

家電機器用電動機의 電磁騷音과 振動의 防止對策에 관한 研究

論 文
26~5~2

Study on the Reduction Method of Magnetic Noise and Vibration in Home Electric Motors

黃 煥 文* · 趙 哲 濟**
(Young Moon Hwang, Cheol Je Cho)

Abstract

This study is to present a method for reduction of noise and vibration of home electric motors coupled to the mechanical load causing relatively big amplitude of vibration.

The noise and vibration factors have been analysed in the divisions such as the pattern related to the armature reaction, the pattern related to the circulating current by induction and the other patterns those are affected by additive magnetic field and have an effect on mechanical constants. From the systematic mutual relations between the patterns and damping effects, it is possible to derive the fundamental measure for reduction of noise and vibration.

Vibration measurements and analysis were carried out in accordance with the planned experimentation and the object model was chosen randomly from the production line in a factory where home electric machines were mass-produced.

Based on the above-mentioned fundamental measure, suppression effects on noise and vibration have been analysed according to the number of slots, the amount of rotor skew and the way the stator winding connection was series or parallel.

1. 緒 論

최근의 家電用電動機는 動作特性이 우수하여야 함은 물론, 製品으로서의 品質도 좋아야 한다. 특히 중요한 것은 回轉騷音과 電磁振動이 적어야 한다는 점이다. 騷音과 振動을 꺾리는 곳에 사용하는 家電用 電動기는, 대부분 소형인 單相誘導電動機로서, 각 部分의 치수가 비교적 적어서 機械的 裕度가 크며, 이것은 空際磁束分布를 쉽게 찌그러트려서 電磁力波의 歪形을 가져오고 振動토포크를 유발하고 騷音을 발생시키게 한다¹⁾²⁾. 電磁의으로도 單相勵磁이어서 隣回轉磁界를 갖게 되며, 콘덴서 電動기에서는 고정자의 주·보조권선에 의하여 不平衡磁極을 갖기 쉬우므로 回轉磁界의 歪形은 더욱 심하게 된다³⁾⁴⁾. 한편 기계적구조가 약한 이들은 固定部分의 振動(structure-borne vibration)과 回轉部

分의 偏心(eccentricity)을 쉽게 일으켜서 이것이 空際磁束分布를 다시 찌그러트려서 騷音과 振動을 加增시키게 되는 등 그 현상이 複合의으로 나타난다. 그리하여 振動의 要因을 解析하기란 상당히 어려워져서 간단한 數式的인 解析은 불가능하다. 防止對策도 마찬가지로 여러가지 騷音과 振動의 原因을 동시에 감소시킬 수 있는 措置란 있을 수 없으며²⁾³⁾ 한가지 原因을 억제시키면은 다른 原因의 것이 증가하는 性向을 갖고 있으므로⁵⁾ 用途에 따라 중요시 되는 쪽을 基準으로 하여 抑制對策을 세우는 것이 효과적이다.

單相誘導電動機의 振動토포크解析에는 2回轉磁界法이 쓰이는데⁴⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾, 이들은 機械的定數가 高調波토포크에 미치는 영향에 대하여 數值的으로 풀이하였으며 變數가 많아 모두 특정한 조건하에서 解析한 결과임으로 綜合的인 防止對策의 수단으로 이용하기 불편한 점이 많다.

최근에 와서는 振動要因이 되는 不平衡回轉磁界를

*正會員: 釜山大學校教授(工博) · 當學會理事

**正會員: 釜山大學校 專任講師

接受日字: 1977年 6月 30日

主圓型磁界와 附加磁界(Additive magnetic field)²⁴⁾로 나누어서 振動要因이 되는 이들 附加磁界가 機械定數에 미치는 效果를 풀이하고 이를 Damping係數로서 일괄표시하여 해석하는 것이 實用性이 있는 방법으로 보고 있다. 附加磁界로 인한 效果로서는 電機子反作用과 誘導電流의 作用이 가장 중요한 사항으로, 이들이 電磁機構와 機械構造에 따라 어떻게 작용하는가에 의하여 振動토크가 달라짐으로 이를 振動防止對策의 基本概念으로 한 物理的考察에 의하여 振動抑制를 할 수 있을 것이다.

本研究에서는 振動에 미치는 機械的定數를 附加磁界理論에 입각하여 그 Pattern을 나누고, 이를 Damping係數와의 관계를 분석하여 이를 체계화시킨 방법에 의하여 基本的인 振動防止策을 강구하고, 이를 量産過程에 있는 家電用電動機의 한 model에 대하여 振動測定을 한 뒤에 이를 實驗計劃法에 의하여 分析함으로써 騒音 및 振動防止策을 해석하였다.

2. 振動과 騒音의 發生機構

전동기의 騒音과 振動의 原因은 다음과 같이 3군으로 나누어진다.

- 1) 電磁力이 직접 기계구조에 振動을 생기게 하는 경우
- 2) 기계적 구조에 의한 振動力이 기계구조에 振動을 생기게 하는 경우
- 3) 발생된 氣體動力學的 원천이 壓力振動을 생기게 하는 경우

등으로서, 이들 각각의 상대적인 주요성은 전동기의 형태와 크기에 따른다.

家電用 전동기에서는 1)과 2)의 경우가 주요시 되며, 특히 이들이 복합적으로 작용하는 진동원천이 가장 중요하다.

家電用 전동기는 비교적 기계적 구조와 기계적 받침이 약한데다가, 소형이므로 기계적가공이 어려워 偏心 및 偏重心이 되기 쉽고, 전원이 단상이어서 橢圓磁界이므로 偏向磁界의 성질을 가져 이들이 상호작용하여 振動과 騒音을 상승시키게 할 우려가 큰 구조로 되어 있다.

