽 Magnet 스위치를 ON 위치로 돌려 견고하게 고정한다.
- 전원 플러그를 연결하고 레이저 상부의 스위치를 ON 한다. 교정에 사용할 정반은 .001 ~ .002 per foot의 정밀도(A급 정반)를 갖고 있어야 한

## 1370 — 제3편 기계의 정비 기술

- 다. 길이는 10 ~ 20 feet가 최상이다. 짧은 거리에서 교정할때는 항상 .0001 Mode로 해야한다. 양 축 (Pitch and Roll) 모두 Level을 조정한다.
- A-517을 근거리에 고정하고 Target 값을 영점 조정을 한다. 매번 측정할 때마다 같은 자리에서 측정이 가능하도록 Magnetic Base 부착부에 표시를 한다.
  - A-517을 원거리에 고정하고 매번 측정할 때마다 같은 자리에서 측정이 가능하도록 Magnetic Base 부착부에 표시를 한다.
  - 원거리에서 읽은 값을 기록한다.
  - 양쪽Magnet 스위치를 Off하고 레이저 본체를 180° 회전한 다음 다시 양축에서 Level을 조정한다.
  - A-517을 근거리에 고정하고 Target 값을 영점 조정을 한다. 매번 측정할 때마다 같은 자리에서 측정이 가능하도록 Magnetic Base 부착부에 표시를 한다.
  - A-517을 원거리에 고정하고 매번 측정할 때마다 같은 자리에서 측정이 가능하도록 Magnetic Base 부착부에 표시를 한다.
  - $(0^\circ\text{의 원거리 값} - 180^\circ\text{의 원거리 값}) / 2 = \text{Total Vial 오차량의 평균 값}$ 으로 구할 수 있다. 조정값은  $0^\circ$  또는  $180^\circ$  값에 Total Vial 오차량의 평균값을 가감하므로써 정할 수 있다. 두 개의 원거리 값 중 큰 값에서는 평균값을 감(-)하고 작은 값에서는 평균값을 가(+ )한다.
  - 원거리 Target에서 위의 조정값으로 Micro Tilting Screw를 조정한다. (이때 주의할 점은 장축 조정시는 반드시 장축 Micro Tilting Screw를 사용하고, 단축 조정시는 반드시 단축 Micro Tilting Screw를 사용한다).
  - "-"자 드라이버를 사용하여 Vial 조정용 나사를 미세하게 조정하여 다시 Level을 조정한다.
  - 본체를 90° 회전하여 다른 축을 상기 2개 항목의 과정을 반복한다.

### ※ 주의

- 교정용 정반의 평면도는 0.002 per foot이내여야만 한다.
- Target 사이의 거리는 8~10 feet 이상이 좋다.
- Level 조정후 기포가 안정될때까지 10분 이상 경과후, 원하는 조정값을

확인한다.

