

Parts Feeder의 진동특성에 관한 연구
A Study on the Vibration Characteristics of Parts Feeder

김 순채* 김 회남** 권 동호***
(명지대학원) (명지대) (명지전문대)

Soon-Chae Kim*, Hee-Nam Kim** and Dong-Ho Kwon***

key word:

core gap(코어 갭), exciting force(가진력), feed velocity(이송 속도), Parts Feeder(부품공급기), vibration frequency(진동주파수)

1. 서 론

최근 고도로 개발된 산업 사회에서는 생산성 향상과 생산원가 절감을 위한 연구와 관심이 모아지면서 각종 제품의 부품설계와 제조과정에 대해서 조직적인 합리화를 시도하고 있는 실정에 있다. 범용 공작기계는 NC 또는 CNC화로 개선되고, FA(Factory automation)가 등장하게 되었으며 제품 개발을 위한 CAD와 CAM 등이 개발되어 FMS(Flexible manufacturing system)가 출현하기에 이르렀다. 또한 Robot가 도입되고, 생산현장의 주변기기들이 고도의 첨단화가 이루어지면서 사람의 청각과 촉각을 대신해 줄 수 있는 센서의 개발과 연구가 진행되고 있다. 1948년 미국에서 최초로 부품공급장치인 PF(parts feeder)가 발명되면서 1955년에는 일본에서도 특허가 획득되어 소품종 다량생산의 산업을 중심으로 사용되기 시작하면서 현재는 자동차산업, 가전산업, 식품산업, 의약품산업 등 모든 분야에 적극적으로 도입되어 각 부품의 제품설계에서도 PF로 공급할 것을 고려하여 설계하기에 이르렀으며 최근에는 생산성 향상을 도모하고 생산원가를 절감할 수 있는 효과를 기대하는 생산의 자동화, 무인화 등의 연구와 개발에서 없어서는 안될 중요한 위치를 차지하게 되었다. 그러므로 조립부품의 부품정렬과 이송을 보다 정확하고 고정밀화를 기할 수 있는 부품공급장치의 연구개발은 자동화, 무인화를 추진하는 현시점에서 당연한 필수과제라고 할 수 있다.

Boothroyd¹⁾는 bowl feeder 기구의 역학적 관계와 마찰 및 주파수에 관한 사항을 이론적으로 정립시켰고, Davies²⁾는 컵모양의 부품에 대한 전도의 자세 변경을 시킬 수 있는 단차의 크기 및 부품의 치수와 중심위치의 관계, 그리고 부품이 단차를 통과할 전후 위치에서의 에너지 등에 관한 것을 연구하였으며, Yokoyama³⁾는 부품을

기계적으로 정렬시키는 방법과 정렬기능 및 확률에 대한 것을 연구하였고, Honma⁴⁾는 부품 송출에서의 부품의 중심위치, 회전관성 및 단차를 통과할 때의 수평방향 속도의 영향을 받는 동역학적인 관계를 규명하였다.

따라서 본 연구는 각각 다른 모양을 가진 부품이송을 취급하였을 때의 문제점을 미리 파악하고, 제품을 조립하는 과정에서의 여러가지 어려운 점을 개선시키므로써 FA를 추진하기 위한 부품 생산이나 부품 공급장치에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있으므로 부품이송시 코어갭과 진폭에 여러가지 변화를 주고 이에 따른 강제진동의 가진력의 영향을 고려하여 공진시 발생하는 현상을 규명하므로써 PF의 작업과 이송을 보다 고정밀화 시키고 또 위치결정의 정확성을 찾고자 하였다.

2. PF의 이론적 고찰

2.1 PF의 일반적 원리

PF에 의해 부품이 진행되는 과정은 매우 복잡하여 모든 경우를 엄밀하게 해명할 수 없으므로 일반적인 사항만을 기술하기로 한다.

Fig.1과 같은 경우 부품이 들어있는 보울(bowl)과 지지대(supporter)가 α 각(통상 $10^\circ \sim 30^\circ$)으로 경사된 판스프링으로 결합되어 있어 교류자석에 의해 중심축으로 회전하는 나선형 진동을 하게 된다.

지금 시계방향(CW)과 같은 나선형일 때에는 스프링 각도 α 는 Fig.1의 경우와 같이 보울이 경사지면 윗방향으로 이동되고, 부품은 경사된 윗방향으로 단계적으로 올라가게 된다. 반면에 반시계방향(CCW)으로 나선형 회전을 할 때는 트랙에 남은 부품을 보울의 바닥으로 돌아가게 한다.

이때 부품은 Fig.2와 같이 보울의 위에서 낙하되어 원래의 위치보다 미소한 전진을 하게 된다.

