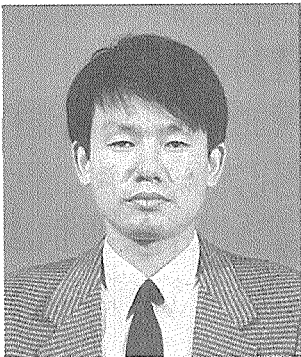


# 産業用 誘導電動機의 振動特性



暁星重工業(株)  
技術研究所  
崔沅鎬

## 1. 概要

産業現場에서 驅動機로써 가장 널리 사용되는 것이 誘導電動機이다. 따라서 設備保全 코스트 절감과 電動機의 效率的인 維持管理를 위해 電動機의 振動特性을 把握하는 일은 매우 중요하다. 그러나 電動機 振動特性은 機械的인 振動과 回轉磁界로 인한 電氣的인 振動 두가지로 나누어져 좀 복잡한 振動發生源을 갖고 있다. 따라서 現場 엔지니어는 電動機 振動發生 메카니즘에 관한 基本的인 原理와 故障 診斷 가이드 및 FFT(FAST FOURIER TRANSFORM)와 같은 振動分析用 裝備를 갖추어, 缺陷을 초기에 診斷하며, 振動 스펙트럼의 比較 分析을 통해 故障 豫見에 따른 대책을 강구하여 예기치 못한 돌발사고로 인한 經濟的인 損失을 방지해야 할 것이다.

따라서 본 글에서는 産業用 誘導 電動機의 機械的인 및 電氣的인 振動特性을 說明하고 電動機의 維持補修 側面에서 중요한 比重을 차지하는 베어링 振動特性에 관해 설명하고자 한다.

2. 誘導電動機의 振動特性

産業用 誘導電動機의 振動은 단순한 機械的 또는 電氣的인 缺陷에 의해서가 아니라 相互關聯된 복잡한 사항에 의한 問題가 자주 發生된다. 예로 誘導電動機의 빈번한 直起動은 큰 起動 電流(定常 負荷 電流의 5-8배)를 發生시켜 엔드링과 로터 바아의 破損 및 捲線에 機械 또는 熱的 應力을 초래하며, 起動時 초기 過度現狀으로 인해 코아振動과 큰 End-Winding Forces를 發生시킨다. 이것은 슬롯속의 코일 損傷을 일으키며, 더 나아가 絶緣破壞를 초래할 수 있다.

또다른 缺陷發生 可能性은 스테이터 코아와 捲線에 損傷을 초래하는 로터와 스테이터 사이의 機械的인 摩擦이다. 이 같은 缺陷은 축휨이나 共振, 베어링 磨耗, 軸의 움직임, 스테이터 코어의 移動등에 의한 不平衡磁氣吸引力과 空隙의 偏心 때문이다.

電動機에서 機械的인 振動과 電氣的인 振動이 함께 존재할 때 Beat音이 發生할 수 있다. Beat音은 가까이 근접된 周波數 成分들이 合成되어 振動振幅의 增減現象이 계속되는 現象이다. Beat音 現象이 없다면 단지 機械的인 問題로 판단할 수 있으며 Beat音이 存在하면 電氣的, 機械的인 問題가 合成된 것으로 생각할 수 있다.

예로 2극 誘導電動機에서 電源周波數의 2배 成分과 回轉周波數의 2배 成分이 근접될 때 發生된다.

振動이 電氣的인 原因인지 機械的인 原因인지를 판단하기 위하여 電源 遮斷試驗을 실시한다. 電氣的인 振動은 電源을 遮斷하였을 경우 즉시 削減된다. 이 電源 遮斷試驗은 周波數 分析器를 통해 振動振幅變化 推移를 觀測하면서 이루어져야 한다.

3. 電氣的인 振動

3.1 原理

Fig. 3-1은 誘導電動機의 簡略圖이다. 電流는 3相 스테이터 捲線에서 發生된 回轉磁界와 로터磁界 사이의 스피드 차이에 비례하는 電流가 로터導體에서

發生하게 된다. 이 電流는 로터에 힘을 發生시키기 위해 스테이터 磁界와 相互作用하는 로터磁界를 發生시킨다. 이 로터 磁界는 스테이터의 回轉磁界와 同期速度로 回轉하게 되는데 誘導電動機에서는 로터가 回轉磁界와 동일한 速度로 回轉하지 않고 약간 늦게 回轉하게 되는데 이 回轉磁界와 로터速度의 차이를 슬립이라 하며, 슬립(S)×電源周波數를 슬립周波數로 定義하며 이는 로터 導體에 흐르는 電流의 실제 周波數이고, 電動機의 極數에 상관없이 사용된다.