### (3) 장비의 설치와 측정

- 측정 계획표의 Laser 설치 위치에 L-104 Floor Stand를 놓고, L-711 레이저 본체를 설치한다. 전원을 켜고 약 30분이상 예열한다.
- A-517 Target을 원하는 Bench Mark 위에 고정하고 레이저 Beam을 수광할 수 있도록 길이 조정 Bar를 조정한다. 이때 Target 상부의 Micrometer는 중간 위치에 있도록 한다.
- L-711의 Bubble Level을 Set up한다
- 레이저 하부에 있는 Leveling Screw를 조정하여 Level Bubble이 중앙에 오도록 조정한다. Coarse와 Fine 조정 나사가 하부에 설치되어 장, 단축에 각각 설치되어 있다. 조정 나사의 회전방향과 Bubble 포물선의 이동 방향은 장, 단축에서 서로 반대이므로 유의하여야 한다. 일차 조정후 2~3분 뒤 포물선을 확인하여 만약 일치하지 않으면 재조정 한다.
- 프리즘을 통하여 나타나는 Bubble이 일치된 포물선 모양이 되도록 조정한다. 이때 작은 손전등을 사용하여 Bubble을 조정하는데 데이터 측정시는 레이저에 방해가 되지 않도록 손전등을 OFF한다.
- A-517 Target을 측정 위치에 놓고 빨간 수광부의 중앙에 레이저가 오도록 조정한다. Read Out이 0이 되도록 Target 상부 Micrometer를 조정한다. 이때 Micrometer의 값을 기록한다. 이 값이 측정하고자 하는 면의 기준값이 된다. 여기서 가장 주의하여야 할 사항은 A-517 Target이 수평을 유지해야 한다는 것이다.
- 원하는 측정 위치로 Target을 옮긴다. 이때 착탈식 Magnet의 스위치 방향을 GEN 측으로 항상 향하도록 하여 Magnet 부착 위치가 항상 일정하도록 한다. 다시 Read-out이 0이 되도록 한 후, 변화된 Micrometer값을 기록한다. Read-out 값을 바로 읽지 않고 이와 같은 방법을 사용하는 이유는 장비의 정확도가 0점 부근에서 가장 높기 때문이다.

※ 참조 : 정확도와 정밀도의 개념

측정값의 오차를 이해하는데 꼭 알아야 할 중요한 개념이 있다. 즉 정확도(Accuracy)와 정밀도(Precision)이다. 정확과 정밀은 종종 서로 같은 뜻으로 사용되기도 하나 사실상 엄격한 차이가 있다.

정밀도는 어느 값을 측정함에 있어 측정의 정교성과 균일성을 표시하는 척도이며, 측정값들의 상대적인 편차가 적으면 그 측정은 정밀하다고 하며, 반대로 편차가 크면 정밀하지 못하다고 말한다. 따라서 정밀도는 측정 과정과 밀접한 관계가 있으며, 측정 장비와 측정 방법에 크게 영향을 받는다. 측정값들의 분포상태가 평균값 주변에 밀집되어 있으면 정밀하고 분포 상태가 널리 퍼져 있으면 정밀하지 못한 것이다. 그러므로 이것은 우연 오차와 매우 밀접한 관계가 있다.

정확도는 측정값이 얼마나 참값에 일치되는가를 표시하는 척도이며, 측정의 정교성이나 균일성과는 아무 관계가 없다. 다만 측정의 결과에 관련된 사항으로서 정오차와 착오를 제거하기 위하여 얼마나 노력을 하였는가에 관련이 있다. 따라서 참값에 대한 어떤 정보나 확신이 없는한 정확도는 논의될 수 없다.

- Bench-Mark Point에 Target을 고정시킬 때 탈착식 Magnet 위에 붙어 있는 Bubble Level의 수평을 꼭 유지해야 한다. Bubble이 Level 상부 유리관에 표시된 기준원을 벗어날 때 측정값의 정확도는 없다. Target의 수평 조절을 위해 특별한 구조로 되어있는데 A-517 Target이 Link-Ball 위에 조립되어 있고 수평 조절 나사를 조정하여 Target 옆에 부착된 Bubble Level의 수평을 정확히 조정할 수 있다.
- L-711 레이저 본체에 부착된 Bubble Level의 수평 포물선을 수시로 관찰하여야 한다. 불량시 교정한후 계속 측정한다.

### 9.3.3 Casing Alignment 측정

터빈 케이싱 정렬은 앞에서 설명한 바와 같이 여러 개의 터빈 케이싱을 중심선에 일렬로 정밀하게 중심조정을 하는 공정을 말하며 아래와 같다.

