Color Discerning Device의 구조해석을 통한 성능향상에 대한 연구

A Study on Structural Analysis of Color Discerning Device for the Performance Enhance

정진태† · 김성현* · 이규호**
Jin-Tai Chung, Sung-Hyun Kim and Kyu-Ho Lee

Key Words : Modal Analysis(모드 해석), Frequency(주파수), Resonance(공진), Color Discerning Device(색채 선별기)

ABSTRACT

A Color Discerning Device(CDD) is the equipment to use in Rice Processing Complex(RPC). By use a high-speed charge-coupled device camera, CDD can sorting discolored grain according to light and shade. The existing CDD's driving performance is not so good as overseas machine. Besides, transportation process causes a defect in the mechanism from impact or harmonic excitation or etc. This study is represented the problem of CDD through modal analysis and static analysis by using ANSYS workbench. To analysis the problem of driving condition, devide each part of CDD for performed modal analysis. The problem of driving condition and transportation process solved by carry out modal analysis and static analysis.

1. 서 론

색채 선별기는 미곡 종합처리장에서 사용하는 최첨단 RPC 장비로 고속 CCD카메라를 이용하여 명암에 따라 변색된 곡물을 선별하고 양품의 쌀만을 골라내는 기기이다. 즉, 상부의 호퍼(Hopper)로 투입된 곡물이 피더의 강제운동에 의해 슈트를 통하여 하강하고, 압축된 공기를 이용한 공기총에 의해 변색된 곡물이 분리되어 양품의 곡물만을 선별하는 원리로 작동한다. 색채 선별기의 수요는 고품질 곡물의 수요증가와 함께 증가하고 있으며 이에 따라 관련 산업분야의 성장도 함께 이루어지고 있다. 또한 중국, 인도, 동남아시아 지역의 시장은 매년 20%이상의 성장을 보이고 있으므로 이들 시장에 대한 국내의 색채 선별기의 높은 시장점유가 필요하다. 국내에서 CDD를 생산하는 업체는 20여곳 정도이지만 생산하는 CDD의 수준은 해외의 선진 기술을 모방하는 정도라 할 수 있다. 따라서 이러한 CDD를 이용한 곡물의 이송은 안정하거나 균일할 수 없다.

본 논문에서는 기존 CDD가 해외제품에 비해서 선별 능력이 떨어지는 원인을 찾기 위해서 각 파트별로 Modal analysis를 수행하였다. 또한, CDD를 운반할 때 생기는 Impact, Harmonic excitation 등으로 구조에 변형이 생기는 문제점을 분석하기 위해 CDD전체에 대하여 Modal analysis 와 Static analysis를 수행했다. Fig. 1 은 해석에 사용된 CDD를 모델링 한 것이다.

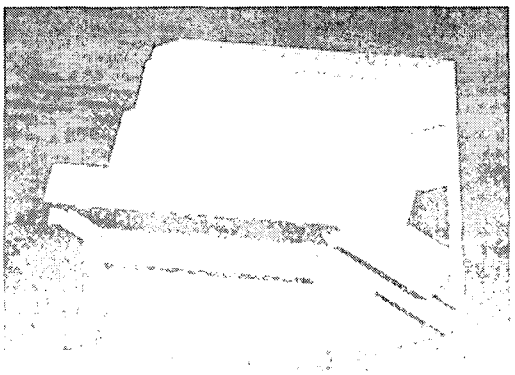

Fig. 1 Modeling of CDD

† 책임저자, 한양대학교 기계공학과
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : (031)400-5287, Fax : (031)501-4590
* 한양대학교 대학원 기계공학과
** 한양대학교 대학원 기계공학과

2. CDD의 작동 원리

Fig. 2 는 CDD의 공정을 개략적으로 나타낸 것이다. 곡물이 Hopper를 통해 CDD로 들어가게 된다. CDD로 들어간 곡물은 Feeder를 거쳐서 일정한 간격과 속도를 유지하면서 Chute로 내려간다. Chute는 Feeder가 보내는 곡물을 일정 간격을 유지시켜 주면서 Front optical box와 Back optical box에 있는 고속 CCD카메라가 변색된 곡물을 선별할 수 있도록 해준다. 마지막으로 Optical box를 통과한 변색된 곡물과 양질의 곡물은 Exhaust pipe를 통과하면서 나눠지게 된다. 이 과정이 1차 선별과정이고 양질의 곡물과 변색된 곡물이 섞여있을 경우 2차 선별과정을 한 번 더 수행하게 된다.

