

# 탄성회전체의 기계적 평형잡기 방법과 기준 (ISO 11342)

ISO/TC/108/SC1 11342

(Mechanical vibration - Methods and criteria for the mechanical  
balancing of flexible rotors)

최 상규\*, 전 오성\*\*

Sang-Kyu Choi, Oh Sung Jun

## ABSTRACT

ISO 11342 classifies flexible rotors in accordance with their balancing requirements and establishes methods of assessment of residual unbalance. This International Standard also shows how criteria for use in the balancing facility may be derived from either vibration limits specified for the assembled and installed machine or unbalance limits specified for the rotor. If such limits are not available, this standard shows how they may be derived from ISO 10816 and ISO 7919 if desired in terms of vibration, or from ISO 1940-1 if desired in terms of permissible residual balance. This International Standard also presents methods for adapting the criteria of ISO 1940-1 to flexible rotors.

## 1. 서론

회전체의 평형잡기는 기계를 현장에 설치했을 때 “만족한 운전”을 하도록 하는 것을 목적으로 하고 있다. 여기서 “만족한 운전”이라 함은 회전체에 남아 있는 불평형으로 인하여 허용치 이상의 진동이 발생하지 않는 운전상태를 말한다. 탄성회전체의 경우에는 최대 사용속도 이하의 어떤 속도에서도 허용치 이상의 변형이 일어나지 않는 상태를 말한다.

ISO 11343는 탄성회전체를 요구되는 평형정도에

\* 한국기계연구원 회전체연구그룹

\*\* 전주대학교 기계공학과

따라 분류하고 잔류 불평형의 평가방법을 수립하며 또한 조립, 설치된 기계에 대해 명시된 진동한계나 회전체에 대해 명시된 불평형 한계로부터 평형 시험설비에서 사용되는 기준을 유도하는 방법을 제시한다. 진동한계 또는 불평형 한계가 명시되지 않은 경우에는, 진동과 관련해서는 ISO 10816과 ISO 7919에서, 잔류불평형과 관련해서는 ISO 1940-1로부터 유도하는 방법도 제시하고 있다. ISO 1940은 강성회전체의 불평형 정도를 다루고 있어 심각한 굽힘 변형을 일으킬 수 있는 탄성회전체에는 직접 적용되지 않는다. 그러나 ISO 11342에서는 탄성회전체에 ISO 1940-1의 기준을 적용할 수 있는 방법을 제시하고 있다.

본 논문에서는 ISO 11342에서 제시하고 있는 강

체 및 탄성회전체의 구분법 그리고 평형잡기 방법과 그 기준에 대해 간략히 정리, 기술하고자 한다.

## 2. 탄성회전체 평형잡기의 목적

이상적인 탄성 회전체 평형잡기의 목적은 축의 각 요소길이(elemental length)마다 불평형 보정을 하여 각 요소길이에서 발생하는 국부적인 불평형(local unbalance)을 보정하는 것인데 이렇게 함으로써 회전체는 각 요소길이의 질량중심이 축의 중심선에 위치하게 된다. 이렇게 이상적으로 평형이 잡힌 회전체는 정적 불평형과 우력 불평형, 그리고 불평형의 모드성분이 전혀 없게 된다. 이렇게 완전하게 평형이 잡힌 회전체는 불평형에 관한 한 모든 속도에서 만족스런 운전을 하게 된다.

실제적으로는 제한된 수의 보정면에서 축에 질량을 더하거나 빼어 필요한 만큼 불평형을 저감시킨다. 따라서 평형잡기 후에도 예외 없이 어느 정도의 잔류 불평형이 분포하게 된다.

잔류 불평형에 의한 진동이나 진동하는 힘(oscillatory force)은 사용속도(service speed) 범위에 걸쳐 허용할 수 있는 수준으로 저감되어야 한다. 방법에 상관없이 평형잡기의 최종 목표는 불평형 분포를 보정함으로써 기동 및 정지 그리고 있을 수 있는 과속(overspeed)을 포함한 최대 사용속도까지의 모든 속도에서 불평형 효과를 최소화시키는 것이다. 이러한 목적을 달성함에 있어서 사용속도 범위 이상에 위치한 위험속도 모드의 영향을 허용할 필요도 있다.