2-1. 機械的振動

기계적 진동력은 회전자의 動的偏心에 인한 것과 베어링의 마찰과 로오링운동에 인한 것이 있다.

회전자의 偏心에는 회전자 자체의 偏心 및 偏重心과 기계적부하의 偏心 및 偏重心이 있다. 회전자 자체의 偏心으로 인한 振動力의 주파수는 기계의 회전주파수

이며 騒音주파수관점에서 볼때 대단히 낮고²⁵⁾, 이러한 振動力은 주로 構造本體(Structure-bone)의 振動을 일으킨다. 그리고 이러한 주파수의 것은 音響放射(Acoustic radiation)가 약한데다가 可聽應答²⁶⁾ 또한 대단히 약하다. 그러나 家電用 전동기는 구조자체가 약하므로 부하의 偏心으로 인한 振動力과 함께 振動消去의 주요한 대상이다.

베어링은 두 면을 로오링 혹은 슬라이딩운동을 하게 한다. 그리하여 이들 두 면의 不整狀態에 따라 騒音이 생긴다. 스리이스 베어링은 접촉면이 거의 같은 회전반경을 가졌기 때문에 유막이 두 면 사이에 전반적으로 유지하고 있어 많은 점에서 유막을 사이에 두고 간접적으로 접촉하므로 기계본체진동을 하며 騒音과 振動을 광대역주파수특성을 갖는다. 로오라 베어링에서는 로오라보다 회전면적이 크기 때문에 유막을 유지하기 어려워 때때로 두 면이 직접 접촉하기 쉬우므로 랜담주파수(Random frequency)의 고조파騒音を 발생한다. 그리하여 스리이스 베어링이 볼 및 로오라 베어링에 비하여 騒音 및 振動이 극히 낮다.

2-2. 家磁的振動

전동기의 공격축 철심면에 있는 슬롯내의 전류를 흘리는 도체는 공격자체를 형성시키는데, 이 때 공격의 자속분포는 여자전류의 크기와 분포 및 공격의 기하학적인 형태의 변화에 따라 결정된다. 공격의 자속밀도 b 는 원주변좌표 φ 와 시간 t 의 함수로 표시되며

$$b = b(t, \varphi) \quad (1)$$

여기서 고정자와 회전자표면 사이의 자계내에서는 흡인력 f_m 가 생기는데, 이는 자속밀도 $b(t, \varphi)$ 의 자승에 비례한다. 즉²⁷⁾

$$f_m = \frac{b^2(t, \varphi)}{2\mu_0} \quad (2)$$

이 흡인력은 그림 1과 같이 고정자를 파동운동하게 하며 주위 공기를 진동시킨다.

지금 한 슬롯의 전 전류를 슬롯핏치(slot pitch)를 기준으로 하여 단위길이당 전류를 구하면 전기자주변에서의 기자력분포 $a(t, \varphi)$ 와 퍼미안스(permeance)분포 $A(t, \varphi)$ 는

$$a(\varphi, t) = \sum A \mu \cos(n\varphi - \omega_n t) \quad (3)$$

$$A(\varphi, t) = A_0 + \sum A_n \cos(\mu\varphi - \omega_n t - \phi) \quad (4)$$

단, A_0 는 일정한 공격의 퍼미안스 자속밀도분포는 a 와 A 의 적으로 주어지며

$$b(\varphi, t) = R \int a(\varphi, t) d\varphi \cdot A(\varphi, t) \quad (5)$$

로 된다.

1) *지금 기자력분포 $a(\varphi, t)$ 에서 극대수(pole pairs)

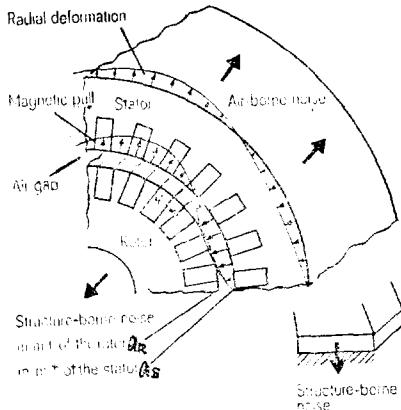


그림 1. 電磁聲音振動發生圖
 Fig. 1. Illustrating electromagnetic noise generation

에 해당하는 고정자의 기자력분포는 $n=p$ 의 경우로서, 일정공격 퍼미안스일때는 기본파자제를 만들게 된다.

- 2) 그러나, 퍼미안스의 변화나 회전자가 편심될 때는 偏心磁界(eccentric field), 도화현상 및 고정자 회전자 슬롯으로 인한 지기자크(zig-zag)자제, 그리고 편향슬롯자제도 아울러 생긴다.
- 3) 고정자 고조파기자력은 $n \neq p$ 인 경우로, 일정공격 퍼미안스일 때는 슬롯고조파라고 하는 권선고조파자제를 발생한다.
- 4) 그러나 고조파기자력과 퍼미안스의 변화로 인한 자제도 발생하지만, 이로 인한 전자력은 비교적 적다. 한편, 이들의 고조파자제에 대한 회전자의 반작용은 고정자의 경우와 마찬가지로 일어나는데, 기본회전자전류는, $n=p$ 일 때는 기본자제를, $n \neq p$ 일 때는 권선고조파자제 즉, 회전자전류의 附加磁界²⁾ (residual field)를 만든다.

지금 고정자 및 회전자의 기본자제와 附加磁界는 공격내에 존재하게 되며, 이 중 양고조파자제는 반경방향흡인력파(radial force wave)를 발생하게 된다. 즉 (2) 식으로부터

$$f_m = \frac{(b_s + b_R)^2}{2\mu_0} = \frac{1}{2\mu_0} (b_s^2 + 2b_s b_R + b_R^2) \quad (6)$$

인 전자력가운데 두번째 항의 값이 소음을 발생시키는 요인이 된다.

