

## 압축공기 에너지 절감화 기술



**김 동 수**

(KIMM 기계부품연구부)

- '88 영남대학교 기계공학과 (학사)
- '91 영남대학교 열 및 유체공학 (석사)
- '91 - 현재 한국기계연구원 유공압그룹 선임연구원



**김 형 의**

(KIMM 기계부품연구부장)

- '78. 2 아주공대 기계공학과(학사)
- '80. 2 한국과학원 유압제어(석사)
- '82. 9 프랑스 ISMCM 자동화공학(석사)
- '85. 6 프랑스 ISMCM 공압제어(박사)
- '85. 9 - '88. 6 한국기계연구소, 로봇공학실 선임연구원
- '88. 7 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



**이 상 천**

(영남대학교 국책지원사업단장)

- '74. 2 서울대학교 기계공학과(학사)
- '76. 2 한국과학원 기계공학과(석사)
- '83. 3 Northwestern University Department of Mechanical Engineering(Ph. D)
- '76. 8 - 현재 영남대학교 공과대학 기계공학과 교수
- '90. 3 - 현재 과학재단지원 첨단유체공학센터 열교환기 연구부 부장
- '92. 3 - '93. 2 영남대학교 부설 공업기술연구소 소장

### 1. 서 론

압축공기를 작동유체(Working Fluid)로 하여, 배관 및 제어밸브로 모터나 실린더를 제어하는 일을 하는, 동력전달의 응답성이 좋은 공기압 제어시스템은 저가격(Low Cost), 제어성 향상 등의 이유로 단위기계자동화, 생산 및 조립라인의 자동화 등에 그 활용이 급격히 증가하는 추세에 있다.

그러나 공기압 제어시스템을 활용하는 자들, 즉 시스템 설계자나 시스템 사용자들이 압축공기 가격이 비싸다는 인식을 하지 못함으로써 막대한 에너지 낭비를 하고 있다.

전기가격 1원을 기준으로 볼때, 유압가격은 4원인데 비해 압축공기 가격은 10원으로 매우 비싸다. (표3 참조) 이에 따라서 프랑스의 Legris(주), 미국의 Numatic(주) 및 일본의 SMC(주) 등에서는 일찍이 압축공기 절약을 위한 Component, 즉 Pressure Regulator, 일명 Energy Saver라 칭하는 부품을 개발 상품화 하였고, 미국의 Numatic(주) 및 일본 유공압 협회에서는 막대한 예산을 투자하여 실질적인 에너지 절약 차원에서의 연구를 1970년 초에 이미 수없이 해왔다.

압축공기 에너지 절약은 공기압 제어시스템의 응용에 따라서 공압제어시스템의 회로에 에너지 세이버를 첨가시킴으로써 가능하며, (그림1 참조) 특히 이동(Transfer), 상승(Elevator), 죄임(Clamp) 등의 응용에서는 일을 할때와 그렇지 않을때의 외부하중(Work Load)이 다르므로 실린더의 출력이 전·후진시에 동일하지 않다. 이 경우 실린더의 공급포트 또는 배기포트 중의 어느 한곳에 에너지

세이버를 부착함으로써 압축공기 절약이 가능하며, 이와 같은 시스템 설계자는 최종 제어 속도 개념을 무시해서는 절대로 아니될 것이다.

상기와 같은 시스템 구성은 작동기 즉, 실린더의 직경이 클수록 크게 그 필요성이 대두되므로 이에 대한 심각성 인식이 무엇보다도 중요하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 아래와 같은 순서에 의해 연구하였으며 내용은 다음과 같다.

첫째, 속도 조절밸브 부착형 기존의 공압제어 시스템과 압력조절밸브 부착형 에너지 절약 공압제어시스템 구성 및 절약효과, 특성 곡선 및 응용에

둘째, 에너지 절약형 공압제어 시스템의 응용 분야별 회로설계 및 최적설계지침  
세째, 절약효과를 실제 계산으로 증명하는 것으로 하였다.

마지막으로 본 연구결과에 대하여, 실질적으로 공압제어 시스템을 설계하는 사람이나 사용하는 사람들이 압축공기의 가격이 비싸다는 사실과 에너지 절약의 필요성을 인식하길 바라는 간절한 마음이다.

## 2. 공기압 제어시스템의 일반적 고찰

### 2.1 기존시스템과 에너지 절약시스템 구성

공장자동화 시스템 등에 사용된 기존의 공압제어시스템 회로구성은 Air Compressor, Air 저장 Tank, Filter-Regulator-Lubricator Unit, 방향제어 밸브, 속도제어 밸브, 최종작동 Part인 Air Motor 또는 Air Cylinder 그리고 이들을 연결하는 Tube, Connector이다.

상기와 같이 구성된 회로라도 설계자가 사용자의 요구를 정확히 숙지하여 설계할 경우 두가지 측면에서 경제적 절감이 가능할 것이다. 즉, 최종 작동기의 속도와 힘에 따라 최적설계가 이루어질

경우, Air Component 최적 선정으로 구입가격 최소화 및 압축공기 절약이 동시에 만족될 수 있겠다.

또한 상기의 최적설계 System에다 속도 제어 밸브 대응으로 압력제어 밸브를 부착함으로써 Component 가격은 현상으로 유지하면서 최종 작동기의 응용에 따라 약 50% 정도의 압축공기 절약을 더 이룰 수 있는 방법이 있겠다. 이와 같은 시스템 설계시 유의할 사항은 최종 작동기의 속도와 힘이 만족되는 한도에서 성립된다는 사실이다.

본 연구에서 집중연구된 분야도 속도제어 밸브 대응의 압력제어 밸브 설계기술과 Over Sizing을 최소화하는 Optimal Sizing, 즉 Optimal Design Software 개발에 관한 것이다.

먼저 기존시스템과 본 연구에서 개발한 에너지 절약형 공압제어시스템의 회로도상의 차이점, 실질적인 압축공기 에너지 절약 효과등에 대한 일반적인 개요에 대해 살펴보기로 한다.

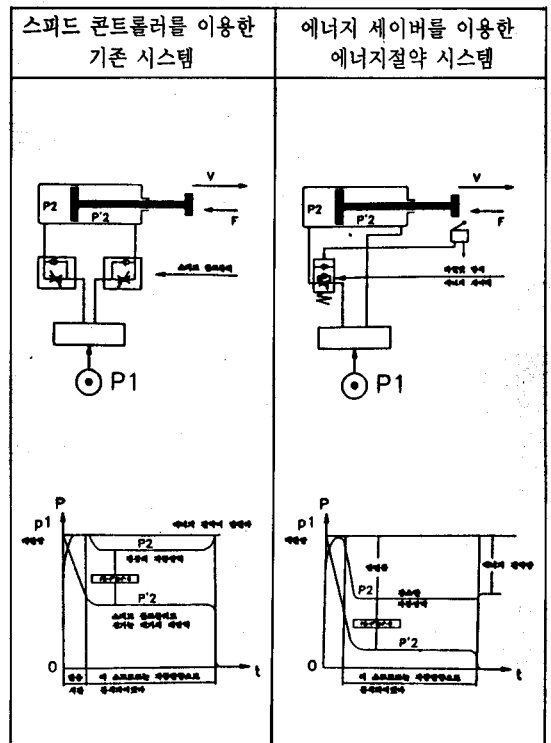


그림 1. 기존 시스템과 에너지 절약시스템 비교도

그림1은 Speed Controller를 부착한 기존시스템과 Energy Saver, 즉 Pressure Regulator를 부착한 에너지 절약 시스템 비교도이며, 그림 2는 공장 자동화에 있어서 에너지 가격비교를 나타낸 그림이다.

