카운터 밸런싱 실습장치 개발

A Development of a Counter Balancing Experimental Equipment

류재후*, 허준영**

Jae-Hu Ryu*, Jun-Young Huh**

요 약

카운터 밸런싱은 산업현장에서 중량물을 들어 올리거나 운반하는 경우에 부하의 기하학적 형상에 따라 액추에이터에 작용하는 부하가 저항상태로부터 오버러닝 상태로 변화될 때 부하를 안전하게 제어하는 기술이다. 산업현장에서 매우 빈번히 사용되는 기술임에도 불구하고 국내·외에서 설계의 기준이나 실습장치가 없다. 이에, 본 연구에서는 카운터 밸런싱 실습장치 개발에 필요한 아이디어를 내고, 시스템 모델링과 시뮬레이션을 통하여 설계 파라미터를 도출하고 시제품을 제작하여 이 아이디어를 구현하였으며 실험을 통하여 본 실습장치의 유용성을 확인하였다. 본 연구를 통해 개발된 실습장치를 활용하면 학생들이 산업현장에서 만나게 될 카운터 밸런싱 장치의 이해에 큰 도움을 줄 것이라고 기대된다.

Key Words : Counter Balancing, Hydraulics, Educational Equipment

ABSTRACT

The counter balancing is a technique to control a load which is acting to actuator when the load changes from a resistance state to over running state according to the structural change of the load for the case of lifting or carrying a heavy load in industrial site. Even though this technique is frequently used in industrial site, there is no widely known design procedure and educational equipment in home and abroad. Therefore, in this study a new idea was presented to develop an counter balancing educational equipment. The idea was realized through the process of system modeling and simulation, drawing out of design parameters, manufacturing of a prototype. Finally the usefulness of this developed educational equipment was demonstrated by experiments. It is expected that by using this equipment a big help would be given to students who should understand the counter balancing equipment which is frequently encountered in industrial site.

* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 학생(majinmejin@kut.ac.kr)
** 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수(huh@kut.ac.kr)
제1저자 (First Author) : 허준영
교신저자 : 허준영
접수일자 : 2013년 4월 23일
수정일자 : 2013년 5월 30일
확정일자 : 2013년 6월 14일

Ⅰ. 서 론

산업현장에서는 중량물을 들어 올리거나 운반하는 경우가 빈번한데 이 때 꼭 필요한 기술이 카운터 밸런싱 기술이다[1]. 이 기술은 기계의 기하학적 형상이 액추에이터에서 부하를 발생시켜 부하가 저항 상태로부터 오버러닝 상태로 변화될 때 부하를 안전하게 제어하는 기술이다[2],[3]. 산업현장에서 매우 필요로 하는 기술임에도 불구하고 국내·외에서 설계의 기준이나 실습장치가 없다. 이에, 본 연구에서는 카운터 밸런스 실습장치 개발에 아이디어를 내고, 시스템 모델링과 시뮬레이션을 통하여 설계 파라미터를 도출하고 시제품을 제작하여 실험하였다. 본 연구는「유공압제어 및 실습」과목의 텀프로젝트로 수행하였다[4]. 이를 통해 본 과목에서 학습한 내용을 적용하여 실제로 유압장치를 설계하여 실험해 보므로써 이해의 증진을 시도하였다.

카운터 밸런스 회로는 유압에 의해서 움직여지는 부하가 정지한 상태에 있어서 부하의 자중 등에 의하여 낙하하거나 움직이는 것을 방지하기 위하여 유량에 관계없이 일정한 배압을 생성해주는 회로이다. 이러한 회로는 드릴링 머신이나 프레스 머신 등 다양한 기계에서 활용된다[5-8]. 이러한 카운터 밸런스 회로는 실린더의 양측에 카운터 밸런스 밸브를 사용함으로서 쉽게 구현할 수 있는데 이때 사용되는 카운터 밸런스 밸브는 릴리프 밸브와 체크 밸브를 병렬로 연결시킨 회로와 같은 역할을 한다. 릴리프 밸브의 설정 압이 배압으로 적용되며 부하의 자중에 의한 낙하를 방지하는 역할을 하게 된다. 본 실험에서는 카운터 밸런스 회로를 Matlab과 FluidSim으로 시뮬레이션 하였는데 운동방정식과 상태방정식을 수립 후 모델링을 통해 시뮬레이션 하여 두 가지를 비교하는 방식으로 시뮬레이션을 진행하였다. 실제 방정식 수립 과정에서 확인이 불가능한 부분은 추정하여 적용하였고[9] 이로 인한 오차가 발생하게 되었지만 결과에 큰 영향을 미치는 요소가 아니기 때문에 오차율은 매우 작게 나타났다. 기타 기구학적 시뮬레이션은 Solidworks를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