이와 같은 동작을 매초 60회(50회) 또는 120회(100회) 반복함에 따라서 마치 전체가 올라가는 것처럼 보이면서 부품을 움직이게 된다.

만약 부품에 기름이나 먼지가 부착되어 있으면 부착물의 점성으로 인해 이송속도도 떨어지고 보울 사이에서 윤활작용을 하게 되어 이송에 필요한 충분한 힘의 전달이 이루어지지 않는다.

또한 PF는 공진(Resonance)이란 상태를 만들어 내며 효과적으로 공진을 지속시키면서 구동되고 있다.

Fig.3은 PF에 사용되는 교류 전자석의 구조를 표시하는데 단상교류에 접속하면 전류에 따라 자력을 발생하게 되어 철심을 끌어당긴다.

구동 방법으로는 전파식, 반파식, 파트반파식이 있지만 일반적으로 전파식과 반파식이 많이 쓰인다.

Fig.4와 같은 경우에 전파식에서는 2배의 주파수로 가진시키고 반파식에서는 전원주파수와 같은 주파수로 가진시킨다.

상용전원은 $\pm 0.1\%$ 로 유지되고 있으므로 이것이 대략 기준 주파수가 된다. 이 경우에는 보울을 포함한 상부 진동체(흡인철심)와 지지대(전자석) 사이에서 안정된 주기적인 흡인력이 생성되기 때문에 이 구동주파수와 PF의 기계적인 고유진동수를 일치시키면 효율적인 진동을 지속시킬 수가 있다.

따라서 시링작업을 할 때 보울의 중량이 변화하는 경우는 판스프링의 매수를 가감하고 고유진동수를 구동주파수에 맞게 작업을 행하지 않으면 안된다.

또한 공진 상태에서 효율이 대단히 좋으며 최대의 진폭은 얻어지지만, 효율이 너무 높을 때는 오히려 불안정되기 쉽고 실용상의 제어가 어려워지므로 실제로는 구동주파수에 대하여 고유진동수를 낮은 쪽으로 선정한다.

2.2 자동이송의 역학

PF의 트랙 일부분을 Fig.5에서와 같이 수평각(horizontal angle) $\theta + \psi$ 의 직선경사로를 따르는 단순화시킨 운동물체로 가정한다.

트랙에 적용한 각 θ 와 ψ 는 트랙과 진동선(line of vibration)사이의 각을 말한다. 진동주파수 f (보통 60Hz) $\omega = 2\pi f(\%)$ 와 같이 간단하게 표현된다. 여기서 ω 는 원진동수이다.

진폭 a_0 와 트랙속도, 각속도는 트랙의 수직방향과 평행방향으로 표시할 수 있다. 그것은 질량 mp 에 대한 영역만으로서 공기저항은 무시한다.

미소부분에 대한 운동은 트랙에서 행해지고 진폭은 0에서 점차로 증가한다. 평행관성력은 너무 작아서 미소부분과 트랙사이에 마찰저항력 F 를 극복할 수 없게 작용하기 때문에 트랙 위에 작은 진폭으로 남게 된다.

Fig.5는 트랙에서 그들 운동이 제한될 때의 그 부분에 대한 최대관성력을 나타내고 있다. 이 힘은 평행방향과 수직방향에 $mp a_0 \omega^2 \cos \psi$ 와 $mp a_0 \omega^2 \sin \psi$ 의 성분을 가지고 트랙에서 미끄럼 접촉에 의한 상승운동이 발생함을 볼 수가 있다.

$$mp a_0 \omega^2 \cos \psi > mp g \sin \theta + F \quad \text{----- (1)}$$

여기서

$$F = \mu s N = \mu s (mp g \cos \theta - mp a_0 \omega^2 \sin \psi) \quad \text{---- (2)}$$

이며

μs 는 미소 부분의 트랙에 대한 정적마찰계수이다.

트랙에 미끄럼이 발생하기 전 상태는 식(1)과 (2)로 주어지고 이것은

$$\frac{a_0 \omega^2}{g} > \frac{\mu s \cos \theta + \sin \theta}{\cos \psi + \mu s \sin \psi}$$

즉, $\frac{a_0 \omega^2}{g}$ 이 우변보다 커야만 부품의 미끄럼 상승조

건이 성립될 수 있다.

3. 실험

3.1 실험부품 및 이송장세

본 부품이송실험에 사용한 부품으로는 현재 생산현장에서 직접 생산되고 있는 카 스테레오의 일부분인 거어축을 선정하였으며, 부품 재질은 SUM32로서 형상은 다소 다르나 무게에 따른 차이로 분류하여 실험하였다.

이때 부품이송시 무게중심 G는 이송전면에 오도록 이송방향을 정하였다. Table 1에 실험부품 재질의 조성 성분비를 표시하고 있으며, Fig.6 및 Fig.8은 실험용으로 사용된 각 부품의 형상치수와 이송방향을 나타낸 것이며, Fig.7 및 Fig.9는 각 부품의 실물사진이다.

