

곡물선별기와 압전밸브

윤소남, 김동건 | 한국기계연구원

[요약문]

곡물선별기는 호퍼, 진동식 정량시료공급장치, 공급벨트 또는 슈트, 램프, 이미지 센서, 공기총, 제어장치로 이루어져 있고, 농산물 등의 제품속의 이물질이나 불량품을 선별해내는 장치로 최근의 국내외 식생활의 향상과 더불어 매우 부가가치가 높은 제품으로 평가받고 있다.

본고에서는 곡물선별기의 국내외 최신동향을 다루었으며, 곡물선별기에 있어 핵심부품인 이젝터 및 이젝터용 밸브를 집중적으로 조명하였다. 특히 솔레노이드 밸브를 대신하는 압전식 밸브의 타당성을 논하기 위하여 압전 액추에이터 설계/제작/실험결과 관련 정보를 수록하였다.

1. 서론

수확된 농산물은 주원료 이외에도 흙, 잔돌, 잡초, 씨, 지푸라기, 쇠붙이 등의 이물질이 포함되어 있다. 이물질은 농산물의 상품가치를 저하시키게 되며 저장 및 가공공정에서 주원료의 품질을 저하시킬 뿐만 아니라 가공제품의 수율 및 품질저하, 가공기계의 손상 및 능률저하 등 많은 문제점을 초래한다. 일반적으로 주원료 이외의 이물질을 제거하는 작업을 정선(cleaning)이라 하고 주원료를 등급별로 분류하는 작업을 선별(sorting)이라 하며 가공작업 후 미숙립, 썬미 등을 선별하는 경우는 분급(grading)이라고 한다. 실제작업에서는 정선과 선별이 동시에 이루어지는 경우가 많다.

곡물선별기는 1948년 영국 Sortex회사에서 세계 최초로 개발되었으며, 현재에는 일본, 한국 등 여러 회사에서 제작되고 있다. 곡물선별기는 쌀, 현미, 찰쌀, 흑미, 기장 등 곡물생산에 따라 발생하는 변색된 곡물(불량 곡물, 누, 야끼, 풀씨, 검불, 착색립 등)을 판별해 분리하는 첨단 RPC(Rice Processing Complex) 장비이다. 국내에는 1990년대 후반까지도 일본을 통해 전량 수입에 의존하였으나 현재는 여러 업체에서 국산화에 성공하여 사용 중에 있다.

곡물선별기의 핵심 부품으로는 변색된 곡물을 구별할 수 있는 이미지 센서와 구별된 곡물을 압축공기로 처리하는 밸브와 공기총이 있다. 핵심부품 중에서 곡물선별기에 적용하여 사용 중인 밸브는 고속이면서 작동 수명이 길어야 하는 사용 조건을 갖는다. 이러한 조건을 수용하면서 보편화된 액추에이터로는 솔레노이드를 꼽는다. 하지만, 솔레노이드는 소비전력이 크며, 열이 발생하는 문제점을 갖고 있다. 이 문제점을 해결함과 동시에 사용 조건을 만족시킬 수 있는 액추에이터로는 압전 액추에이터가 논의되고 있다.

본고에서는 곡물선별기의 구조와 작동원리 및 국내외 동향을 살펴보고 곡물선별기에서 사용중인 솔레노이드 밸브와 압전 밸브를 비교 분석하고자 한다. 또한, 제작된 곡물선별기용 압전액추에이터의 특성을 저자의 연구실과 경원웨어이트공업(주)에서 수행된 힘, 변위 및 주파수 특성 실험결과를 제시하여 밸브에 적용 가능성에 대해서도 고찰하고자 한다.



2. 곡물선별기 구조와 동작원리

영국에서 최초로 사용되기 시작한 곡물선별기는 공산품, 농산물 등의 제품속의 이물질이나 불량품을 선별해내는 장치이다. 최근 PL법 등의 강화로 인해 이러한 이물질, 불량품을 가려내는 작업이 더욱 중시되고 있다.

2.1 곡물선별기의 구조

곡물선별기의 구조는 그림 1과 같이 호퍼, 진동식 정량시료공급장치, 공급벨트 또는 슈트, 램프, 이미지 센서, 공기총, 제어장치로 구성된다. 이송장치가 슈트일 경우 20~30채널당 1개 공급장치를 사용하여 1, 2차 선별에 적합한 물량을 조절하며, 먼선별 방식은 벨트의 속도로 공급량을 조절하게 되어 있다. 슈트의 재질은 알루미늄 테프론을 코팅하여 사용한다. 광원은 일반적으로 특수형광등과 할로겐등을 사용하고 있다.