Ⅱ. 개발 내용 및 범위

1. 개발장비의 주요 아이디어

아래에 보여진 피스톤에서 하중은 실린더의 전진에 부하로 작용한다. 그러나 하중이 중심선을 지난 후에는 하중은 반대로 실린더 로드를 잡아당기며 하중의 자유낙하를 유발시킨다. 그러나 하중의 자유낙하가 발생하면 큰 사고로 이어지므로 이를 방지하기 위하여 카운터 밸런스 밸브가 사용된다. 반대 방향의 작동을 위해서는 동일한 밸브가 실린더 헤드측에 하나 더 설치되어야 한다. 이 장치를 개발하기 위해서는 실제응용에서와 마찬가지로 큰 중량물이 있어야 하고, 안전을 위해서는 지지기반도 튼튼해야 한다. 그러나 본 연구에서는 어른 1명이 받침대 위에 밟고 올라가서 중량물의 역할을 한다. 그리고 다른 몸무게의 학생이 올라갈 경우에 그 영향도 검토할 수 있고, 수직점을 통과하여 안전하게 내려올 때 재미도 느낄 수 있다.

본 장치는 실린더와 하중으로 구성된 카운터 밸런싱 장치와 카운터 밸런스 밸브, 유압동력장치, 실시간 계측장치들로 구성된다. 핵심기술은 유압시스템 모델링 기술, 유압시스템 동특성 해석기술, 설계기술과 함께 실시간 계측기술이 필요하다.

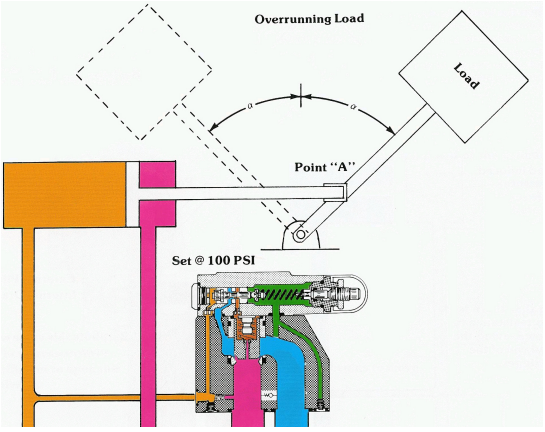


그림 1. 카운터 밸런싱의 개념도
Fig. 1. Schematic diagram of counter balancing

2. 시스템 모델링

카운터 밸런싱 실습장치 제작에 앞서 시스템을 모델링하고, 카운터 밸런스 회로를 Matlab[10]과 FluidSim[11]으로 시뮬레이션 하였는데 운동방정식과 상태방정식을 수립 후 시뮬레이션 하여 두 가지를 비교한다. 기타 기구학적 시뮬레이션은 Solidworks를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 이를 통해서 적정한 파라미터를 구한다. 특히 Real-time windows target을 이용하여 DAQ보드와 연결하여

데이터를 얻는다. 여기서 DAQ보드는 D/A 또는 A/D 변환을 원활하게 하기 위해 보드로 일체화 시킨 것으로 컴퓨터 메인보드의 버스 슬롯에 결합 후 사용한다.

실린더는 오로지 유압에 의한 힘으로만 움직인다. 유량은 유압 저항에 의해 약간의 오차가 있으나 아주 미세하여 무시 할 정도이다. 따라서 유량은 일정하게 되고 이에 실린더의 운동역시 등속도가 된다. 그림 2의 카운터 밸런싱 장치의 모델링에 대하여 속도는 매우 느리고 각가속도의 변화량 역시 작다고 가정하여 모멘트 방정식을 세우면 모멘트의 합은 0이 되어야 한다.