## 3. 강체 및 탄성회전체의 구분법

평형잡기를 위한 목적으로 회전체가 강체 범주인지 또는 탄성체 범주인지를 회전체의 걸모습으로만 결정하기에는 충분하지 않다. 회전체가 고속 운전을 한다면 위험속도에 근접하거나 통과하여 심각한 회전체의 굽힘을 야기하고 따라서 고속 평형잡기가 요구될 수 있다. 회전체의 최대 사용속도가 1차 굽힘 위험속도보다 30% 낮다면 그 회전체는 평형잡기 관점에서 강체로 간주한다.

ISO 11342의 부록 E에는 회전체가 강체인지 또

는 탄성체인지를 결정하는데 사용되는 다음과 같은 실험적 방법을 기술하고 있다.

### 3.1 강체 또는 탄성체 여부 결정

1) 먼저 두 개의 보정면을 사용, 회전체의 저속 평형잡기를 한다 (ISO 1940 참조). 다음, 적어도 사용속도까지 회전체를 구동시킬 수 있고 현장의 운전 설치 조건과 유사한 베어링의 강성과 감쇠, 그리고 베어링 지지부를 갖는 설비에 회전체를 장착한다. 진동이 항상 제한값 이내로 유지되도록 주의하면서 회전체를 사용 운전속도까지 점진적으로 가속시킨다. 가속 및 이후의 연속적인 감속기간 동안 속도에 대한 함수로 진동추정치를 기록한다. 속도의 함수로서 진동값에 현저한 변화가 발생하지 않을 때는 회전체가 강체이거나 또는 모드 불평형의 수준이 낮은 탄성체인 경우이다. 어떤 가능성을 적용할 것인가를 결정하기 위해서 3.2절의 유연도 시험(flexibility test)을 실시한다.

2) 가속속시에 심각한 진동의 변화가 생기면 다음 중 하나 또는 그 이상의 가능성이 존재한다.

- a) 회전체가 유연한 경우
  - b) 회전체는 강체이나 지지부가 유연한 경우
  - c) 부품이 속도, 온도에 따라 위치가 변하는 경우
- 각 경우를 구별하기 위해 다시 회전체를 사용 운전속도까지 가속시킨 후 정지할 때까지 감속시키면서 측정된 값이 이전의 감속기간 중 측정된 값을 반복하고 있는지 검사한다. 측정값이 반복적이면 회전체는 안정된 상태이다. 다음에는 회전체가 강체인지 또는 탄성체인지를 결정하기 위해 유연도시험을 실시한다.

3) 측정값이 반복적이지 않을 때에는 회전체의 불평형이 변하고 있음을 나타내고 이 문제를 해결하기 전에는 회전체를 허용값 이내로 평형잡기가 매우 어렵다.

### 3.2 회전체의 유연도시험

회전체의 중앙이나 높은 진동을 유발할 것으로 예상되는 장소에 하나의 시험질량을 부착한다. 항상 진동이 안전한 범위내에 있도록 주의하면서 회전체를 사용속도까지 가속시킨다. 가속하는 동안

진폭이 과도하게 커지면 질량의 크기를 줄이고 위의 과정을 반복한다. 사용 운전속도에서 3.1에서 사용된 위치와 같은 곳에서 진동 벡터를 측정한다. 진동수준에 미치는 시험질량의 효과를 결정하기 위해 새로 기록된 값에서 이전에 기록된 진동 벡터를 벡터적으로 감산한다. 결과를 벡터  $\vec{A}$ 로 표시한다. 회전체를 정지시키고 질량을 제거한다. 제거된 중앙질량과 같은 각도의 위치에 두 개의 질량을 붙인다. 이 질량들은 회전체의 양 끝 보정면에 가깝게 놓아야 한다. 이 질량들은 우력 불평형(couple unbalance)을 추가적으로 발생시키지 않고 단일 시험질량 평면에서와 같은 준 정적 불평형(quasi-static unbalance)을 제공하도록 선택되어야 한다. 회전체를 다시 사용 운전속도까지 가속시켜 측정 후 질량효과를 결정하기 위해 새로 기록된 값에서 3.2에서 기록된 진동 벡터를 벡터적으로 감산한다. 이 벡터를  $\vec{B}$ 라 한다.

### 3.3 유연도 시험 데이터의 평가

벡터 ( $\vec{A} - \vec{B}$ )의 크기를 계산한다. 이것을 벡터  $\vec{A}$ 의 크기로 나누었을 때 0.2보다 작으면 회전체는 평형잡기 관점에서 강성회전체로 간주할 수 있다. 반대로 이 값이 0.2 또는 그 이상일 때는 탄성회전체로 간주한다.