선별 성능에 중요한 영향을 미치는 파트는 곡물을 뭉치거나 겹치지 않게 고르게 이송해 주는 Chute와 곡물을 선별하는 고속 CCD카메라가 장착된 Optical box이다. CDD의 각 파트를 나누어 Modal analysis를 수행함으로써 선별 성능이 떨어지는 원인을 분석하도록 한다.

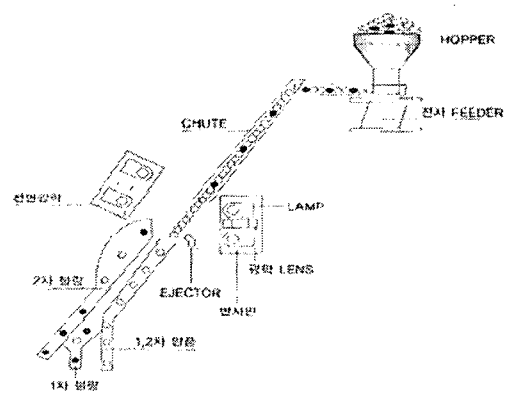

Fig. 2 Sorting process of CDD

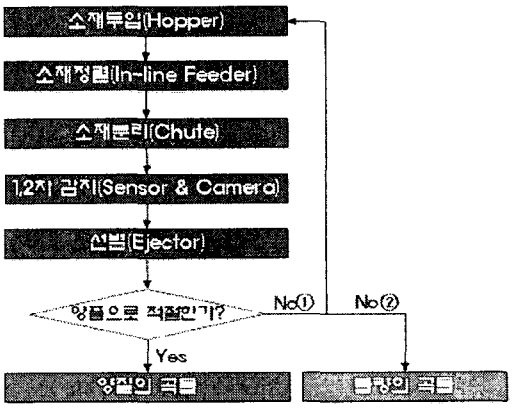

Fig. 3 Procedure of CDD

3. 파트별 Modal analysis

3.1 각 파트의 동적 특성

각 파트별 모델의 Modal analysis에 적용한 기본 가정은 다음과 같다.

1) Structural Steel의 물성치를 이용한다.
2) 모든 부품은 Bonded로 가정한다.
3) 구속 조건은 실제와 동일한 위치에 Fixed Support로 적용한다.
4) 1st~5th Mode의 해석결과를 비교한다.

(1) Front optical box

Front optical box는 고속 CCD카메라, 광학Lens 가 내장되어 있는 파트이다. 작은 변형이 생기더라도 선별 능력에 큰 영향을 끼치게 된다. Table. 1은 Front optical box의 Modal analysis 결과를 보여준다. Low frequency range에서의 움직임을 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 이는 CDD를 운반할 때의 Impact, Harmonic excitation 등으로 인하여 쉽게 변형을 일으킬 수 있고, 지반진동으로 인하여 선별 작업 시 고속 CCD카메라나 광학Lens의 각도 변화가 생겨 선별 효율이 떨어지게 될 수 있다.

Fig. 4는 2nd mode에서의 변형을 보여준다. 내부 부품의 변화가 Low frequency range에서 나타나는 것을 볼 때,

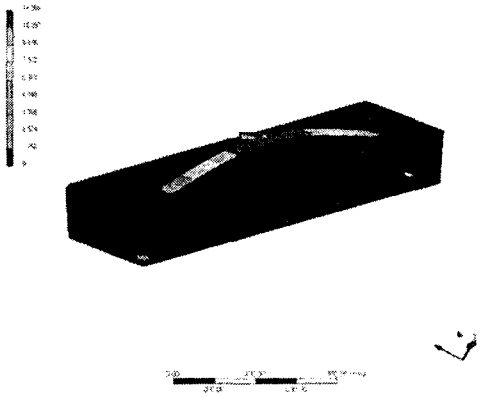

Fig. 4 2nd mode of Front optical box

Table. 1 Modes of Front optical box

Mode	Frequency (Hz)
1st	12.458
2nd	13.327
3rd	37.045
4th	37.331
5th	44.984

선별능률의 저하 요인 중 하나라는 것을 알 수 있다. 내부 부품의 체결 상태, 형상 그리고 두께를 확인하여 취약한 부분의 구조를 변경해야 한다.

