유공압시스템학회지 제3권 제2호 pp. 26~32 2006년 6월

공기압 구동시스템은 살아남을까?
Pneumatic Systems from the View Point of Energy Saving

河合 素直 / 강보식 譯
S. Kawai / B. S. Kang

1. 서 언

공기압 구동시스템을 에너지 절약의 관점에서 살펴본다면 전기 또는 유압 구동시스템에게 한발 양보해야 한다는 사실은 잘 알려져 있다. 이것은 파워(에너지) 변환 효율이 다른 구동시스템보다 떨어진다는 사실에 근거한다. 그리고, 에너지절약이라는 관점에 집착하면 공기압 구동시스템대신에 전기 구동시스템을 채용하고자 하는 방침을 정할 수 있으므로 공기압 구동시스템으로부터 전기 구동시스템으로의 기술적 전환이라는 과제가 발생할 지도 모른다. 과연 공기압 구동시스템은 전기 구동시스템으로 대체되고 말 것인가? 만약 이러한 일이 현실이 된다면 공기압에 관여하는 사람들에게는 중대한 문제가 아닐 수 없다.

다양한 자동기계의 구동부 또는 조작부에 전기식을 채용할 것인가 아니면 유압식 또는 공기압식을 채용할 것인가 하는 문제는 굉장히 중요한 테마이다. 이러한 경우에 단순하게 정상상태에서 정의되는 변환효율이 낮다는 이유만으로 에너지절약이라는 관점으로부터 공기압시스템이 부적합하다고 결정해 버리는 것에는 결코 동의할 수 없다. 그 이유로는 우선 어떠한 구동시스템도 조작부로 사용하는 경우에는 효율(출력으로 정의한 일에 대한 입력 에너지의 비)이 극히 낮으므로 전술한 변환효율을 근거로 비교하는 것은 타당하지 않기 때문이다. 다음으로는 에너지절약의 관점에서 논의를 전개하는 경우에는 제조부터 폐기에 이르기까지 전 과정을 근거로 에너지절약을 실현해야만 할 것으로 생각하기 때문이다. 그리고 마지막으로 본 해설에서 기술하는 넓은 시야로 살펴본다면 공기압 구동시스템이 가지는 장점을 충분히 인식함으로서 공기압 구동시스템이 전기 구동시스템과 공존할 수 있다고 생각하기 때문이다. 그리고, 공기압에 관한 연구를 생각한다면 전기, 유압, 공기압 구동시스템 각각의 장점을 비교함으로서 공기압이 갖는 장점을 명확하게 하고, 그 결과로 도출되는 공기압의 장점을 잘 파악한 이후에 현장의 요구에 대응할 수 있는 최적의 구동방식으로서 공기압을 선택할 수 있으면 충분할 것으로 생각한다. 이하에는 동력(에너지) 변환이라는 입장에 얽매이지 않는 관점으로부터 약간의 고찰을 전개한다.

2. 공기압시스템이 에너지절약이라는 관점에서 문제가 있다고 인식되는 이유는?

전기 또는 유압 구동시스템과 공기압 구동시스템을 비교하는 경우에는 전술한 바와 같이 에너지절약 측면에서 공기압 구동시스템에 문제가 있다는 사실이 지적된다. 즉, 지구환경보호라고 하는 사회적 또는 전 지구적 과제를 달성하기 위해서는 에너지절약이라는 평가지표를 설정하고 이러한 평가지표를 토대로 구동시스템을 선택해야 한다. 그러므로 에너지절약의 관점에서 공기압 구동시스템은 문제가 있거나 개선해야 할 과제가 많다는 사실이 지적되고 있다.

따라서 우선은 공기압 구동시스템이 에너지절약이라는 관점에서 어떠한 과제를 해결해야 하는지를 고찰하고, 다음으로 에너지절약 측면에서 공기압 구동시스템이 전기 또는 유압 구동시스템과 비교하여 뒤처진다고 지적되는 사실의 타당성을 검증할 필요가 있다.