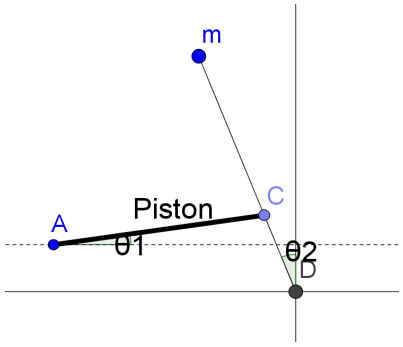


그림 2. 카운터 밸런싱 장치의 모델링
Fig. 2. Modelling of counter balancing apparatus

점 D에서 모멘트를 구하면

$$\sum \overrightarrow{M_D} = \overrightarrow{r_m} \times \overrightarrow{F_m} + \overrightarrow{r_c} \times \overrightarrow{F_c} = 0 \qquad (1)$$

여기서, $\overline{CD}$ 를 a, $\overline{Cm}$ 을 b라 두면, $\overrightarrow{r_m}, \overrightarrow{r_c}$는 각각

$$\overrightarrow{r_m} = (a+b) \bullet \langle -\sin(\theta_2), \cos(\theta_2) \rangle$$
$$\overrightarrow{r_c} = a \bullet \langle -\sin(\theta_2), \cos(\theta_2) \rangle$$

그리고 $\overrightarrow{F_m}, \overrightarrow{F_c}$는 각각

$$\overrightarrow{F_m} = mg \bullet \langle 0, -1 \rangle$$
$$\overrightarrow{F_c} = F \bullet \langle \cos(\theta_1), \sin(\theta_1) \rangle$$

대입하면,

$$\sum \overrightarrow{M_D} = \overrightarrow{r_m} \times \overrightarrow{F_m} + \overrightarrow{r_c} \times \overrightarrow{F_c} = 0$$
$$= mg(a+b)\sin(\theta_2) - aF\cos(\theta_2 - \theta_1)$$

$$\therefore F = \frac{mg(a+b)\sin(\theta_2)}{a\cos(\theta_2 - \theta_1)} \qquad (2)$$

r과 F벡터는 2차원 평면임으로 그것들의 벡터곱은 이 평면에 수직한 방향 밖에 존재 하지 않음으로 스칼라의 음과 양만으로도 표현할 수 있다.

위 식 중 변하는 값은 각도 밖에 없고 A점이 충분히 뒤에 있어 θ_1가 충분히 작다면 이 식은 θ_2에 의해 지배 받는다. 따라서 이 F의 최대값과 최소값은 θ_2가 최대 일 때 와 최소 일 때이며 그림3과 같이 간략화 모델링된다. 장착된 실린더를 통하여 이 힘을 충분히 낼 수 있다고 가정하면 이 역학 시스템은 올바르게 작동할 것이다.

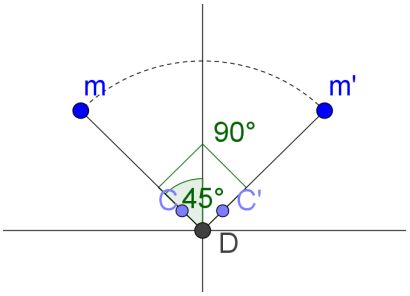


그림 3. 단순화된 카운터 밸런싱 장치의 모델링
Fig. 3. Simplified modelling of counter balancing apparatus

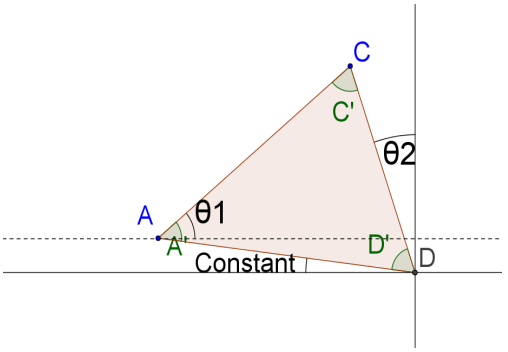


그림 4. 모델링 장치의 제2 코사인법칙 적용
Fig. 4. Application of the 2'nd cosine rule to the model apparatus