회전체 시스템 모형화(modelling)의 충분한 데이터가 있다면 3.3의 비율을 계산하는데 필요한 데이터를 해석적으로 만드는 것이 가능하고, 따라서 유연도 시험을 할 필요가 없어진다. 이 방법을 사용할 때에는 특별히 회전체/지지 시스템의 강성 및 감쇠 특성을 정확히 모형화하도록 주의하여야 한다.

## 4. 탄성회전체 동역학 및 평형잡기의 기준

### 4.1 불평형 분포

축방향 불평형의 분포는 불규칙일 가능성이 크므로 동일하게 설계된 회전체라도 각각의 불평형 분포는 다르다. 불평형의 분포는 강성회전체에서보다 탄성회전체에서 그 중요도가 더 큰데 이는

불평형의 분포가 임의의 탄성 모드가 가진되는 크기를 결정하기 때문이다. 임의의 위치에서의 불평형의 효과는 회전체의 모드 형상에 따라 다르다.

불평형이 있는 곳 이외의 평면에서 불평형을 보정하였을 경우 처음 회전체의 불평형이 보정되었던 회전속도가 아닌 다른 속도에서 진동을 발생시킬 수 있다. 이 진동은 특히 탄성 위험속도에서 또는 그 근방에서 명시된 허용값을 초과할 수 있다. 이러한 불평형 보정은 현장에서의 탄성 모드형상이 평형잡기 과정에서의 주된 모드형상과 다르다면 같은 회전속도에서도 진동을 발생시킬 수 있다. 운전 중에 가열되는 회전체는 불평형을 변화시키는 열적 굽힘(thermal bow)을 겪기 쉽다. 회전체의 불평형이 운전할 때마다 현저하게 변하면 허용값 이내로 회전체의 평형을 잡는 것은 불가능할 수 있다.

### 4.2 탄성회전체의 모드 형상

회전체의 모드들은 감쇠효과를 무시하면 굽힘 주 모드(flexural principal modes)이고 모든 방향에서 동일한 반경강성을 가진 베어링으로 지지된 특별한 경우에는 Fig.1과 같은 회전 평면 곡선(rotating plane curve)으로 표현된다.

회전체의 모드 형상과 불평형에 대한 응답은 베

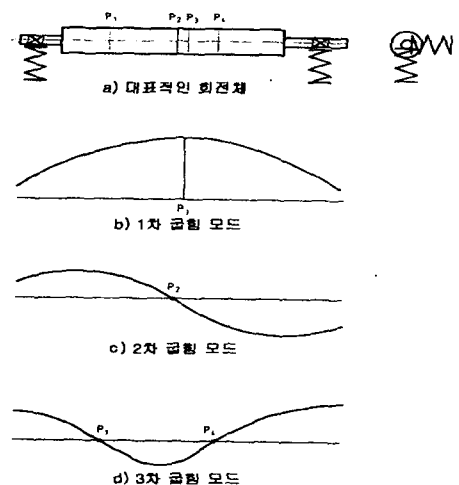


Fig. 1 Simplified mode shapes for flexible rotors on flexible rotors

어링과 배어링 지지부의 동특성 및 축방향 위치에 의해 매우 큰 영향을 받는다.

#### 4.3 불평형에 대한 탄성회전체의 응답

회전체의 불평형 분포는 모드 불평형으로 표현할 수 있다. 각 모드에서의 축 휘어짐(deflection)은 해당되는 모드 불평형에 의해 발생한다. 일반적으로 회전체가 위험속도 근방에서 회전하고 있을 때 회전체의 휘어짐을 지배하는 것은 바로 위험속도와 관계된 모드이다. 이러한 상황에서 회전체의 휘어짐이 크게 발생하는 정도는

- a) 모드 불평형의 크기
- b) 관련 위험속도와 회전속도의 근접도
- c) 회전체/지지부 시스템 감쇠력의 크기에 의해 좌우된다.

여러 개의 불연속적인 보정질량을 부착함으로써 어느 특정한 모드 불평형이 감소된다면 축 휘어짐의 해당 모드 성분도 함께 감소된다. 이런 방법으로 모드 불평형이 감소되는 것이 바로 이 국제 규격에서 기술하는 평형잡기 과정의 기본이 된다.

