

# 에어밸런서 공압 회로의 설계 및 성능 실험

## Pneumatic circuit design and Performance test of Air balancer

김동수 · 배상규  
D. S. Kim and S. K. Bae

**Key Words** : Air balancer(에어밸런서), Pilot regulator(파일럿 레귤레이터), Relief valve(릴리프밸브), Torque(토크), Load sensing(부하감지), Ball screw(볼스크류)

**Abstract** : Air balancer is a conveyance cargo-handling machine, used in assembly and process lines of car and machining industries. This can lift up an object, the weight of which is from 5 to 200 kg, and moves it to a position. As industrial technologies evolve, it is required to move an object and fit it into a specified position with greater accuracy, rather than performing simple tasks such as lifting objects up and down as conventional ones do. There is also a demand to handle an object with one hand, rather than with two hands. Through designs of manifold unit for an air balancer function, pilot regulator unit to keep pressure constant, hand unit for an accurate load perception function, and air balancer circuit, this study enables everybody to work it with ease and convenience. Experiments and comparisons were conducted for the performance evaluation of the circuit.

### 기호 설명

- $T$  : 출력 토크
- $\eta$  : 효율
- $D$  : 에어밸런서 튜브 내경
- $d$  : 나사부 직경
- $p_1, p_2$  : 공급 및 배기압력
- $\mu$  : 나사의 마찰계수
- $l$  : 나사의 피치
- $P_c$  : 크래킹 압력
- $P_s$  : 릴리프 압력
- $P_o$  : 파일럿 압력
- $A_1$  : 다이어프램의 수압면적
- $A_2$  : 밸브 시트의 면적

### 1. 서 론

에어밸런서(Air balancer)는 자동차 조립라인 및 기계 가공라인 등에서 5~200kg 정도의 물체를 들어

올려서 조립 및 가공에 필요한 위치로 이동시키는 일에 많이 이용되는 운반하역기계이다. 산업기술의 발달과 더불어 운반 및 하역기계도 단순히 들어 올리고 내리는 기능에서 이제는 원하는 위치에 정확히 이동, 장착시키는 기능과 기존 두 손을 이용해 물체를 핸들링 하던 시스템에서 한 손으로 보다 더 쉽게 작업을 할 수 있도록 하는 시스템이 이미 해외 선진국에서는 도입되고 있다. 하지만 국내에는 이러한 기능까지 할 수 있는 에어밸런서의 정밀 위치제어 시스템이 없는 실정이며, 이러한 핵심 기술개발에 필요성을 느끼고 여러 가지로 검토를 하고 있지만 시스템 해석, 안정된 시스템 엔지니어링 등을 고려한 보다 체계적인 제품의 기술개발에 어려움을 겪고 있다. 또한, 다품종 소량생산에 적합한 핸들링 시스템 및 여러 종류의 작업물체의 빠른 시간에 작업할 수 있는 하중 감지능력, 작업 운반 장소에 대한 위치 제어 기능, 작업자의 노동 강도를 최소화하는 부드러운 핸들링 시스템 요구 등 다양한 사용자의 요구가 증가되고 있는 실정이다.

세계적으로 핸들링 시스템의 시장은 자동차 산업, 반도체 및 가전제품 시장의 확대에 따라 매년 급성장하고 있는 추세에 있고, 선진산업의 생산체제는 다품종 소량 생산 시스템화와 숙련된 기능 인력감소

---

접수일 : 2006년 8월 1일  
 김동수(책임저자): 한국기계연구원 정보장비연구센터  
 E-mail : kds671@kimm.re.kr, Tel : 042-868-7152  
 배상규 : 한국기계연구원 정보장비연구센터

추세에 대처할 수 있도록 기술·정보를 생산 시스템과 통합하고 통제하는 지능화, 자율화 되어 가고 있다. 따라서 작업자의 안전성, 편리함, 신속성, 효율성을 동시에 만족할 수 있는 에어밸런서 시스템이 필요하다.<sup>1~2)</sup>