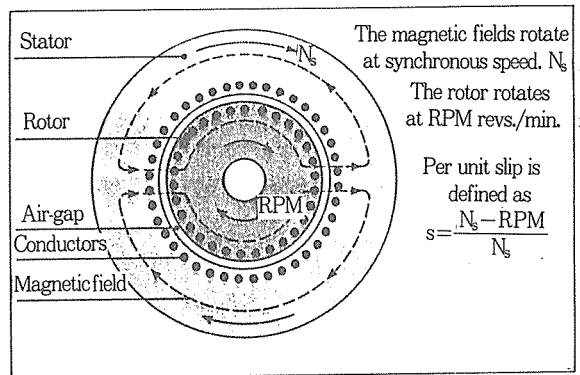


Fig. 3-1 THE INDUCTION MOTOR STATOR, ROTOR & AIRGAP

電動機의 토오크는 로터에 均衡된 힘이 作用할 때 發生하나 만약 힘이 均衡을 이루지 못할 경우 振動이 發生하게 되는데 이는 電動機의 空隙變化 혹은 電流變化에 기인한다.

3.2. 로터 스테이터 缺陷으로 인한 電流變化

Fig. 3-2와 같이 磁界 속을 回轉하는 간단한 코일을 고려할 때 임의의 X方向에서 코일에 作用하는 힘은 코일상의 電流와 磁界의 變化率에 직접 비례하며, 다음 式으로 表現된다.

$$F_x = NI(\partial\phi/\partial x)$$

여기서 NI를 起磁力이라 하며, 誘導電動機에서 回轉磁界는 空隙에서 磁界波를 상승시키는 導體속의 起磁力波로 定義할 수 있다. 이 식은 힘방향의 磁界變化率과 起磁力 不平衡의 곱에 의해 不平衡力을 얻을 수 있음을 보여주며, 이 不平衡力은 로터와 함께

회轉하게 된다.(ROTATING) 만약 起磁力의 基本波만 고려한다면, 不平衡力은 다음과 같이 表現할 수 있다.

$$\kappa \sin s\omega t \sin(s\omega t + \theta)$$

혹은

$$(\kappa/2) (\cos\theta - \cos(2s\omega t + \theta))$$

$\omega$ : 電源周波數

$s$ : 슬립

$\kappa$ : 振幅

$\theta$ : 位相角

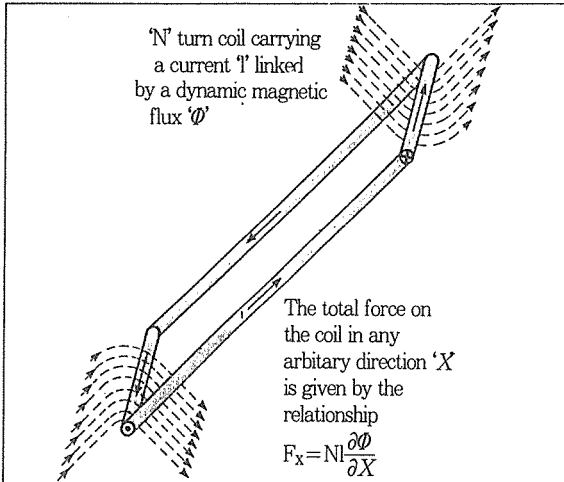


Fig. 3-2 THE FORCE ON A CURRENT CARRYING COIL MOVING IN A MAGNETIC FIELD.

따라서 振動은 一定한 成分과 2×슬립周波數 成分을 갖고 振動測定時 1×RPM과 1×RPM 주위에서 2×슬립周波數의 Sideband가 나타난다. 만약 스테이터 捲線 缺陷으로 電流의 不連續이 일어난다면(예로, 쇼트된 스테이터 捲線) 이때 不平衡力은 回轉하지 않고(STATIONARY) 다음과 같이 表現된다.

$$(\kappa/2) (\cos\theta - \cos(2\omega t + \theta))$$

즉 2×電源周波數의 成分이 發生된다.

### 3.3 偏心中으로 인한 空隙變化

空隙에서 磁界는 磁氣回路의 全 起磁力에 의해 發生되고 다음과 같이 表現된다.

$$\Phi = F_m / R_m$$

단  $F_m$ : 全 起磁力

$R_m$ : 全 磁氣抵抗

空隙에서 偏心發生은 半徑方向 空隙길이의 函數인 磁氣抵抗의 變化를 초래한다. 이 現象은 直流機 또는 同期電動機에 비해 空隙이 작은 誘導電動機에서 잘 나타난다.