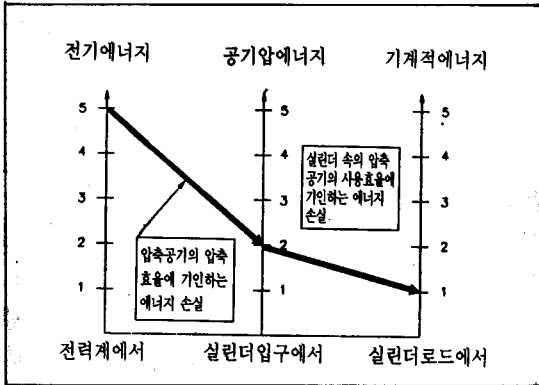


그림 2. 공장 자동화에 있어서 에너지 가격 비교

## 2.2 기존시스템과 에너지 절약시스템 특성 비교

본 연구에서 논하고자하는 에너지 절약시스템은 앞의 그림에서처럼 그 구성 부품에 있어서 수량이나 가격이 동일한 시스템이지만 본 시스템과 같이 설계하여 구성할때는 기존시스템에 비해 엄청난 에너지 절약효과를 거둘 수 있다는데 초점의 대상이 되는 것이다.

전자는 기존의 Flow Control Valve 대신에 Pressure Control Valve로 대체한다는 의미이다. 기존의 시스템 구성이 지금도 90%이상 되지만 이는 최종속도만 만족한다면 그 응용에 따라 얼마든지 설계자나 사용자가 교체할 수 있다는 사실이다. 이를 위해서는 먼저 공기압 제어시스템의 작동유체인 압축공기의 가격이 비싸다는 인식이 선행되어야겠다. 선진국에서는 이의 인식이 1970년대부터 시작되어 회사 및 정부차원의 연구가 활발이 진행된 결과 미국의 Numatic(주), 일본의 SMC(주)에서는 Sandwich Type의 압력조절기를 프랑스의 Legris(주)에서는 Fitting Type의 압력조절기를 개발 완료하여 상품화되고 있는 현상 상황이다.

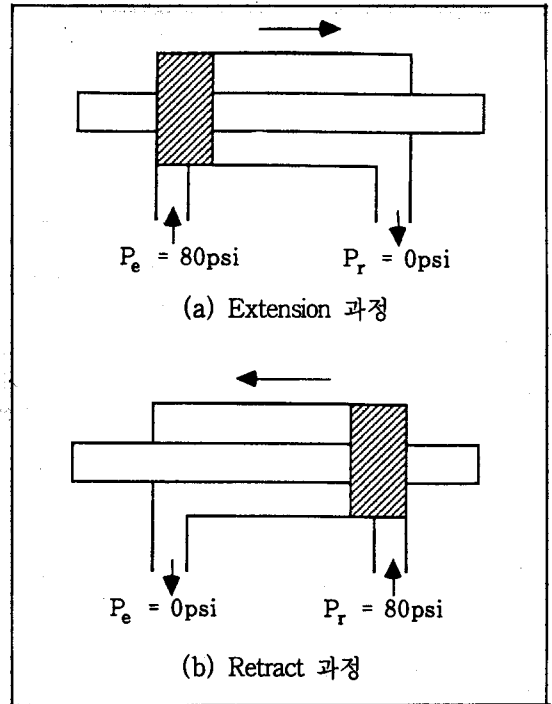


그림 3. 중간정지 밸브 사용 기존시스템 ((a)Pe=80psi,Pr=0psi (b)Pr=80psi,Pe=0psi)

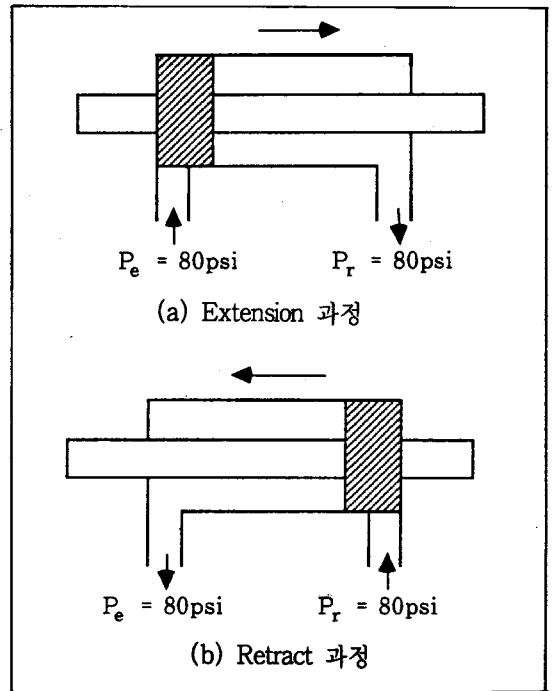


그림 4. 2위치 밸브사용 기존시스템 ((a)Pe=80psi,Pr=80psi (b)Pr=80psi,Pe=80psi)

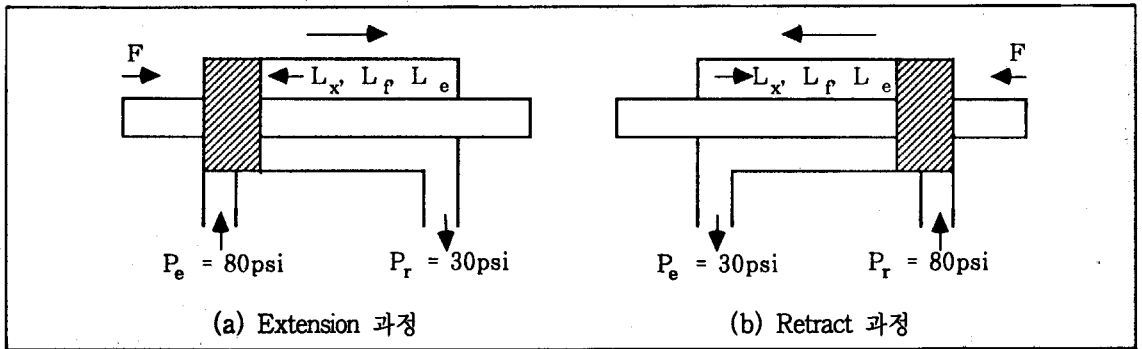


그림 5. 에너지절약시스템  
 ((a)  $P_e=80\text{psi}, P_r=30\text{psi}$  (b)  $P_r=80\text{psi}, P_e=30\text{psi}$ )

다음은 그림에서와 같이 (a) 중간정지 밸브사용 ( $P_e = 80\text{psi}, P_r=0\text{psi}$ 와  $P_r=80\text{psi}, P_e=0\text{psi}$ ) (b) 2 위치 밸브사용 기준시스템 ( $P_e=80\text{psi}, P_r=80\text{psi}$ 와

$P_r=80\text{psi}, P_e=80\text{psi}$ ) (c) 에너지 절약시스템 ( $P_e=80\text{psi}, P_r=30\text{psi}$ 와  $P_r=80\text{psi}, P_e=30\text{psi}$ )에 대한 그림과 특성 그래프이다.