주어진 불평형 분포에 대한 모드 불평형은 탄성회전체 모드의 함수이다. 또한 Fig.1의 단순화된 회전체에 대해 특정 모드에서의 불평형 보정 효과는 보정면의 축방향 위치에서의 모드 형상의 세로 좌표에 따라 결정된다. 즉 반절점에서 효과가 최대가 되고 절점에서 최소가 된다. 그림 1을 보면 1 a)의 회전체의 모드 형상은 그림 1 b)에서 d)와 같은데  $P_3$  평면의 보정질량은 1차 모드에 대해서는 최대의 효과를 가지나 2차 모드에는 그 효과가 작다.  $P_2$  평면의 보정질량은 2차 모드에서는 아무런 응답도 발생시키지 않지만 다른 두 모드에는 영향을 주고 있다.  $P_1$ 과  $P_4$  평면의 보정질량은 3차 모드에는 변화를 주지 않지만 다른 모드에는 변화를 주고 있다.

### 5. 탄성회전체의 평형잡기

탄성회전체는 정상적으로는 고속에서의 다면 평형잡기(multi-plane balancing)를 필요로 한다. 그럼에도 불구하고 어떤 조건에서는 탄성회전체도

저속에서 평형잡기가 가능하다. 고속 평형잡기 방법에는 모드 평형잡기 방법과 영향계수법이 공식화되어 사용되고 있으며 이 두 가지 방법의 배경이 되는 기본이론과 각각의 상대적인 장점은 문헌에 자세히 기술되어 있으므로 여기서는 더 이상의 설명을 생략한다. 대부분의 실제적인 평형잡기에서는 컴퓨터 프로그램으로 두 가지 방법을 혼합해서 사용한다.

탄성회전체의 평형잡기방법을 분류하면 Table 1과 같고 ISO 11342에서 권장하는 탄성회전체의 종류별 평형잡기 방법은 Table 2에 제시되어 있는 바와 같다. 탄성회전체의 저속평형잡기 방법은 회전체 불평형의 축방향 분포를 알고 있을 때 적용


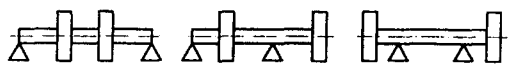
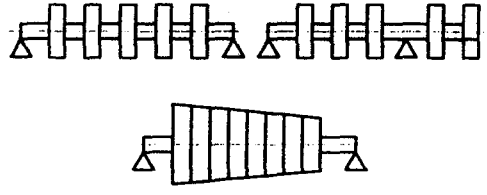
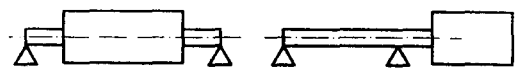
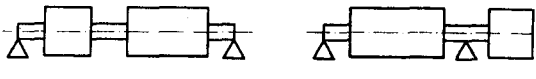
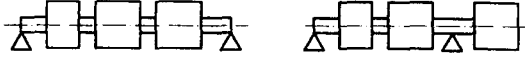
Table 1. Balancing procedures

저속 평형잡기	
A	단면 평형잡기
B	이면 평형잡기
C	조립 전 개별 부품 평형잡기
D	초기 불평형 규제 후 연이은 평형잡기
E	조립대에서의 평형잡기
F	최적 평면에서의 평형잡기
고속 평형잡기	
G	다속 평형잡기
H	사용 운전속도 평형잡기
I	정속 평형잡기

할 수 있다. Table 2에 있는 것과 같이 불평형이 없는 탄성축에 강체 마디 또는 강체 디스크가 탈착식으로 조립되는 경우에는 저속평형잡기 방법을 적용하고, 강체 마디/디스크가 일체형으로 되어 있는 경우에는 고속평형잡기 방법인 다속 평형잡기를 시행한다 (방법 G). 회전체가 조립 전에 개별적으로 평형이 잡힌(방법 C) 별도의 부품들로 구성되어 있을 때, 불평형 상태가 아직 만족스럽지 못할 수가 있다. 조립품의 초기 불평형이 명시된 값을 초과하지 않는다면 저속에서의 조립품의 연속적인 평형잡기(방법 D)가 허용된다.