- 전체 베어링 Pedestal 기준 터빈 케이싱 전체 정렬
- 단위 터빈에 대한 Pedestal 기준 케이싱 정렬
- 단위 터빈에 있어 외부 케이싱을 기준한 내부 케이싱 정렬
- 단위 터빈 케이싱에 대한 Diaphragm의 정렬

만일 TBN Casing Alignment에 변동이 발생하면 그 문제점은 1) 터빈 케이싱 등 회전체와 고정체 사이 간격이 일정치 못하여 접촉현상이 발생되므로 회전체의 국부 과열에 의한 터빈축의 휨이 발생될 수 있다. 2) 터빈의 로터 기준선에 따라 베어링이 설치되지 않으므로 베어링 과부하 발생으로 온도가 상승, Babbit의 급속한 열화로 베어링

수명 단축 및 사고의 원인이 된다. 3) 위의 원인으로 터빈 축진동이 발생한다. 4) Gland 및 Flange 부위 누설 등으로 나타난다.

이러한 TBN Casing Alignment가 변동되는 원인은 1) 기초의 변화, 2) 터빈 열응력에 의한 영향, 3) 터빈 진동에 의한 위치 변동, 4) 터빈의 각종 Casing Key나 Shim 또는 고정 볼트의 마손과 이완, 배관을 포함한 구조물의 응력에 의한 변화 등에 기인할 수 있다.

지금까지 상기 작업을 피아노선이나 Dummy Shaft를 이용하여 Alignment를 하였지만 Laser 측정렬 시스템을 이용하여 시행할 수 있으며 다음과 같은 장점이 있다.

- 피아노선은 자체 처짐량이 있는데 Laser는 이러한 현상이 없으며 또한 피아노선 처짐 측정시 피아노선의 흔들림 현상 등이 없다.
- 레이저 방법이 피아노선 방법보다 측정방법이 간단하며 사용하기 쉽다. 케이싱 정렬을 피아노선 방법으로 사용하면 측정자의 손감각에 따라 정밀도가 달라지므로 측정자의 숙련이 필요하다. 그러나 레이저 방법은 정확한 고정에 의한 측정이므로 이러한 오차를 줄일 수 있다.
- 레이저방법을 사용하면 케이싱 정렬시 다른 작업을 할 수가 있다. 피아노선 방법으로 케이싱을 정렬하면 피아노선의 흔들림을 방지하기 위하여 다른 작업과 병행하여 시행할 수 없어 터빈 공기에 지장을 주나 레이저 방법은 이러한 영향이 없다.

Laser 측정렬 장비에 의한 케이싱 정렬 절차를 Hamar사의 L-711 장비를 기준으로 설명하면 다음과 같다.

### (1) 작업전 준비

Alignment하고자 하는 케이싱의 Oil Deflector, Gland Packing, Bearing, Diaphragm 등 측정지점의 Axial 거리를 mm 단위로 측정 기록한다.

### (2) 장비의 교정

상기 Bench Mark 측정기법의 장비 교정 절차를 따른다.

### (3) 장비의 설치

- L-711 레이저 본체를 고정 설치한다.
  - Front Oil Deflector와 최단거리에 L-711을 설치한다.
  - 알루미늄 앵글 2개를 Magnetic Block을 이용하여 고정한다
  - 본체 Table이 Front Oil Deflector 중앙에 오도록 Hanger를 고정한다.