따라서 본 연구에서는 에어 밸런싱 기능을 위한 매니폴드 유닛 설계 기술, 일정압력을 유지할 수 있는 파일럿 레귤레이터 유닛 설계 기술, 고 정밀 하중 감지기능의 핸드유닛(hand unit) 설계 기술 및 에어 발란서 회로설계 기술 등을 통하여 편리한 작업성은 물론 누구나 쉽고 편리하게 사용할 수 있도록 회로 구성을 하고 실험을 통하여 성능을 비교 분석하고자 한다.<sup>3)</sup>

## 2. 에어밸런서의 개요

### 2.1 에어밸런서의 구조

Fig. 1은 에어밸런서의 구조를 나타낸 것으로 볼스크류, 피스톤, 로프, 몸체로 구성되어 있다. 볼스크류는 앤드 캡(B)와 앤드 캡(M)에 걸쳐 두개의 볼트에 의해 고정되며, 두개의 핀이 볼스크류의 끝부분 홈에 끼워져 볼스크류가 회전하지 못하도록 연결되어 있다. 릴, 볼 너트와 볼스크류에 부착되어 있는 트러스트 베어링으로 구성된 릴 어셈블리는, 트러스트 베어링에 접촉된 피스톤과 함께 앞뒤로 움직이게 되어 있다. 또한 외부 컨트롤 패키지에 의해 공급되는 압축공기는 앤드 캡의 싱글 홀을 통해 피스톤 챔버로 유입되고 배출된다. 이 압축공기는 피스톤을 바깥쪽으로 이동하게 하며, 바깥쪽으로 이동된 피스톤에 의해 트러스트 베어링이 볼스크류의 바깥쪽을 따라 움직이면서 릴을 회전시켜 와이어 로프를 감아올리게 된다. 반대로 피스톤 챔버를 통해 대기로 공기가 배출되면 내려가게 된다. 에어밸런서는 압축공기를 동력원으로 하여 경하중의 중량물을 들어 올려서 필요한 위치로 이동시키는 운반하역기계이다.

### 2.2 에어밸런서의 이론적 배경

#### 2.2.1 볼스크류 설계이론

에어밸런서 메커니즘내의 구조는 압축공기에 의한 피스톤의 전·후진 직선운동시 볼스크류를 감싸고 있는 볼 너트와 연결된 릴이 회전함으로써 로프를 상하로 작동시키고 있다. 에어밸런서 몸체에 부착된 볼스크류에 미치는 토크는 에어밸런서 부하 하중을

결정하는 중요한 인자가 된다. 따라서 에어밸런서에 장착된 볼스크류에 미치는 토크 계산은 아래와 같다.

$$T = \eta \frac{d}{2} \left( \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) (P_1 - P_2) \right) \frac{l \mu \pi d}{\pi d + \mu l} \quad (kg_f \cdot cm) \quad (1)$$

여기서  $T$ 는 출력토크,  $\eta$ 는 효율,  $D$ 는 에어밸런서 튜브 안지름,  $d$ 는 나사부 지름,  $p_1, p_2$ 는 공급 및 배기 압력,  $\mu$ 는 나사의 마찰계수,  $l$ 은 나사의 피치를 나타낸다. 토크 계산을 통하여 에어밸런서의 허용 용량을 구하는 기준이 된다.

#### 2.2.2 압력유지용 파일럿 릴리프밸브 설계이론

파일럿 레귤레이터는 공기압 회로내의 압력을 제어하는 것으로써 내부압력과 유로압력을 동일하게 하여 진공상태를 만들 수 있으며, 이 진공상태를 유지함으로써 에어밸런서의 중요 기능인 플로우팅 기능을 할 수 있다. 공기압 시스템의 작동 안전성 내구성 및 에너지 절약을 목적으로 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 정확한 압력비를 설계하기 위하여 파일럿형 릴리프밸브의 설계이론식을 다음과 같이 정의한다.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_s}{P_c} = \frac{A_1 - A_2}{A_2} = 1 - \frac{A_2}{A_1} \quad (2)$$

여기서  $P_c$ 는 크래킹 압력,  $P_r$ 은 리셋 압력,  $P_o$ 는 파일럿 압력,  $A_1$ 은 다이어프램의 수압면적,  $A_2$ 는 밸브시트의 면적을 나타낸다.