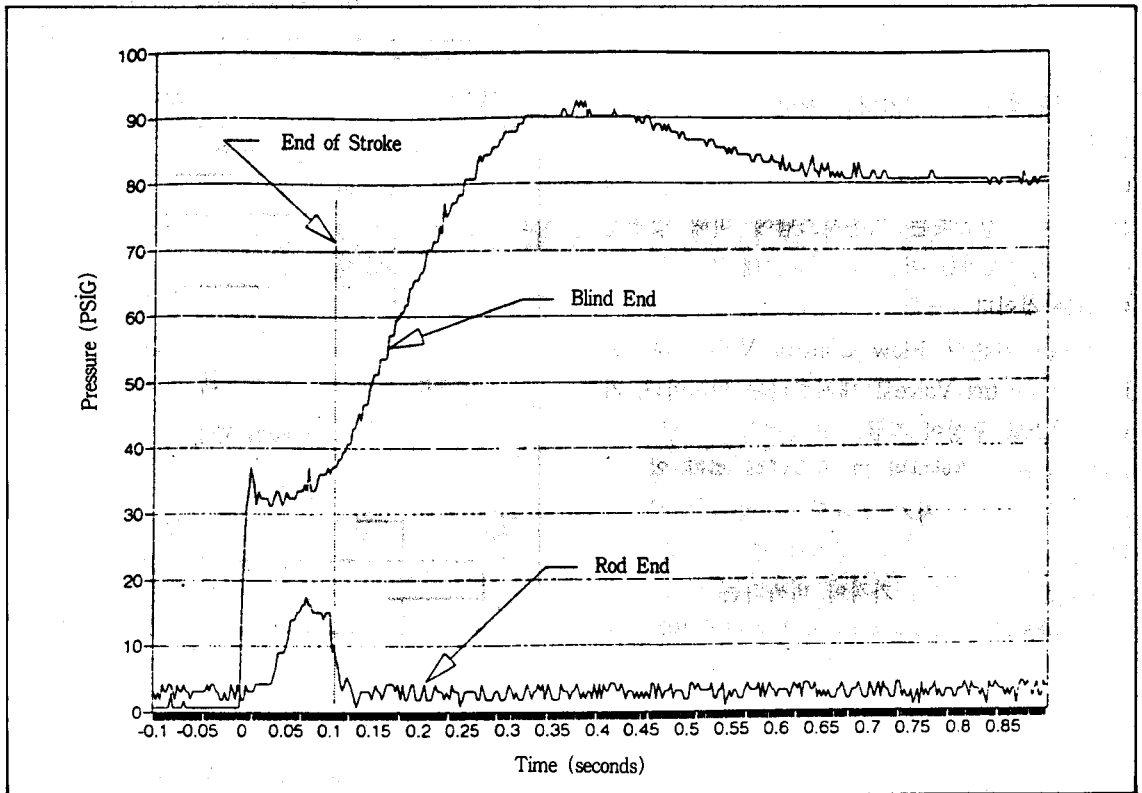


그림 6. 중간정지 밸브사용 전진시 기준시스템 압력 특성곡선 (Stroke Time : 0.102 sec)

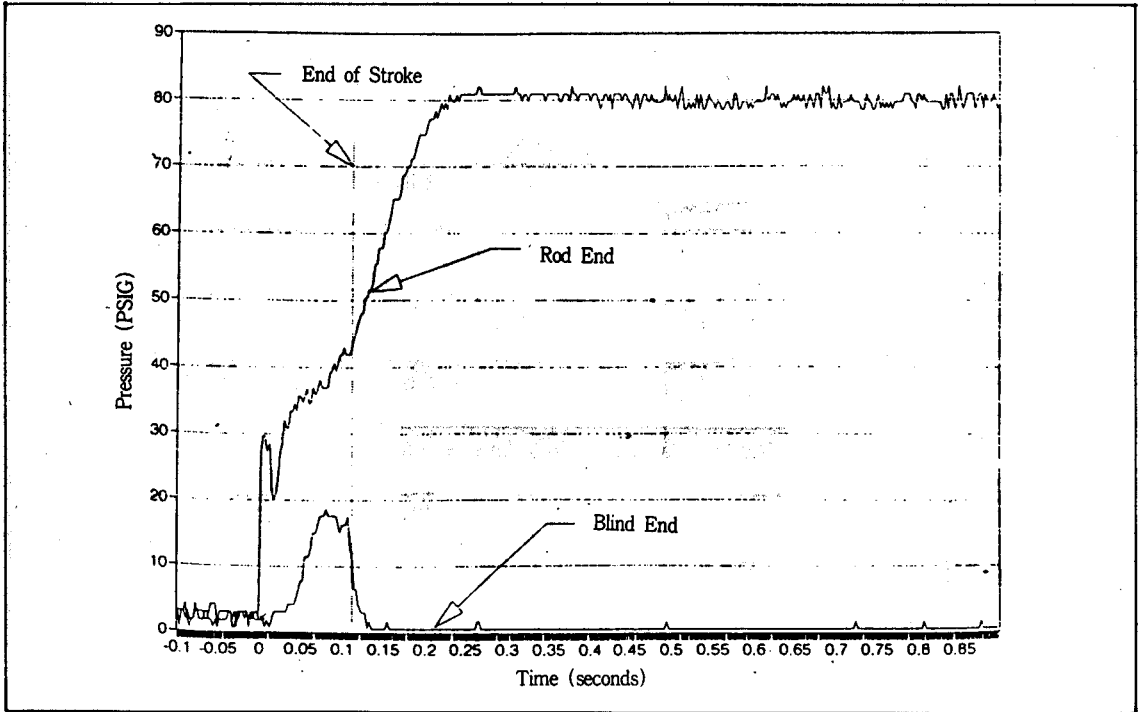


그림 7. 중간정지 밸브사용 후진시 기준시스템 압력 특성곡선 (Stroke Time : 0.11 sec)