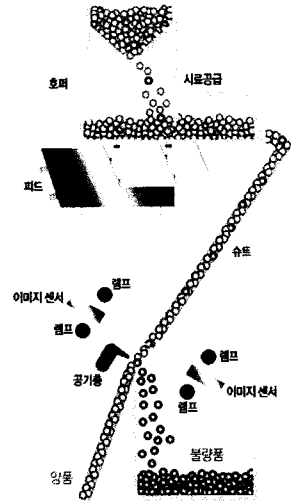


그림 1. 곡물선별기의 개략도

2.2 곡물선별기의 동작원리

곡물선별기의 원리는 선별물이 진동식 정량시료공급장치에 의하여 일정량 슈트를 통해 상단에 떨어진다. 그리고 선별물은 슈트(Chute) 하단의 일정한 지점에서 조사(照射)되고 있는 램프(Lamp)를 지나게 되며, 이때 투과 반사되는 빛의 양을 이미지 센서(Sensor)가 인지한다. 한편 제어장치는 선별물의 종류에 따라 이미 기억된 기준값을 비교색판(Background Plate)으로 비교하여 그 범위를 벗어나는 착색립자를 순간적으로 센서가 공기총(Air Ejector)을 작동시켜 착색립을 분리 제거 시킨다. 백미의 경우는 착색 여부에 따라 반사도가 다르게 나타나고, 전·후 센서에 의해서 판단된 착색립이나 이물질 등은 불량미로 판단되어 공기총(압축공기 배출기)에서 나오는 압축공기로 불어냄으로 정백미로부터 분리된다. 곡물선별기의 심장부 중의 하나인 검출장치는 포토레지스터(PD)와 전하결합소자(CCD)가 많이 사용되고 있다.

PD 방식은 PN접합에 빛이 조사되면, 전위차가 발생하는 광기전력효과를 이용하는 방식의 포토센서이다. 곡물선별기에 적용되는 원리는 피선별 물체에서의 반사광 또는 투과광을 감지하면 발생하는 전류치의 변화를 이용하여, 피선별물을 구분하는 것이다. PD 방식의 특징은 형태를 적절히 설계하면, 피선별물의 속도에 비해 비교적 용이한 응답속도를 구할 수 있다는 것이다.

CCD는 전하결합소자란 뜻으로, 기본적으로 아날로그 소프트웨어 레지스터이다. 수광부는 빛을 받아서 전기신호로 변환시키는 역할을 하는 광전변환기능을 가지고 있으며, 주로 포토다이오드 또는 MOS형식이 사용되어지고 있다. CCD 라인센서는 크게 두 가지 요소에 의해 성능이 좌우된다. 그 첫 번째는 CCD의 화소수이고, 이는 CCD 라인센서의 관찰 범위를 결정한다. 두 번째 인자는 CCD 카메라의 셔터속도이다. 이는 스캐닝을 하는 속도를 의미한다. 따라서 곡물선별기의 CCD 라인센서의 성능은 피선별물, 피선별물 상의 불량부위의 크기 및 피선별물의 이동 속도 등에 의해 결정된다. 그림 2에 PD를 사용하여 색채를 검출하는 방식과 CCD를 사용하여 검출하는 방식의 개략도가 나와 있다¹⁾.