따라서 誘導電動機에서 작은 缺陷도 상대적으로 큰 磁氣抵抗을 초래한다. 만약 空隙이 좁아진다면, 磁氣抵抗은 감소하고 같은 起磁力은 더 큰 磁界를 초래한다. 따라서 이 空隙을 통과하는 正弦波 磁界는 큰 變化를 갖게 되고 空隙變化의 影響은 電流變化의 影響과 비슷해진다. 따라서 起磁力의 基本 周波數 成分만 고려할 때 不平衡力은 앞절의 電流變化와 같은 關係가 나타난다.

空隙의 偏心은 靜的偏心和 動的偏心이 있다. 靜的偏心은 半徑方向으로 中心의 移動거리이다. 이것은 스테이터 코어의 橢圓 혹은 로터, 스테이터의 부정확한 설치로 기인된다. 動的偏心은 軸의 휨, 機械的인 共振, 베어링 磨耗 등에 發生된다.

偏心된 空隙에서는 로터를 變形시키려 하는 不平衡 磁氣吸引力이 發生하는 空隙의 偏心量을 더욱 增大시키게 된다. Fig. 3-3에 空隙變化에 따른 不平衡 磁起力의 變化關係를 나타내고 있다. 로터가 스테이터 中心에서 벗어남에 따라 空隙이 좁아지는 곳에서는 磁起力이 더욱 커지고 空隙 넓은 곳에서는 반대로 작아진다. 이 磁起力은 容수철상수(Kmag)로 表現可能하고 負의 값을 갖는다. 따라서 電動機軸의 容수철상수(K)가 저하되어 電動機軸의 危險速度(Wn)가 낮아진다.

$$W_n = \sqrt{(K - K_{mag}) / M}$$

단 M: 軸質量

空隙의 偏心은 결국 로터와 스테이터 사이에 摩擦을 發生시키고 最終적으로 스테이터 捲線의 破損을 일으킨다. 베어링 磨耗 혹은 變形된 스테이터로 인한 靜的偏心の 경우 2×電源周波數 成分의 振動이 發生하고 軸의 휨과 같은 動的偏心の 경우는 1×RPM과 1×RPM 주위에 2×슬립周波數 成分의 Sideband가 發生하게 된다.

### 3.4 슬롯 周波數

誘導電動機에서 導體가 들어가는 슬롯은 스테이터와 로터 슬롯의 통과비의 函數로서 磁界回路에 磁氣抵抗變化를 초래하여 不平衡된 磁氣吸人力이 發生하여 振動을 일으킨다. 이 振動成分은 상태가 양호한 電動機에서도 發生하게 되는데, Fig3-4에서와 같이 導體보다도 슬롯의 이(Teeth)의 透磁率이 크기때문에 슬롯의 이(Teeth)에 磁界가 항상 集中하려는 傾向이 있기 때문이다.

이 周波數는 다음과 같다.

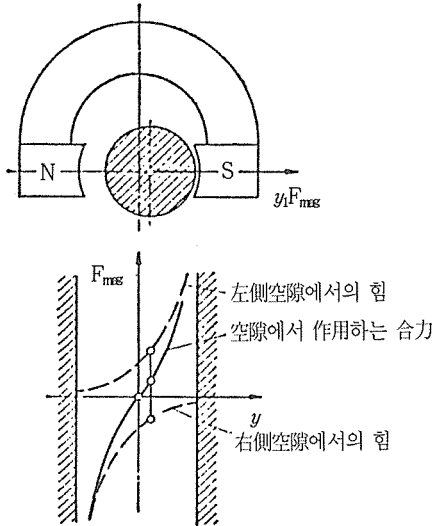


Fig.3-3 UNBALANCE FORCE VARIATION DUE TO ECCENTRICITY

$$f_s = \omega \times (R_s(1-s)/P \pm K_1)$$

여기서,  $\omega$ : 電源周波數

$K_1$ : 0 혹은 偶數

$R_s$ : 로터의 슬롯 數

$s$ : 슬립

$P$ : 電動機 磁極雙數

지금까지 설명한 電氣 振動特性과 原因을 TABLE에 정리하였다.