여기서

$$b_s = B_s \cos(n_s p - \omega_s t - \phi_s)$$

는 고정자 n_s 고조파자제이고

$$b_R = B_R \cos(n_R p - \omega_R t - \phi_R)$$

는 회전자 n_R 고조파자제이다.

(6)식에서 電磁振動力은

$$F = \frac{2b_s b_R}{2\mu_0} = F_m \cos(m p - \omega_m t - \phi_m) \quad (7)$$

로 표시된다. 여기서

$$F_m = \frac{B_s B_R}{2\mu_0} \text{는 크기,}$$

$m = n_s \pm n_R$ 는 振動 mode數

$\omega_m = \omega_s \pm \omega_R$ 는 電磁振動力波의 각속도이다.

결과적으로 騒音발생기구에 영향을 미치는 주된 요인은 電磁的勵磁에 대한 전동기의 各部分의 반작용 mode와 이것의 共振度 및 그 크기에 있다고 볼 수 있다.

다시 말하면 電磁的振動的의 요인은 고정자 및 회전자 권선의 전류에 의한 기자력과 공격의 기하학적인 퍼미안스분포의 적에 의한 자속분포중 기본파의 實効機械的回轉力을 위한 主磁束成分分布 이외의 부차적인 磁束成分分布가 주위의 고정자 및 회전자권선내에 誘導電流를 갖게 하여 이들에 의한 전기자 반작용에 의하여 부차적인 磁束成分分布를 상쇄시키게 하여 空際磁束을 主磁束成分分布만 갖게 하도록 하는 작용을 할때 나타나는 電磁力分布가 원인이라고 볼 수 있다.

최근에 와서는 이러한 부차적인 磁束成分分布를 갖는 자제를 附加磁界²⁾⁴⁾(Additive magnetic field)라고도 하며, 이를 상쇄시키려는 작용을 主磁束分布의 均一化作用¹⁾ 혹은 附加磁界의 Damping作用^{2)이라고} 하

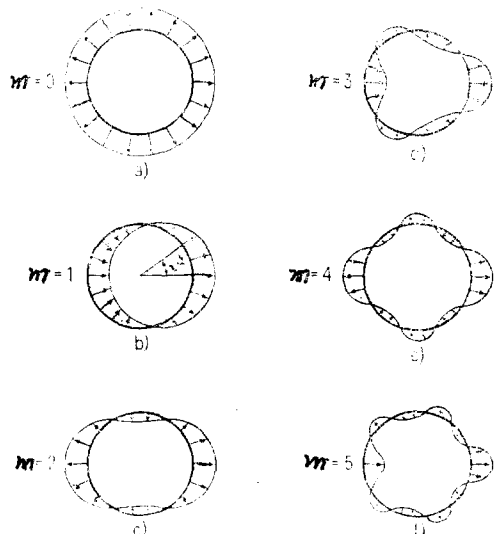


그림 2. 半徑方向 吸引力波의 mode
 Fig. 2. Mode of radial force wave

여, 이들에 대한 물리적인 현상을 검토하므로써 電磁的振動의 實체를 파악하고자 하고 있다.

가전용 전동기는 단상전원으로 여자시키게 됨으로 기동시나 운전시에는 항상 空隙磁束分布가 隋圓回轉磁界를 갖게 되어⁴⁾, 기계적회전력을 위한 圓形回轉磁界成分, 즉 主磁束成分分布에 대하여 附加磁界를 갖고 있다고 보아야 한다. 이는 동시에 단상유도전동기가 偏心磁界로 되어 있으며, 회전자 幾何學偏心에서 오는 附加磁界의 생성과 같은 성질의 것으로 해석하여야 할것이다. 2-1에서 설명한 바와 같이 家電用單相誘導電動機는 機械的負荷의 偏心 및 偏重心에서 오는 전동기의 振動이 심한 경우로서, 이들이 附加磁界로 인한 振動과 복합적으로 작용할 것이 예측되므로 한편으로는 相相互作用을, 다른 한편으로는 相互抑制作用을 하게 하는 效果를 검토함으로써 騒音 및 振動의 防止對策을 고려해 볼 수 있을 것이다.

2-3. 電磁的振動力에 의한 機械的振動

유도전동기의 기계적진동은 앞서 말한바와 같이 기계적 불평형으로 인한 振動力과 電磁的振動力에 의한 것이 있다. 이들중 후자의 고정자 및 회전자 的 磁束力이 $n \pm p$ 인 때의 振動力이 가장 크며, 특히 $n = p \pm 1$ 인 경우이다.

고조파극대수와의 차이가 1보다 큰 것에 대한 것도 발생하나, 이는 振動 mode가 아울러 커져서 振動임피던스가 커지며 振動力은 적어짐으로 $n \pm p$ 인 때의 것만이 주요하다. 이는 空隙의 偏心 혹은 슬롯권선조건에 따라 크게 달라지는데, 단상유도전동기에서와 같이 同心捲線을 하거나 補助捲線을 하는 경우는 영향이 큰 요인이 되고 있다.

