

진동과 브라질땅콩 효과 프로젝트

이태혁 2016145141

서론.

이번 프로젝트의 평가요소는 1. 연속적으로 3단계 이상의 진동수를 만들어 낼 수 있다. 2. 최대 대역폭 (Bandwidth) 3. Brazil Nut Effect (BNE) 유발 4. Reverse BNE로 이루어져 있다. 이번 보고서에서는 BNE와 RBNE가 무엇이며, 어떤 조건에서 위의 현상들이 잘 일어나는지를 알아보고 위 사실을 기반으로 어떤 요인에 중점을 두고 장치를 디자인 했는지를 기술했다. 마지막으로는 모션 평가 이후 결과 값에 대한 고찰을 하였다.

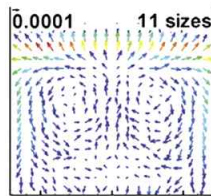
본론.

1. BNE

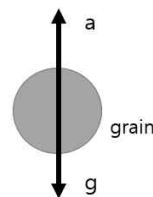
다양한 크기의 혼합물 (입자)가 섞여 있을 때, 상대적으로 큰 입자 (Intruder)들이 중앙으로 올라오고, 크기가 작은 알갱이들은 벽면을 타고 내려오는 현상을 일컫는다.

1-1) BNE Modeling

BNE를 분석하는 모델은 Percolation, Convection (대류) 등 다양하게 존재하지만, 이 중 가장 유력하고 많이 사용되는 모델은 Granular Convection (입자 대류)를 통한 해석이다.



[그림1. BNE 방향]



[그림2. Grain]

Granular Convection Factors:

대류모델의 주요 변수들로는 Air Pressure, Amplitude, Frequency, Friction & Material Property를 대표적으로 꼽을 수 있으며, BNE현상이 일어나기 위한 조건을 (Gamma)로 정의한다. (그림1은 BNE가 일어날 때, 입자들의 대류 방향을 나타낸다)

$$\Gamma = \frac{a(\text{peak acceleration})}{g(\text{gravitational})} = \frac{4A\pi f^2}{g} \quad (1)$$

(A: Amplitude, f: Frequency)

$\Gamma \geq 3$ 가 BNE가 일어나는 조건으로, 실험적으로 구해진 값이다. 이 때, BNE는 상대적으로 진폭 (Amplitude)가 낮고, 진동수 (Frequency)가 높아야 잘 일어난다고 알려져 있다.

2. RBNE (Reverse BNE)

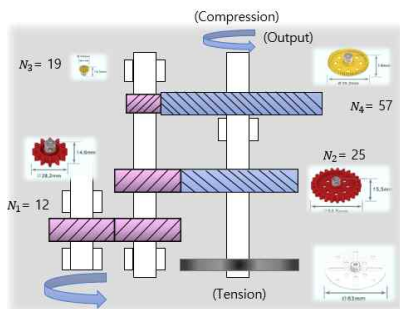
BNE의 반대되는 현상으로, 상대적으로 큰 입자 (Intruder)가 위에서 아래로 내려오는 현상을 의미하며, 이는 (1)식의 지배를 받지 않는다.

단지 **진폭 (Amplitude)가 높을 때** 일어난다고 알려져 있다.

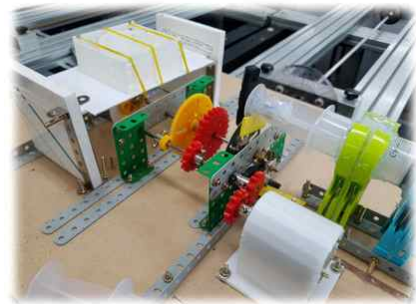
3. Design (설계) - [Part1 Frequency, Part2 Amplitude]

3-1) 기어변환 (진동수 변환)장치 -[Part1]

기어단수를 변화시켜, 진동수의 변화를 유도할 수 있는 장치.