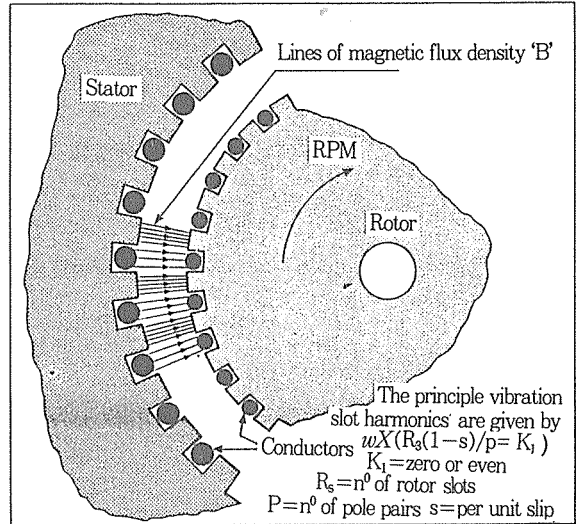


Fig.3-4 ILLUSTRATION OF HOW THE STATOR AND ROTOR SLOTS DISTORT THE MAGNETIC FIELD, CONCENTRATING LINES OF FLUX DENSITY IN THE AIR GAP OVER THE SLOT TEETH

區分	主要 周波數	典型적인 原因	
		空際變化	電流變化
STATIONARY	2×電源周波數	靜的的偏心 스테이터 지대의 強性 부족	스테인더 捲線缺陷
ROTATING	1×RPM成分과 2×슬립周波數의 SIDE BAND	動的的偏心 로터바아의 느슨함	바아破損 및 크랙 및 短絡된 로터成層

TABLE 3.1 ROTATING AND STATIONARY MAGNETIC VIBRATION IN INDUCTION MOTORS

### 3.5 로터 바아 破損

誘導 電動機에서 最大 起動電流는 電動機가 冷却된 狀態에서 起動될 때 發生하며 熱과 應力이 最大로 된다. 바아와 엔드링 연결부분에서의 크랙 事故는 起動時間이 상대적으로 길고, Heavy duty Cycle의 한 파트로써 자주 起動될 때 가장 크다. 로터 바아의 크

랙 발생이후 로터의 損傷 進行過程은 보통 아래와 같다.

1. 크랙이 발생한 바아의 크랙 주위가 過熱된다.
2. 바아가 破損되고 아아크가 발생한다.
3. 인접한 바아에 電流가 흐르게 되고 더 큰 熱을 받게 된다.
4. 로터成層이 높은 熱應力으로 損傷을 받을 수 있다.

로터 바아 破損정도를 診斷하기 위해 스테이터 電流解析法이 最近 사용되고 있다. 이는 振動分析和 마찬가지로 스펙트럼 分析器가 사용된다. 電流測定을 위해 加速度計와 같은 振動 測定用 PICK-UP 대신 電流變換器를 사용한다. 電流解析法은 振動 스펙트럼에서  $1 \times \text{RPM}$  성분과 주위의 SIDEBAND와 마찬가지로 스테이터 電流의 電源周波數와 주위의 슬립 SIDEBAND를 感知한다. 電流解析法의 長點은 損傷정도, 예로 損傷된 로터바아의 數를 뚜렷하게 나타나는 SIDEBAND 성분的大小로부터 測定할 수 있다. Fig. 3-5는 51개의 로터슬롯의 電動機가 한개의 損傷된 바아로 인해 SIDEBAND가 나타난 電流 스펙트럼의 예이다.

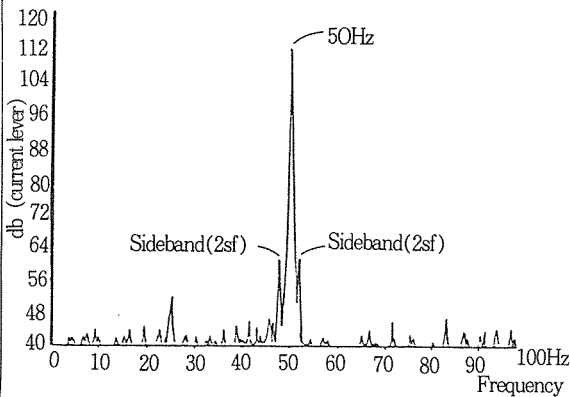


Fig. 3-5 CURRENT SPECTRUM, 51-SLOT ROTOR ONE BROKEN BAR

#### 4. 機械的인 振動

가장 一般的인 軸振動의 原因은 TABLE 4.1에 나타나 있다. TABLE에서 알 수 있듯이 많은 모든 缺

陷에서  $1 \times \text{RPM}$ 成分이 항상 나타난다. MISAL IGNMENT, 軸 휨과 不平衡을 區別할 수 있는 것은  $2 \times \text{RPM}$  成分에 의해서이다.