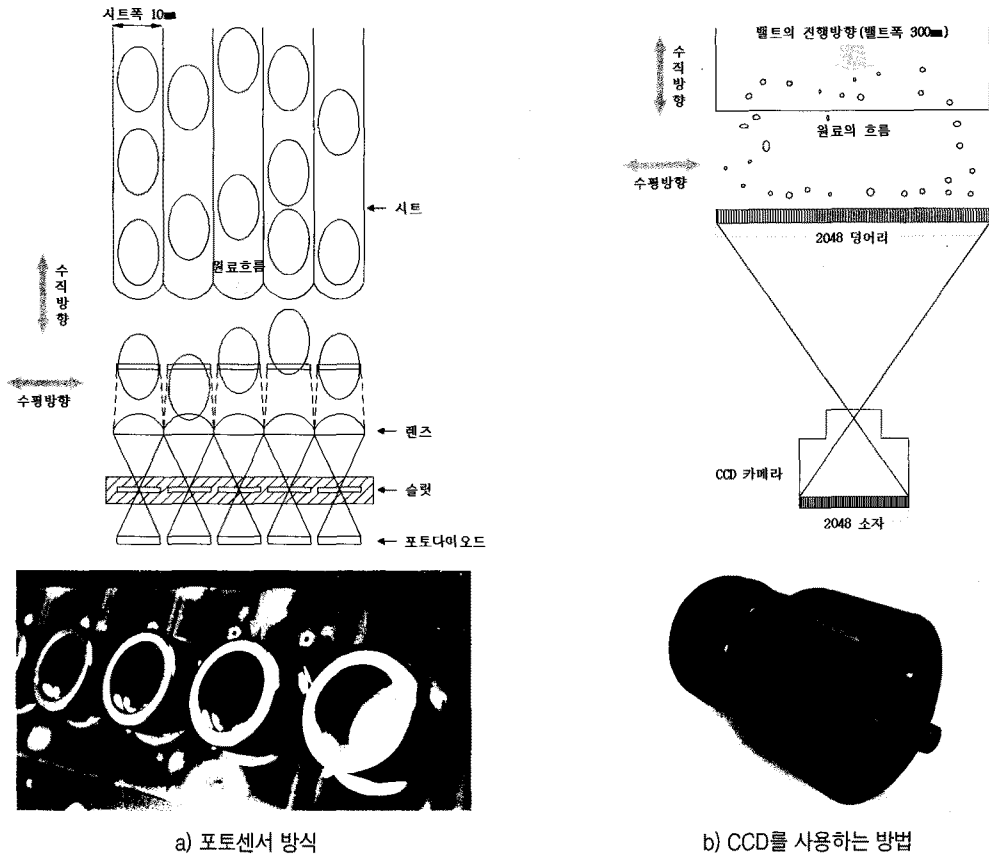


그림 2. 곡물선별기에 사용되어지는 검출 방식

이와 같이 검출부에서 양품과 불량품을 구분하게 되면, 배제부에서 둘을 구분하게 된다. 곡물선별기에서 배제부는 공기를 이용한 이젝터라 불리는 공기총을 주로 사용한다. 이젝터 밸브를 고속 개폐하여 압축공기를 불량품에 분사하여, 양품과 불량품의 낙하궤도를 다르게 하여 선별하게 된다. 이 때, 이젝터 밸브는 주로 솔레노이드 밸브를 사용하게 된다. 그림 3에 곡물을 선별하는 과정의 모식도가 나와 있다. 그림 3에는 슈트를 통해 흘러나오는 쌀을 4대의 CCD 카메라로 그 색깔을 구분하여, 솔레노이드 밸브 방식 공기총을 이용하여 고르는 모습을 보여주고 있다. 여기서 사용되는 공기총, 즉 제거부는 크게 3가지 형태의 것들이 사용되어지는데, 그것을 살펴보면, 표 1에 나와 있듯이, 솔레노이드를 이용한 이젝터 방식, 흡수방식, 댐퍼방식 등이 있다. 이젝터 방식은 고압의 공기를 개폐하여 공압을 분사하는 것이고, 흡수 방식은 그와 반대로 공기를 흡입하여 불량미를 고르는 방식이다^[2].



그림 3. 곡물선별기 검출 원리



표 1. 제거부의 방식과 특징

방식	특징
이젝터 방식 (솔레노이드)	- 적용범위가 넓음. - 개별적인 제거가 가능. - 공기를 이용하여 피선별물의 중량에 따른 제거가 가능함.
흡수방식	- 피선별물의 낙하궤도가 불안정한 경량물에 사용
댐퍼방식	- 불순물의 확실한 제거가 가능. - 고속에는 적절하지 않음.

3. 곡물선별기 국내외 동향

현재 국내에 보급되어 있는 곡물선별기는 7개 정도이며 처리능력은 쌀의 경우 시간당 0.3~5톤 정도이며, 채널을 기준하면 10~120 정도가 보급되고 있다. 그리고 최근에는 콩 등의 두류용 곡물선별기, 과일용 색상 선별기 등 이용 분야가 늘어나고 있다.

한국의 곡물선별기 제조업체는 거의 중국에 진출한 것으로 보고되고 있으나, 센서 등 핵심부품을 공급하는 업체인 경우에는 진출한 업체가 극히 적은 것으로 나타나고 있다. 중국의 경우 6~7년간의 곡물선별기의 기술도입, 제조과정을 거쳐 어느 정도 제조기술을 가지고 있는 업체들이 나타나고 있다. 하지만 핵심부품 개발능력이 없어 수입에 의존하고 있는 상황이다.