릴리프밸브의 특징은 밸브체 개폐시의 크래킹압력과 리셋의 비가 다이어프램 수압면적의 비와 같고, 다이어프램 수압면적이 밸브 시트의 면적보다 클 때에는 릴리프 밸브 개폐의 차압은 작아진다. Fig. 2는 파일럿 릴리프밸브의 형상을 나타낸다.

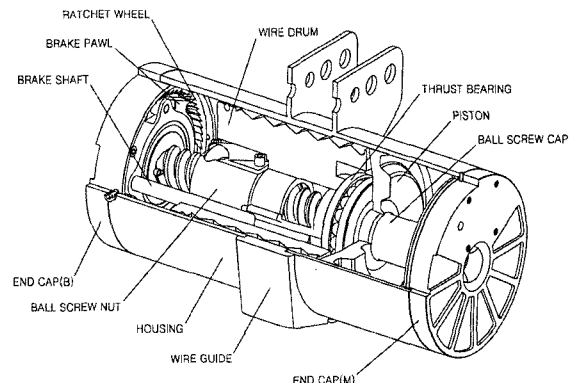


Fig. 1 Structure of air balancer

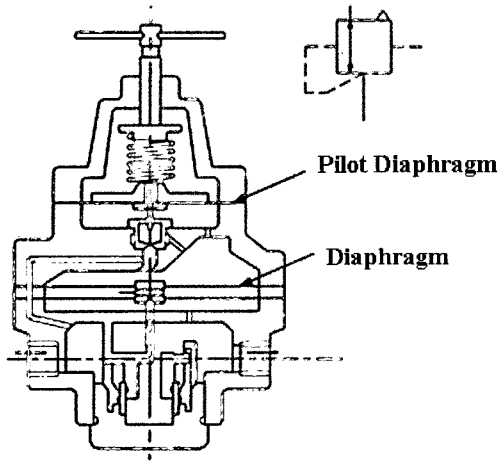


Fig. 2 Schematic of pilot operated reducing valve

### 3. 하중감지 회로 설계

#### 3.1 하중감지 회로도 설계

회로도의 구성은 FRL유닛과 유량조절밸브, 파일럿 밸브, 체크 밸브, 작동 밸브, 파일럿 레귤레이터로 구성되어 있다. 파일럿 밸브가 오픈되어 있는 상태에서 플로우트 스위치를 누르면 작동 밸브가 열리게 된다. 이에 따라 필터 레귤레이터로 공급되는 공압이 진공 파일럿 밸브로 이송되고 이 압력에 의해 파일럿 밸브가 열린다. 레귤레이터로부터 공급되는 공기압은 진공 파일럿 밸브를 거쳐 일반 파일럿 밸브 위치를 변환시킨다. 파일럿 밸브가 열려 있을 때 작업물체를 들어올리기 위한 에어밸런서의 내부압력과 평행을 유지하기 위해서 작동밸브와 파일럿 밸브 및 파일럿 레귤레이터 사이의 유로에 에어밸런서 내부 압력과 동일한 압력으로 압력이 차 있게 된다. 그리고 파일럿 밸브를 닫으면 파일럿 밸브와 레귤레이터의 사이에 에어밸런서의 내부압력이 차 있게 되고 이 내부 압력이 곧 파일럿 레귤레이터에 대한 작업물체의 세팅 압력이 자동적으로 이루어지게 된다.

이렇게 하여 작업자가 원하는 높이나 속도로 작업물체를 자유롭게 상·하로 이동시킬 수 있게 되는데, 작업물체를 내릴 때에는 에어밸런서 내부 압력 상승량만큼 레귤레이터를 통해 대기중으로 내보낸다.

이러한 회로도 구성은 기존의 레귤레이터에서 압력조정을 핸들 조작에 의한 수작업으로 작업물체에 대한 압력을 세팅하였으나, 공급되는 압력에 따라 레귤레이터에서 자동으로 작업물체에 대한 압력을 조정할 수 있게 한다.

하중감지 회로도 구성은 세 가지 기능으로 분류한다. Fig. 3은 물건을 들어올리기 위한 업(up) 기능의

회로도 구성이며, Fig. 4는 물건을 내리기 위한 다운(down)기능의 회로도 구성이다. 그리고 Fig.5는 하중을 감지하고 있는 플로우팅 기능의 회로도 이다.