3.2 실험장치 및 실험방법

Fig.10은 본 실험장치의 제어과정을 도식한 그림이다. 입력전원에 AC 220V의 상용전원을 가하면 PF의 콘트롤러에서는 전자소자인 SCR가 작동되어 각 싸이클마다 위상각 ϕ 에 도달하는 순간에 순방향 전도가 일어나도록 되어 있다.

따라서 정류출력파형은 반파정류파형의 각 반파로부터 처음 부분을 잘라낸 상태로 되어 ω / ω_n 의 비가 $1 \pm 2.5\%$ 영역내에서 공진진동수가 발생하게 된다.

또한 콘트롤러의 전압을 조정함으로써 게이트펄스의 위상각을 변화시키게 되고 조정 범위는 최대치($\phi=0$)로

부터 $0(\phi=\pi)$ 까지 조정할 수가 있다. 이때 변화과정을 오실로스코프로 감지하여 공진시간(Td)을 측정하고 또 다른 하나는 위상각을 감지할 수 있도록 했으며 미세 조정에 따른 오차는 전압메타로 보정시키고 PF 자체의 진폭에 대해서는 변위센서를 써서 감지시켰다. 부품의 실험용 소재는 0.1, 0.13, 0.16, 0.17, 0.52g의 무게차를 가지는 5가지의 형태와 길이가 각각 다른 0.27, 0.28, 0.29, 0.31, 0.32g의 무게차가 있는 리벳으로 선정하였으며, 강제진동에 의한 가진력을 발생시키는 코어갭을 0.2mm에서 1mm까지 변화시키면서 전자석에 의한 부품의 영향을 관찰하였고 Fig.12는 이와 같은 실험장치의 사진이다.

부품이 이송되고 있는 동안에 포토센서가 감지를 하여 3초 지난 후 PF가 과워 릴레이에 의해 정지하도록 회로 구성을 하였으며, 부품의 평균 이송속도를 측정하였으며, Fig.13은 실험장치와 회로를 표시한 것이다. 이때 스프링의 각도는 20° 로 고정시켰으며, Fig.14는 실험장치를 나타낸 것이다.

Fig.11 및 Fig.14의 PF실험장치로 Fig.6의 A, B, C, D, E와 같은 형상치수를 가진 SUM32재의 부품과 Fig.8과 같은 치수 형상을 가진 알루미늄재질의 리벳 부품을 이송할 때 코어갭에 따른 가진력과 이송속도와의 관계를 측정하였다. 이때 보울은 알루미늄 재질과 스테인레스 재질을 사용하였으며, PF의 전용 콘트롤러의 변화에 따른 데이터는 오실로스코프에서 진동파형과 위상각이 검출되도록 하였으며 가진전압의 측정은 전압메타를 사용하였고 진폭의 측정은 고정밀성을 가진 변위센서를 사용하여 미터 단위로 검출되도록 하였다.

또 이송속도는 자동화기계 장치를 시퀀스제어로 프로그램을 작성하여 순차적으로 제어를 할 수 있는 PLC(Programmable Logic Controller)와 포토센서를 사용하여 정확한 부품이송 사항을 감지토록 하였다.

Fig.14는 또한 보울의 재질에 따른 가진력과 평균이송속도와의 관계 및 부품 투입시의 호퍼 능력에 대한 데이터를 얻고자 보울에 부품을 투입할 때 무게 변화에 따른 가진전압의 변화관계를 관찰, 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 부품이송과 가진전압

Fig.6과 같은 치수형상을 가지고 무게가 각각 0.1, 0.13, 0.16, 0.17, 0.52g인 SUM32재의 5가지 부품을 Fig.11 및 Fig.14과 같은 실험장치로 부품이송 실험을 실시할 때 코어갭을 각각 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0mm로 하고, 가진전압을 70V에서 150V로 변화시켰을 때 부품의 평균이송속도의

변화 관계를 도시하면 Fig.15~Fig.19와 같다.

Fig.15에서와 같이 코어갭이 0.2mm일 때는 가진전압을 증가시키면 70V에서 110V 범위까지는 부품의 평균이송속도가 가진전압에 비례하여 증가되고 있지만 가진전압을 110V에서 150V까지 계속해서 증가시키면 부품의 평균이송속도는 오히려 감소되는 경향을 나타내고 있다. 그리고 같은 조건이라도 부품의 형상과 무게가 다를 때는 이송속도도 차이가 있는 사실을 발견할 수가 있었다.