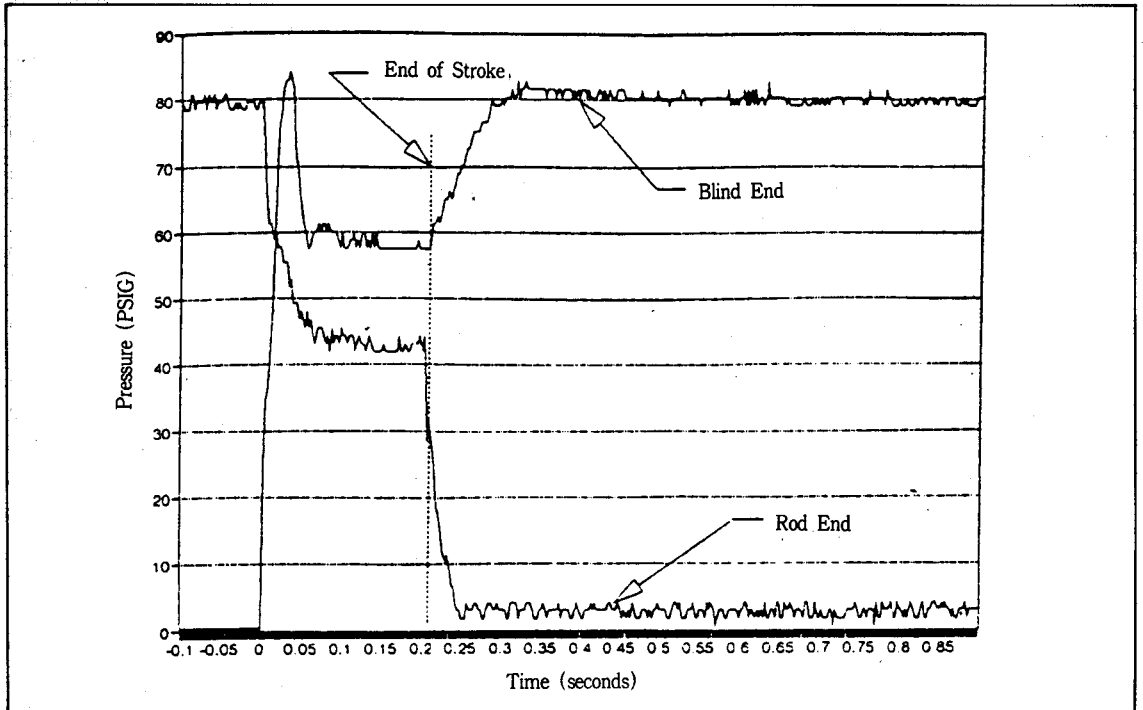


그림 8. 2위치 밸브사용 전진시 기준시스템 압력특성 곡선 (Stroke Time : 0.202 sec)

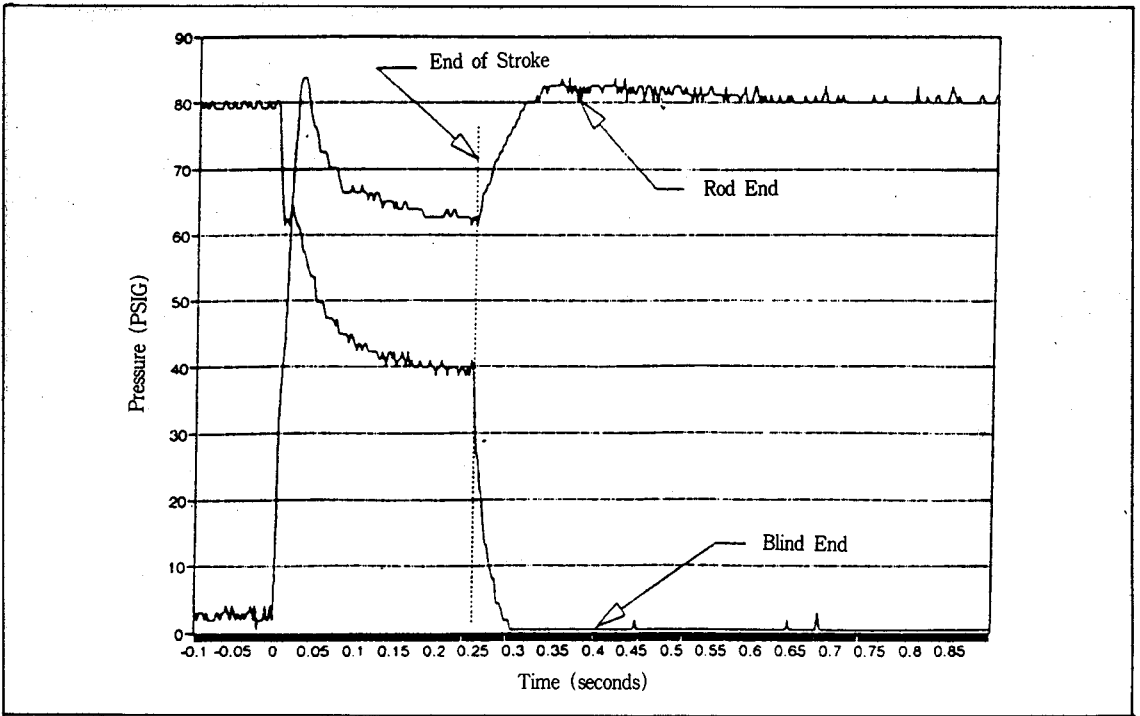


그림 9. 2위치 밸브사용 후진시 기존시스템 압력특성 곡선 (Stroke Time : 0.245 sec)