이 시스템이 출력이 충분하다고 가정하면 거동은 유압펌프의 유량에 의해 결정될 것이다. 이에 따라 피스톤의 속도가 v가 되었다고 하면 초기 값을 이용, 그림 4에서 $\triangle ADC$ 세변의 길이를 알게 됨으로 제2 코사인 법칙을 이용하여 각 시간에서의 θ_1 , θ_2 를 알 수 있게 된다. C점을 제외하고는 모두 구속된 점이다. AC의 길이는 유량에 따라 피스톤 전진에 의해 정의된다. 또한 CD의 거리는 일정하게 a로 유지된다. 또한 AD와 지면과의 각도는 언제나 일정하게

유지된다. 제 2 코사인 법칙으로부터

$$A' = \cos^{-1}\left(\frac{-a^2 + \overline{AC}^2 + \overline{AD}^2}{2\overline{AC}\,\overline{AD}}\right) \quad (3)$$

$$D' = \cos^{-1}\left(\frac{-\overline{AC}^2 + a^2 + \overline{AD}^2}{2a\,\overline{AD}}\right) \quad (4)$$

위 그림에서 일정한 각을 θ_k라고 하면

$$\theta_1 = A' - \theta_k \qquad \text{(엇각으로부터)}$$
$$\theta_2 = 90 - D' - \theta_k$$

$$\theta_1 = \cos^{-1}\left(\frac{-a^2 + \overline{AC}^2 + \overline{AD}^2}{2\overline{AC}\,\overline{AD}}\right) - \theta_k \quad (5)$$

$$\theta_2 = 90 - \cos^{-1}\left(\frac{-\overline{AC}^2 + a^2 + \overline{AD}^2}{2a\,\overline{AD}}\right) - \theta_k \quad (6)$$

A점은 한번 고정되면 움직이지 않는 점이고 D점은 원점으로 고정된 점이다. 따라서 위 두 식에서 변하는 값은 AC 값 하나이다. 초기 설정을 그림 1에서 θ_2가 45°일 때 피스톤을 지면과 수평하게 놓고 AC의 거리를 l_0라 하면 시간에 따른 AC의 거리는 다음과 같이 될 것이다.

$$\overline{AC} = l = l_0 + vt \quad (7)$$

위의 식을 이용하면 각은 t에만 의존하는 식이 됨으로 각도 θ_1,θ_2를 구할 수 있으며 이로부터 하중의 위치를 구할 수 있다. 또한 피스톤에 가해지는 부하력은 두 각에 의존하는 식임으로 피스톤에 가해지는 부하력을 시간에 따라 구할 수 있다.

3. H/W요소기술 구현

이 장치는 실린더가 전진함에 따라 실린더의 로드에 작용하는 부하의 방향이 달라지게 된다. 실린더의 전진 초기에서 암(arm)이 90°전까지는 실린더의 전진을 방해하는 방향으로 양(+)의 부하로 작용하고 90°를 넘어서면 부하는 실린더의 전진과 같은 방향이 되어서 오히려 실린더를 당기는 음(-)의 부하로 작용한다. 이렇게 되면 오버런 상태가 되어서 추락하는 사태가 벌어진다. 이를 방지하기 위해서 카운터 밸런스 밸브를 사용하여 오버런 상태를 방지하고 공급압에 의해서만 실린더가 전진할 수 있도록 꾸민다. 우선 하중을 70kg으로 결정한 후 암의 회전각도는 45°에서 135°까지 90°회전하는 것으로 가정하고 실린더 길이와 실린더 내경 선정, 밸브와 부하의 크기 선정, 구조물의 강도 계산, 유압동력장치의 동력, 압력, 유량 선정 등 나머지 파라미터들을 결정한다.

III. 시뮬레이션

1. 설계 파라미터

H/W요소기술을 통해 구해진 설계 파라미터를 표 1에 나타낸다. 구해진 파라미터 값으로 제작에 들어가기 전에 작동상태를 검증하기 위해 Matlab과 Solidworks, FluidSim을 사용하여 시뮬레이션하였다.

표 1. 설계 파라미터
Table 1. Design parameters

명칭		값	단위
토출 유량		2.3	$l/\min$
실린더	스트로크	141	mm
	내경	50	
	로드경	28	
실린더 길이		250	mm
파이프직경		12.7	mm
파이프두께		2.2	
행정 최대각		90	°
하중		70	kg

2. Matlab 시뮬레이션

시스템 모델링을 바탕으로 Matlab 프로그램을 사용하여 각 힘 방정식을 구현하였다. 힘 방정식은 시간 t의 함수이기 때문에 결과 그래프의 x축은 시간 으로 0~10s를 기준으로 시뮬레이션하였다.