말레이시아에서 대원 GSI의 제품은 영국제품보다 1.5배정도 낮은 가격으로 가격경쟁력을 확보하고 있으며, 중국에서 제조된 일본 브랜드는 대원 제품보다 30% 저렴하지만 성능 면에서 대원 GSI가 우수하다는 평가를 받고 있다. 또한, 융통성 있는 결제 수단과 할인 제공, 현지 업체들과 광범위하고 친밀한 네트워크가 형성되어 경쟁력을 확보한 것으로 알려져 있다^[3].

표 2. 곡물선별기 국내·외 생산업체

제작업체	형식	채널수	이용분야	비고
대원GSI	채널	3~60, 90	곡물	한국
(주)에이맥스	채널	-	곡물	한국
한아시스템	채널	-	곡물	한국
(주)우성나노테크	채널	-	곡물	한국
안자이	채널	48, 60, 90	곡물, 산업용	일본
사다께	채널	40, 60, 80	곡물	일본
햏도리	채널	48, 60, 80	차	일본
도요	채널, 면	46, 66	곡물	일본
ESM	채널	80	곡물	미국, 일본
SORTEX	채널	40	곡물	영국

곡물선별기의 최대 수입 지역은 쌀을 많이 생산하면서 소비하는 동남아시아 지역이다. 이 중에서도 태국은 농업이 국가경제에 중요한 위치를 차지하는 농업 국가이며, 전 세계에서 쌀을 가장 많이 수출하는 나라이다. 2008년 기준으로 태국의 전체 쌀 수출은 1,000만 톤에 금액은 62억 달러에 달하며, 태국의 연간 쌀 생산량은 약 3,000만 톤이다. 태국정미소연합회(Thai Rice Mills Association)에 등록된 정미소는 약 1,600개에 이르며, 연합회에 가입되지 않은

300개의 정미소가 추가로 존재하며, 이들 중 약 60%가 곡물선별기를 사용하는 것으로 파악되고 있다.

태국의 색채선별기 수입은 2008년 기준으로 1,250만 달러 규모이며, 영국에서 수입이 560만 달러로 가장 크며, 한국은 270만 달러로 2위를 기록하였다. 표 3은 태국의 곡물선별기 국가별 수입실적을 나타낸 자료이다.

표 3. 태국의 곡물선별기 국가별 수입실적

[단위 : 백만 달러]

순위	국가	2007	2008	2009(1~8월)
1	영국	7.1	5.6	6.9
2	한국	2.5	2.7	2.7
3	일본	1.8	2.3	0.6
4	대만	0.0	0.1	0.4
5	중국	0.4	0.5	0.3
6	스웨덴	-	-	0.2
7	덴마크	0.3	0.1	0.1
8	미국	0.2	0.0	0.1
합계		12.6	12.5	11.4

현재 태국의 곡물선별기 시장에는 다섯 개의 주요 브랜드가 경쟁을 벌이고 있으며, 현황은 표 4에 나타낸 것과 같다.

표 4. 태국의 곡물선별기 주요 브랜드

순위	업체명	브랜드명	시장점유율	국가명
1	Mextex Engineering Co., Ltd.	Sortex	50	영국
2	Charoen Pokphand Engineering Co., Ltd.	Satake	30	일본
3	Daewon GSI(Thailand) Co., Ltd.	Daewon	20	한국
4	IDR System(Thailand) Co., Ltd.	Ideal System		한국
5	Tongchang Packing Machine(Thailand) Co., Ltd.	Yamatec		일본

2009년도에 일본 엔화 강세로 인하여 일본산 Satake는 영국의 Sortek에 비해 가격경쟁력이 저하 되었다. 태국에서 곡물선별기가 생산이 되고 있으며, 태국산 곡물선별기는 수입제품보다 약 40%정도 더 저렴하기 때문에 2009년도부터 태국에서의 곡물선별기 수입실적이 조금씩 줄어드는 것으로 나타나고 있다. 이에 반해 영국과 한국은 꾸준하게 성장하고 있으며, 한국산 제품은 Daewon과 Ideal System이 태국에 진출했으며 최근에 ATS 브랜드가 현지 유통업체를 통해 제품 판매를 시작하였다. 외국산 제품의 경우, 여러 종류의 쌀을 동시에 골라낼 수 있으나 한국산 제품은 한번에 한가지 종류의 쌀만 선별한다는 문제점을 갖고 있어 이 문제점을 해결하여 경쟁력을 높일 필요가 있다.