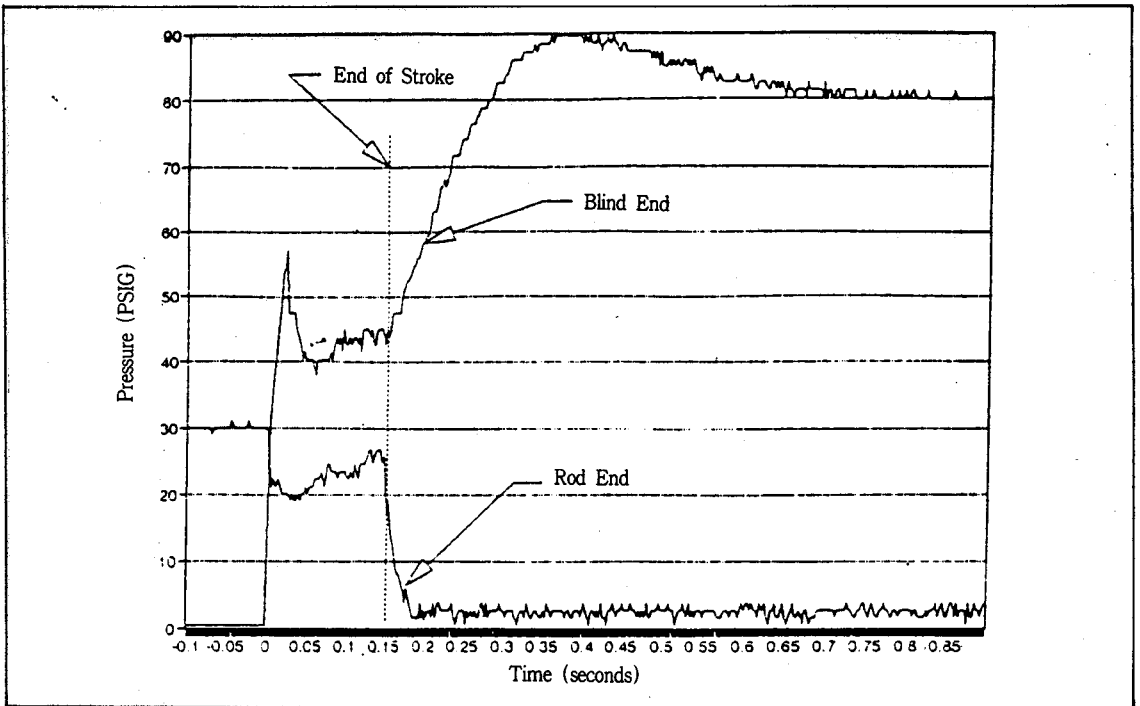


그림 10. 에너지 절약시스템 전진시 압력특성곡선 (Stroke Time : 0.148 sec)

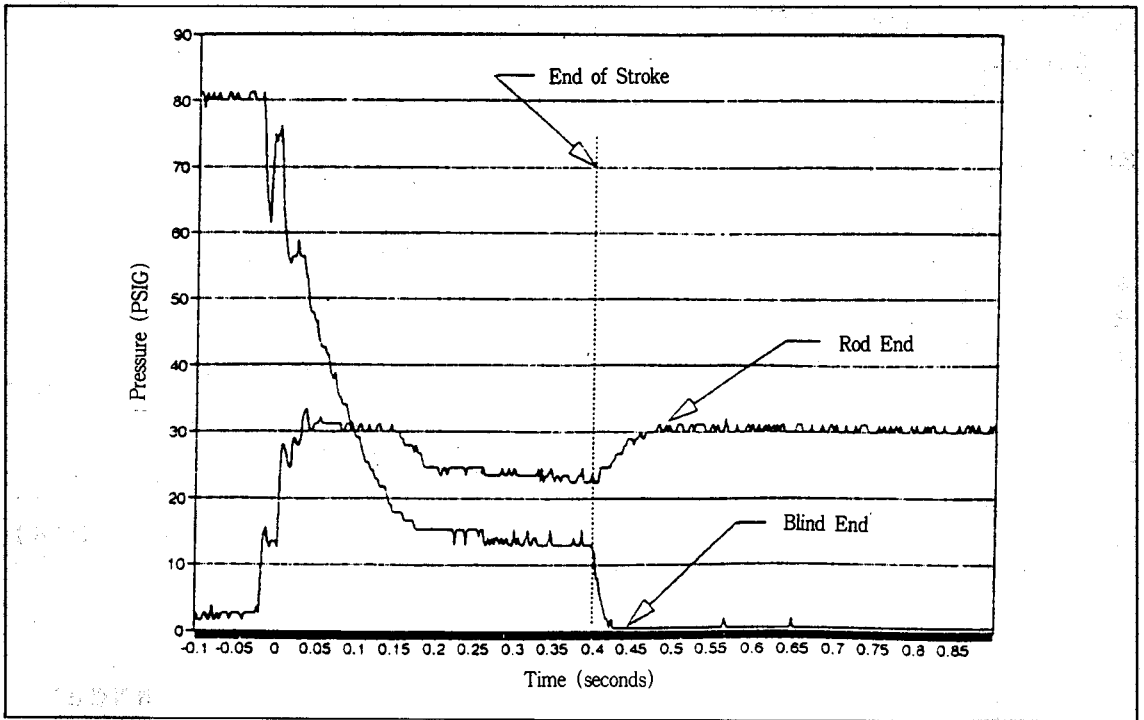


그림 11. 에너지 절약시스템 후진시 압력특성곡선 (Stroke Time : 0.398 sec)

앞의 특성 Graph에서 살펴본 바와 같이 최종 작업속도만 문제시 되지 않는다면, 즉 전진시 Stroke Time=0.148sec와 후진시 Stroke Time=0.398sec 범위 근처의 작업 속도라도 시스템 사용에 관계없다면 앞의 2가지 기존시스템 보다는 에너지 절약시스템으로 설계 제작하여 사용하는 것이 압축공기 에너지 가격을 절감하는 효과가 있으므로 더 타당하다는 것이다. (그림 3~11 참조)

### 2.3 공기압 제어시스템의 작업 응용에

그림 12에서처럼 공기압제어시스템이 공장자동화에 크게 활용되면서 그 응용이 크게 8개 분야로 이루어짐을 알 수 있다.

응용 예	작 동 모 드
PLACEMENT	
TRANSFER	
ELEVATOR	
C L A M P	
SELF LOCKING	
LOWERATOR	
REVERSING	
EXTERNAL LOCKING	

그림 12. 공기압 제어시스템 응용에

### 3. 에너지 절약회로 설계적용 및 알고리즘

#### 3.1 작업응용 분야별 회로구성

그림 13, 그림 14, 그림 15는 기존의 시스템에서 응용분야별 최적에너지 절감을 위한 회로도로서 크게 세가지로 대별하여 설계할수 있음을 말해주고 있다.

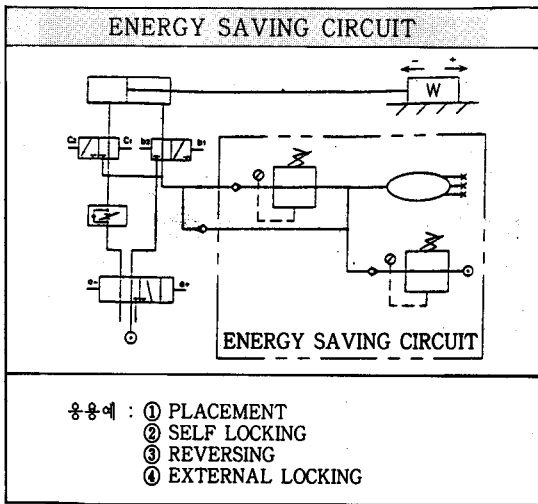


그림 13. 더블 파워 이중작동 실린더 회로 (DPDAC)

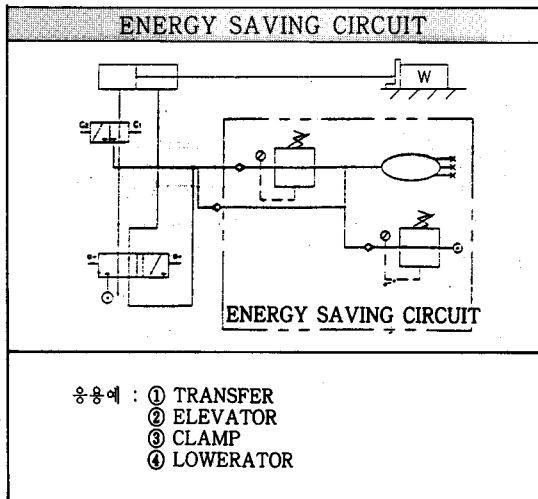


그림 14. 싱글파워 이중작동 실린더 회로 (SPDAC)