位相關係를 통해 不平衡 種類를 알 수가 있는데, 이때 位相은 軸의 양끝에서 測定된 位相差이다. 통상 軸 휨이나 MISAL IGNMENT은 軸方向振動이 半徑方向보다 높게 나타나는데 軸方向의 振動이 半徑方向의 1.5배 이상이면 MISAL IGNMENT으로 판단할 수 있다.

電動機의 미끄럼베어링에서 많이 발생하는 故障에는 電蝕이 있다. 이는 電動機 내부의 磁氣不平衡에서 발생하는 電位差 및 軸에 생기는 靜電氣등이 增大하여 軸에서 金屬을 통해 大地로 放出되는 것으로 한쪽 베어링만 電蝕이 발생할 경우 베어링 缺損이 발생하여 MISAL IGNMENT에 의해 異常振動이 발생할 수 있다.

TABLE 4.1 ROTATING SHAFT MECHANICAL VIBRATION

異常 原因	主要周波數	振動方向	位 相 關 係
不平衡	$1 \times \text{RPM}$	半徑方向	靜的不平衡- 0 COUPLE 180 RAD DYNAMIC 0- >18
軸의 휨 MISAL IGNMENT (ANGULAR)	$1x, 2x \text{ RPM}$	軸方向	180 (軸方向測定時) 0 (半徑方向測定時)
MISAL IGNMENT (PARALLEL)	$1x, 2x \text{ RPM}$	半徑方向	180 (半徑方向測定時) 180 (軸方向測定時)
機械的 느슨함	$1x, 2x \text{ RPM}$	半徑方向	一定하지 않음

#### 5. 베어링 振動

電動機의 베어링은 구름베어링과 미끄럼 베어링으로 區分된다. 一般的인 電動機는 구름베어링이 주로 사용되고 中型 이상의 電動機는 機械的인 強度와 維持補修의 容易性 때문에 미끄럼베어링이 사용되고 있다. 그런데 미끄럼베어링에서는 油膜特性에 의해 OIL WHIRL이라는 激甚한 自動振動이 일어나며 이 周波數는 軸回轉 RPM의 46-48% 周波數 成分을 갖는다. 예로 3,600 RPM으로 運轉할 경우 OIL WHIRL의 周波數는 1,656-1,728 RPM이 된다.

구름베어링의 缺陷 周波數는 아래의 두가지 조건 하에서 순수한 轉動體의 運動만 고려할 때, 다음과 같은 缺陷 振動周波數가 發生한다.

- 1) 베어링 軌道와 轉動體간에는 미끄럼이 없다.
- 2) 半徑 및 軸方向 荷重을 받은 경우 各部의 變形은 없다.

### 5.1 구름베어링의 固有振動數

구름베어링에서 電動體가 內輪 또는 外輪에 衝突시 振動이 發生한다. 이 振動은 衝擊振動이며 發生하는 周波數는 베어링 各部의 固有振動數이다. 이 固有振動數는 베어링의 取付 상태에 따라 影響을 미치지 만 基本的으로 아래의 같다. 固有振動數로써 좀더 顯著하게 나타나는 것은 外輪振動이지만, 外輪 및 內輪의 固有振動數는 이를 長方形斷面의 圓環으로 보고 近似的으로 다음 式으로 求해진다.

$$f_n = \frac{n(n^2-1)}{2\pi(D-2)^2\sqrt{n^2+1}} \sqrt{\frac{EIg}{\gamma A}} \text{ (HZ)}$$

- 단, W; 재료의 縱彈性係數(KGF/mm<sup>2</sup>)  
 I; 圓環의 中立軸에서의 斷面 2차 모멘트(mm<sup>4</sup>)  
 g; 重力 加速度(9,800mm/sec<sup>2</sup>)  
 γ; 재료의 比重量(KGF/mm<sup>3</sup>)  
 A; 圓環의 斷面積(mm<sup>2</sup>)  
 D; 圓環中立軸의 直徑(mm)  
 n; 節線(變形波)의 數

구름베어링의 재료로서 綱(E=2.1×10<sup>4</sup> KGF/mm<sup>2</sup>, γ=7.86×10<sup>-6</sup>KGF/mm<sup>3</sup>)을 使用할 경우 윗 式은

$$f_n = 9.4 \times 10^5 \times \frac{h}{D^2} \times \frac{n(n^2-1)}{\sqrt{n^2+1}} \text{ (HZ)}$$

로 表現된다. 여기서 h는 圓環의 두께(mm)이다.