지금 여기서 권선방식과 관련이 있는 슬롯고조파에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

$$p_{s10} = \frac{S_s S_R}{p_1} \text{이므로}$$

고정자슬롯高調波磁束의 次數¹¹⁾는

$$n_s = \frac{k_s S_s}{p_1} \pm 1 \tag{8}$$

고정자슬롯高調波磁束의 振幅은

$$A_s = \frac{B_1}{n_s} \tag{9}$$

이고, 회전자슬롯高調波磁束의 次數는

$$n_R = \frac{k_R S_R}{p_1} \pm 1 \tag{10}$$

회전자슬롯高調波磁束의 振幅은

$$A_R = \frac{B_1}{n_R} \tag{11}$$

여기서 k_s, k_R : 正의 整數

S_s, S_R : 고정자 및 회전자의 슬롯數

p_1 : 基本波磁界의 極對數

B_1 : 基本波磁束의 最大値

그리고, +기호는 기본과자속과 同方向回轉磁束, -기호는 反對方向回轉磁束이다.

식 (7)에 의하면, 振動 mode는 $m = n_s \pm n_r$ 이어서 단상전동기에서 나타나는 高調波振動磁束 mode는

1) $m = 0$: 空隙周邊에 일정한 半徑方向振動力을 발생시키는 경우로서, $n_s = n_r$ 일때는 고조파의 脈動(pulsating torque)가 발생한다.

脈動토크는 단상기와 같은 磁界에서 $f_p = [n_R(1-s) - (1-s)]f_1$ 및 $f_p = 2f_1$ 인 주파수에서 생기며, 고정자슬롯수가 偶數일 때 회전자슬롯수를 같이 偶數로 하면 크게 나타난다. 그리고, 이것은 회전자슬롯을 스쿠슬롯(skew slot)로 하더라도 영향을 받지 않기 때문에 小形籠誘導電動機에서는 회전자슬롯수를 奇數로 하게 한다.

2) $m = 1$: 空隙全周邊에 1波長으로 振動力이 분포하여, 철심을 진동시키는힘(uni-directional pulling force)을 발생시키는 振動分布力(oscillating force)의 경우로, 空隙偏心和 권선조건에 따라 크게 영향을 받는다.

3) $m \geq 2$: 振動分布力이 空隙全周邊에 $1/m$ 의 波長을 갖고 철심을 변형시키는 힘(Torsional force)을 갖는 경우로서, 특히 $m = 2p_1$ 인 경우는 $2f_1$ 의 주파수를 가질때 共振振動力을 유발하는 수가 많다.

위 2)와 3)의 경우, 회전자슬롯수를 偶數로하면 그 振動力은 현저히 줄어들며 奇數로 하면 반대로 크게 된다. 그러나, 회전자슬롯을 奇數로 하고 skew slot로 하면, 適定 skew量(1.5~1.8)에서는 줄일 수 있게 되며, 그렇게 된다 하더라도 슬롯수를 偶數로 한 경우 이하로는 줄어들지 않는다.

負荷機械力의 불평형이나, 배어링으로 인한 회전자 부분의 動偏心(dynamic eccentricity)으로 말미암아 생기는 振動分布力은

$$p = 1 : F_{em} = \pi R l \frac{B_1^2}{2\mu_0} \cdot \frac{\epsilon}{2} \cdot P_{AJ} \tag{12}$$

$$p \neq 1 : F_{em} = \pi R l \frac{B_1^2}{2\mu_0} \cdot \frac{\epsilon}{2} \cdot (P_{AJ} + P_{Ab}) \tag{13}$$

로 된다. 여기서

R : 고정자의 반경

l : 철심의 길이

B_1 : 空際磁束의 振幅

ϵ : 相對偏心率

P_{Af} : $p+1$ 일때의 damping 계수

P_{Ab} : $p-1$ 일때의 damping 계수

이다.

偏心은 고조파자계를 만들고 여기에서 새로운 極對數를 가지는 高調波磁束分佈를 갖어 振動分佈力을 생성케 한다. 그리고 damping 계수는 계산으로 구하기가 힘들며, 이로 인한 damping 전류의 발생은 主磁束分佈를 均일화하는 작용을 한다. 그러므로 고정자 및 회전자 권선을 並列回路로 하면 damping 效果가 나타나게 되며 이는 捲線型誘導機보다 籠型誘導機가 振動分佈力이 적은 것으로 입증되 된다.

3. 騒音 및 振動의 防止對策에 대한 解析

家電用電動機는 小型單相誘導機가 대부분으로, 기계적 구조가 약하여 振動抑制가 어렵게 되어 있으며, 負

荷機械力이 偏心振動을 일으키기 쉽게 되어 있어 이들이 電磁振動과 복합적으로 작용하는 것이 보통이다. 그리고 電磁構造상 非對稱成分이 많은데다가 이들이 복합적으로 작용하므로 振動要因을 理論적으로 算定하기는 어렵기 때문에, 이를 定性的으로 체계화 할 수밖에 없다.

3-1. 振動要因과 理論的 pattern과의 관계

分類馬力單相誘導電動機는 主磁束成分에 대한 附加磁束成分의 비가 매우 크므로 振動에 영향을 주는 附加磁束成分을 중심으로 분류하면 다음과 같다.

- A. 附加磁束分佈로 된 磁界로 인하여 인접한 고정자 및 회전자 권선에 誘導電流를 갖게 하는 要因 — 半徑方向振動力分佈를 갖는다.
- B. 附加磁束分佈에 대하여 전기자 반작용을 갖게 하는 要因 — 脈動토크를 갖는다.
- C. 等價空際치수가 영향을 받는 것 — 主磁束의 포화, 전압 집압의 크기 및 출력에 관련되는 것으로, 이는 振動消去를 위하여는 空際치수가 커야 하는 데 대하여 출력 및 역율을 나쁘게 함으로 振動抑制對策으로는 직접적으로 이용할 수 없다.