## 1374 — 제3편 기계의 정비 기술

- L-711 레이저 본체를 설치한다. 이때 Beam Translator도 함께 설치한다. 이때 가능한 Close Bucking이 가능하도록 본체 Hanger 장치를 이용한다.
- Universal Target(T-218T)을 Front, Rear Oil Deflector에 고정 설치한다.
  - 알루미늄 앵글 2개를 Magnetic Block을 이용하여 고정한다. 만약 길이가 1.5 m 이상이 되면 “ㄱ”형 앵글대신 “口”형 앵글을 사용하여야 Small Ball Unit 장착시 흔들리지 않는다.
  - 앵글 중앙 위치에 X-Y Mount & Middle Clamp를 설치한다.
  - X-Y Mount & Middle Clamp에 Small Ball Sweep Unit를 설치한다. Front, Rear Oil Deflector의 현 Position을 Dial Gauge를 이용 측정한다. 이때 정확한 측정 Point(3, 6, 9시 방향)를 유지하도록 해야한다. Axial 방향 흔들림이 없도록 Guide Block을 설치하고, 레디얼 방향 고정을 위해 6시 방향은 Ball Bubble Level이 중심에 오도록 하고, 3, 9시 방향은 Casing Flange 면에 Magnet Block을 설치하여 고정시킨다.
  - Front, Rear Oil Deflector의 Bore 중심에 X-Y Mount & Middle Clamp가 오도록 하여야 한다. 상기 향에서 측정한 Position값이 “0”가 되도록, X-Y Mount & Middle Clamp 이동 조절 나사를 이용하여 조정을 한 후 재측정한다.
- Two Point Buck-in을 한다.
  - X-Y Mount & Middle Clamp에 Universal Target(T-218T)를 설치하고 각 Target과 Read-Out을 연결한다.
  - L-711을 Front, Rear Target에서 Vertical, Horizontal이 1 mm 범위에 있도록 조정한다. 이는 Bucking 조정용 Beam Translator(L-102)가 Laser Beam을 굴절 시킬 수 있는 범위가 1 mm 이내이므로, 초기 설치시 1 mm 범위 밖에 있으면 Beam Translator로 조정할 수 없으므로 재설치하는 번거로움이 있다. 초기 설치를 용이하게 하도록 Vertical 방향의 길이는 Laser Beam 높이 220 mm+Magnet Block 높이 70 mm=290 mm로 고정하고, 좌우 조정은 Jack Screw를 이용하여 조정한다.

### (4) 측정과 조정

측정과 조정은 2가지 방법이 있다. 하나는 Small Ball Sweep Unit를 이용하

는 방법으로 기존의 피아노선 방법과 개념이 비슷한 것으로 Dial Gauge를 이용하여 직접 Bore의 중심을 측정할 수 있다. 두 번째는 Single Axis Target A-511을 이용하여 직접 Bore의 중심을 3, 6, 9시 방향에서 측정하고 Bore7 프로그램을 이용하여 그 결과를 그래프화하여 아는 방법이다.

각 방법의 장단점은 다음 표에 설명하였다.

	Small Ball Sweep Unit를 이용하는 방법	Single Axis Target A-511을 이용하는 방법
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 피아노선 방법과 유사하므로 이해하기가 쉽다.</li> <li>▶ 기존의 장비를 이용하므로 추가 보조 장치를 제작할 필요가 없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Bore7 프로그램을 이용하여 결과물을 자동으로 그래프화할 수 있다.</li> <li>▶ 측정 시간이 빠르다.</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 측정 결과를 수동으로 작성해야한다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Measuring Leg를 각 Bore마다 제작하여야 한다.</li> </ul>

● Small Ball Sweep Unit를 이용하는 방법

- 4A.1 각 Diaphragm에서 위치 측정한다.
  - 원하는 Diaphragm에 앵글을 고정한다.
  - X-Y Mount와 Middle Clamp에 Universal Target을 설치하고 Read-out이 0이 되도록 조정한다.
  - Universal Target을 떼어내고, 대신에 Small Ball Sweep Unit를 설치한다.
  - Diaphragm의 Position을 3, 6, 9시 방향에서 측정한다.
- Diaphragm 이동후 재측정 한다.
- 측정 데이터를 기록 정리한다.

● Single Axis Target A-511을 이용하는 방법

- 각 Diaphragm의 반경 기준으로 Measuring Leg를 제작한다.
  - A-511 Target은 Diaphragm의 중심을 측정하기 위하여 제작되어졌는데, 90도 각도로 Measuring Leg가 설치되어 있다. 이 Measuring Leg의 길이는  $L = \text{Radius}(\text{mm}) - 69.85 \text{ mm}$ 로 계산하여 일반 전선관(KS C 8401-81 호칭경 22, 외경 26.5, 두께 2.3, 내경 21.9)으로 제작한다.
  - 상기 방법으로 각 Diaphragm에 2개씩 제작한다.
- Bore7 프로그램과 연결한다.