[그림3. Gear Train & Pneumatic System]



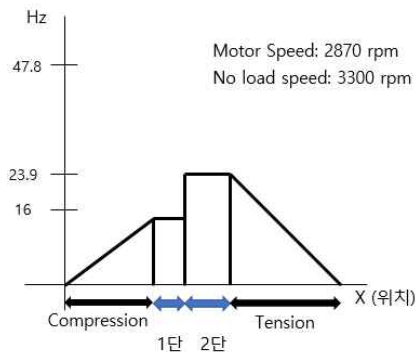
[그림4. 진동 유발장치]

진동수의 변화를 위해서, **기어 트랜스미션 & 공압 시스템** (그림3)을 이용하여 진동 유발장치 (그림4)에서의 진동수변화의 기저로 사용하였다. **안정되고 강한 힘을 전달 할 수 있는 공압 시스템**으로 기어 비를 변화시켜 변속이 가능하고 피스톤에 자전거 브레이크 패드를 달아, 압축력과 장력으로 양 방향에 **마찰을 주어 연속적으로 변속이 가능하다**. 또한 공압 시스템에 의해, **추가적인 기어단의 설계가 불필요** 하다는 특 장점이 있다.

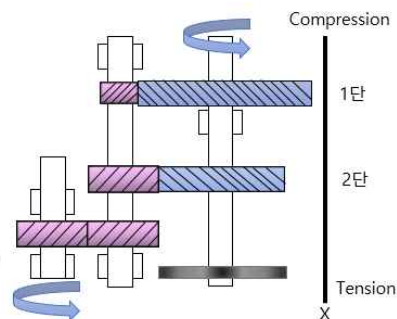
3-1.1) 기어 비 (Gear Ratio)

$$= \frac{\omega_{out}}{\omega_{in}} = \pm \frac{r_{in}}{r_{out}} = \pm \frac{d_{in}}{d_{out}} = \pm \frac{N_{in}}{N_{out}} - (2) \text{ 기어 비 기본법칙}$$

식-(2) 기어 비 기본 법칙에 의해 위 제품의 (그림3)의 Gear Train 그림 기준으로 상단을 Compression단, 아래로 각 1단, 2단, Tension단 총 (4가지 단)으로 계산을 해 본 결과,



[그림5. Hz-X Graph]



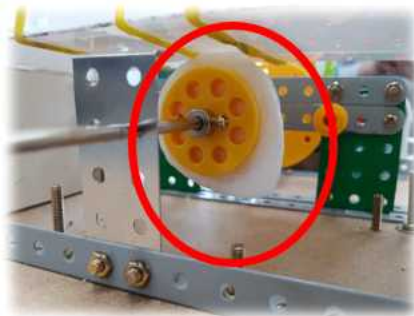
[그림6. X location]

위의 그림 5와같이 Hz-X Graph가 나온다. 이론상 1단은 16 Hz, 2단은 23.9 Hz를 낼 수 있으며, Compression과 Tension단은 브레이크에 의해 연속적으로 감속하면서, 0 Hz까지 내려간다. (그림6은 X 위치를 선정한 기준을 나타내고 있다)

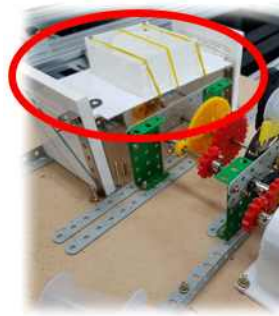
3-2) 진폭 생성 장치 [Part2]

실질적으로 진폭을 만들어 (Sin파형) 진동을 유발시키는 장치로 Cam (캠) & 아크릴판 (진폭 판)을 이용하여 구성하였다.

3-2.1) Cam (캠) & 아크릴 판 (진폭 판)



[그림7. Cam]



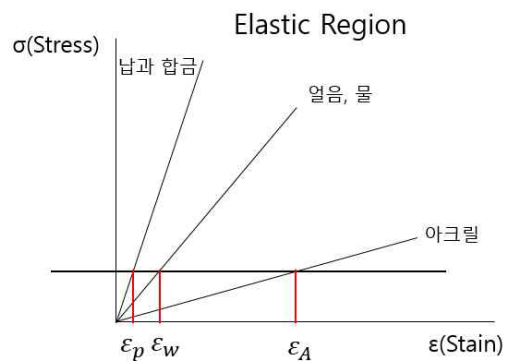
[그림8. 아크릴 판]

그림7과 같이 Cam을 3-D프린트로 만들어 설치를 하였다. 캠의 장점은 직접적으로 진폭 판 (아크릴판)을 타격하여 진동을 일으켜, **Mass momentum이 상대적으로 큰 Crank-Shaft, 4 bar Linkage 등을 이용하는 것 보다 에너지 손실이 적다.**

그림8은 캠의 충격으로 인해, 직접적인 파동을 구현해내는 장치 (진폭 판)이다. 아크릴판을 선택한 이유는 다음과 같다.