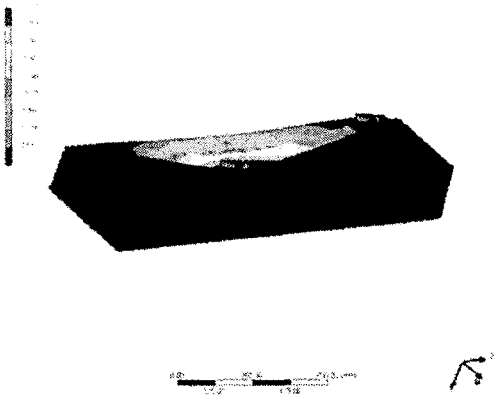

Fig. 5 1st mode of Back optical box

Table. 2 Modes of Back optical box

Mode	Frequency (Hz)
1st	74.055
2nd	87.023
3rd	88.454
4th	90.849
5th	125.85

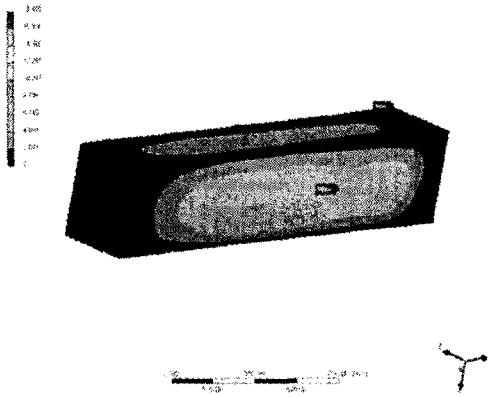

Fig. 6 1st mode of Control box

Table. 3 Modes of Control box

Mode	Frequency (Hz)
1st	171.47
2nd	200.73
3rd	209.01
4th	222.3
5th	235.18

(2) Back optical box

앞에서 언급한 Front optical box와 마찬가지로 Back optical box 역시 고속 CCD카메라와 광학Lens가 장착되어 있는 파트이다.

Table. 2에서의 Modal analysis 결과를 보면, Front optical box와 비교하여 High frequency range에서 변형을 일으키는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 5는 1st mode의 형상을 나타낸다. 내부 부품의 변화는 일어나지 않고, 외형의 변화만이 나타나는 것을 볼 수 있다. 변화 또한 High frequency range에서 나타나기 때문에 구조 변경이 필요하지 않는 파트로 볼 수 있다.

(3) Control box

CDD의 전체 시스템을 제어하는 전자 부품이 내장되어 있는 Control box는 내부 변형이 일어나면 CDD의 구동에 영향을 미칠 수도 있는 파트이다. Table. 3을 통해 알 수 있듯이, Back optical box보다 더 높은 Frequency range를 보여주고 있다. 구동 시나 운반 시에 큰 영향을 받지 않는 파트로 볼 수 있다.

Fig. 6은 Control box의 1st mode를 보여주고 있다. 1st, 5th mode 에서는 외형에서만 변형을 일으키고 있고, 2nd~4th mode 에서는 door의 내부 손잡이 부분만 변형을 보인다. 전자 부품에는 영향을 미치지 못하고, 구동 시 시스템의 제어가 문제를 일으킨 경우는 없었기 때문에 Control box의 구조는 변경을 필요로 하지 않는다.

(4) Chute

Chute는 곡물이 Feeder를 통해서 고르게 흘러 내려오면, Optical box에 의해서 선별되기 전까지 곡물이 뭉치거나 겹쳐지지 않도록 유지시켜주는 부품이다. 다른 파트와는 달리 Feeder의 가진 주파수(60Hz)의 영향도 고려해야 한다.