- R-355C Interface와 Target을 연결한다.
- Bore7 프로그램을 작동시킨다.
- Measuring Leg을 3, 6, 9시 방향으로 이동하면서 측정을 한다.
- 각 Diaphragm 이동 수정후 재측정 한다.

### 9.3.4 Pedestal Level 측정

각 베어링을 지지하고 있는 Pedestal의 변화가 있으면 터빈 측정렬에 직접적인 영향을 미친다. 이 Pedestal의 Level을 측정하여 터빈 기초대의 경년변화를 측정할 수 있다. 만약 이 Pedestal Level의 변화가 없는 상태에서 과년도 측정렬 값에 변화가 있다면 기초 침하가 아닌 다른 원인을 추정할 수 있다.

Pedestal 변화량과 측정렬 값의 변화가 일치하면 기초 침하가 일어났다는 것을 알 수 있는 귀중한 판단자료가 된다. Pedestal의 Level을 Laser Optical 측정렬 시스템으로 측정할 수 있다.

Laser 측정렬 장치에 의한 Pedestal Level 정렬 절차를 Hamar사의 L-711 장비를 기준으로 설명하면 다음과 같다.

- Laser 설치 위치에 L-104 Floor Stand를 놓고 L-711 레이저 본체를 설치한다. 전원을 켜고 약 30분 이상 예열한다.
- A-517 Target을 원하는 Pedestal 위에 고정하고 레이저 Beam을 수광할 수 있도록 길이 조정 Bar를 조정한다. 이때 Target 상부의 Micrometer는 중간위치에 있도록 한다.
- L-711의 Bubble Level을 Set up한다
  - 레이저 하부에 있는 Leveling Screw를 조정하여 Level Bubble이 중앙에 오도록 조정한다. Coarse 와 Fine 조정 나사가 하부에 설치되어 장, 단축에 각각 설치되어 있다. 조정 나사의 회전방향과 Bubble 포물선의 이동 방향은 장, 단축에서 서로 반대이므로 유의하여야 한다. 일차 조정 후 2~3분 뒤 포물선을 확인하여 만약 일치하지 않으면 재조정 한다.
  - 프리즘을 통하여 나타나는 Bubble이 일치된 포물선 모양이 되도록 조정한다. 이때 작은 손전등을 사용하여 Bubble을 조정하는데, 데이터 측정시는 레이저에 방해가 되지 않도록 손전등을 OFF한다.
- A-517 Target을 측정 위치에 놓고, 빨간 수광부의 중앙에 레이저가 오도록 조정한다. Read Out이 0이 되도록 Target 상부 Micrometer를 조정한다. 이때

Micrometer의 값을 기록한다. 이 값이 측정하고자 하는 면의 기준값이 된다. 여기서 가장 주의하여야 할 사항은 A-517 Target이 수평을 유지해야 한다는 것이다.

- 원하는 측정 위치로 Target을 옮긴다. 이때 착탈식 Magnet의 스위치 방향을 GEN측으로 항상 향하도록 하여, Magnet 부착위치가 항상 일정하도록 한다. 다시 Read-out이 0이 되도록 한 후, 변화된 Micrometer값을 기록한다. Read-out 값을 바로 읽지 않고 이와 같은 방법을 사용하는 이유는 장비의 정확도가 0점 부근에서 가장 높기 때문이다.