상기한 사실에 대한 저자의 기본적 생각으로는 전기, 유압, 공기압 시스템을 동력(에너지) 변환효율이라는 관점으로부터 단순하게 비교함으로서 우열을 판단하는 것은 타당하지 않다고 생각한다. 즉, 동력(에너지) 변환효율을 평가지표로 비교하여 공기압 구동시스템은 효율이 나쁘므로 에너지절약 측면에서 공기압 구동시스템보다 에너지 변환효율이 좋은 시스템을 사용하는 것이 바람직하다고 알려져 있지만 지구환경을 보호하고자 하는 입장에서 생각한다면 제조부터 폐기까지의 전 과정을 포함하여 각 구동방식의 우열을 비교해야만 한다는 사실을 용이하게 이

해할 수 있다. 그러므로 동력(에너지) 변환효율이 절대적인 평가지표가 될 수는 없다.

동력(에너지) 변환효율을 이용하여 비교하면 어떤 결론이 얻어질지에 대해서 간략하게 살펴보기로 한다.

光岡은 구동시스템의 현상과 동향[1]에서 고정값형(constant value type) 구동시스템을 대상으로 전기, 유압, 공기압 구동시스템의 동력(에너지) 변환효율을 정리하였고, 그 결과 달성 가능하다고 생각되는 총효율(괄호 안은 현재 효율)을 전기 구동시스템은 90[%](85[%]), 유압 구동시스템은 75[%](40[%]), 공기압 구동시스템은 40[%](20[%]) 로 기술하고 있다.

이러한 예에서 알 수 있듯이 동력(에너지) 변환효율을 평가지표로 한다면 공기압 구동시스템이 다른 구동시스템보다 불리할 수밖에 없고, 이러한 결과를 근거로 에너지절약의 관점에서는 공기압 구동시스템이 문제가 있거나 개선해야 할 과제가 많다고 지적된다. 물론, 이러한 지적은 공기압축기만의 효율을 검토하였으므로 에너지 유효이용에 대한 공기사이클을 종합적으로 검토한다면 공기압 구동시스템의 효율이 크게 향상될 수도 있다. 본 해설에서는 이러한 사실을 지적하기만 하고 다음 기회에 거론하기로 한다.

그러나 상기한 총효율[1]은 연속구동 조건하에서의 동력(에너지) 변환효율에 주목한 것이므로 간헐적으로 구동하는 경우에는 상기한 총효율을 그대로 적용하는 것은 바람직하지 않다. 즉 조작부로 사용하는 경우의 효율(출력일과 입력에너지의 비)은 어떤 구동방식을 적용하여도 극히 낮으므로 에너지 변환효율을 이용하여 비교하면 오해를 초래할 수 있다는 점을 강조한다.

3. 공기압 시스템의 장점은?

3.1 단순한 동력 변환요소인가?

과연 동력(에너지) 변환효율이 다른 시스템보다 낮은 시스템은 시스템의 존재를 주장할 수 없는 것일까? 여기서는 결론을 먼저 도출해 본다. 공기압 시스템을 전술한 바와 같이 단순한 동력(에너지) 변환요소로 간주하여 변환효율을 근거로 전기 또는 유압 구동시스템과 비교하여 결론을 도출하는 것은 초등학생과 같은 극히 단순한 발상이므로 공학적인 견해가 될 수 없고 타당한 결론이 아니다. 즉 연속구동조건에서 정의되는 동력(에너지) 변환효율이 다른 시스템보다 낮을 뿐이므로 연속구동조건만으로 공기압 구동시스템의 특징을 판단해서는 안 된다. 역으로 말하면 공기압 시스템을 연속구동조건에서 정의된 변환효율을 적용하고 이것을 근거로 평가하는 것은 공기압 시스템이 액추에이터 등으로 폭넓게 이용되고 있는 상황(공기압 시스템이 연속 또는 정상운전조건에서 사용되는 것은 극히 보기 드묾)을 전혀 고려하지 않은 좁은 시야에서의 견해이다.