Fig.17과 같이 코어갭이 0.6mm일 때는 부품의 평균이송속도 값이 현저하게 증가되며 가진전압을 70V에서 150V까지 증가시키면 이송속도는 오히려 감소되는 경향을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 전자석의 자력 형성을 구성하는 최적 틈새의 조건이 이루어진 결과라고 사료된다.

따라서 본 실험에서와 같은 조건에서 부품의 이송속도를 최대로 활용하려면 최적 가진전압을 90V에서 110V로 선정하고 전자석의 최적 자력형성을 구성할 수 있는 코어갭을 0.6mm로 선정하는 것이 바람직하다. 가진전압에 의해 보울의 진폭이 커질수는 있지만 부품이 트랙에서 운동할 때 부품의 형상에 따라서 마찰저항이 다르고 또 무게중심 G값의 차이로 인해 공진진동수에 의한 부품의 운동차가 발생되어 부품이 이송되면서 불안정 상태가 되기 때문에 부품의 마모를 증대시키고 정확한 위치결정이 어렵게 된다. 또 PLC의 제어에 의해 운동체가 포토센서의 감지로 일시적인 정지상태가 되면 부품이 미소한 관성력으로 인해 제어장치에서 제어되어도 가속으로 인한 차이 만큼 이송속도변화가 생긴다는 사실을 발견할 수가 있다.

Fig.20은 진동수를 3600V/M로 하고 가진전압을 각각 70, 90, 110, 130, 150V로 선정하여 코어갭을 0.2mm에서 1.0mm까지 변화시켰을 때의 보울의 진폭값에 대한 변화관계를 도시하였다. 그림에서와 같이 코어갭의 값을 증가시키면 보울의 진폭은 반비례로 감소되는 경향을 보이고 있으며 같은 조건이라도 가진전압을 크게 선정한 쪽이 보울의 진폭을 크게 한다는 사실을 발견할 수가 있다.

Fig.21은 진동수를 3600V/M로 하고 코어갭을 각각 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0mm로 선정하여 가진전압을 70V에서 150V로 변화시켰을 때의 보울의 진폭에 대한 변화관계를 도시하였다.

그림에서와 같이 가진전압을 증가시키면 보울의 진폭은 비례하여 선형적으로 증가되고 같은 조건에서도 코어갭을 작게 선정한 쪽이 보울의 진폭을 크게 형성함을 알 수가 있다.

따라서 PF에서 보울의 진폭을 크게 하려면 코어갭의 값을 작게, 가진전압의 값을 크게 선정하는 쪽이 바람직하다.

4.2 부품이송과 보울의 재질

Fig.22 및 Fig.23은 진동수를 3600V/M, 코어갭 0.4mm로 하고, Fig.8과 같은 형상과 무게가 다른 5가지의 리벳 부품을 이송시킬 때 보울의 재질을 알루미늄 재질과 스테인레스 재질로 바꾸어 보고 가진전압을 70V에서 110V로 변화시켰을 때의 평균이송속도의 변화 관계를 도시한 것이다.

Fig.22에서 보울의 재질이 알루미늄계 주물이므로 알루미늄재 리벳과 유사하기 때문에 가진전압을 증가시켜도 부품의 평균이송속도는 완만하게 비례되어 상승되는 경향이다. 같은 조건일 때는 리벳의 길이가 긴 쪽이 짧은 쪽 즉, 부품 무게가 무거운 쪽이 오히려 이송속도는 크다는 사실을 알 수가 있다. 예를들어 P5 부품인 경우 가진전압이 70V일 때는 부품의 평균이송속도가 51mm/s이지만, 110V일 때는 56mm/s로 증가된다. Fig.23에서와 같이 보울을 STS304 스테인레스 재질로 제작하였을 때는 알루미늄재의 보울과는 진동에 대한 응답반응이 우수한 탓인지 무게에 따른 전달력의 차이가 발생할 뿐만 아니라 가진전압의 증가에 따른 부품이송속도의 평균값도 급진적으로 증가되는 현상을 알 수가 있다. 이것은 알루미늄재 보울보다는 무겁기 때문에 가진전압이 낮을 때는 이송속도에 대한 응답이 둔하지만 가진전압이 증가되면 응답 상태가 예민한 관계라고 사료된다. 또 재질에 따라 탄성계수 E값이 다르므로 전달력의 차이도 원인의 하나로 볼 수 있다. Fig.24는 코어갭을 0.6mm로 하였을 때의 알루미늄 재질과 스텐레스 재질의 보울을 사용했을 때 가진전압의 변화에 따른 부품의 평균이송속도 관계를 비교하여 도시한 그림이다. 이 그래프에서도 알루미늄 재질의 보울을 사용했을 때 가진전압의 증가에 따른 이송속도의 증가율이 매우 완만하지만 스테인레스 보울을 사용했을 때는 매우 큰 구배로 증가되는 경향을 볼 수가 있다.