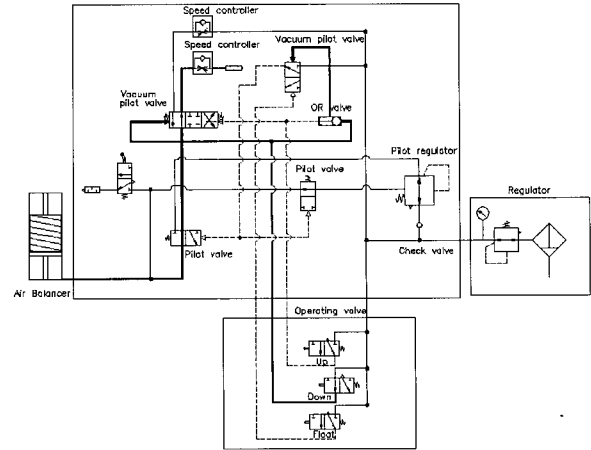


Fig. 3 Circuit statute for load sensing(Up)

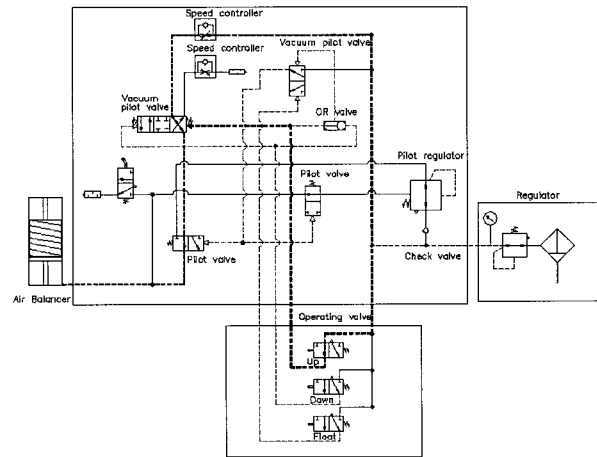


Fig. 4 Circuit statute for load sensing(Down)

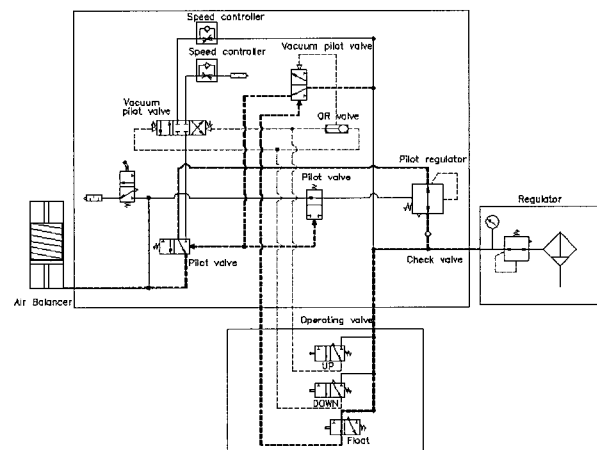


Fig. 5 Circuit statute for load sensing(Floating)

### 3.2 하중감지 핸드 유닛 설계

하중감지 핸드 유닛은 작업자가 손으로 잡고 스위치 조작이 가능하도록 컨트롤 핸들을 부착하였다. 이 컨트롤 핸들은 밑부분에 물건을 들어 올릴 수 있는 후크가 연결되고 윗 부분에는 앤드 조인트에 의해 와이어가 회전 가능하도록 연결되어 있는 구조로 설계하였다. 그리고 핸들 샤프트는 손의 잡음력을 좋게 하기 위하여 핸들을 고무로 감싸도록 하였다.

고무로 감싼 핸들과 무게추 사이의 핸들 축에는 업/다운 스위치와 플로우팅 스위치를 장착시킬 수 있도록 핸들 플레이트를 설계하였다. 따라서 양쪽 손 모두 사용할 필요 없이 후크 어셈블리를 잡은 손만으로도 업/다운 및 플로우팅 스위치를 조절할 수 있도록 하여 작업자가 조작이 용이하도록 하여 고객의 요구조건을 충족시킬 수 있는 구조로 Fig. 6과 같이 설계하였다.