3.2 공기압 시스템의 특징은 무엇을 근거로 평가해야할까?

본 절에서는 공기압 시스템의 특징을 명확하게 하고 그러한 특징과 에너지절약과의 관계를 생각해 본다.

우선, 전기, 유압, 공기압 구동시스템의 특징을 동력(에너지) 변환효율 만으로 판단하는 것이 얼마나 편향적인 생각인지 구체적으로 살펴보자. 각 시스템별 출력단의 특성을 살펴보면 각 시스템의 장점을 어느 정도 명확하게 파악할 수 있다.

라만[2]은 동력(에너지) 변환효율에서 한 걸음 나아가서 각 시스템 출력단의 특성, 즉, 회전속도와 토크에 주목하여 시스템별 특징을 그림 1과 같이 정리하였다. 이 결과에 의하면 유압 시스템의 특징은 출력토크가 크다는 사실에 있음을 알 수 있다. 그러나, 유감스럽게도 공기압 시스템은 전기 시스템의 적용범위에 포함되므로 그림 1과 같은 결과에서는 장점을 주장할 수 없다.

라만은 또한 비용이라는 평가지표를 도입하여 각 시스템의 비용과 출력동력간의 관계를 그림 2와 같이 정리하였다. 이 결과에 의하면 출력동력이 20[kW]이하인 경우에는 공기압 시스템이 전기 시스템보다 비용면에서 우위에 있음을 알 수 있다.

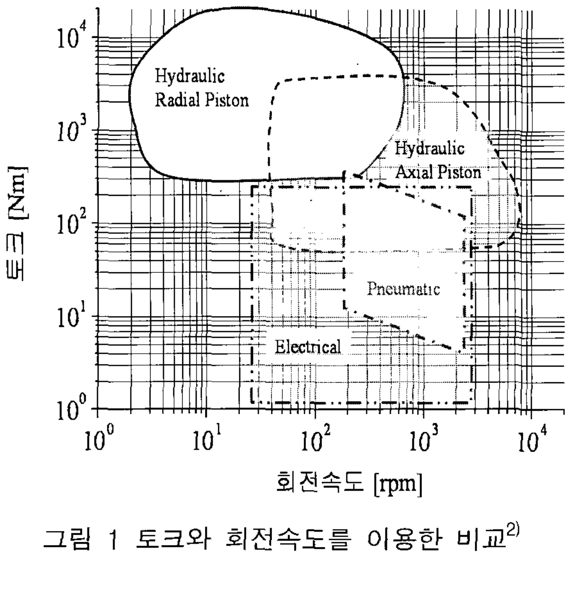


그림 1 토크와 회전속도를 이용한 비교[2]