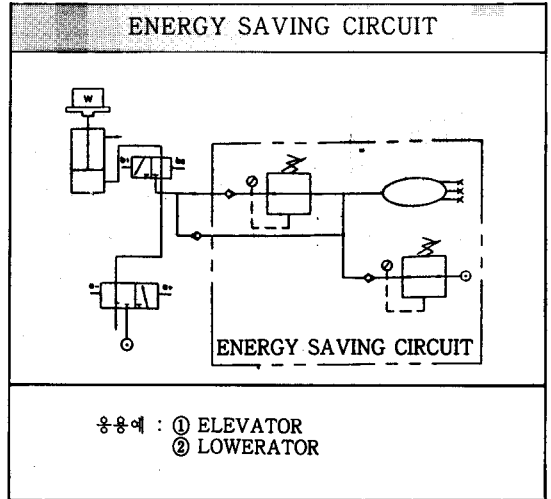


그림 15. 싱글파워 싱글작동 실린더 회로 (SPSAC)

#### 3.2 최적설계 알고리즘

기존시스템이건 에너지절약 시스템이건간에 공압제어시스템의 최적설계는 아래 그림 16과 같은 알고리즘에 의해 가능하며, 조만간에 이 분야만으로 상세하게 소개할 기회가 있음을 알려드립니다.

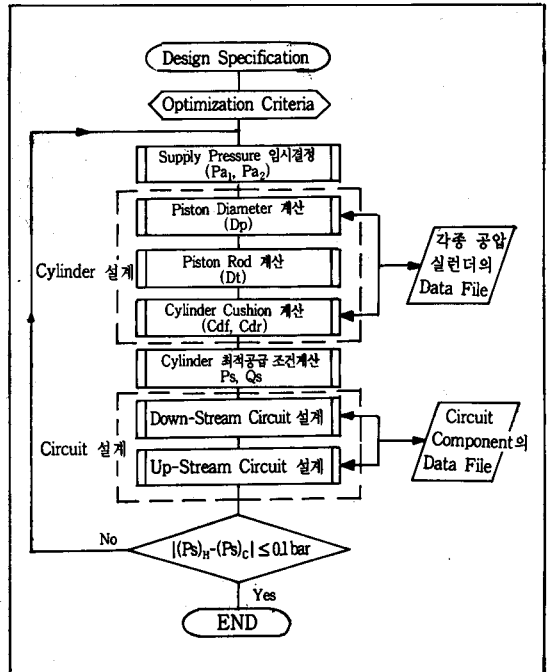


그림 16. 공압제어시스템 최적설계 알고리즘



### 3.3 부품 Optimal Sizing 기준 지침

- 가) 생산성 향상에 초점을 두어야 한다.
- 나) 실린더 및 모터의 각각 Size별 밸브, 배관 및 FRL Unit 등의 최적 Sizing에 중점을 두어야 한다. (그림 17, 표 1, 2 참조)
- 다) 최종 목적하는 속도에 초점을 두고 설계해야 하나, 구성하는 과정에서 배관 등의 제한적

(Restriction) 특성에 의해 목적하는 속도를 얻지 못하는 경우가 있다.

- 라) 실린더 직경에 따른 연결구경, 밸브범위, 배관 Size 및 FRL Unit 선정 (배관 길이 2m 일때와 속도 0.5m/sec 이상유지)
- 마) 모터 마력에 따른 연결구경, 밸브범위, 배관 Size 및 FRL Unit 선정 (배관길이 2m일때 까지만 허용)

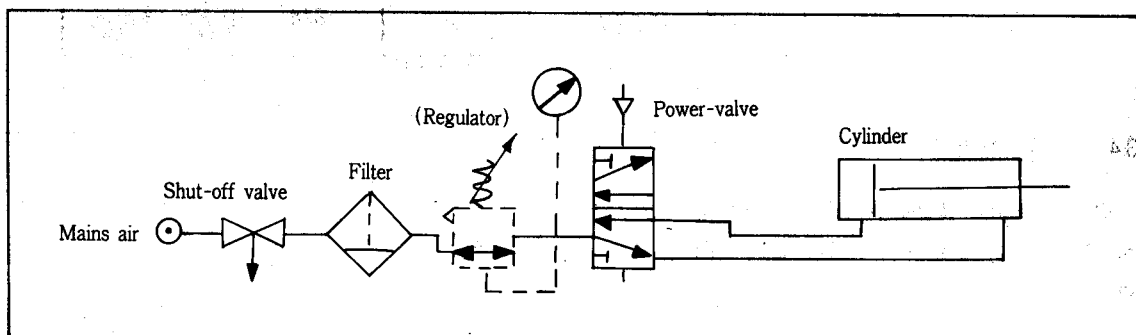


그림 17. 공기압 제어시스템 일반적인 구성회로도

표 1. 실린더 직경별 Component Size 범위

Cylinder bore, mm	Connection ISO	Valve range	Tubing mm $\phi$ , o/o i	Air preparation
320	G1		25	
250	G3/4		22/16	
200	G1/2		16/12	
160	G3/8		12/9	
125	G1/4		8/6	
100	G1/8		6/4	
80	G1/8		4/2.7	
63	G1/8			
50	G1/8			
40	G1/8			
32	G1/8			
25	G1/8			
20	G1/8			
12/6	M5			
8/10	M5			

G1/8 G1/8 G1/4 G3/8 G1/2 G1/2 G1 G1/4

표 2. 모터 마력별 Component Size 범위

Power KW	Motor type	Connection	Valve range	Tubing mm $\phi$ o/o i	Air preparation
3.5	LZL 25	G1		25	
2.4	LZL 15	G3/4		22/16	
1.5	LZL 05	G1/2		16/12	
0.6	LZB 44	G3/8		16/12	
0.36	LZB 33	G1/4		12/9	
0.25	LZB 22	G1/8		8/6	
0.12	LZB 11	G1/8		6/4	

G1/8 G1/4 G3/8 G1/2 G1/2 G1 G1/4

3.4 에너지 절약효과 계산에 (그림 18 참조)

먼저 Pressure Regulator를 부착하지 않은 기존 시스템에 대한 압축공기 소비량, Q1을 구해보기로 한다.

즉, 실린더 전·후진 동일하게 공급압력 Ps=6kgf/cm<sup>2</sup>로 작동할 경우에 대하여 실린더의 체적, V<sub>1</sub>=A×Stroke =  $\frac{\pi \times 80^2}{4} \times 500 = 0.628 \text{ Liter}$  이다.