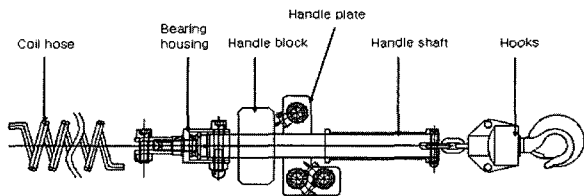


Fig. 6 Design of hand unit

Table 1 Specification of air balancer

Model	KAB-070-ZW
Capacity	60kg
Stroke	2000mm
Operating Method	by Control Handle
Air Pressure	6Pa
Wire Rope	$\varphi 5 \times 6 \times 191$ Fall
Net Weight	27kg
Load sensing resolution	5N and below
Speed	0~60m/min
Leakage flowrate	1 l/min

## 4. 시제품 설계 제작 및 성능시험

### 4.1 시제품 설계 및 제작

상기의 이론 계산식 및 회로도 설계를 바탕으로 에어밸런서 시제품을 설계, 제작하였다. Table. 1은 에어밸런서의 사양이며, Fig 7은 제작된 에어밸런서의 조립된 상태의 사진이다.

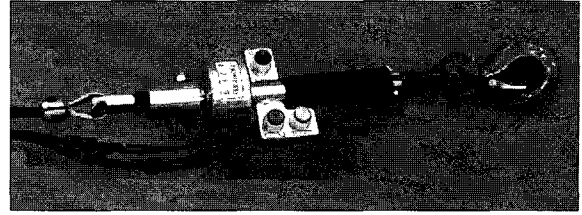
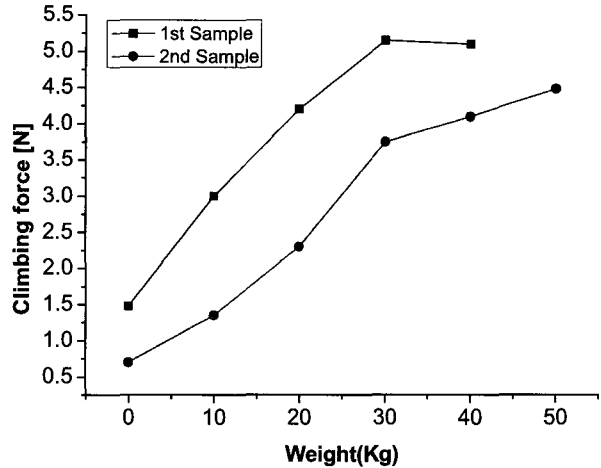
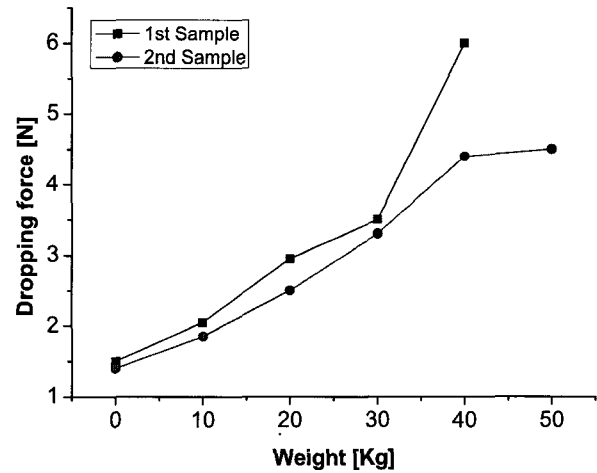


Fig. 7 Prototype of air balancer



(a) Test result of climbing force



(b) Test result of dropping force

Fig. 8 Performance of air balancer

### 4.2 시험장치 구성 및 성능시험

각종 시험 평가를 수행하기 위한 종합성능 시험장비의 구성 부품은 공기탱크, FRL유닛, On/Off 솔레노이드 밸브, 압력센서, 로드셀, LVDT 등으로 구성되어 있다. 공기탱크에서 FRL 유닛을 걸쳐 에어밸런서로 압축공기가 공급되며, 공급되는 에어의 압력을 측정할 수 있는 센서가 장착되어지고 공급 에어는 솔레노이드 밸브에 의해 제어된다. 에어밸런서의 끝단에 로드셀을 부착하고 에어밸런서에 내장된 엔코

더에 의해 부하 및 속도, 변위량, 토크를 측정할 수 있다. 각종 센서로부터 A/D와 D/A변환기를 거쳐 PC에서 계측자료를 받아 분석 할 수 있는 시스템으로 구성되었다. Fig. 8은 에어벨런서의 하중감지 분해능 측정결과를 나타낸다.