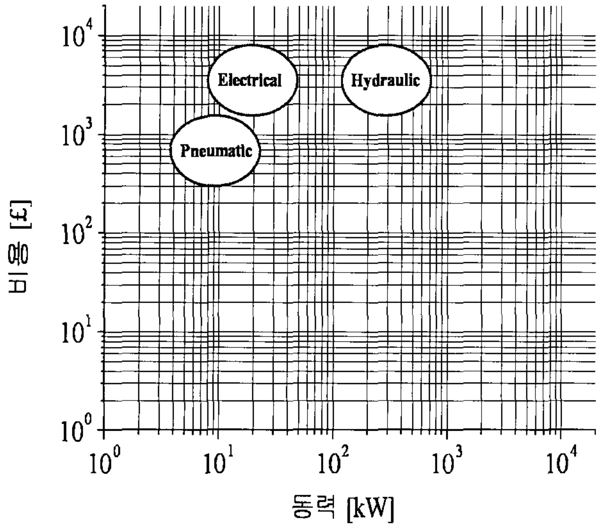


그림 2 동력과 비용을 이용한 비교

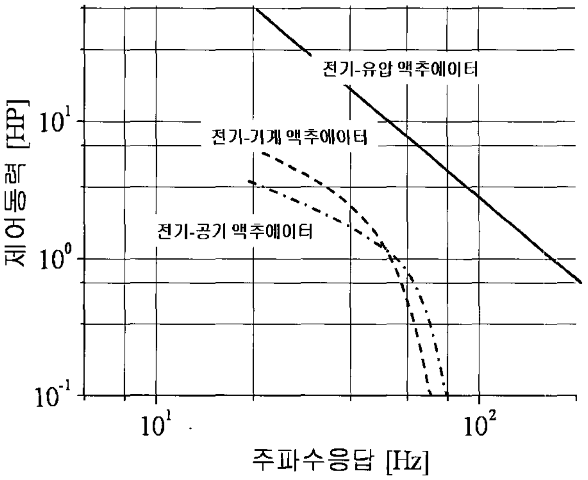


그림 3 각 액추에이터의 응답특성

그림 2도 연속출력이라는 관점에서 비교한 결과이기는 하지만 공기압 시스템의 가장 큰 장점이 저비용의 액추에이터라는 사실을 이 결과로부터 알 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 출력단의 특성을 비용까지 포함한 특성으로 간주한다면 공기압 시스템의 존재가치를 충분히 주장할 수 있을 것으로 생각한다. 특히, 비용면에서 우위에 있다는 사실은 각 시스템의 특징을 제조, 가동, 폐기로 연결되는 전 과정을 대상으로 검토한다면 어떠한 경우라도 공기압 시스템이 다른 시스템보다 열등하다는 결론에는 도달하지 않을 것으로 판단한다. 즉, 실제로 가동할 때의 소비에너지 뿐만 아니라 제조부터 폐기에 이르는(경우에 따라서는 재생까지도 포함하여) 전 에너지를 대상으로 한다면 공기압 시스템이 다른 시스템보다 열등하지 않을 가능성이 충분히 존재한다. 현 단계에서는 이 문제를 상세히 검토할 수 없지만 향후에 학회를 중심으로 연구회를 구성하여 상세한 조사, 검토를 진행해야 한다.

3.3 액추에이터로서 살펴보면

마지막으로 제어용 액추에이터로 사용하는 경우에 대한 검토 결과를 간략하게 설명한다. 제어용 액추에이터라는 관점에 주목하면 액추에이터의 응답특성(동특성)과 최대출력, 즉, 제어동력간의 관계를 살펴보는 것이 적당할 것으로 판단된다.

여기에서는 로즈 등[3]이 상기한 관점으로 정리한 결과를 소개한다. 로즈 등은 우주항공분야에 사용하는 전기-유압 구동시스템, 전기-기계 구동시스템, 전기-공기압 구동시스템의 응답특성(주파수특성)을 제어동력과의 관계로 정리하여 그림 3과 같은 결과를 얻었다. 이 결과에 의하면 전기-공기압 구동시스템은 전기-기계 구동시스템과 비교하여 응답특성이 거의 동등하므로 이러한 측면에서도 공기압 시스템의 존재가치를 주장할 수 있음을 알 수 있다.