그림 5에 시간에 따른 암의 끝에 달린 부하의 좌표값 변화를 나타낸다. 가는 실선은 전진시 x좌표값이고, 굵은 실선은 전진시 y좌표값이다. 가는 점선은 후진시 x좌표값이고, 굵은 점선은 후진시 y좌표값을 나타낸다.

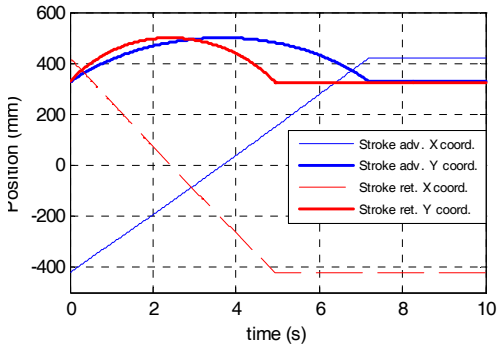


그림 5. 시간에 따른 부하 위치의 변화
Fig. 5. Change of coordinates of the load according to time

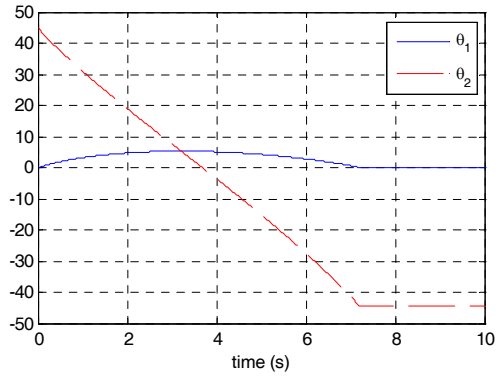


그림 6. 시간에 따른 각도 θ_1 , θ_2의 변화
Fig. 6. Change of degree θ_1 , θ_2 according to time

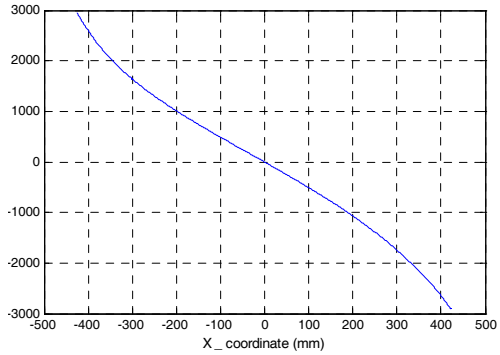


그림 7. 시간에 따른 실린더 부하력의 변화
Fig. 7. Change of cylinder load force according to time

그림 6에 시간에 따른 관절각 θ_1 , θ_2의 변화를 나타낸다. 실선은 θ_1의 변화값이고, 점선은 θ_2의 변화값을 나타낸다. θ_1은 약 5° 변하였고, θ_2는 주어진 대로 +45°~-45° 변하였다. 그림 7에 시간에 따른 실린더에 작용하는 부하력의 변화를 나타낸다. 부하력은 최대 2940N으로 구해졌다. 이 그래프에서 확인할 수 있듯이 부하는 양(+)부하에서 음(-)부하로 변화하게 된다. 그리고 이 변화 시점에서 시간에 따른 부하의 좌표, 즉 속도에는 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 8에 카운터 밸런싱 회로를 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때 펌프 공급 압력의 차이를 보면 카운터 밸런싱을 사용함으로서 압력의 변화가 양에서 음이 아닌 양에서 양의 변화로 바뀌었음을 그래프를 통해 확인 할 수 있다.