따라서 본 실험에서와 같은 조건에서 부품의 평균이송속도를 증가시키려면 보울을 알루미늄재로 제작했을 때는 가진전압을 낮게 선정해도 무방하지만 스테인레스재로 보울을 제작했을 때는 가진전압을 되도록이면 높게 선정하는 것이 효과적이다.

4.3 무게에 따른 가진전압

Fig.25는 진동수를 3600V/M, 코어갭을 각각 0.1, 0.2, 0.3,

0.4, 0.5mm로 하고 부품의 무게변화를 105, 210, 315, 420, 525g로 변화시켰을 때 가진전압의 변화관계를 도시한 그림이다. 그림에서와 같이 부품무게가 105g일 때는 코어갭을 0.1mm에서 0.5mm 범위로 하였을 때는 가진전압은 21V에서 30V까지 변화하나 부품무게가 525g일 때 가진전압은 37V에서 46V로 증가됨을 알 수가 있다. 또한 같은 조건에서 부품의 무게가 같더라도 코어갭을 크게 선정했을 때가 가진전압이 더 큰 값을 가지게 됨을 확인할 수가 있다. 그것은 코어갭이 자력으로 인한 전자장이 거리에 비례하여 가진전압이 증가된 것으로 사료된다. 진동수를 3600V/M, 코어갭을 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5mm로 하고 부품의 무게변화를 105, 210, 315, 420, 525g으로 변화시켰을 때 보울의 진폭값의 변화관계를 도시하면 Fig.26과 같다.

부품무게를 105g에서 525g까지 변화시켰을 때 코어갭의 진폭은 약간씩 변화하나 결국 23 μ m에서 40 μ m 범위를 벗어나지 못하고 한정된 범위내를 형성한다. 이것은 상용전원에 대한 가진전압의 오차와 코어갭의 미소한 틈새로 인한 오차라고 볼 수 있다.

4.3 무게에 따른 가진전압

Fig.25는 진동수를 3600V/M, 코어갭을 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5mm로 하고 부품의 무게변화를 105, 210, 315, 420, 525g로 변화시켰을 때 가진전압의 변화관계를 도시한 그림이다. 그림에서와 같이 부품무게가 105g일 때는 코어갭을 0.1mm에서 0.5mm 범위로 하였을 때는 가진전압은 21V에서 30V까지 변화하나 부품무게가 525g일 때 가진전압은 37V에서 46V로 증가됨을 알 수가 있다. 또한 같은 조건에서 부품의 무게가 같더라도 코어갭을 크게 선정했을 때가 가진전압이 더 큰 값을 가지게 됨을 확인할 수가 있다. 그것은 코어갭이 자력으로 인한 전자장이 거리에 비례하여 가진전압이 증가된 것으로 사료된다. 진동수를 3600V/M, 코어갭을 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5mm로 하고 부품의 무게변화를 105, 210, 315, 420, 525g으로 변화시켰을 때 보울의 진폭값의 변화관계를 도시하면 Fig.26과 같다.

부품무게를 105g에서 525g까지 변화시켰을 때 코어갭의 진폭은 약간씩 변화하나 결국 23 μ m에서 40 μ m 범위를 벗어나지 못하고 한정된 범위내를 형성한다. 이것은 상용전원에 대한 가진전압의 오차와 코어갭의 미소한 틈새로 인한 오차라고 볼 수 있다.

5. 결론

설계·제작한 PF의 실험장치로 부품을 이송할 때, 코

어댑 값이 주는 영향, 가진력에 의한 진폭에 관계, 보울의 재질에 따른 이송현상, 부품의 형상과 무게차에 따른 이송 속도의 변화 등을 규명하고자 형상치수와 무게가 각각 다른 10종의 부품을 선정하여 이를 실험하고 그 결과를 분석·고찰하고, 정리·요약하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 부품의 평균이송속도는 최대로 활용하려면 가진전압을 90V에서 110V로 선정하고 또 전자석의 최적 자력형성을 구성할 수 있는 코어갭을 0.6mm로 선정하는 것이 바람직하다.
- (2) PF에서 보울의 진폭을 크게 하려면 코어갭의 값을 작게, 가진전압 값을 크게 선정하는 것이 바람직하다.
- (3) PF의 보울을 제작할 때 부품이송의 평균속도를 증가시키려면 보울을 알루미늄재로 제작했을 때는 가진전압을 낮게 선정해도 무방하지만 스테인레스재로 보울을 제작하였을 때는 가진전압을 되도록 높게 선정하는 것이 효과적이다.
- (4) 부품의 무게가 상승되면 가진전압을 상승되나 코어갭의 진폭은 23 μ m에서 40 μ m 범위를 벗어나지 않는다.
- (5) 부품의 무게차에 따라 부품이송속도의 차이는 있지만 실제로는 트랙에 부품이 접촉하는 면의 마찰력과 무게중심 G값에 따라 영향을 주게 된다.

