

# 屈曲波 振動型 超音波 電動機의 速度制御方式에 關한 研究

○ 裴圭煥\*\* 洪淳一\*\* 南文祐\*\* 金喆禹\*\*\* 김문한\*

On Speed Control of Rotary Ultrasonic Motors

\*\* 부산공업대학 \*\*\* 부산대학교 \* 금성사 김해공장

## 1. 서론

초음파 전동기(Ultrasonic Motor)는 20KHz이상의 고주파 전원을 압전세라믹에 가하여 생기는 기계적 진동을 이용한 摩擦驅動型 전동기이다.

최근 일본에서 여러형태의 진동모드로 한 각종원리의 초음파 전동기가 고안되어 있지만 전력용으로 현재 實用化 된 것은 屈曲波 振動型(디스크 회전형)超音波 전동기가 있다. 이것은 공진모드 진행파형으로 분류되고, 이 초음파 전동기의 速度制御方式에도 여러가지가 있다.

本 연구에서는 回轉型 초음파 전동기의 원리를 이해하고, 전동기의 固定子에서 탄성체 내를 운반하는 진행파에서 속도, 스톱을 수반하여 마찰력을 기계로 회전자에 전달되는 힘의 모델화를 행한다.

그 모델로부터 波動에서 추력에의 變換效率을 算出한다. 이 理論에 근거하여 속도와 변환효율의 시간변동에 대한 시뮬레이션을 행한다.

이 결과로서 초음파 전동기를 서-보제어계에 適用하기 위한 제어방식을 검토한다.

## 2. 基本構造 및 動作原理

그림.1에서 나타낸 것과 같이 2매의 壓電세라믹을 서로 1/4파장 어긋나게, 즉 기계적으로 90°비켜 붙여서 2매의 세라믹 소자 A, B에 90°位相의 교류파를 가한다.

이때, 소자 A, B에는 그림.1의 (b)와 같이 定在波가 생기고, 그 합성은 進行波가 발생한다.

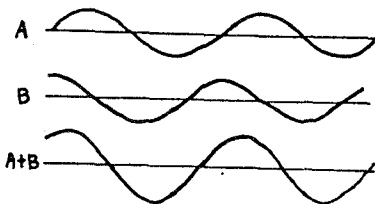
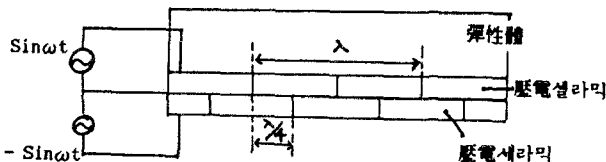


그림.1 進行波의 發生原理

이와같이 진행파가 勵振된 탄성체 위에 그림.2와 같이 移動體를 올려 놓으면 질점의 隨圓運動에 따라 移動體는 진행파의 진행방향에 대해서 역으로 이동한다.

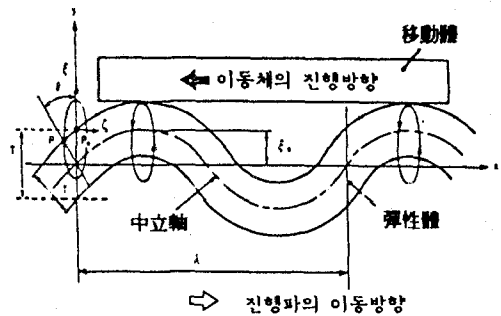


그림.2 초음파전동기의 驅動原理

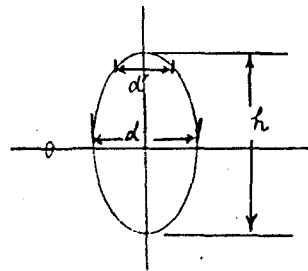


그림.3 進行波 表面定點의 軌跡과 接觸點

## 3. 進行波型 超音波 電動機의 速度制御 原理와 分類

그림.2는 굴곡파 진동형 및 表面波型進行波 표면의 局部變位 모양을 나타낸다. 推力가 생기는 것은 표면의 접촉마찰력에 의하지만, 그림.3에서 진행파의 표면과 슬라이더(회전자)접촉이 파의 진폭 "0" 되는 점까지 완전히 접촉하는 것으로 가정하면 접촉점의 횡방향 변위량은 최대 "d"로 된다.

그러나 일반적으로 預壓, 뎀퍼효과 등으로 그림.3의 d'까지만 접촉상태를 유지한다. 따라서 이 d에서 d'까지가 1파의 최대 이동량이다.