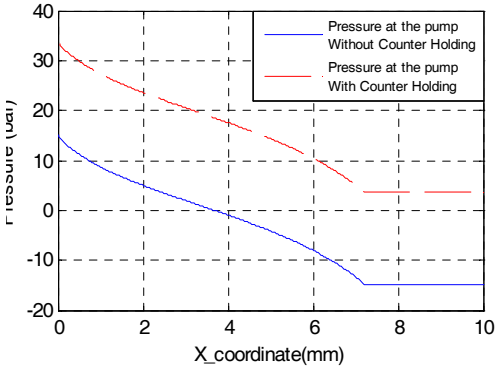


그림 8. 카운터 밸런싱에 따른 공급압력의 변화
Fig. 8. Change of supply pressure according to with and without counter balancing

3. Solidworks 시뮬레이션

그림 9에 솔리드웍스를 사용하여 시뮬레이션 한 결과를 나타낸다. 실린더의 피스톤이 완전히 후진해 있을 때와 완전히 전진하였을 때 θ_1의 각도는 0°를 나타내었고, 피스톤이 중간정도 전진하여 암이 수직으로 되었을 때 θ_1의 각도는 약 5° 로 증가함을 확인하였다. 최종적인 x축의 변위는 약 850mm 가 되고 최대 각 변화는 90° 이다. 이는 Matlab을 사용한 시뮬레이션 결과와 일치한다.

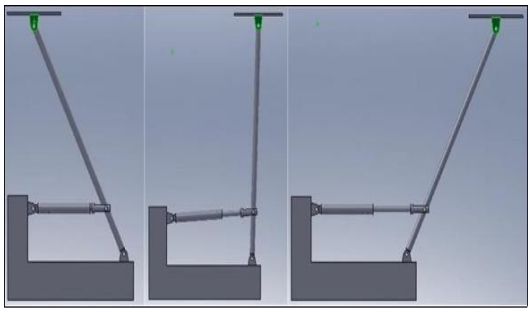
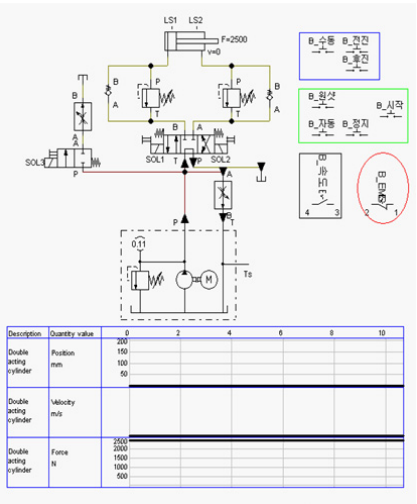


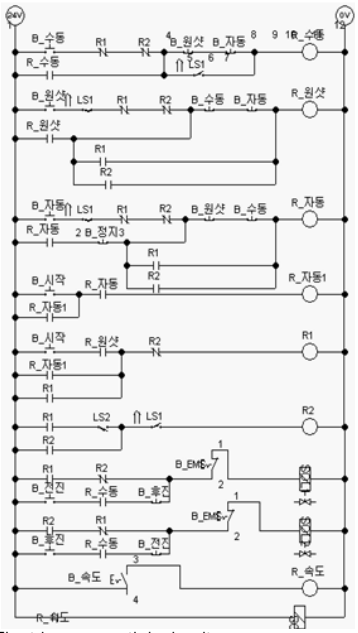
그림 9. 솔리드웍스를 사용한 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Simulation result using Solidworks

4. FluidSim 시뮬레이션

그림 10에 FluidSim을 활용한 시뮬레이션 회로와 결과를 나타낸다. FluidSim은 각각의 유압부품을 그림기호로 나타내고 이것들을 선으로 연결하여 실제의 유압회로와 유사하게 구성하는 것으로 각각의 구성요소를 클릭하여 사용하는 파라미터값을 대입하여 시뮬레이션 할 수 있다. 결과값은 표 2에 나타낸다.



(a) Hydraulic circuit and simulation result



(b) Electric sequential circuit

그림 10. FluidSim을 사용한 시뮬레이션 회로와 결과
Fig. 10. Simulation circuit and result using FluidSim

표 2. FluidSim을 사용한 시뮬레이션의 결과값
Table 2. Simulation resulting values using FluidSim

명칭	값	단위
최대 부하력	2940	N
전진 시 필요 힘	3378.09	N
후진 시 필요 힘	3445.27	
실린더 내부 마찰(A)	33.78	N
실린더 내부 마찰(B)	34.45	
복귀유 배압	3	Bar
릴리프 설정 압(A)	16.47	
릴리프 설정 압(B)	24.00	
최대 비 좌굴 길이	6.44	m
전진속도	19.3	mm/s
후진속도	28.1	
전진시간	7.3	s
후진시간	5.0	