참고문헌

- 1) G. Boothroyd, C. Polic and L. Murch, 1982, vibratory bowl feeders, Automatic assembly system, Marcel Dekker p. 110.
- 2) Davies. P. B and Sanger. D. J, 1966, Paper presented cof, Mechanized Assem, Royay Coll, of Advanced Tech.
- 3) 横山恭男, 1981, パーツハンドリング, 自動化技術, Vol. 13, No.5, p.121.
- 4) 本間義彦, 部品供給機の走路段差による部品の姿勢變更について, 日本機械學會論文集(C編), 51券469號, p.2389.
- 5) 大橋正夫, 1985, パーツフィダの歴史と最近の傾向, 自動化技術, Vol.19, No.2, p.87.
- 6) 本間義彦, 1980, ホウルフィーダからの送出部品の姿勢解析, 自動化技術, Vol.12, No.8, p.53.
- 7) 高仲秀行, 新形板ばね防振形リニアフィーダとその活用技術, 自動化技術, Vol.19, No.2, p.23.

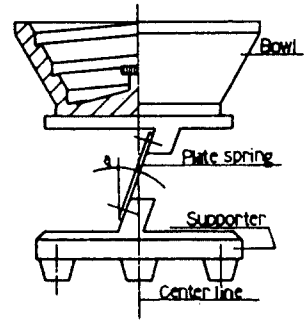


Fig.1 Structure of Parts Feeder

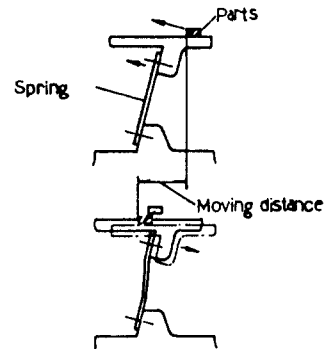


Fig.2 Relation of parts and spring in parts feeder

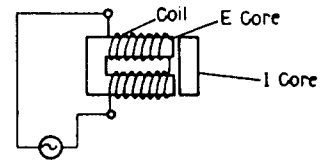


Fig.3 Structure of AC magnet

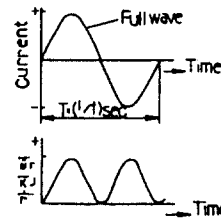


Fig.4 Driving principle of parts feeder

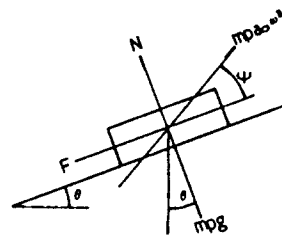
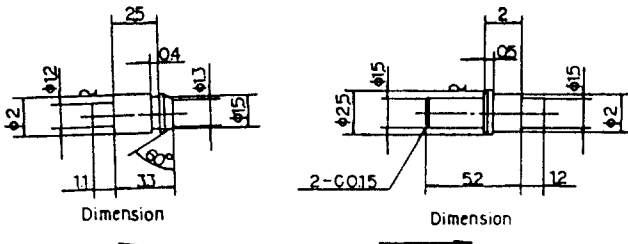
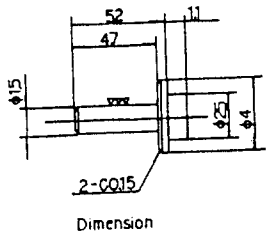


Fig.5 Force acting on a part in vibratory feeding

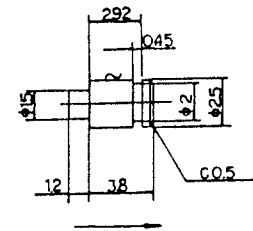


(a) A TYPE : 0.1g

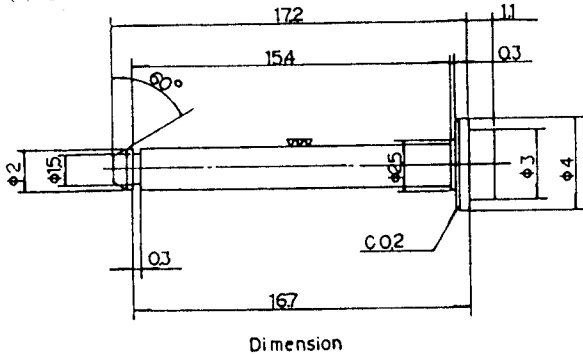
(b) B TYPE : 0.13g



(c) C TYPE : 0.16g



(d) D TYPE : 0.17g



(e) E TYPE : 0.52g

Fig.6 Dimension and feeding direction of parts

Table 1 Chemical composition of SUM32 material

Symbol	Chemical composition				
	C	Mn	P	S	Fe
SUM32	0.12~0.2	0.6~1.1	0.04	0.1~0.2	Remainder