Material	Young's Modulus (E) (Gpa)
아크릴	1.6 - 3.4
흑연	27
일반목재	9 - 16
알루미늄	14 - 17
폴리에스터	1.8 - 3.5
얼음, 물	9.1
납과 합금	16 - 18

[표1. 아크릴 영률]



[그림9. Stress-Strain Diagram]

표1에는 아크릴판과 다른 재료들의 영률이 표시되어 있고, 그림 9는 표1에 대해 직접 Stress-Strain Diagram을 Elastic Region에 국한해서 그려 본 것이다. 이 도표에서 알 수 있는 정보는, 아크릴 재료는 다른 재료들에 비해 상대적으로 영률이 작다. 영률이 작다는 것은 그림9에서 알 수 있듯, 같은 응력이 있을 때, 변형률 $\epsilon_w > \epsilon_p$ 순으로 **아크릴판이 변형이 가장 많이 된다는 의미이다. 즉, 아크릴판은 Bending에 의한, 추가적인 진동 효과를 더 많이 기대 할 수 있는 재료이기 때문에, 아크릴판을 진폭 판으로써 선택하였다.**

3-2.2) 진폭 판의 단 (Step of Amplitude)



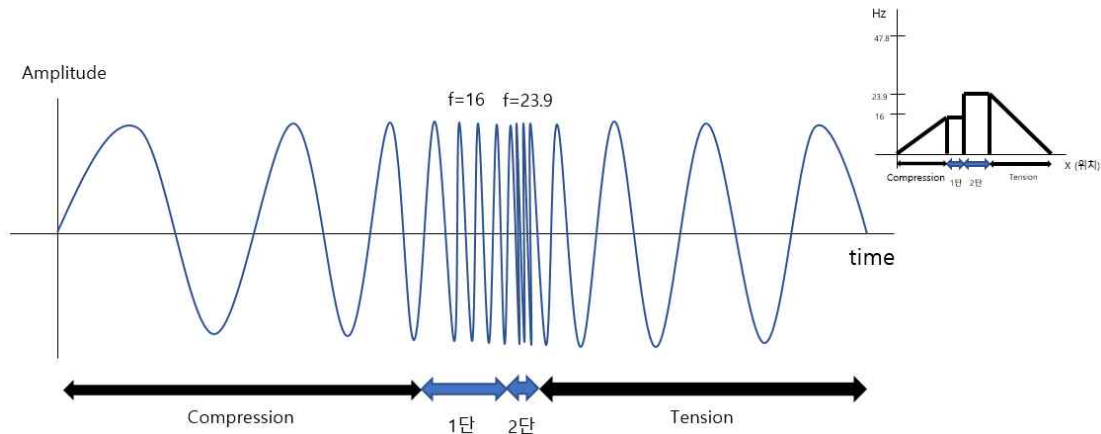
[그림 10. 진폭 단]

$$\begin{pmatrix} A_{xx} & A_{yx} & A_{zx} \\ A_{xy} & A_{yy} & A_{zy} \\ A_{xz} & A_{yz} & A_{zz} \end{pmatrix}$$

[그림 11. 대칭성 행렬]

BNE, RBNE에서 진폭 (Amplitude)는 정말 중요한 요소 중 하나이다. BNE는 낮은 진폭을 RBNE는 높은 진폭을 요구한다. 그래서 양 구조물에 각 3개의 홈을 만들어 총 9가지 경우의 수로 만들었고, 대칭성에 의해 9가지에서 6가지 경우의 수로 줄어든다. 총 6가지 경우의 수로 아크릴 판을 끼워 넣을 수 있으며, 수행하는 목적에 따라 진폭을 조정 하여 상황에 맞게 최적화가 가능하다.

3-3) Vibration



[그림12. 제품의 Amplitude-time Graph]

이론적으로, 별도의 무게를 올리지 않고, 낼 수 있는 진동수를 직접 그래프로 그려본 것이다. 따로 진폭을 연속적으로 변화시킬 수 있는 Damper는 존재하지 않기 때문에, 진폭은 일정하며, 변속장치에 의한 진동수 (frequency)가 각 단별로 변화하는 것을 확인 할 수 있다.