모델링한 카운터 밸런스 회로는 부하의 변화에도 적절한 배압을 형성해주며 변위의 급격한 변화를 방지함을 시뮬레이션으로 확인하였다. 카운터 밸런스 밸브의 설정압력은 음부하로 변하는 과정에서 부하로 인해 발생하는 최대 부하력의 약 1.1배로 설정하였고 전진 시 와 후진 시의 로드 경으로 인한 압력차이 때문에 양측의 카운터 밸런스압은 약 7bar 의 차이를 갖는다. 최대 부하력이 약 2900N 이기 때문에 배압과 내부 마찰 등을 고려하여 전진 시 와 후진 시 필요한 힘을 산출하였고 이를 토대로 전, 후진 속도와 시간을 산출하였다. 표 2는 Matlab 시뮬레이션 결과와 매우 유사하였다. 전. 후진 속도는 펌프의 최대 토출 유량과 펌프 토출 노즐측의 유량제어밸브를 설치함으로서 조절이 가능하다. 위 결과는 토출유량을 $2.3l/\min$로 설정하였을 때의 결과이다. FluidSim과 Matlab 시뮬레이션 간의 약간의 오차는 배압 설정에 관련된 것으로 추정된다. Matlab 시뮬레이션에서는 배압 부분을 약 3bar로 추정한 이후 방정식을 구현하였고, FluidSim에서는 프로그램 자체적으로 수립된 배압을 도출하였기 때문에 오차가 발생한 것으로 사료된다. 하지만 배압은 본 실험에서 큰 영향을 미치는 요소가 아니기 때문에 오차율은 매우 작다.

IV. 개발 결과 및 활용 방안

본 장에서는 요소기술 구현에서 구해진 설계 파라미터로 그림 11과 같이 카운터 밸런싱 실습장치의

시제품을 제작하여 실험한다.

그림 11. 개발된 카운터 밸런싱 실습장치
Fig. 11. Developed counter balancing experimental equipment

1. 동작 특성

그림 12에서 점선은 시뮬레이션 결과이고, 실선은 시제품장치의 실험결과로 약간 차이가 있지만 전체적으로 부하가 변하는 시간대인 약 3초에서 4초 사이의 압력의 변화가 매끄럽게 진행되는 것을 확인하였다. 하지만 부하가 변하는 구간의 압력을 제외한 양 끝측의 압력이 시뮬레이션 결과와 큰 구간은 약 3bar 정도의 차이까지 나타나는 것을 확인하였다. 첫째로 압력이 시뮬레이션에 비하여 큰 것에 대한 이유를 추정하자면 실험 당시 사용한 4포트 3위치 스위치 밸브의 조작 도중의 압력이 측정된 것으로 보인다. 시뮬레이션과 같은 순간적인 포트의 변환이 이루어 질 수 없었고 이는 유량이 지나는 통로를 좁히는 결과를 가져오게 됨으로 순간적으로 압력이 상승하게 되고 이로 인해 초기동작시에 압력이 시뮬레이션 결과에 비해 커진 것으로 추정할수 있다. 또한 부하가 변하게 되는 구간 이후의 압력이 시뮬레이션 결과와 비교하여 낮은 것은 실링(sealing)과 누설의 영향으로 보인다. 실제 실험 중에 실린더의 접합부 측에서 약간의 누유가 발생한 것을 확인할 수 있었고 이는 압력의 감소를 가속화하여 결론적으로 더 큰 기울기의 압력 감소를 발생시킨 듯 하다. 하지만 전체적인 그래프의 형상과 부하가 변하는 지점에서의 일관성 정도로 볼 때 이는 허용 가능한 오차 범위로 보인다.