Fig.7 Actual type of parts

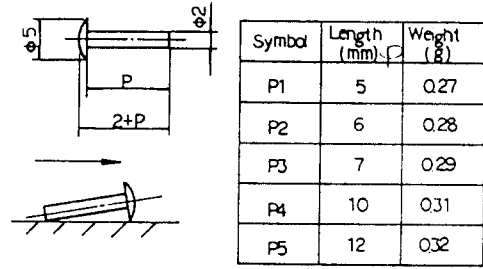


Fig.8 Dimension and feeding direction of rivet

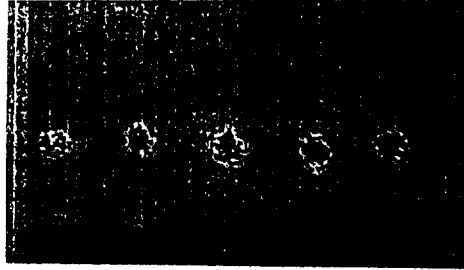


Fig.9 Actual type of rivet

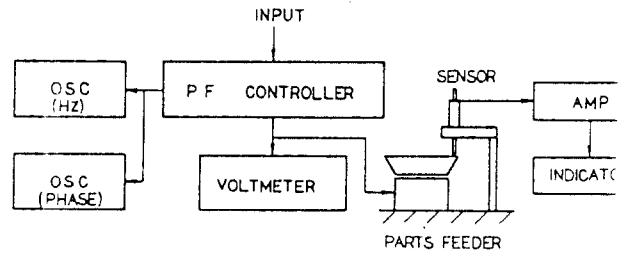


Fig.10 Block diagram for amplitude measurement



Fig.11 Amplitude measurement system

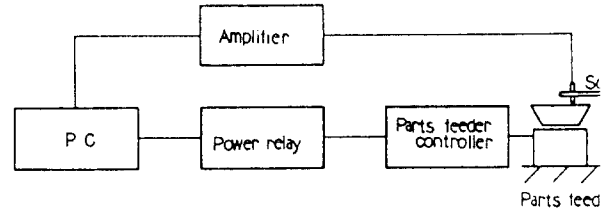


Fig.12 Block diagram of experimental apparatus

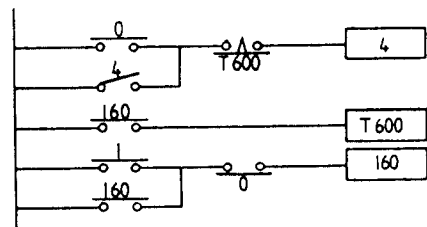


Fig.13 Circuit diagram of sequence control for mean feeding velocity

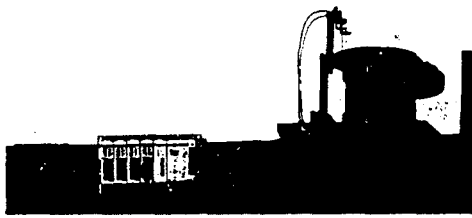


Fig.14 Measurement system for mean feeding velocity

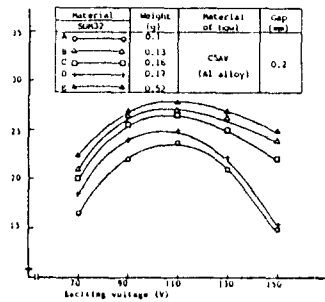


Fig.15 Exciting voltage (V) versus mean feeding velocity (m/s) by weight change. (Gap: 0.2mm)

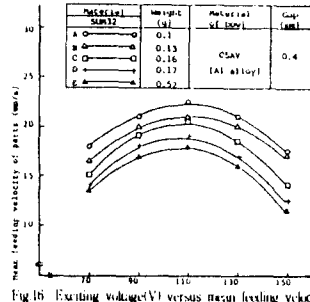


Fig.16 Exciting voltage (V) versus mean feeding velocity (m/s) by weight change. (Gap: 0.4mm)

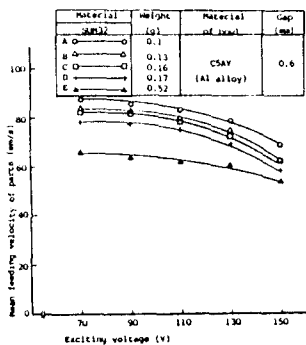


Fig.17 Exciting voltage (V) versus mean feeding velocity (m/s) by weight change. (Gap: 0.6mm)