### 9.3.5 Pedestal의 Thermal Growth 측정

터빈은 기동하거나 운전중 Pedestal의 열팽창에 의하여 측정렬에 영향을 줄 정도로 위치변화가 심하다. 이런 변화를 흡수하기 위하여 보통 열팽창량을 감안한 Cold Alignment를 시행한다. 그러나 여러 가지 이유로 설계시 고려한 팽창량과는 다른 팽창이 발생하여 냉각 상태에서 설계치로 측정렬을 실시했다하더라도 실제 정상부하 운전중 측정렬 상태 불량에 의한 진동, 베어링 온도 상승 등 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 Pedestal에서의 실제 Thermal Growth량의 측정이 필요하게 되며 Laser Optical 측정렬 시스템은 이 경우에도 적용 가능하다.

Laser 측정렬 장치에 의한 Pedestal Level 정렬 절차를 Hamar사의 L-711 장비를 기준으로 설명하면 다음과 같다.

- Laser 설치 위치에 L-104 Floor Stand를 놓고 L-711 레이저 본체를 설치한다. 전원을 켜고 약 30분 이상 예열한다.
- A-517 Target을 원하는 Pedestal 위에 고정하고 레이저 Beam을 수광할 수 있도록 길이 조정 Bar를 조정한다. 이때 Target 상부의 Micrometer는 중간위치에 있도록 한다.
- L-711 의 Bubble Level을 Set up한다
  - 레이저 하부에 있는 Leveling Screw를 조정하여 Level Bubble이 중앙에 오도록 조정한다. Coarse와 Fine 조정 나사가 장, 단축에 각각 설치되어 있다. 조정 나사의 회전방향과 Bubble 포물선의 이동 방향은 장, 단축에서 서로 반대이므로 유의하여야 한다. 일차 조정 후 2~3분 뒤 포물선을 확인하여 만약 일치하지 않으면 재조정을 한다.
  - 프리즘을 통하여 나타나는 Bubble이 일치된 포물선 모양이 되도록 조정한다. 이때 작은 손전등을 사용하여 Bubble을 조정하는데, 데이터 측정시는 레이저

## 1378 — 제3편 기계의 정비 기술

에 방해가 되지 않도록 손전등을 OFF한다.

- A-517 Target을 측정 위치에 놓고 빨간 수광부의 중앙에 레이저가 오도록 조정한다. Read Out이 0이 되도록 Target 상부 Micrometer를 조정한다. 이때 Micrometer의 값을 기록한다. 이 값이 측정하고자 하는 면의 기준값이 된다. 여기서 가장 주의하여야 할 사항은 A-517 Target이 수평을 유지해야 한다는 것이다.
  - 원하는 측정 위치로 Target을 옮긴다. 이때 착탈식 Magnet의 스위치 방향을 GEN측으로 항상 향하도록 하여, Magnet 부착위치가 항상 일정하도록 한다. 다시 Read-out이 0이 되도록한 후 변화된 Micrometer값을 기록한다. Read-out 값을 바로 읽지 않고 이와 같은 방법을 사용하는 이유는 장비의 정확도가 0점 부근에서 가장 높기 때문이다.
  - R355C와 A-517 Target을 연결한다. 그리고 자동 데이터 기록을 위해 Read7 프로그램을 작동한다. 데이터를 입력받는 순서는 다음과 같다.
    - 현재 위치에서 Read-Out값이 0이 되도록 Alt+Z를 누른다.
    - F4 Key를 눌러 Option Menu를 선택한다.
    - 3번을 눌러 Stimer Mode를 선택한다. Stimer Menu는 두 가지 Option이 있다.
  - 데이터를 읽는 시간 간격 기록(분 단위)
  - 최고값 기록
- 측정 시간의 한계는 정하지 않아도 된다. 측정을 종료하려면 Escape를 누르면 된다.
- 데이터 수집을 원하면 F10을 누른다. 그러면 화면은 자동으로 아래 화면으로 바뀌고 첫 번째 읽은 값이 기록된다.
  - 측정이 종료되면 Escape를 눌러 Read Out Screen 모드로 복귀한다.