1차 시제품의 경우 최대 상승력 5.14N, 최대하강력 5.94N이 발생하였으며, 2차 시제품의 경우 최대 상승력 4.54N, 최대 하강력 4.38N이 발생하였다. 따라서 2차 시제품이 1차 시제품에 비해 약 116~142% 정도 성능이 우수하며, 이는 개발목표인 하중감지 분해능 5N이내를 만족하는 것을 알 수 있었다.

에어 벨런서의 이송속도 측정결과 압력 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내며, 6bar에서 최대 60.9m/min이 발생되어 개발목표인 60m/min을 만족하는 성능을 얻을 수 있었으며 Fig. 9와 같다.

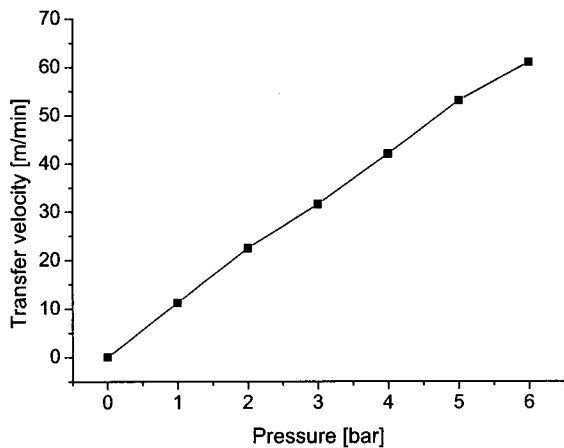


Fig. 9 Test result of transfer velocity

#### 4. 결 론

에어벨런서는 물체를 단순히 들어 올리고 내리는 기능에서 이제는 원하는 위치에 정확히 이동, 장착시키는 기능과 기존 두 손을 이용해 물체를 핸들링 하던 시스템에서 한손으로 보다 더 쉽게 작업을 할 수

있도록 요구되어 지고 있다. 국내시장의 점유율 확보는 물론 해외 시장의 진출을 확대 증진시키기 위하여 고 성능 및 고품질의 에어벨런서를 개발함으로써 기술력의 향상을 도모하였으며, 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 에어벨런서의 기존 선진기술에 대한 동향을 파악하고 대응할 수 있는 기반을 구축하였다.
- 2) 에어벨런싱을 위한 머니플레이터 설계기술 (고강성 타이로드, 볼스크류) 및 압력 유지용 파일럿 레귤레이터 설계 기술, 하중감지 핸드유닛 설계 기술 지원을 통해 레귤레이터 및 하중감지기 설계 기술을 확립하였다.
- 3) 에어벨런서의 이론 해석을 바탕으로 시제품 설계, 제작하였으며, 종합 성능 시험 및 내구성 시험 평가 기술을 확립하였다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부의 부품소재 종합지원 기술 과제인 “에어발란서 시스템 성능 향상을 위한 기술 지원 개발” 과제의 연구비 지원으로 수행된 연구결과 의 일부입니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) S. Ohtsu, Y. Jawakami and K. Kaneda, "Study on the vibration reduction of concrete breakers", JSME, Vol. 52, No. 476, pp. 1218~1223, 1986.
- 2) Magill, J. C. Malonson, M. R. Hinds, M. F. 'Air Bearing Balance Spin Tests' American Institute Of Aeronautics And Astronautics Vol. 2000-1041 No.-[2000]
- 3) H. S. Han, S. W. Hwang and E. S. Lee, "Vibration analysis of a rolling piston type rotary compressor", KSPE, pp. 205~214, 2003.