Table. 4를 살펴보면, 2nd mode의 frequency가 Feeder의 가진 주파수(60Hz)의 영향을 받아 Resonance를 보일 수 있다는 것을 알 수 있다. Fig. 7에서 곡물이 Feeder를 따라 내려가면서 처음 만나게 되는 Chute의 상부와 Opticlal box로 내려가는 부분인 Chute의 하부가 휘어지는 형상을 볼 수 있다. CDD의 곡물 선별 능력이 해외의 제품보다 떨어지는 요인 중 하나가 Chute의 구조적 문제라는 것으로 판단된다.

(5) Exhaust pipe

Optical box를 통해서 선별한 변색된 곡물과 양질의 곡물이 Exhaust pipe를 거치면서 각각 나누어져 곡물의 운반

을 원활하게 할 수 있게 된다. 구조적 변형이 일어난다고 해도 선별 능률에는 큰 영향을 끼치지 않는 파트이다.

Table. 5를 통해서 알 수 있듯이, High frequency range에서 변형이 일어나기 때문에 CDD의 구동에 의한 영향은 받지 않는다고 볼 수 있다. Fig. 8에서는 1st mode에서 Exhaust pipe의 하단부에 변형이 일어나는 것을 볼 수 있다. CDD전체 시스템에서는 이 하단부를 지지하는 부품이 Frame에 존재하기 때문에 구조의 변경이 불필요 하다고 볼 수 있다.

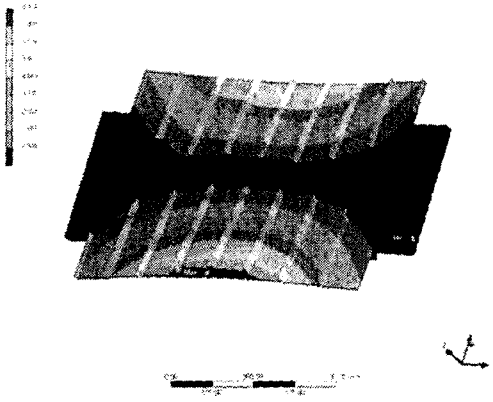

Fig. 7 2nd mode of Chute

Table. 4 Modes of Chute

Mode	Frequency (Hz)
1st	45.659
2nd	56.155
3rd	85.735
4th	97.275
5th	110.18

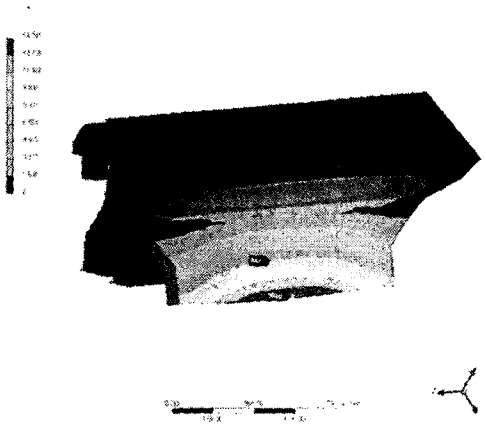

Fig. 8 1st mode of Exhaust pipe

Table. 5 Modes of Exhaust pipe

Mode	Frequency (Hz)
1st	95.358
2nd	134.09
3rd	155.13
4th	168.22
5th	172.79

(6) Frame

앞에서 언급한 다섯 종류의 파트를 지지하는 파트가 Frame이다. Chute와 마찬가지로 CDD의 구동에 따른 Feeder의 가진 주파수(60Hz)의 영향도 고려해야 하는 파트이다. 또한, 운반 시 발생 할 수 있는 Impact, Harmonic excitation등의 영향을 고려해야 한다.

Table. 6을 살펴보면, 1st mode(9.696Hz)와 4th mode(55.638Hz)가 문제가 된다고 볼 수 있다. 지반진동으로 인하여 1st mode의 영역에서 Frame의 Resonance가 나타날 수 있다. 4th mode에서는 Feeder의 가진 주파수(60Hz)영역의 영향을 받을 수 있다. Fig. 9는 4th mode의 형상을 보여준다. CDD의 구동 시, Feeder의 가진 주파수(60Hz)의 영향을 받아 Frame의 형상이 변하게 된다면 이는 Chute와 Front optical box 그리고 Control box에 영향을 미칠 수 있다. 1st mode의 형상 또한 뒤틀리는 방향만 다를 뿐, 4th mode와 같은 영향을 끼치게 된다.