### 5.2 구름베어링의 構造에 起因한 振動

구름베어링에 一定한 負荷가 作用할 경우 回轉軸의 中心은 Fig.5-2와 같이 轉動體의 위치에 따라 變動한다. 이것은 負荷에 의해 內·外輪 및 轉動體가 彈性變形하기 때문이다. 이 軸心變動으로 인한 振動을 轉動體의 通過振動이라 한다. 이 振動의 主要 周波數는 zfc(단 z; 轉動體數, fc; 轉動體周波數)이다. 또 Fig.5-3(a)와 같이 回轉軸이 바르지 못할 경우에는 zfc±fo(단 fo; 軸回轉周波數)의 周波數 成分을 갖는 振動이 發生한다. 더욱 Fig.5-4와 같이 轉動體의 直徑이 均一하지 못하고 1개의 轉動體 直徑이 다른것에 비해 클 경우에는 轉動體의 公軸周期 fc에 의해 軸心이 變動하고 또 軸方向의 強性差가 發生하여 fc와 nfc±fo(단 n=1,2, ,)의 2종류의 周波數 成分의 振動이 發生하게 된다. 이 振動 周波數 成分은 보통 1KHZ이하로 固有振動數와 같은 高周波數 成分은 없다.

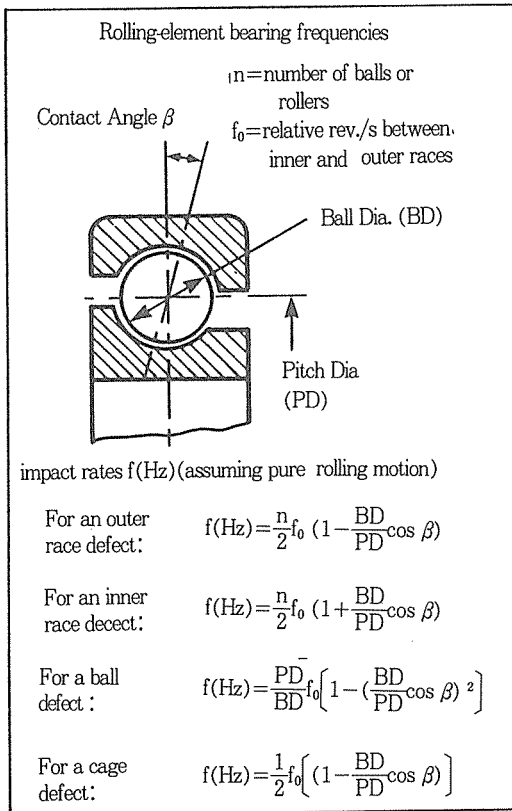


Fig.5-1 FORMULA FOR CALCULATING ROLLING ELEMENT BEARING FREQUENCIES

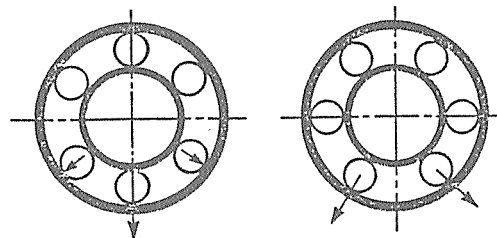


Fig. 5-2 LOAD DISTRIBUTION AND ROLLING-ELEMENT POSITION

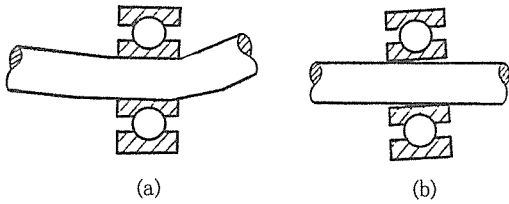


Fig. 5-3 BENDING SHAFT AND MISALIGNED BEARING

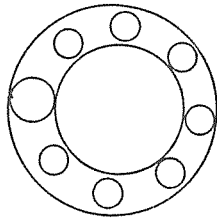


Fig. 5-4 DIFFERENT IN ROLLING ELEMENT SIZE

5.3 非線形성에 의한 振動

구름베어링은 軌道輪과 轉動體의 彈性接觸에 의해 荷重을 떠받아 용수철과 같은 特性을 갖는다. 이 용수철 特性은 剛性이 높고 베어링의 潤滑狀態가 나쁘게 되면 非線形성이 생겨 軸方向으로 異常振動이 發生하게 된다.