4. 곡물선별기용 솔레노이드 및 압전밸브 비교

곡물선별기에서 배재부는 공압시스템을 사용하고 있다. 이들을 제어하기 위하여 가장 많이 사용되고 있는 것이 공압밸브인데, 이들은 유입되는 유체를 차단/개방시키는 역할을 한다. 생활주변에서 밸브는 손으로 직접 개폐를 하기도 하지만 산업분야에서는 전기공급 시 운동을 일으키는 액추에이터를 사용하여 밸브를 동작시킨다. 현재 가장 많이 사용하고 있는 액추에이터로는 솔레노이드방식을 들 수 있다. 이 솔레노이드방식의 액추에이터는 우리가 초등학교시절에 배웠던 전자석의 원리를 이용한 것으로 전기 신호가 인가되면 고정자와 구동자 사이에 자계가 형성되어 구동자를



끌어당기게 된다. 이때 이 움직이는 부분의 끝단에 유체포트를 설치하게 되면 유체를 차단시키거나 통과시키게 되어 밸브로써 동작하게 된다. 솔레노이드 방식은 현재 대부분의 액추에이터로 사용되고 있으며 생산설비가 보편화되어 단가도 저렴한 편이다. 그러나 솔레노이드 방식은 에너지 과소비의 단점을 가지고 있기 때문에, 현재 동일한 성능을 나타내며 에너지문제를 해결할 수 있는 고속·고성능 관련 연구가 활발히 이루어지고 있다.

솔레노이드는 교류 솔레노이드와 직류 솔레노이드 두 가지로 나뉘게 되며, 곡물선별기용 솔레노이드밸브는 직류 솔레노이드를 적용하여 사용하고 있다. 표 5는 교류 솔레노이드와 직류 솔레노이드의 장단점을 비교한 것이다. 표 5에 나타낸 것처럼 교류 솔레노이드보다 전력소모가 적으면서 내구성이 우수한 직류 솔레노이드가 곡물선별기용 밸브로 채택되었다. 국내의 곡물선별기 생산업체는 대원 GSI, (주)에이맥스, 한아시스템, (주)우성나노테크, IDR System 등이 있으며, 곡물선별기에 사용되는 솔레노이드 밸브는 주로 일본 제품이 주를 이룬다. 기존의 국내 곡물선별기 회사들은 주로 일본의 FESTO, SMC에서 생산되는 솔레노이드 밸브를 사용하고 있으며, 최근 들어서는 몇몇 국내 중소기업들에 의해 생산되는 솔레노이드를 사용하기도 한다. 하지만, 이러한 중소기업들이 생산하는 제품들은 정확한 이론적 해석이 배제된 상태로 생산되므로, 기존의 외국 제품에 비해서 성능이 떨어지고, 특히, 큰 소비전력과 온도상승에 문제가 있는 것으로 보고되고 있다.

표 5. 솔레노이드 밸브의 장·단점

	교류 솔레노이드	직류 솔레노이드
장 점	<ul style="list-style-type: none"> - 개·폐시간이 짧음 - 흡인력이 큼 - 스파크 억제회로가 필요 없음 - 정류기가 필요 없음 	<ul style="list-style-type: none"> - 쉽게 동작 시킬 수 있음 - 전력소모가 작음 - 내구성이 좋음 - 소음이 작음
단 점	<ul style="list-style-type: none"> - 기계적 응력이 큼 - 수명이 짧음 - 개·폐 주지가 제한됨 	<ul style="list-style-type: none"> - Off시 과전압이 발생함 - 스파크 억제 회로가 필요함

색채선별기에 사용되는 솔레노이드 액추에이터는 가동자의 변위가 비교적 길고, 코일을 감는 방식만으로도 쉽게 큰 흡인력을 얻을 수 있으며, 내구성이 우수한 특성을 지니고 있으나, 비교적 큰 소비전력을 필요로 하고, 흡인력 특성이 사용온도에 의해 변하는 단점이 있다. 색채선별기는 주로 쌀을 주식으로 하는 동남아시아 지역에서 사용되고 있으며, 이 지역은 주위온도와 습도가 매우 높기 때문에 온도변화에 따라 특성이 달라지는 솔레노이드를 사용하는 데는 많은 문제점이 있다. 심지어는 온도 상승으로 인하여 솔레노이드 액추에이터가 작동 불량인 사례도 보고되고 있다. 따라서 색채선별기 산업 관련 종사자들은 솔레노이드 액추에이터의 온도 변화에 따른 흡인력 변화량을 줄이는 연구로 코일 및 재료 관련 연구들을 하고 있으며, 작동시의 온도 상승 요인을 찾아 이를 개선하는 연구들이 이루어지고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 개선하기 위한 방법 중 한가지로 솔레노이드를 대체할 수 있는 압전 액추에이터를 이용한다면 문제점에서 벗어날 수 있을 것이다.