표 1. 振動要因과 均一化作用의 理論 pattern과의 關聯表

Table 1. Relation between the vibration factor and the equalizing pattern

| 振動과의 關聯要因 | 均一化作用의 理論 pattern | A. 부가자계에 의한 유도전류 | B. 부가자계에 의한 전기자 반작용 | C. 등가 공극 치수 | D. zig-zag 자속 |
|-----------------------|--------------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| 1. 극수 | | | K_1 | | |
| 2. 주·보조 권선의 배치 | | | K_1 | | |
| 3. 주·보조 권선의 권선비 | | | K_1 | | |
| 4. 고정자 권선방식과 권선계수 | | | K_1, K_w | | |
| 5. 주자속의 자속밀도 | | | | ϵ | |
| 6. slot 및 teeth의 형상 | | | | ϵ | K_2 |
| 7. 회전자 형태(권선형, 농형) | K_1 | | K_1, K_w | | |
| 8. 고정자 및 회전자 권선의 임피던스 | $R(f_A), X_m, X_l$ | | | | |
| 9. 회전자의 slot수의 선정 | K_2 | | K_2 | | K_2 |
| 10. skew | K_2 | | | K_2 | |
| 11. 직병렬결선 | K_1 | | | | |
| 12. 균압선의 유무 | K_1 | | | | |
| 13. 권위자속에 의한 포화 | | | | ϵ, K_1 | |
| 14. teeth 단부의 포화 | | | | | K_2 |
| 15. 회전자 전류의 불평형 | ϵ | | | | |
| 16. 회전자의 편심상태 | | ϵ | | | |
| 17. 부하의 기계전편심 | | ϵ | | | |
| 18. slip | | s | s | | s |

D. 스톱팅에 따른 zig-zag 磁束에 영향을 받는것— closed slot로 하면 상당히 완화되나, 소형전동기에서는 제한이 따르며, 이들은 附加磁界에 의한 damping 작용에는 영향을 받지 않는다.

이상과 같은 理論的 pattern과 關聯騒音振動發生要因과의 관계를 보면 표 1과 같다.

표 1에서 K_1 , K_2 , K_w , K_s 및 ϵ 는 附加磁界에 대한 damping 계수에 영향을 미치는 값으로, Schuiscky씨의 均一化作用算定式에 의하면¹⁾ damping 계수 $p_A(f, b)$ 는

$$p_A(f, b) = \frac{R(f_A) + iK_2 X_I f_A / f_1}{R(f_A) + j[X_m \epsilon K_s (p_A / p_1)^2 (K_1 K_w / K_w)^2 + K_2 X_I] f_A / f_1}$$

로 표시되며, 偏心磁束의 均一化作用은 주로 K_1 , K_2 , ϵ 및 K_s 의 각 補正係數와 관련된 振動要因상호간의 均一化作用을 보완하게 할 것이다. 여기서

- K_1 : 結線係數
- K_2 : 部分飽和에 따른 누설리액턴스의 변화
- ϵ : 相對偏心率
- K_s : 飽和係數

이며, 그리고

- X_m : 여자리액턴스
- X_I : 等價누설리액턴스
- $R(f_A)$: 附加磁界에 대한 等價回路抵抗
- P_A : 附加磁界에 대한 極對數
- K_w : 附加磁界에 대한 권선계수
- f_A : 附加磁界에 대한 주파수

이다.

표 1의 振動과의 關聯要因에서 1~8항까지는 전동기의 기본설계와 관련이 있는 것이므로, 기본설계에 감안하여야 할 것이며, 13~17항까지는 제작과정에서 수정하여야 할 사항이다. 그리고, 8~12항까지는 附加磁界의 均一化作用으로 振動防止措置를 하게하는 사항이다.

3-2. 振動防止對策의 解析과 方法

1) 回轉子슬롯數의 選定

표 1에서 보는 바와 같이 각 pattern과 가장 관련이 많은 回轉子슬롯數의 選定에 대하여 먼저 검토한다. 일반적으로 회전자슬롯수는 奇數가 되도록 함은 앞서 언급한 바와 같다. 이때 脈動토크(pulsating torque)는 현저히 감소하나, 半徑方向振動力(oscillating force)는 커진다. 한편 회전자슬롯수를 偶數로 하면 정반대현상이 일어난다. skewed slot가 脈動토크에 영향을 전혀 주지 못하는 것으로 보아 표1에서와

같이 회전자슬롯수를 奇數로 하면 pattern-B(附加磁界에 대한 전기자반작용)의 작용을 하게 할 것이므로 pattern-B에 관련된 振動要因을 완화하게 될 것이다.

2) Skewed slot 措置

회전자슬롯수의 선정은 damping係數의 補正係數 K_2 와 관련이 있으므로, 이것과 관련이 많은 pattern-D (zig-zag 磁束)의 관련된 振動要因에 영향을 주어 이를 악화시킬 우려가 있다. 여기서, K_2 와 관련이 있는 Skewed slot 措置를 한다. Skewed slot는 skew의 양을 적당히 하면, pattern-C(等價空際치수)와 pattern-D의 관련된 振動要因을 완화시키게 될 것임은 경험과 문헌에 의하여 명백하다. 이때 pattern-A(附加磁界에 대한 유동전류로 인하여 均一化作用이 이루어져서 반경방향振動力(Oscillating force-unilateral pulling force)을 완화하게 될 것이며, pattern-B에 대한 것에 는 영향을 끼치지 않으므로 脈動토크의 유발은 가져 오지 않을 것이다.