설계나 구성방법 때문에 여러 개의 회전체가 전체 길이에 걸쳐 균일한 불평형 분포를 가질 때는 (예를 들면 튜브와 같이), 저속 평형잡기에 의해 전체 사용속도 범위에서 만족스런 운전을 하도록

Table 2. Flexible rotor

형태	회전체의 특성	권장 평형 잡기 방법 (Table 1 참조)
1.1 디스크	불평형이 없는 탄성축, 강성 디스크	(Table 1 참조)
	단일 디스크 - 회전축선에 수직 - 축방향 런아웃 있음	A:C B:C
	두 개의 디스크 - 회전축선에 수직 - 축방향 런아웃 있음 · 적어도 하나의 탈착식 디스크 · 일체형	B:C B+C, E G
	두 개 이상의 디스크 - 모두 (하나를 제외한) 탈착식 - 일체형	B+C, D, E G
1.2 강체 마디(Rigid sections)	불평형이 없는 탄성축, 강체 마디	
	단일 강체 마디 - 탈착식 - 일체형	B: C; E B
	두 개의 강체 마디 - 적어도 하나 이상이 탈착식 - 일체형	B+C; E G
	두 개 이상 강체 마디 - 모두 (하나를 제외한) 탈착식 - 일체형	B+C; E G

두 개의 보정면을 설정하는 것이 가능하다 (방법 F). 가장 좋은 운전조건을 만드는 두 개 보정면의 최적 위치는 유사한 형태의 회전체에 대한 여러 번의 실험을 통해서 결정될 수 있으나 단순 회전체의 경우에는 회전체를 지지하는 각 베어링으로부터 안쪽으로 베어링 경간(span)의 22% 되는 지점이 두 개 보정면의 최적 위치이다. 이 방법으로

만족한 결과를 얻지 못하는 경우에도 회전체의 양 끝과 중앙에 위치한 보정면을 활용하여 저속에서 회전체를 평형잡기 하는 것이 가능하다. 이렇게 하기 위해서는 중앙 보정면에서 보정할 전체 초기 불평형의 양을 결정하는 것이 필요하다.

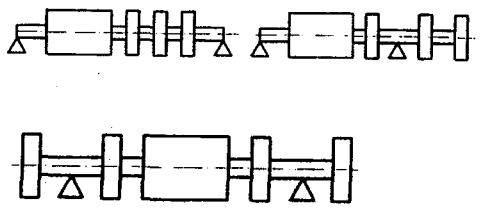
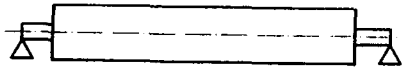
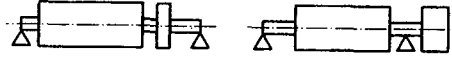
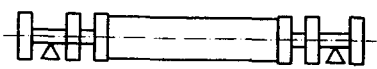
탄성회전체의 고속평형잡기 방법에는 다속 (multiple-speed) 평형잡기(방법 G), 사용 운전속도

(service speed) 평형잡기(방법 H), 정속(fixed speed) 평형잡기가 있다. 다속 평형잡기는 일반적으로 모드평형잡기(modal balancing)로 통칭되는 것으로 회전체의 모드를 토대로 일련의 평형잡기 속도에서 순서대로 연속적으로 평형잡기를 하는데 평형잡기 속도는 사용속도 범위 안에서 각 위험속도에 근접하도록 선택한다. 최대 허용 시험속도에

근접하여 평형잡기 속도가 있을 수 있으나 본질적으로는 사용속도 범위에서 위험속도를 갖는 각 모드를 순서대로 보정하며 그 보다 높은 모드는 최고 평형잡기 속도에서 보정한다.

탄성체이면서 사용속도에 도달할 때까지 하나 또는 그 이상의 위험속도를 통과하는 회전체들은 특별한 상황에서 하나의 속도(보통 사용속도)에서

Table 2. Flexible rotor (continued)

형태	회전체의 특성	권장 평형잡기 방법 (Table 1 참조)
1.3 디스크와 강체 마디	불평형이 없는 탄성축, 강체 디스크 및 강체 마디	
	각 하나의 디스크 및 강체 마디 - 하나 이상이 탈착식 - 통합형	B+C; E G
	두 개 이상 - 모두 (하나를 제외한) 탈착식 - 전체가 하나인 일체형	B+C, E G
1.4 롤(Rolls)	질량, 탄성도, 불평형이 회전체를 따라 분포	
	- 특수 조건인 경우 - 일반적인 경우	F G
1.5 롤 및 디스크/강체 마디	유연 롤, 강체 디스크, 강체 마디	
	- 디스크/강체 마디/탈착식 · 특수 조건인 경우 · 일반적인 경우 - 일체형	C+F; E+F G G
1.6 일체형 회전체	질량, 탄성도, 불평형이 회전체를 따라 분포	
	분리할 수 없는 불평형을 가진 주요 부분	G

만 평형을 잡을 수 있다(방법 H). 그러나 위험속도들이 사용속도에 근접해 있거나 다른 탄성회전체에 연결된 회전체는 제외된다. 일반적으로 이러한 회전체는 다음 조건들 중 하나 또는 그 이상을 충족하여야 한다.