그림.2와 같이 탄성체의 두께를 T, 흔들림 진행파의 파장을 λ, 종방향 진폭을 ξ<sub>0</sub>, 각속도를 ω라고하면 탄성체 중립축의 진행파의 식은 다음과 같이 된다.

$$y = \xi \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \omega t\right) \quad \text{—————(1)}$$

P<sub>0</sub>에서 P까지 두께방향진폭 ξ는 흔들림 각 (共振角)을 θ라하면 다음식이 된다.

$$\xi = \xi_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \omega t\right) \quad \text{—————(2)}$$

P<sub>0</sub>에서 P까지 횡방향 변위는

$$\zeta = \frac{T}{2} \sin \theta = -\frac{T}{2} \theta \quad \text{—————(3)}$$

$$\theta = \frac{dy}{dx} = \xi_0 \frac{2\pi}{\lambda} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \omega t\right) \quad \text{—————(4)}$$

(3),(4)식에서

$$\zeta = -\pi \xi_0 (T/\lambda) \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \omega t\right) \quad \text{—————(5)}$$

원래적 직전의 주변속도 V,褶動面の 접촉시작 위상각 φ, 진동기 무부하속도 V<sub>0</sub>라고 하면

$$V_0 = \frac{\pi - 2\phi - \sin 2\phi}{2(2\cos \phi - (\pi - 2\phi) \sin \phi + \pi \alpha / \xi_0)} V \quad \text{—————(6)}$$

여기서, α는 φ = π/2에서의 변위량.식 (2) - (6)을 고려하면 다음과 같이 된다.

$$y = A\omega_0 \sin \phi \sin(\omega_0 t + \theta) (1-S) \quad \text{—————(7)}$$

여기서, 파의진폭은 A = f(E, θ, δ)이고, E는 인가전압, δ는 damping factor, ω<sub>0</sub>는파의 각속도이다. 그리고, 병진운동에서의 출력 P<sub>m</sub>는 다음으로 구해진다.

$$P_m = \epsilon K \xi_0 (BV + [(\pi - 2\phi) \sin \phi - 2\cos \phi] V_m) V_m + 2\pi \epsilon K \alpha V_m^2 \quad \text{—————(8)}$$

$$\text{단, } B = (\pi - 2\phi - \sin 2\phi) / 2$$

여기서, K는탄성계수, V<sub>m</sub>는 마찰면의 선속도이고 손실에너지 P<sub>i</sub>는 다음으로 구해진다

$$P_i = \epsilon K \xi_0 [(-\cos 3\phi / 3 + 3\cos \phi - (\pi - 2\phi + \sin 2\theta) \sin \phi) V^2 / 2 - (\pi - 2\phi - \sin 2\phi) V V_m - [(\pi - 2\phi) \sin \phi - 2\cos \phi] V_m^2 + \pi (V^2 + 2V_m^2) \alpha / \xi_0] \quad \text{—————(9)}$$

따라서 습동면에서의 변환효율 즉 마찰면에서 병진운동으로 변환시의 에너지변환효율은 다음이 된다

$$\eta = P_m / (P_m + P_i) \quad \text{—————(10)}$$

4. 공진모드에 의한 초음파 진동기의 구동에 필요한 조건 검토

시뮬레이션 및 실험결과에 의하면 (7),(10)식에서 각 요인에 대한 제어가능 범위는 다음과 같다.

$$A(\theta) = 1 \sim 50, \quad \phi = 0^\circ \sim +90^\circ, \quad \delta (\text{제어군란}) \\ \omega = 1 \sim +0.2, \quad E = 1 + 0.5, \quad S = 0 \sim 1$$

### 5. 결 론

이상의 조건에서 판단하여 진폭 ξ의 안정제어는 절대 필요하고, 속도제어 범위를 (20:1)이상 취급하는 경우 ξ와 φ의 변화 이외에는 고려하지 않았다.

그 결과 안정성, 제어성, 경제성 등을 고려하여 A(θ) 제어 즉, 진폭제어가 최적이라고 생각한다.

### 참 考 文 獻

- (1) 石田宗秋 等, "壓電素子を用いた壓電モータの提案" 平成元年, 電氣學會全國論文集, NO744, PP 6-201-202.
- (2) 上畑貞行, "超音波モータの現状と課題" USE88, 9th P.P.27-32 (1988)
- (3) V.I.UTKIN, "Variable structure system with sliding modes", IEEE Trans. automatic Control, Vol.AC-33 pp.212-222,1987.
- (4) 懸田 明生, "超音波モータ" 日本技術情報センター, 信學會誌, pp.718-725, 1987.
- (5) 秋山勇治等, "屈曲波振動型 超音波モータの要素別速度制御 特性" 平成元年, 電氣學會 全國論文集, NO742, PP 6-199.
- (6) 山越賢乘, 大西一正, "進行波形超音波モータの特性に関する-検討" 日本音響學會講演論文集 2-4-9, 1988年10月