Frame의 구조적 변경은 CDD의 제작비에 많은 영향을 차지하기 때문에 성능과 제작비를 둘 다 만족시킬 수 있는 방향을 모색해야 한다.

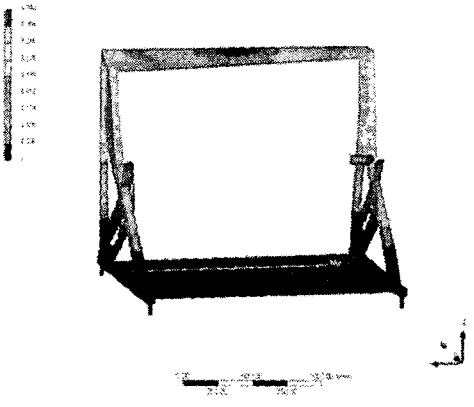

Fig. 9 4th mode of Frame

Table. 6 Modes of Frame

Mode	Frequency (Hz)
1st	9.696
2nd	28.724
3rd	45.539
4th	55.638
5th	74.848

4. 파트별 구조 변경

4.1 각 파트의 구조 변경

(1) Chute

Chute의 구조는 8개의 Chute를 Base plate가 지지하는 형태로 되어있다. 각각의 Chute는 4부분의 지지부를 가지고 있다. Chute 자체의 구조를 변경하는 데에는 제작비가 크게 증가하기 때문에 Base plate의 구조를 보강하거나, Chute의 지지부의 구조를 변경하는 데에 중점을 두어 Modeling을 수행하였다. Fig. 10은 각 Chute의 가운데에 지지부를 늘려서 총 6부분의 지지부를 가진 Chute의 Modeling이다.

(2) Frame

Frame의 구조 변경은 다른 파트와의 체결을 고려해야 한다. 먼저, Front optical box와 Chute가 결합하는 부분에서의 변형이 문제가 되었기 때문에 기본적으로 Frame 전면부의 가운데에 보강을 하였다. Control box가 부착되는 후면부의 보강에 여러 가지 Modeling을 수행하였다. Fig. 11은 Frame 전면부의 가운데에 보강을 하고, 후면부의 두 군데에 보강재를 부착하였다.