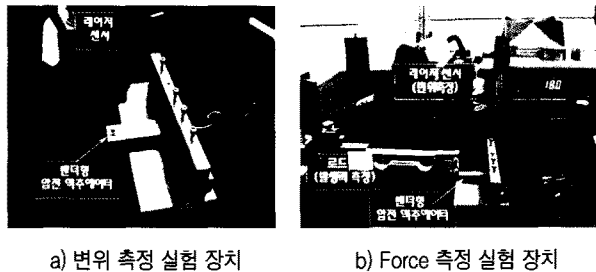
공압식, 유압식 액추에이터는 기계적인 동작특성에 의존하기 때문에 10 μ m이하의 미소변위를 제어하기에는 정밀성의 한계를 안고 있다. 하지만 최근 들어 비교적 큰 변위량을 가지며 소형경량인면서 낮은 전압에서 변위량의 정밀도가 매우 높은 압전 세라믹스 재료를 사용한 압전 액추에이터가 개발되어 정밀 계측산업, 우주항공 분야에 이르기까지 폭 넓게 이용되고 있다. 압전 액추에이터는 전계에 의해 유기되는 압전체의 변형 특성을 이용하므로 기계동작 방식에 비해 동작시간이 0.1ms정도로 매우 짧고, 변위 정밀도가 0.01 μ m정도로써 미세영역에서의 위치 제어 능력이 매우 뛰어난 특성을 갖고 있다. 또한, 온도변화에 따른 흡인력 변화량이 거의 없으며, 소비전력은 솔레노이드에 비해 100분에 1 정도로 적은 소비전력에서도 구동이 가능하다는 장점을 갖는다.^[4]

압전 액추에이터로 제작된 압전 밸브를 곡물선별기에 적용하게 된다면 솔레노이드 밸브에서 발생되었던 문제점을

모두 해결하여 동남아시아와 같이 온도변화가 심한 곳에서도 오동작이 발생하지 않을 뿐만 아니라 슬레노이드 방식 보다 응답속도가 향상된 곡물선별기용 압전밸브를 사용할 수 있을 것이다.

5. 제작된 곡물선별기용 압전 액추에이터의 특성

본 장에서는 곡물선별기용으로 제작된 압전 액추에이터의 특성을 알아보기 위하여 레이저 변위 센서와 로드셀 및 주파수특성분석기를 이용하여 입력 전압별 압전 액추에이터의 변위와 입력 전압별 Force 및 입력 신호의 주파수에 따른 dB와 위상각을 측정하였다. 그림 4에 a)는 입력 전압별 압전 액추에이터의 변위를 측정하기 위한 실험 장치이며, b)는 입력 전압별 Force를 측정하기 위한 실험 장치이다.



a) 변위 측정 실험 장치 b) Force 측정 실험 장치

그림 4. 변위 및 Force 측정 실험 장치 모습

그림 5와 6은 그림 4의 실험 장치에 의해서 얻어진 변위 및 Force 측정 실험결과를 나타낸 것이다. a)의 Type 1인 경우 압전 액추에이터의 크기는 $25 \times 6.5 \times 0.7 \text{mm}$ 이며 입력전압이 120V일 때 약 $280 \mu\text{m}$ 의 변위가 발생하였다. 이때의 Force는 0.87N이 발생하는 것으로 나타났다. b)의 Type 2인 경우 압전 액추에이터의 크기는 $45 \times 11 \times 0.6 \text{mm}$ 이며 입력전압이 90V일 때 약 $1,107 \mu\text{m}$ 의 변위가 발생하였으며, Force는 0.49N이 발생하는 것으로 나타났다. c)의 Type 3인 경우 압전 액추에이터의 크기는 $60 \times 18 \times 0.6 \text{mm}$ 이며 입력전압이 90V일 때 약 $1,964 \mu\text{m}$ 의 변위가 발생하였으며, Force는 0.42N이 발생하는 것으로 나타났다.