3) 捲線의 直並列捲線方式과 均壓線設置 회전자슬롯수를 奇數로 하고 skewed slot로 할 경우에는 偶數로 할 때에 비하여 振動抑制效果가 적게 일어나는 수가 흔하다. 그러므로, 이를 보완하기 위하여 pattern-A에 속하는 直並列結線を 조정하게 한다. 즉 K_1 에 대한 damping 係數를 조정한다. 이때 均壓線의 유무도 K_1 에 관계됨으로 이를 종합적으로 검토하되 K_1 의 효과를 변화시키면 pattern-B의 관련된 K_1 의 것도 많으므로, 이와 관련된 振動要因이 다시 그 영향을 받게 될 것이다.

이상과 같은 振動防止對策의 해석과 그 조치에 대한 검토는 표 1에서의 13~17항의 사항에 대하여 전동기 제작과정에서 사전에 검토되어야 한다. 그리고 家電用電動機와 같이 量産性을 가진 것에는 實驗計劃法을 적용하여 해석함이 편리할 것이다.

4. 振動測定과 實驗計劃法에 의한 考察

4-1. 實驗對象

본 연구실련에서는 量産過程에 있는 分類馬力電動機 중 선풍기용 전동기에 대하여 고찰하였다.

家電用電動機는 일반적으로 機械的負荷의 自體振動이 많은 유형의 것이므로, 이것의 振動範圍가 넓은 것을 택하되, 동시에 電動機自體의 振動토크가 큰 콘덴서 전동기를 실험대상으로 하였다.

가) 供試電動機에서의 固定設計條件(振動條件에 관련이 있는 條件)으로는

- a. 고정자슬롯수: 16

b. 회전자슬롯수 : 17(奇數슬롯), 이는 振動에 영향을 미치는 요인이지만 철심펀칭(punching)시일이 고정되어 있으므로 임의로 바꿀 수 없어 이미 검토된 것으로 취급함

c. 주권선 및 보조권선의 전압비¹⁰⁾ : 설계 조건에 의하여 1 : 1.5

주권선 및 보조권선의 각 : 90°

d. 베어링 : 스티이스 베어링

e. 극수 : 4극

나) 供試電動機에서의 振動要因解釋을 위한 可變設計條件으로는 機械的負荷와 커프링조건, skew량 및 捲線方式을 다음과 같은 조건으로 변화시켰다.

a. 고정자권선조건

直列捲線 : 고정자권선은 주권선 및 보조권선을 각각 전부 직렬로 결선한 것.

並列捲線 : 고정자권선의 주권선 및 보조권선을 각각 隔極別로 직렬로 하여 이를 병렬로 결선한 것.

並列捲線에 均壓 設置 : b의 경우에서 각 병렬권선의 중간점을 연결한 균압선설치

b. 회전자권선조건

籠型回轉子

c. 기계부하와의 커프링 : Collet type와 Center bushing type

d. 기계적부하 : 선공기의 Blade 100개

e. 회전자 Skew량 : 1.2와 1.8

4-2. 實驗方法 및 測定方法

고정자권선조건, 회전자권선조건 및 기계적부하와의 커프링조건을 조합한 각각의 경우에 대하여, 기계적부하로서의 선공기 Blade를 量産過程에서 무작위로 임의추출하여 100개를 선정하고, 이를 교체부하시키면서 振動測定을 행하였다. 振動測定은 Vibration scale을 사용하여 직접측정하고 이를 pupitas($> \frac{1}{100}$ mm)의 값으로 환산하였다.

4-3. 實驗計劃法에 의한 振動量分析

가) 機械的負荷의 偏重心

먼저 電磁的振動을 해석하기에 앞서 기계적커프링의 조건에 따른 振動度分布를 알기 위하여, 전동기의 可變設計條件에 관계없이 振動量이 될 것으로 보이는 Center bushing type coupling과 Collet type coupling에 대한 振動量傾向을 살펴보면 그림 3과 같다.

나) 籠型回轉子の Skewed slot에 대한 효과

고정자권선조건과 기계부하커프링조건 등의 다른 가변설계조건에 관계없이 籠型회전자의 Skew량의 변화에 대하여 振動量에 미치는 영향을 살펴보면 그림 4와

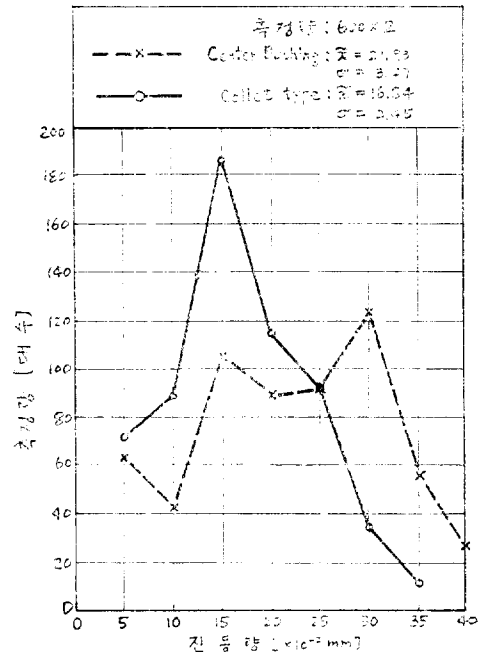


그림 3. 機械的負荷의 커프링조건에 따른 振動量分布
Fig. 3. Vibration distribution due to coupling condition of mechanical load.