전·후진시 압축공기 소비량, Q<sub>1</sub> = 2V<sub>1</sub>×P = 0.628 l × 2 × 7 = 8.792 Liter가 된다. 이때의 추력, F<sub>1</sub> = PA = 7 ×  $\frac{\pi \times 80^2}{4} = 35 \text{ kgf}$  로 전·후진 거의 동일하다.

그러나 Regulator를 부착한 경우에 대해 살펴보면 압력 4kgf/cm<sup>2</sup> 공급하여 전진할 경우 압축공기 소비량, Q<sub>2</sub>는 Q<sub>2</sub> = 0.628 l × 1 × 5kgf/cm<sup>2</sup> = 3.14 Liter가 되며 이때 전진시 추력, F<sub>2</sub> = 5 ×  $\frac{\pi \times 80^2}{4} = 25 \text{ kgf}$ 로 외부하중 20kgf를 충분히 움직일수 있다. 압력 1kgf/cm<sup>2</sup> 공급하여 후진할 경우 압축공기 소비량, Q<sub>3</sub>는 Q<sub>3</sub> = 0.628 l × 1 × 2kgf/cm<sup>2</sup> = 1.256 Liter이며, 이때 후진시 추력, F<sub>3</sub> = 20 ×  $\frac{\pi \times 80^2}{4} = 10 \text{ kgf}$ 가 된다.

따라서 압축공기 절약효율, η는 다음과 같이 50% 절약 가능함을 알수 있다.

$$\eta = \frac{Q_1 - (Q_2 + Q_3)}{Q_1} = \frac{8.792 - 4.396}{8.792} \times 100 = 50\%$$

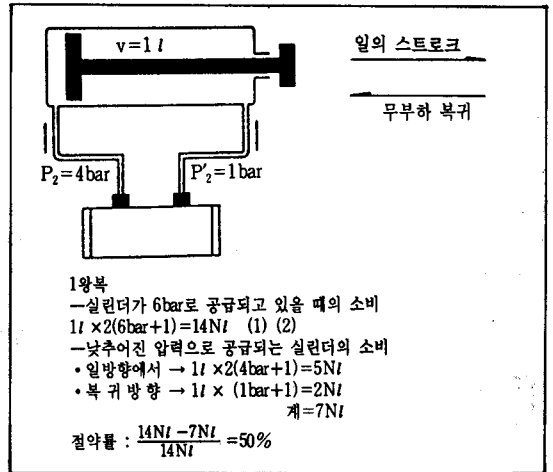


그림 18. 압축공기 에너지 절약율 계산에

앞에서 살펴보았지만 외부하중이 20kgf이므로 실린더의 Size를 작게 설계하여 시스템을 구성할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 실린더 직경 φ 80mm보다 작은 실린더를 선정하여 최적설계시스템으로 구성할수 있음으로 Component 가격 또한 절약할수 있겠다. F=PA가 F가 20kgf이므로 80mm의 실린더를 63mm의 실린더로 시스템을 구성할수 있다. 이에 대하여 에너지 절약효과를 계산하면 전진시 추력, F<sub>4</sub>=22kgf로써 충분하고, 후진시는 무부하이므로, F<sub>5</sub>=9.4kgf나 됨으로 충분하다. 여기에 Pressure Regulator를 부착하지 않고 사용했을때 압축공기 소비량, Q<sub>4</sub> = 0.155 l × 7 ×

2 = 2.17 Liter가 되며 Regulator를 부착하여 전진시 압축공기소비량,  $Q_5 = 0.155 l \times 7 \times 1 = 1.085 \text{ Liter}$ , 후진시  $Q_6 = 0.155 l \times 3 \times 1 = 0.465 \text{ Liter}$ 가 됨을 알수있다. 따라서, 압축공기절약효율,

$$\eta_1 = \frac{Q_4 - (Q_5 + Q_6)}{Q_4} = \frac{2.17 - 1.55}{2.17} = 28.6\%$$

로써 실린더의 Size를 작게 선정하여 Component 가격을 줄임과 동시에 압축공기 절약효율 또한

28.6%로 절약할 수 있음을 알았다. 따라서 현재 공장자동화 시스템 구성에 있어서 압축공기의 특징인 신속성 및 제어성 향상 등의 이유로 많이 사용되고 있다는 측면에서 볼때, 압축공기 Energy-Saving형 공압제어시스템 구성 효과는 대단한 에너지를 절약할수 있다는 사실에서 그 중요성이 크게 대두되고 있다. (표 4~7 참조)

표 3. 에너지 Source로써 "값비싼 압축공기", 압축공기 가격 → 비쌈

구분	Energy 가격 (Working Cost)
Electric Power	1
Hydraulic Power	4
Pneumatic Power	10
Human Effort	500

(Pneumatic Application 발체)

표 4. 압축공기 가격 산출근거의 기술자료 List

1 US \$ = 810원  
1 FF = 138원

No	년 도	논 문 명	압축공기 가격산출
1	1980	Parker Fluidpower "Dual Pressure Circuit"	12.1원/N l
2	1980	R.T.SCHNEIDER "Stop air leaks and save money"	16.2원/N l
3	1976	Henry FLEISCHER "Conserving Air also Conserves Cash and oil"	19.4원/N l
4	1978	Stap Report "Improving Efficiency in Pneumatic System"	20.2원/N l
5	1984	Numatic Incorporated "Data of Cost to Operate a Cylinder at Various Pressure"	24.3원/N l
6	1981	Marc ANTOINE "Les Economiseurs d' e' nergie pour v' erins Pneumatiques" Catalogue Legris "Economies d' e' nergie en auto matisation Pneumatigue" C.WARTELLE "Dynamique des V' erins Pneumaticques"	13.8원/N l

표 5. Piston 직경이 10mm인 경우 공기소모량 및 압축공기에너지 절감가격표 (φ10mm, 1대 기준)

구 분 Paramete		기존시스템		에너지절약시스템	
		Extension시 (Ps=6bar)	Retract시 (Ps=6bar)	Extension시 (Ps=4.5bar)	Retract시 (Ps=1.7bar)
1	실린더 체적	0.00785Dm <sup>3</sup>	0.0066Dm <sup>3</sup>	0.00785Dm <sup>3</sup>	0.0066Dm <sup>3</sup>
2	배관 체적	0.0196Dm <sup>3</sup>	0.0196Dm <sup>3</sup>	0.0196Dm <sup>3</sup>	0.0196Dm <sup>3</sup>
3	시스템전체적	0.02745Dm <sup>3</sup>	0.0262Dm <sup>3</sup>	0.02745Dm <sup>3</sup>	0.0262Dm <sup>3</sup>
4	압축비	7	7	5.5	2.7
5	대기압력으로 환산시 시스템의 공기소모량	0.192 × 10 <sup>-3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle	0.1834 × 10 <sup>-3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle	0.151 × 10 <sup>-3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle	0.0707 × 10 <sup>-3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle
6	분당 작동횟수	10	10	10	10
7	1년간 작동횟수	1,440,000	1,440,000	1,440,000	1,440,000
8	압축기가 중앙집권식	14원/Nm <sup>3</sup>	14원/Nm <sup>3</sup>	14원/Nm <sup>3</sup>	14원/Nm <sup>3</sup>
9	실린더가 1년에 사용 하는 압축공기가격	3,870원	3,697원	3,044원	1,425원
10	각 Stroke당 1년간 압축공기가격	7,567원		4,469원	
11	1년간 절감액	3,098원/년		* M. ANTOINE 참조	
12	실린더의 작동수명	5년으로 가정			
13	5년간 에너지 절감액	15,490원			