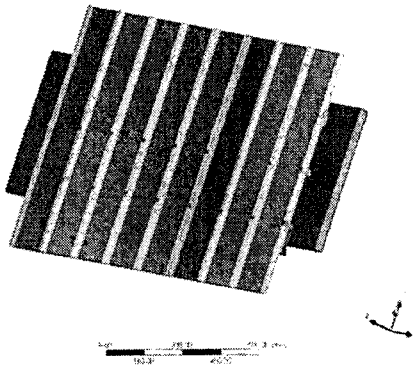

Fig. 10 Restructure model of Chute

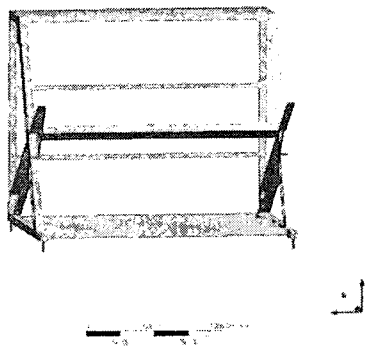

Fig. 11 Restructure model of Frame

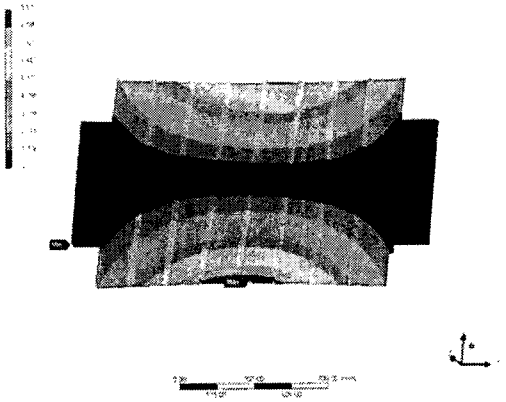

Fig. 12 2nd mode of Chute

Table. 7 Modes of Chute

Mode	Frequency (Hz)
1st	51.727
2nd	71.002
3rd	103.58
4th	115.09
5th	129.54

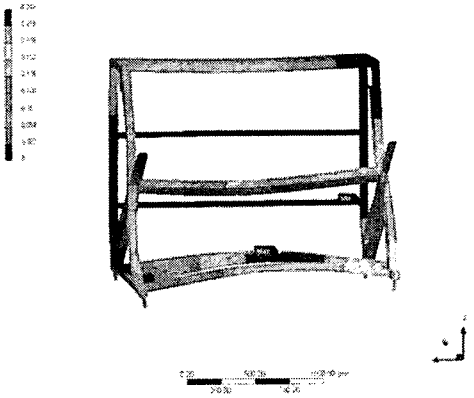

Fig. 13 4th mode of Frame

Table. 8 Modes of Frame

Mode	Frequency (Hz)
1st	26.237
2nd	39.971
3rd	42.621
4th	47.796
5th	49.643

4.2 구조 변경 후 Modal analysis

(1) Chute

Chute의 Base plate의 구조를 보강한 Model과 지지부를 보강한 Model의 Modal analysis를 수행한 결과를 비교했을 때, Base plate의 구조 변경은 Feeder의 가진 주파수(60Hz)를 벗어나지 못하였다. **Table. 7**은 Chute의 지지부를 보강한 Model의 Modal analysis 결과를 나타내고 있다. 전체적으로 Frequency range가 크게 높아지지는 않았지만, 앞에서 문제점으로 언급한 2nd mode의 frequency가 약 71Hz로 증가하면서 Feeder의 가진 주파수(60Hz)의 영향을 받지 않게 되었다. **Fig. 12**는 2nd mode의 변형형태를 보여준다.

(2) Frame

Frame 전면부에 기본적으로 보강재를 부착한 뒤, 후면부에 여러 가지 보강을 고려했다. 첫째로 후면부 가운데 부분에 한 개의 보강재를 결합한 경우. 두 번째로 **Fig. 11**과 같이 후면부 가운데 부분에 일정 간격을 유지하면서 두 개의 보강재를 결합한 경우. 마지막으로 후면부 가운데에 Cross 형태로 두 개의 보강재를 결합한 Model을 제작하였다. 세 가지 Model에 대하여 Modal analysis를 수행한 결과로, 첫 번째 Model과 세 번째 Model은 1st mode에서의 낮은 Frequency는 해결이 되었지만, 4th mode에서의 문제점은 극복하지 못하였다. **Fig. 13**은 두 번째 Model의 Modal analysis의 4th mode의 변형 형상이다. **Table. 8**의 결과를 보면 알 수 있듯이, 1st mode의 낮은 Frequency는 약 17Hz의 증가를 보였고, 4th mode의 Frequency는 Feeder의 가진 주파수(60Hz)를 피할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 CDD의 각 파트의 Model에 대한 연구와 성능에 영향을 미치는 Chute, Frame의 구조 보강 Modeling을 수행하고 이에 대한 Modal analysis를 통하여 개선 여부를 확인하였다. Chute와 Frame 모두 Feeder의 가진 주파수인 60Hz의 영역을 회피함으로써 CDD의 구동 시 성능이 향상될 것으로 보인다. 앞으로 Front optical box의 구조 개선과 전체 시스템에 대한 Modal analysis 및 Static analysis를 수행하여 CDD의 운반과정에서 생길 수 있는 Impact, Harmonic excitation 등에 대한 영향을 분석하고, 이에 따른 문제점을 개선하도록 하겠다.

참 고 문 헌

(1) Klaus, J. B., 1996, Finite Element Procedures, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey

(2) Leonard, M., 1997, Principles and Techniques of Vibrations, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey

(3) 신정규 등, 2003, "저속차량 차체의 구조해석 및 구조최적설계", 한국자동차공학회, pp. 68~78.

(4) D. J. Ewins., 2000, Modal Testing : Theory, Practice and Application, Research Studies Press LTD., Hertfordshire.

(5) C. Wang and J. C. S. Lai, 1999, "Vibration Analysis Of An Induction Motor", Journal of Sound and Vibration, pp. 733~756