- a) 사용속도까지의 가속 또는 그로부터의 감속이 매우 빨라 위험속도에서의 진동의 크기가 허용치 이상으로 커지지 않을 것
- b) 시스템의 감쇠력이 충분히 커서 위험속도에서의 진동을 허용 한계값 이내로 유지할 것
- c) 과도한 진동을 피할 수 있는 방법으로 회전체가 지지되어 있을 것
- d) 위험속도에서 높은 수준의 진동이 허용될 것
- e) 바람직하지 않은 기동/정지 조건이 허용될 수 있도록 사용속도에서 장시간 운전할 것

위의 조건들 중 하나라도 만족하는 회전체는 회전체가 평형상태에 있어야 하는 속도에서 고속 평형잡이 기계나 그에 준하는 설비를 사용하여 평형을 잡을 수 있다. 회전체가 위에 있는 c) 범주에 속할 때는 평형잡이 설비의 사용속도에서 나타나는 주 모드들이 현장에서 경험하는 그것들과 같도록 하기 위해서 평형잡이 기계 지지시스템의 강성이 현장조건과 충분히 가깝게 하는 것이 중요하다.

고무재질로 된 블레이드를 갖는 송풍기와 같이 속도에 따라 지속적으로 불평형이 변하는 회전체 또는 원심식 기동스위치를 갖는 단상 유도전동기의 회전체와 같이 일정 속도까지는 불평형이 변하고 그 이상의 속도에서는 일정한 값을 유지하는 회전체에는 정속 평형잡기(방법 I)가 적용된다.

## 6. 평가기준

공장에서 탄성회전체의 평형정도(balance quality)를 평가할 때는 회전체가 갖는 현장 설치조건들에 상당히 가깝게 만든 평형잡이 설비나 시험대에서의 베어링 좌대(pedestal) 또는 축 진동의 회전속도 동기성분을 이용한 진동계한치를 사용하는 것이 일반적인 방식이다(6.1절). 또 다른 방식은 허용 잔류불평형을 사용하여 평형정도를 평가하는 것이다(6.2절). 저속 평형잡기 방법 (방법 A-F)으로 평형이 잡힌 탄성회전체에 대해서는 고속 평형 시험설비를 사용할 필요 없이 저속에서 이러한 형

태의 평가가 이루어질 수 있다.

### 6.1 평형시험설비에서의 허용 진동

평형 시험설비에서 허용할 수 있는 진동수준은 두 가지로 표현할 수 있다.

a) 현장에서 허용 가능한 베어링 진동으로부터 계산된 베어링 좌대(pedestal)의 진동

b) 현장에서 허용 가능한 축진동으로부터 계산된 축진동

두 경우에 모두 계산과정은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Y = X \times K_0 \times K_1 \times K_2$$

여기서

$X$  : 현장에서 측정된 사용속도 범위 내 횡단면의 수평 또는 수직 방향의 허용가능한 베어링 또는 축의 진동

$Y$  : 평형 시험 설비에서의 베어링 좌대 또는 축 진동의 허용가능한 회전속도 동기성분

$K_0$  : 허용 가능한 전체 진동에 대한 허용 가능한 진동의 회전속도 동기성분의 비 ( $K_0 \leq 1$ )

$K_1$  : 회전체의 지지부나 커플링 시스템이 현장 조건과 다를 때 사용되는 변환계수. 현장에 조립 설치된 기계의 베어링 좌대 또는 축 진동에 대한 평형잡이 설비에서 측정된 같은 부위 진동의 회전속도 동기성분의 비 (적용이 어려운 경우,  $K_1=1$ )

$K_2$  :  $X$ 값을 위해 명시된 부위가 아닌 평형 시험 설비의 다른 곳에서 축 진동을 측정했을 때 사용되는 변환계수. 이 값은 회전체의 모드 특성에 좌우되며 측정부위가 같다면  $K_2=1$ 이다.