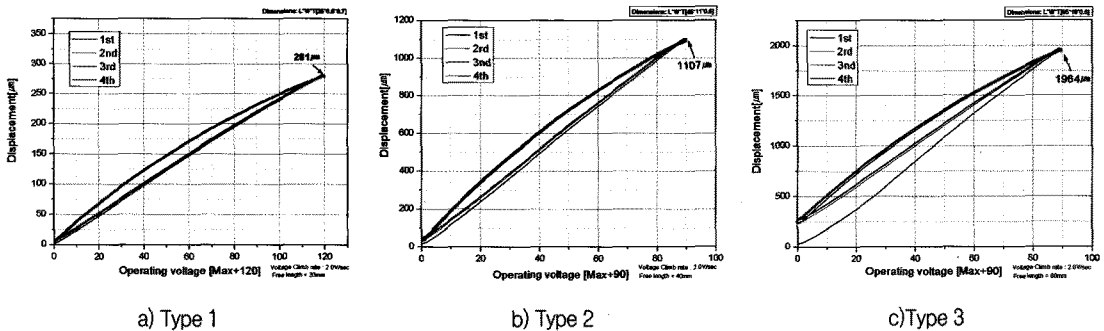


그림 5. 변위 측정 실험결과

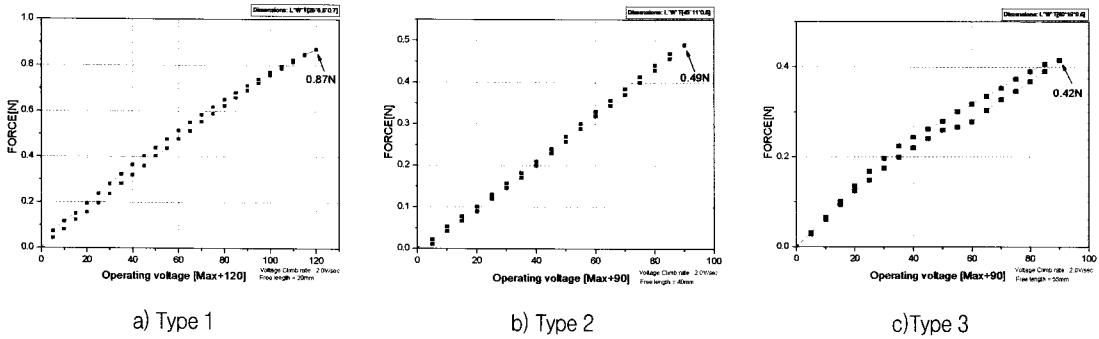


그림 6. Force 측정 실험결과

그림 7은 입력 신호의 주파수에 따른 dB와 위상각을 측정하기 위한 실험 장치이다.

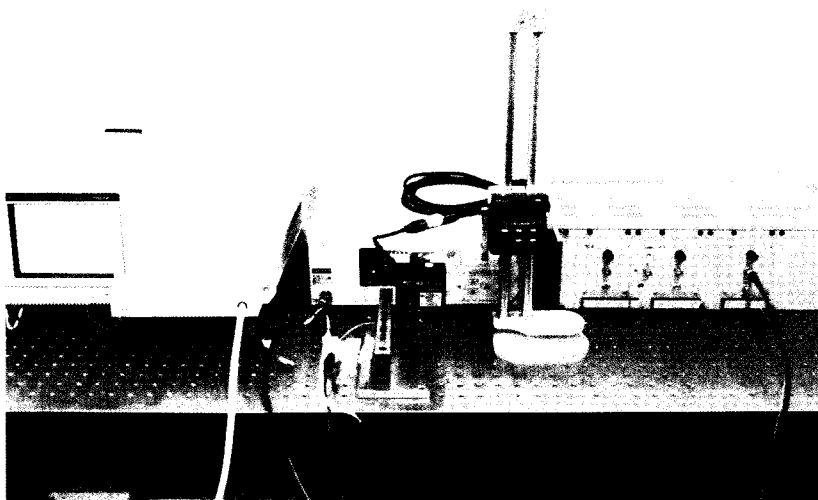


그림 7. 주파수응답분석 실험 장치

그림 8은 주파수응답분석기에 의해 얻어진 실험결과와 지그에 장착된 압전 액추에이터를 나타낸 것이다. a)는 지그에 장착된 압전 액추에이터이며, 압전 액추에이터의 크기는 30.9×9.5×0.9mm이며 자유길이는 모두 26.9mm로 실험을 수행하였다. b), c), d)는 각각 샘플 #1, #2, #3로 지정하고 입력 전압을 70V Sine파로 입력 주파수 1Hz~1kHz 까지 입력시켰을 때의 주파수 응답특성 실험 결과이다. b)에 #1인 경우 약 251Hz, c)에 #2인 경우 275Hz, d)에 #3인 경우 269Hz까지는 압전 밸브에 적용할 수 있음을 확인하였다.