표 6. Piston 직경이 40mm인 경우 공기소모량 및 압축공기에너지 절감가격표 (φ40mm, 1대 기준)

구 분 Paramete		기존시스템		에너지절약시스템	
		Extension시 (Ps=6bar)	Retract시 (Ps=6bar)	Extension시 (Ps=4.5bar)	Retract시 (Ps=1.7bar)
1	실린더 체적	0.628Dm <sup>3</sup>	0.551Dm <sup>3</sup>	0.628Dm <sup>3</sup>	0.551Dm <sup>3</sup>
2	배관 체적	0.063Dm <sup>3</sup>	0.063Dm <sup>3</sup>	0.063Dm <sup>3</sup>	0.063Dm <sup>3</sup>
3	시스템전체적	0.691Dm <sup>3</sup>	0.691Dm <sup>3</sup>	0.691Dm <sup>3</sup>	0.614Dm <sup>3</sup>
4	압축비	7	7	5.5	2.7
5	대기압력으로 환산시 시스템의 공기소모량	4.837 × 10 <sup>-3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle	4.298 × 10 <sup>-3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle	3.801 × 10 <sup>-3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle	1.658 × 10 <sup>-3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle
6	분당 작동횟수	5	5	5	5
7	1년간 작동횟수	720,000	720,000	720,000	720,000
8	압축기가 중앙집권식	14원/Nm <sup>3</sup>	14원/Nm <sup>3</sup>	14원/Nm <sup>3</sup>	14원/Nm <sup>3</sup>
9	실린더가 1년에 사용 하는 압축공기가격	49천원	43천원	38천원	17천원
10	각 Stroke당 1년간 압축공기가격	92천원		55천원	
11	1년간 절감액	37천원/년		* M. ANTOINE 참조	
12	실린더의 작동수명	5년으로 가정			
13	5년간 에너지 절감액	185천원			

표 7. Piston 직경이 550mm인 경우 공기소모량 및 압축공기에너지 절감가격표

(φ550mm, 1대 기준)

구 분 Parameter	기존시스템		에너지절약시스템	
	Extension시 (Ps=6bar)	Retract시 (Ps=6bar)	Extension시 (Ps=4.5bar)	Retract시 (Ps=1.7bar)
1 실린더 체적	118.73Dm <sup>3</sup>	114.8Dm <sup>3</sup>	118.73Dm <sup>3</sup>	114.8Dm <sup>3</sup>
2 배관 체적	0.25Dm <sup>3</sup>	0.25Dm <sup>3</sup>	0.25Dm <sup>3</sup>	0.25Dm <sup>3</sup>
3 시스템전체적	118.98Dm <sup>3</sup>	115.05Dm <sup>3</sup>	118.98Dm <sup>3</sup>	115.05Dm <sup>3</sup>
4 압축비	7	7	5.5	2.7
5 대기압력으로 환산시 시스템의 공기소모량	832.86 × 10 <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle	805.35 × 10 <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle	654.39 × 10 <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle	310.64 × 10 <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup> /cycle
6 분당 작동횟수	3	3	3	3
7 1년간 작동횟수	432,000	432,000	432,000	432,000
8 압축기가 중앙집권식	14원/Nm <sup>3</sup>	14원/Nm <sup>3</sup>	14원/Nm <sup>3</sup>	14원/Nm <sup>3</sup>
9 실린더가 1년에 사용 하는 압축공기가격	503만원	487만원	396만원	188만원
10 각 Stroke당 1년간 압축공기가격	990만원		584만원	
11 1년간 절감액	406만원/년		* M. ANTOINE 참조	
12 실린더의 작동수명	5년으로 가정			
13 5년간 에너지 절감액	2,030만원			

#### 4. 결 론

지금까지 살펴본 바와 같이 본 연구는 기존의 공압제어시스템과 에너지 절약형 공압제어시스템의 구성상의 비교 및 특성그래프 파악, 응용분야별 에너지 절약 회로도 설계, 에너지 절약효과 계산에 및 Sizing에 대하여 개괄적으로 논하였으며, 본 게재 내용을 통하여 압축공기 가격이 비싸다는 사실인식과 아울러 공장자동화의 공압제어시스템 구성시 압축공기 에너지 절약효과를 고려한 설계 고려 등등, 우리가 일반적으로 아무렇게나 사용하고 있는 압축공기도 그냥 사용하면 막대한 돈이 낭비된다는 사실을 느끼는 것만으로도 충분한 역할을 다한 것으로 생각되며, 앞으로 보다 더 깊이 있는 연구를 통하여 에너지 절약차원의 공압제어 시스템에 대해 재 소개하고자 한다.

#### 참 고 문 헌

1. KIM Hyong Eui, "Contribution a la rationalisation du dimensionnement du circuit et des composants pneumatiques de puissance des machines automatiques", June 1985, Phd report.
2. J. Kain, C.Wartelle, "Dynamique des verins pneumatiques", September 1973, CETIM publication.
3. C. Wartelle, "Caracteristiquess de debit des appareils a fluides compressibles", September 1972, CETIM publication.
4. Lennaart GIDLUND, "Calculations of the characteristics of pneumatic systems in steady state condition", June 1974.
5. F. E. SANVILLE, "Transients in pneumatic cylinder actuators", date
6. Henry FLELSCHER, Paul TALLANT, "Practical air valve sizing", 1973, Numatics

- Inc. publication.
7. R. H. WARRING, "Pneumatic handbook", 1982.
  8. MILLER Fluid power company(USA), "Engineering aids and cylinder modifications", 7552-383, 1983.
  9. PARKER Fluid power company(USA), "Selecting a stop-tube", 1980, industrial pneumatic technology p.65-68.
  10. Blaine W.ANDERSEN, "The analysis and design of pneumatic systems", 1967.
  11. D.BOUTEILLE, P.BERTRAND, "Les automatismes electro-pneumatiques et pneumatiques", Editions de l'usine nouvelle.
  12. THOSHIHARU KAGAWA "Temperature change of air in pneumatic system", in Fluid Power, 1993.
  13. A.ROMITI, RAPARELLI, "Dynamic modeling and simulation of pneumatic systems" Fluid Power, 9th international symposium, 1990.