$K_1$ 과  $K_2$ 는 설치할 때마다 값이 크게 변할 수 있고 또한 속도에 종속적이다.  $K_0$ 과  $K_1$ 의 값들이 규격의 부록 C에 제안되어 있다.  $K_2$  값은 적용처에 따라 규정할 필요가 있다. 어떤 특정한 구성을 갖는 회전체 베어링 시스템의 위험속도가 사용 운전속도와 일치한다면 보다 높은 값의 변환계수들을 사용하여야 한다.

### 6.2 잔류 불평형의 한계

이 절에서는 탄성회전체의 요구되는 평형도에 대한 지침을 규정한다. 저속에서 평형이 잡힌 탄성회전체에 대해서는 평형도를 나타내기 위해 지정된 보정면에서의 허용 잔류 불평형을 사용한다. 고속에서 평형이 잡힌 회전체에 대해서는 허용 잔류 모드 불평형을 적용한다.

### 6.2.1 저속 평형잡기에 대한 한계

완전히 조립된 회전체의 잔류 불평형은 등가 강성회전체에 대해 ISO 1940-1에서 추천한 잔류 불평형을 초과하지 않아야 한다. 또한 방법 C,D, 또는 E (Table 1 참조)에 따라 평형잡기 된 회전체에 대해서는 각 부품, 또는 각 부품의 1차 조립품을 경험에 의한 값 또는 ISO 1940-1에서 추천하는 한계값으로 평형잡기를 한다.

### 6.2.1 다속 평형잡기에 대한 한계

#### 1차 굽힘 모드

1차 모드 잔류불평형에 의해서만 현저하게 영향을 받는 회전체에 대해서는, 불평형의 분포형태에 상관없이 회전체의 최고 사용속도를 기준으로 잔류불평형을 등가 강성회전체에 대해 ISO 1940-1에서 추천한 전체 잔류불평형의 백분율로 표시하고 이 값이 다음의 한계를 초과할 수 없다.

- a) 등가 일차 모드 불평형의 경우 60%
- b) 초기 저속 평형잡기가 행해졌다면 강성회전체로서의 전체 잔류불평형은 100%를 넘을 수 없다.
- c) 사용속도에서의 잔류불평형의 경우 100%

#### 1차 및 2차 굽힘 모드

1차 및 2차 모드 잔류불평형에 의해서만 현저하게 영향을 받는 회전체에 대해서는, 불평형의 분포형태에 상관없이 회전체의 최고 사용속도를 기준으로 잔류불평형을 등가 강성회전체에 대해 ISO 1940-1에서 추천한 전체 잔류불평형의 백분율로 표시하고 이 값이 다음의 한계를 초과할 수 없다.

- a) 등가 일차 모드 불평형의 경우 60%
- b) 등가 이차 모드 불평형의 경우 60%
- c) 초기 저속 평형잡기시 강성회전체로서의 전체 잔류불평형은 100%를 넘을 수 없다.

d) 사용속도에서의 잔류불평형: 100%

두 모드 중 어느 하나가 다른 것에 비해 덜 중요하다면 해당되는 한계는 완화될 수 있으나 100%를 초과할 수는 없다. 이러한 한계값의 계산법이 부록 F에 제시되어 있다.

### 두 개 이상의 굽힘 모드

일차 및 이차 모드 이상의 모드 잔류 불평형에 의해 현저하게 영향을 받는 회전체에 대해서는 추천사항이 없다.

이 외에 본 규격에서는 회전체의 종류와 목적에 따라 특정한 측정면에서의 진동이나 또는 잔류불평형을 측정하여 최종 불평형상태를 평가하는 방법에 대해서도 기술하고 있다.

## 7. 결 론

탄성회전체의 기계적 평형잡기 방법과 기준에 대해 기술하고 있는 ISO 11342 국제규격의 내용에 대해 간략히 기술하였다. 본 규격에서는 탄성회전체의 고속평형잡기 방법 뿐만 아니라 특별한 형태의 탄성회전체에 대해 저속에서 평형잡기를 할 수 있도록 그 방법과 기준을 제시하고 있다. 따라서 최근들어 활성화되고 있는 고속 회전기기의 개발에 본 규격에서 제시하고 있는 방법을 적용한다면 보다 안정한 시스템의 구축이 가능할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] ISO 11342 "Mechanical vibration - Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors", Second edition, 1998-04-15