이 경우 周波數는 軸의 回轉周波數  $f_0$ 와 高周波成分( $2f_0, 3f_0, \dots$ ) 및 分數周波成分( $1/2f_0, 1/3f_0, \dots$ )이다.

단, 이 振動은 깊은 홈 베어링에서 發生하고 自動周心形 베어링이나 로울러 베어링에서는 發生하지 않는다.

5.4 물결모양의 軌道面에 의한 振動

Fig. 5-5과 같이 製作時 軌道面에 물결 자국모양의 자국(보통 轉動體 피치간극의 주기를 가짐)이 생기면 이 자국의 山數에 關連되는 特有的 振動이 發生한다. 이 振動이 發生하게 되는 조건(물결의 山數)과 發生하는 周波數를 TABLE 5-1에 나타나 있다. 이 TABLE의 수치는 GA-STATSON에 의해 證明된 것으로 꽤 많은 예를 통해 정확성이 확인되었지만 TABLE 5-1에 나타난 周波數 이외의 振動이 發生할 수도 있다. 이때 振動音도 보통 發生한다.

TABLE 5-1 물결모양의 軌道面에 의한 振動

물결 軌道面	물결 山數	發生하는 周波數
內 輪	$nz \pm 1$	$nzf_i \pm f_0$
外 輪	$nz \pm 1$	$nzf_c$
轉動體	$2n$	$2nfb \pm f_c$

(단  $z$ ; 轉動體數,  $f_c$ ; 轉動體周波數,  $n=1, 2, 3, \dots$ )

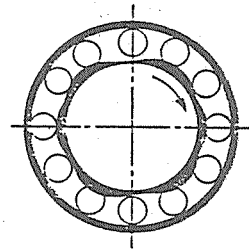


Fig. 5-5 INNER RACE DEFECT

5.5 베어링 損傷에 의한 振動

구름베어링에 異常이 發生할 경우 衝擊振動이 發生하며, 이 振動周波數는 베어링의 固有振動數 혹은 高周波 成分이지만 구름베어링을 診斷하는 경우에는 이보다도 앞절에서 설명한 Fig. 5-1의 缺陷周波數 式을 使用한다.

1) 베어링에 偏心이 있는 경우

Fig. 5-6과 같이 베어링에 偏心이 있는 경우, 예를 들면, 內輪의 磨耗상태가 클 경우에는 軸心(內輪中心)은 外輪中心을 中心으로 휘둘게 된다. 이때 發生하는 振動은 Fig. 5-7과 같이되며 振動周波數는  $n f_0$  (단  $f_0$ ; 回轉周波數,  $n=1, 2, 3, \dots$ )이다. 여기서  $n$ 의 값이 클 경우 베어링에 重大한 缺陷이 發生하고 있다고 판단할 수 있다.

2) 內輪에 흠이 있는 경우

Fig. 5-8와 같이 FLAKING, 굽힘, 크랙, 눌린자극 등의 흠이 內輪의 일부에 생긴 경우 Fig. 5-10과 같은 振動이 發生한다. 베어링에는 一般적으로 半徑특새가 存在하여 흠이 轉動體와 衝突하는 위치에 의해 振動 振幅變化가 생겨, 回轉周波數나 轉動體의 公轉周波數에 振幅變調가 된다.

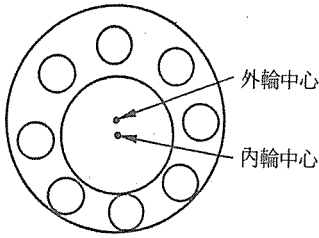


Fig.5-6 ECCENTRIC BEARING

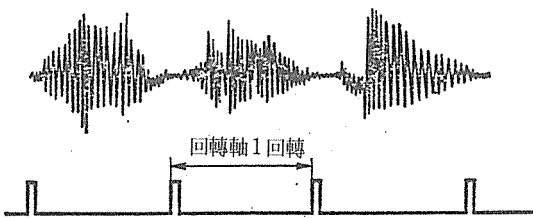


Fig. 5-7 VIBRATION CHARACTERISTIC DUE TO ECCENTRIC BEARING

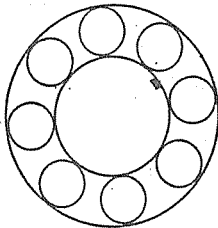
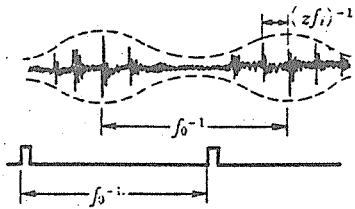
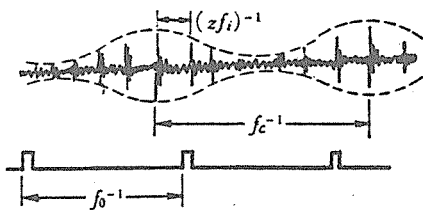