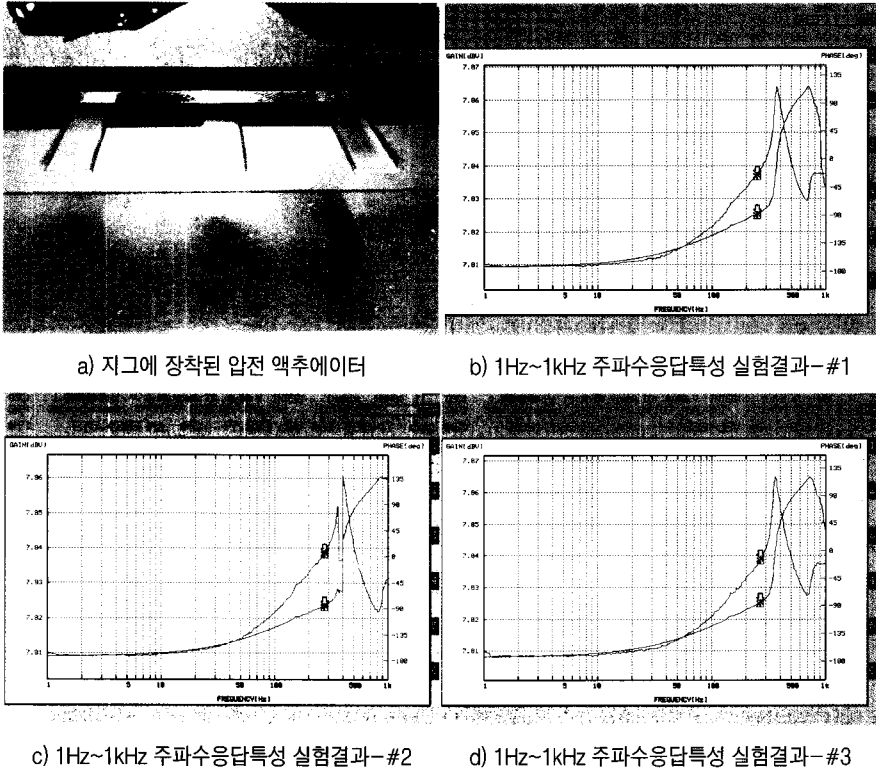


그림 8. 지그에 장착된 압전 액추에이터와 주파수응답특성 실험결과

6. 결 론

지금까지 곡물선별기에 구조와 구동원리에 대해서 알아보고 솔레노이드와 압전 밸브에 대해서 살펴보았다. 곡물선별기는 쌀뿐만 아니라 여러 곡물의 불량품과 양품을 구별할 수 있는 시스템이며, 이 시스템의 시장전망은 세계적으로 쌀과 여러 곡물의 수요가 늘어남에 따라 커질 것으로 관측되고 있다. 따라서 곡물선별기의 핵심부품인 이미지 센서와 공압밸브 및 공기총에 대한 설계기술 및 가공기술에 대한 기술적 우위를 선점해야 할 필요가 있다. 그 일환으로 현재 사용 중인 공압밸브는 솔레노이드 방식으로서 큰 소비전력과 온도변화에 따른 오동작이 발생하는 문제점이 지적되고 있어 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 온도변화에 따른 오동작이 발생하지 않고 적은 소비전력으로 구동할 수 있는 압전 액추에이터를 밸브에 넣은 방식인 압전 밸브로 대체하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 만약에 압전 밸브 기술들이 해결되면 미래 곡물선별기에 새로운 자리 매김을 할 것으로 사료된다.

❁ 참고 문헌

- [1] Choon-Young Lee, Lei Yan, Sang-Ryong Lee and Cheol-Woo Par, “색채선별기 곡물 이미지 가시화 및 선별기법에 관한 연구”, 한국가시화정보학회지, Vol. 6, No. 2, pp.20-27, 2008.
- [2] <http://blog.daum.net/hanasorter/2491702?srchid=BR1http%3A%2F%2Fblog.daum.net%2Fhanasorter%2F2491702>



- [3] 양은영, 최정은, 김경미 외 18명, “세계시장을 누비는 한국의 강소제품들”, Korea Trade-Investment Promotion Agency, pp.1-44, 2009.
- [4] 윤소남 and 김찬용, “전-공(電-空) 레귤레이터 기술”, C&I, pp.10-15, 2008.



윤 소 남

- 한국기계연구원 그린환경에너지기계연구본부 에너지기계연구실 책임연구원
- 관심분야 : 스마트 디바이스, Energy Harvesting, PZT Valve
- E-mail : ysn688@kimm.re.kr



김 동 건

- 한국기계연구원 그린환경에너지기계연구본부 에너지기계연구실 위촉연구원
- 관심분야 : Energy Harvesting 기술, 계측제어
- E-mail : dgkim82@kimm.re.kr