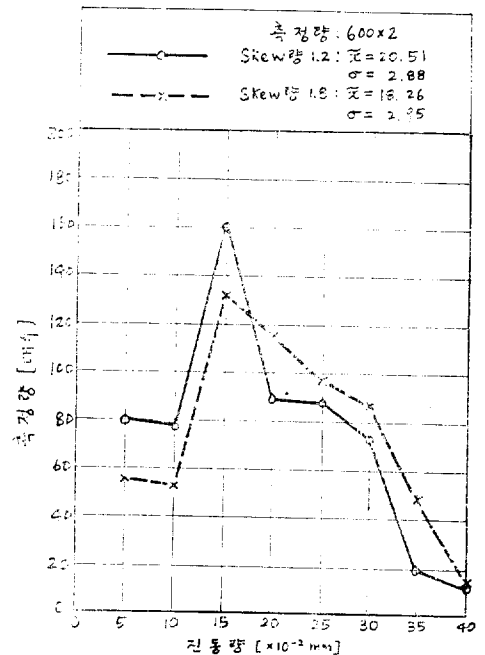


그림 4. Skew량의 변화에 따른 振動量의 分布
Fig. 4. Vibration distribution due to skewed slot

같다. 이것은 damping 계수중 K_2 의 補正係數의 조정과 pattern-A,C에 대한 효과를 나타낸 것이다.

다) 고정자권선의 병렬결선에 대한 영향

일반적으로 가전기기용전동기는 권선의 코일수가 많고 slot의 크기가 작기 때문에 고정자권선을 병렬로 결선하기는 어려우나 중형 및 대형전동기에서는 병렬결선의 효과는 크다³⁴⁾. 그러나 이것은 인접극과의 관계 및 극배치로 인하여 그 효과가 도리척 나쁘게 되는 수도 있다. 그리하여 이 방식은 그 채택에 신중을 기하여야 한다. 여기서는 콘벤서 전동기에서 기동권선이 존재하는 경우이기 때문에 병렬결선의 영향이 클 것으로 보인다. 그림 5는 4극전동기의 主·補助捲線極의 상대극의 권선을 직렬로 하고 이를 각각 병렬결선한 경우에 대하여 검토하였다. 진동량에 미치는 영향이 Pattern-A에 대한 것으로 본다.

라) 고정권선의 並列結線捲線에 均壓線을 설치한 경우

다)의 경우에는 병렬결선을 한 경우 도리척 나쁜 효과를 갖어 왔다. 이는 직렬결선인 때는 직렬균압효과를 갖는데 대하여 병렬결선에 대하여는 특정고조파 진동을 유발하게 할 소지가 많기 때문인 것이다. 그리

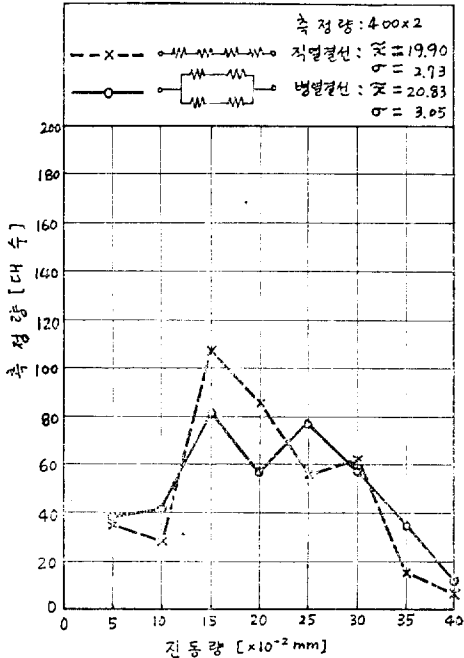


그림 5. 固定子捲線을 直列結線과 並列結線으로 하였을 때의 振動量 分布
Fig. 5. Vibration distribution due to series and parallel connection of stator winding

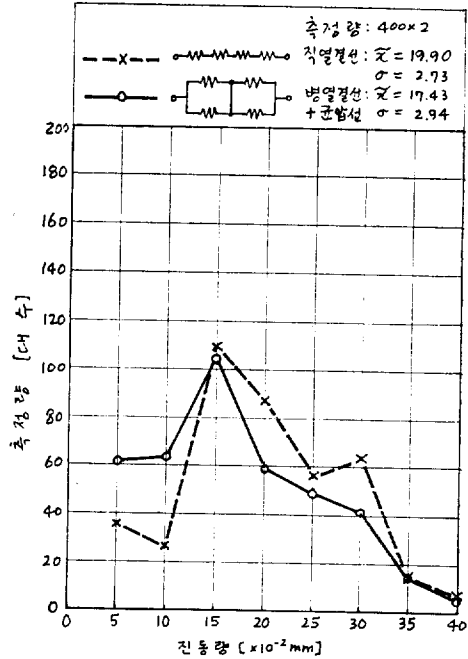


그림 6. 並列結線에 均壓線을 설치하였을 때의 振動量 分布
Fig. 6. Vibration distribution due to equalizing coil of parallel connection

하여 그림 6에서와 같이 균압선을 설치하여 본 결과, 병렬결선에서의 나쁜 영향을 보상할 수 있었다. 이것은 K_1 과 Pattern-B의 영향으로 인한 것이라고 볼 수 있다.

4-4. 實驗計劃法에 의한 振動量分析에 대한 考察

이상과 같이 家電用 電動機처럼 기계적 부하로 인한 振動量의 범위와 그 크기가 큰 경우에, 이로 인한 電磁機構에의 영향과 진동억제효과를 分析한 결과 다음과 같다.

1) collet type 커플링으로 하면 center bushing 커플링에 비하여 평균진동량이 23% 정도 감소하였으며, 편차 또한 25% 정도 줄었으므로 진동범위를 집중화시키는 경향이 있다. 이는 量産過程에서 보다 엄격한 관리가 요구되며 電磁的構造의 영향에 의하여 共振할 경우 진동의 크기가 클 우려 또한 고려하여야 한다.