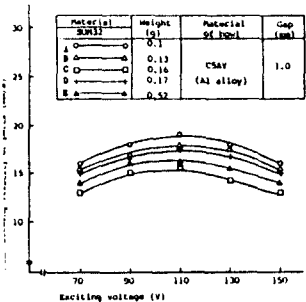


Fig.19 Exciting voltage (V) versus mean feeding velocity (m/s) by weight change. (Gap: 1.0mm)

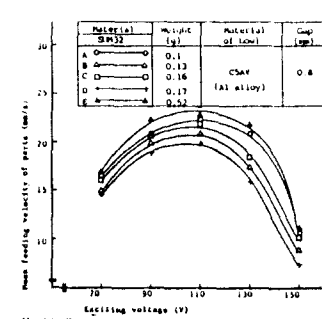


Fig.18 Exciting voltage (V) versus mean feeding velocity (m/s) by weight change. (Gap: 0.8mm)

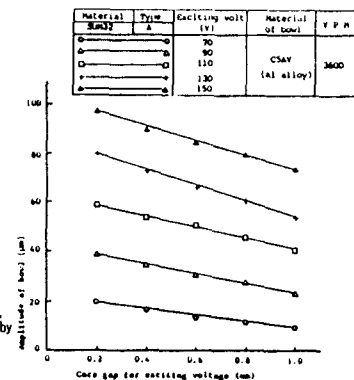


Fig.20 Cure gap for exciting voltage (mm) versus amplitude of bowl (mm) by voltage change.

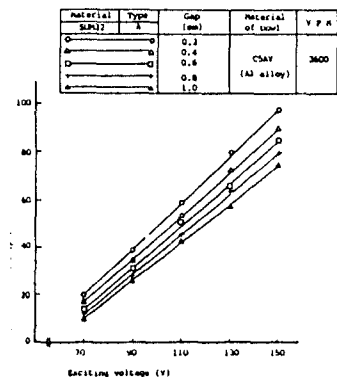


Fig.21 Exciting voltage (V) versus amplitude of bowl (mm) by cure gap (Tr).

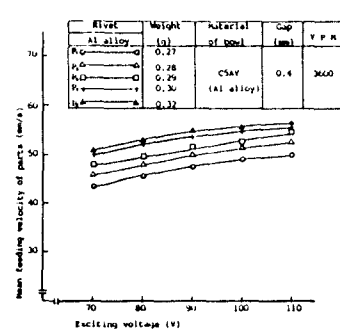


Fig.22 Exciting voltage (V) versus parts mean feeding velocity (m/s) by weight change of CSAV material.

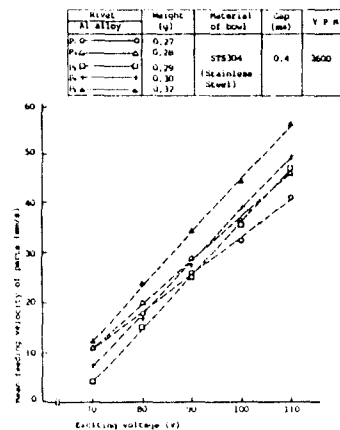


Fig.23 Exciting voltage (V) versus parts mean feeding velocity (m/s) by weight change of STS 304 material

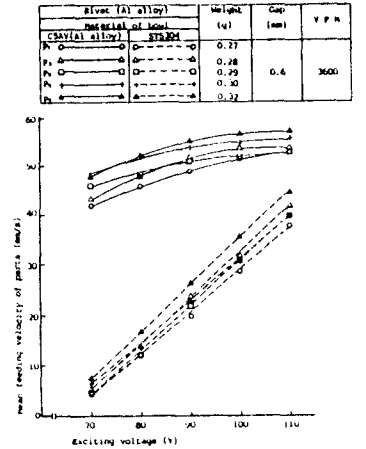


Fig.24 Exciting voltage (V) versus parts mean feeding velocity (m/s) by weight change of CSAV and STS 304 material

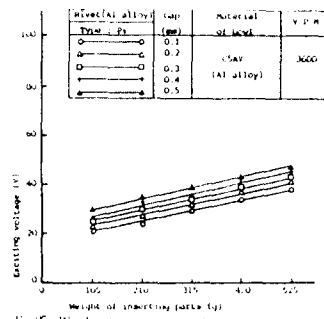


Fig.25 Weight of inserting parts (g) versus exciting voltage (V) by cure gap (Tr)

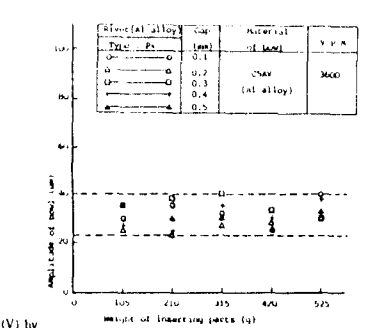


Fig.26 Amplitude of bowl (mm) versus weight of inserting parts (g) by cure gap (Tr)