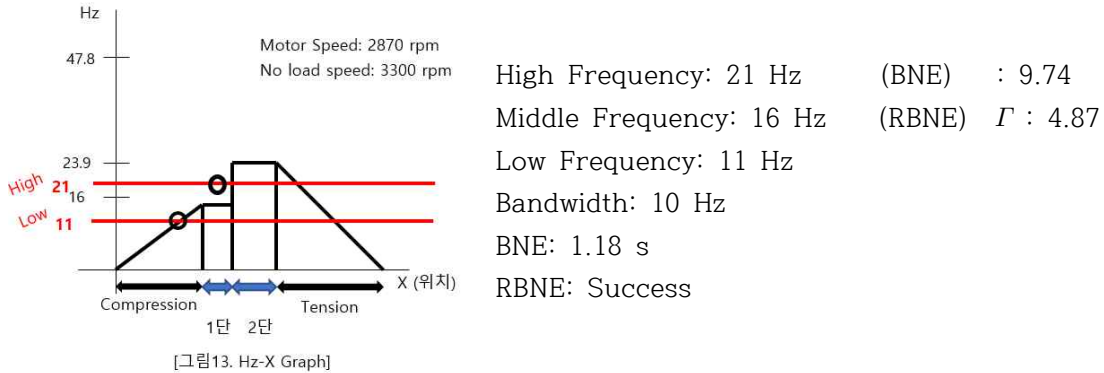
$$= \cos w t + B \sin w_n t \quad (3)$$

$$x = C \sin (w_n t + \psi) \quad (4)$$

$$C = \sqrt{x_0^2 + (x'/w_n)^2}, \psi = \tan^{-1} (x_0 w_n / x'), x_0 = A, x' = B w_n \quad (5)$$

위 식들은 Undamped Free Vibration로, 위의 그래프에 대한 지배 방정식으로 볼 수 있다.

4. Result



결과적으로, 그림13과 같이, 가장 높은 진동수인 21 Hz는 2단이 아닌, 1단에서 나왔으며, 가장 낮은 진폭인 11 Hz는 예상대로 Compression에서 나왔다. 이 결과에 대해서 생각해 봤을 때, 물체 자체의 진동 또한 존재하며, 입력 진동수와 Harmonic (고조파)를 만들어 낼 것이다. 다시 말해, 실제 결과가 이론적인 결과와 맞지 않는 이유는 실질적으로 물체들은 고유 진동수를 가지고 있으며, 입력 주파수와 조화를 이루기 때문이다.

그리고 BNE와 RBNE는 진폭 단 흡을 이용하여 BNE때는 진폭을 상대적으로 낮게, RBNE시 도 할 때는 진폭을 상대적으로 높게 잡아 최적화 시켰다.

맺음말 (결론)

기계를 설계함에 있어 가장 중요한 포인트중 하나는 단순성이다. 이번 프로젝트에서는 이 단순성을 위해, 추가 기어 단의 설치를 피할 수 있는 공기압 시스템을 도입하였다. 동시에 공기압 시스템은 연속적인 변속까지 가능케 하여, 여러 가지 대역폭을 최적화 시킬 수 있었다. 또한 BNE와 RBNE를 위해서 진폭 단을 조정 할 수 있게 만들어 진폭을 조정하여 최적화시키고, BNE는 1.18 s, RBNE또한 성공시켜 훌륭한 결과를 낼 수 있었다. 이러한 기구학적인 요소들 외에도 물성 (영률)에 따른 재료선택 (진폭 판=아크릴 판)을 할 수 있어야 했다. 이번 프로젝트로 기구학, 고체역학, 진동 등 많은 이론 과목들을 기반으로, 디자인 센스까지 확인 할 수 있었다.

참고문헌

1. All the Brazil nuts are not on top: Vibration induced Granular size segregation of binary, ternary and multi-sized mixtures/ Matthew J.Metzger, Brenda Remy, Benjamin J. Glasser*/ Powder Technology 205 (2011) 42-51/ The State University of New Jersey.
2. The Brazil Nut and Reverse Brazil Nut Effects/ Andrew Missel/ December 13, 2005
3. Engineering Mechanics Dynamics/ J. L. Meriam, L. G. Kraige, J. N. Bolton/8th Edition/ Willey