2) skew 量의 효과는 振動量의 전범위에 대하여 일률적으로 줄어드는 경향을 갖는다. skew 量 1.2에 비하여 1.8일 때는 편차증가가 2%이고 진동량 감소가 11%인데, 이는 附加磁界에 의한 誘導電流 및 電機子反作用效果를 아울러 갖고 있어 damping 효과가 상당히 나타난 것으로 볼 수 있다. 또한 그 효과는 振動量

이 적은 범위에서 큰 효과를 갖는 것이 특징이다.

3) 並列結線은 附加磁界에 대한 誘導電流가 생길 때 이를 순환시키는 역할을 하게 함으로 이것이 도리려 다른 진동요인과 결합하여 특정 주파수에서 과도한 電機子反作用을 하게 할 소지를 갖는다는 것을 알 수 있다. 그림 5에서와 같이 振動量이 큰 범위에서는 오히려 큰 진동을 유발하는 경향을 보여주고 있다. 이 때문에 전차 측 振動分散度는 직렬결선에 비하여 12% 증가하였는데도 평균 진동량을 줄여들지 아니하는 경향을 갖는다.

4) 여기서 並列結線을 할 때는 반드시 均壓線設置를 하는 것이 바람직하다. 그림 6에서 보는 바와 같이 振動量의 감소는 직렬결선에 비하여 12% 정도 줄었다. 반면에 振動分散度는 병렬결선때 보다 줄었으나, 직렬결선에 비하여 약간 커졌다. 이는 均壓線效果가 skew slot의 경우와 달리 진동량범위가 적은 때는 크게 나타나고, 큰 범위에서는 적게 나타나는 경향을 갖고 있음을 의미한다.

5) 이상과 같이 實驗計劃法에 의하여 振動量解釋을 하여 본 결과, 附加磁界에 대한 damping 效果를 3節에서 分類한 것과 같이 推理하여 조정함이 電磁構造가 가장 복잡한 家電用電動機의 振動解釋 및 그 防止對策을 세움에 있어 도움이 될 것으로 생각된다.

5. 結 論

家電用電動機는 機械的負荷, 특히 GD²이 커서 振動을 發生할 우려가 크다. 또한 驅動電動機는 電磁的으로 不平衡要素가 많아 騒音 및 振動을 일으키기 쉽다, 本論文에서는 量產過程에서 이러한 振動素因을 최소한도로 줄이기 위하여, 實驗計劃法으로 順次的으로 이를 較正하는 조치를 理論的根據에 의하여 풀이하였다,

1) 振動 및 騒音의 原因은 機械的인 것과 電磁的인 것이 복합적으로 나타나므로 이를 구체적으로 해설하여 체계화시키고져 하였다,

2) 電磁的인 영향에 대하여는 附加磁界理論을 導入하여 附加磁界에 의한 電機子反作用과, 誘導電流의 Pattern으로 대별하고, 이를 다시 Damping 效果에 관계되는 係數와의 相關關係를 분석하였다.

3) 振動素因으로는 Slot數, Skew量, 直並列回路 및 均壓線設置등을 조정함으로써 가장 振動量을 적게 하는 방법과 순서를, 체계화시킨 理論的 Pattern 및 Damping效果와의 關聯表에 의하여 實驗計劃法에 따라 分析하였다,

分析한 결과는 本論文에서와 같이 함이 가장 效果的인 騒音 및 振動抑制對策으로 보아진다.

끝으로, 振動素因에 대한 구체적인 解析은 다른 文獻에서나 論文에 많이 發表되고 있으나 이를 量產體制에 적용시킬 수 있는 종합적인 조치가 아쉽던 점을 새로운 각도에서 고찰 검토하여 실제적인 성과를 기대해 보고져 함이 본 논문의 근본 취지임을 밝혀둔다.

본 연구는 1976년도 產學協同財團의 研究費로 이루어진 것이며, 끝으로 관계자 제위와 연구과정에서 도움을 주신 분에 대하여 감사를 드리는 바이다.

參考文獻

- 1) A.J. Ellison, F.I. Mech. E., and C.J. Moore; "Acoustic Noise and Vibration of Rotating Electric Machines" PROC, IEE Vol. 115, No 11, pp.1633~1640 (1968)
- 2) Paul-Gerhard Sperling; "Vibration and Noise Caused by Magnetic Forces" Siemens Review XLII, No. 7 pp.307~314 (1975)
- 3) A.J. Ellison, F.I. Mech. E. and S.J. Yang; "Effects of Rotor Eccentricity on Acoustic Noise from Induction Machines" PROC. IEE, Vol. 118, No. 1 pp.174~184 (1971)
- 4) Yuji Akiyama; "Induction Motor Main Flux Distribution Equalizing Effect for Eccentric Rotors" J.I.E.E.J. Report-B Vol. 95 No. 12 pp. 37~44 (1975)
- 5) 황영문: 誘導電動機의 磁氣的騒音에 대한 考察 대한전기학회지 Vol. 25. No. 2 pp.150~155 (1976)
- 6) K. Tajima, H. Koya and K. Nemoto; "Magnetic Noise of Fan Motor" Hitachi Hyorou Vol. 51, No. 10 pp.42~48 (Oct. 1969)
- 7) T. Yokozuka; "Alternating Torque Characteristics of the Condenser Motor" J.I.E.E.J. Vol. 91, No. 3 pp.115~122 (1971)
- 8) Philip L. Alger; The Nature of Induction Machines, (Gordon and Breach 1944) pp. 365~390
- 9) Veinott, C.G.; Theory and Design of Small Induction Motors, (McGraw-Hill 1959) pp.265~281
- 10) Veinott, C.G.; Computer-Aided Design of Electric Machinery (MIT Press 1972) pp.79~93
- 11) H. Vickers: The Induction Motor (London, Sir Issac Pitman and Sons, 1953) pp.459~470