Fig.5-8 FLAWED INNER RACE



(a) 回轉周波數로 變調하는 경우



(b) 轉動體의 公轉周波數로 變調하는 경우

區 分	發生하는 周波數
通常의 半徑틈새가 있는 경우	$nzf \pm fo, nzf \pm fc$
틈새가 없고 內輪과 轉動體의 接觸力이 같은 경우	$nzfi$

Fig.5-9 VIBRATION CHARACTERISTIC DUE TO FLAWED INNER RACE

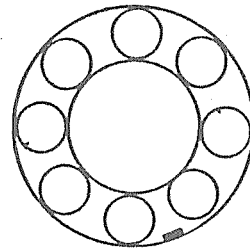
3) 外輪에 흠이 있는 경우

Fig.5-10(a)와 같이 外輪에 흠이 있는 경우 Fig.5-10(b)와 같은 振動이 發生한다. 이 振動周波數 成分은 外輪의 한점이 轉動體와 接觸하는 基本周波數( $f_c$ )와 轉動體의 數( $z$ )의 高周波數  $nzfc$  ( $n=1,2,...$ )이다.

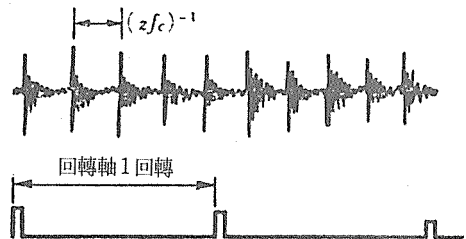
外輪에 缺陷이 있는 경우에, 缺陷 위치와 荷重方向과의 위치관계가 항상 一定하며 振幅變調가 없다.

4) 轉動體에 흠이 있는 경우

Fig.5-11에는 轉動體에 흠이 있는 경우의 振動과 周波數特性에 나타나 있다. 이 경우도 2)항과 같이 轉動體가 衝突하는 위치에 따라 振幅變化가 생기고 轉動體의 公轉周波數에서 振幅變調가 생긴다.



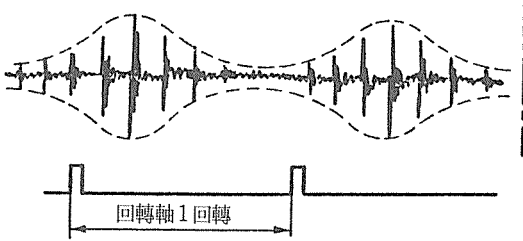
(a)



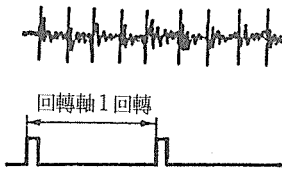
(b)

Fig.5-10 VIBRATION CHARACTERISTIC DUE TO FLAWED OUTER RACE





(a) 轉動體의 公轉周波數로 振幅變調하는 경우



(b) 振幅變調를 하지 않는 경우

6. 結 論

이상 電動機에만 發生될 수 있는 振動特性에 關係 설명하였지만 실제 電動機는 被驅動體와 연결되고 또 어떤 시스템속 가운데에서 運轉됨으로 실제 振動 樣相은 매우 복잡하게 된다. 振動問題의 解決을 爲해 서는 FFT와 같은 振動分析 裝備가 必須的이나 이 裝 備는 어떤 振動原因에 對해 精確한 情報를 주지 못 하고 단지 振動하고 있는 상태에 關係한 情報만 提 供 한다. 따라서 엔지니어는 이 情報를 통해 振動原因을 찾아야 하므로 실제 現場의 經驗이 매우 重要하다. 그러므로 裝備에서 提 供되는 情報를 分析하기 위한 振動의 理論과 知識을 갖추고 現場에서 發生하는 모 든 事實을 DATA-BASE化 하는 것이 必要하다.

區 分	發生하는 周波數
通常의 半徑틈새가 있는 경우	$2nf \pm fc$
틈새가 없고 內輪과 轉動體의 接觸力이  같은 경우	$2nfb$

Fig5-11 VIBRATION CHARACTERISTIC DUE TO FLAWED ROLLING ELEMENT

節約속에 꿈이 있고 貯蓄속에 행복있다