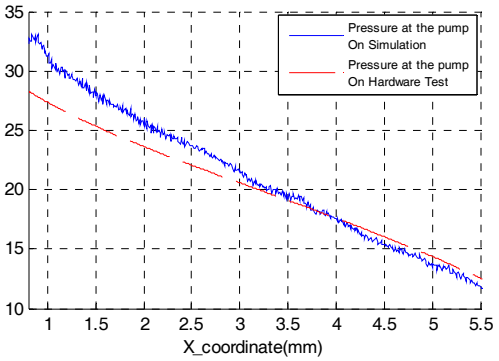


그림 12. 펌프공급압력의 비교
Fig. 12. Comparison of pump supply pressure

2. 교육 내용 및 활용방안

「유공압제어」는 3학점에 이론 2시간, 실습 2시간으로 행해지고 있고, 실습은 Festo실습장비를 사용하여 실습을 하고 있지만, Festo실습장비는 기초회로를 실습할 수 있도록 설정된 것으로 학생들이 기초회로를 익히는 데는 상당히 유용하나 더 나아가서 학생들이 생산현장에서 만나게 될 유압장치 설계를 위한 부품선정 방법, 시스템 모델링 방법, 기계구조물의 설계, 실시간 계측 등에 대해서는 본 연구를 통해 개발된 실습장치를 활용하여 학습한다. 수요처로는 전국 11개 대학으로 구성되어 있는 폴리텍대학과 지역적으로 8개로 분포되어 있는 인력개발원, 전국의 전문대학 및 대학, 그리고 실업계 고등학교 등에서 수요가 예측된다.

V. 결 론

1. 본 연구에서 제안한 카운터 밸런싱 실습장치 개발 아이디어를 구현하기 위하여 시스템 모델링과 시뮬레이션을 통하여 설계 파라미터를 도출하고 시제품을 제작·실험하여 카운터 밸런싱 실습장치를 개발하므로써 카운터 밸런싱 실습장치 개발 과정의 타당성을 검증할 수 있었다.

2. 특히, 본 장치는 학생 1명이 받침대 위에 밟고 올라가서 중량물의 역할을 하도록 함으로서 소형으로 장치를 구성할 수 있었고, 수직점을 통과하여 안전하게 내려올 때 재미도 느낄 수 있도록 하였다.

3. 카운터 밸런스 회로를 설계하여 Matlab과 FluidSim, Solidworks를 사용하여 시뮬레이션 해 보므로서 실제 제작에 들어가기 전에 부하가 양부하에

서 음부하로 급격하게 변함에도 불구하고 속도의 변화 없이 부드럽게 작동하는 것을 확인할 수 있었고, 이에 따라 신뢰성 있는 장치를 제작할 수 있었다.

4. 본 장치는 저렴하고 간결하게 구성되었기 때문에 유공압을 가르치는 폴리텍대학과 인력개발원, 전문대학 및 대학, 그리고 실업계 고등학교에서 실습장치로서의 수요가 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Murrenhoff, “Basic Fluid Technic”, Kijeon Publishing Co, 1999.

[2] Anthony Esposito, “Fluid Power with Application”, Pearson Prentice Hall, 2004.

[3] T. C. Frankenfield, “Using Industrial Hydraulics”, Rexroth Corporation, 1990.

[4] J. Y. Huh and S. W. Jung, ″Effects of E-Learning as a Supplementary Learning for Basic Fluid Power Practice″, J. of Korean Institute for Practical Engineering Education, 2010. 12.

[5] Murrenhoff, “Mobile Hydraulics”, Kijeon Publishing Co, 1998.

[6] B.Poeth and J.Underhill, “Fluid Power”, Eaton Co., 2001.

[7] W. W. Reeves, “Technology of Fluid Power”, Delmar Publishers, 1997.

[8] J. L. Johnson, “Introduction to Fluid Power”, Thomson Learning Asia Pte Ltd., 2002.

[9] S. W. Jung, J. Y. Huh and I. S. Rhee, ″LQ Control of Inverted Pendulum Using Hydraulic″, J. of Korea Fluid Power Systems Society, 2011. 6.

[10] Y. S. Kim, ″Introduction and Application of MATLAB″ Nopikipi pubishing Co, 2005.

[11] Festo, “FluidSIM Ver.4 Hydraulics User’s Guide”, Festo Didactic GmbH & Co. KG., 2007.

허 준 영 (Jun-Young Huhj) 종신회원

1979년 2월 : 부산대학교 기계설계학과(공학사)

1981년 2월 : 부산대학교 기계공학과(공학석사)

1989년 8월 : 부산대학교 기계공학과(공학박사)

1988년 1월~1991년 12월 : 현대중공업 건설장비사업부 연구원

1992년 1월~현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수

<관심분야> 유공압시스템 설계, 유공압 교육

류 재 후 (Jae-Hu Ryu)

2007년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스 공학부 재학중

<관심분야> Fluid dynamics, Intelligent control systems, Computer simulation