4. 공기압시스템의 존재가치를 주장할 수 있다

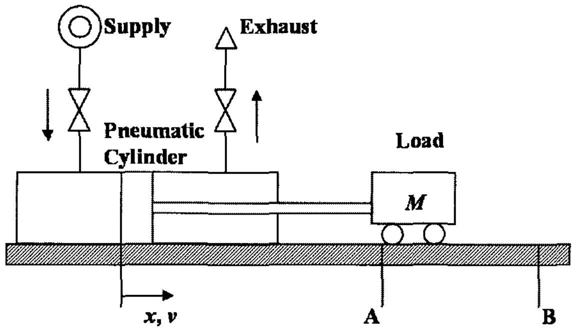
공기압 구동시스템의 특징을 다시 한 번 생각해보자. 우선, 공기압원에 주목하면 압축기가 단열에 극히 가까운 조건으로 공기를 압축한다는 사실을 거론하지 않을 수 없다(이 때문에 압축공기를 냉각기로 냉각해야만 한다). 그러나, 그러한 사실을 역으로 생각하면 공기압 시스템의 큰 장점 중의 하나는 공기가 압축성을 가지고 있다는 것이다. 즉, 대기권에서 사용하는 한 작동매체가 무한히 존재하고 더군다나 압축성이 있다. 이런 특징은 전기식 또는 유압식 구동시스템에서는 찾아 볼 수 없다.

그렇다면 작동매체로서 공기가 가지는 압축성이 공기압 구동시스템의 특징이 될 수 있을까? 공기압 구동시스템의 구체적인 용도로부터 생각해보자.

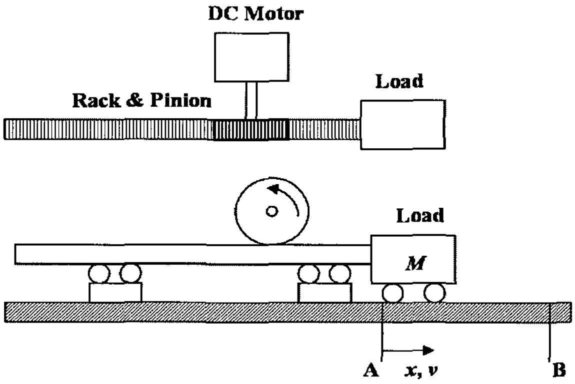
공기압 액추에이터의 용도를 조사해 보면 간헐적으로 작동하는 구동방식이 대부분이고, 이러한 구동방식이 공기의 압축성과 잘 들어맞는다고 생각할 수 있다. 저자의 견해로는 공기압 구동시스템은 유체에너지 형태로 일단 에너지를 저장하였다가 필요시에 단시간에 이 에너지를 사용하여 원하는 동작을 달성할 수 있다는 사실에서 나름대로의 특징을 도출할 수 있다고 생각한다. 상기한 내용은 PTP(Point To

Point)와 같은 단순한 동작, 혹은 공기압 공구에서 볼 수 있는 바와 같이 단시간에 원하는 동작을 수행하는 경우에 공기압 시스템을 이용하는 경우가 많다는 사실을 생각하면 쉽게 이해할 수 있다.

상기한 사실에 대한 예로서 그림 4와 같이 공기압 실린더를 이용하여 부하를 A 위치로부터 B 위치로 이동 시키는 경우를 검토하고 그 결과를 토대로 공기압 구동시스템과 전기 구동시스템을 비교해 보자



(a) 공기압 구동시스템



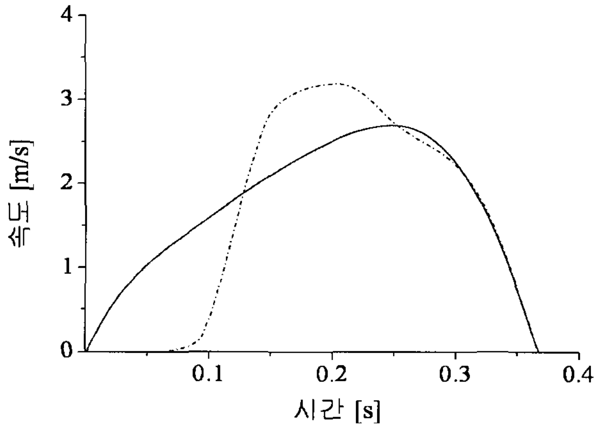
(b) 전기 구동시스템

그림 4 공기압 구동시스템과 전기 구동시스템

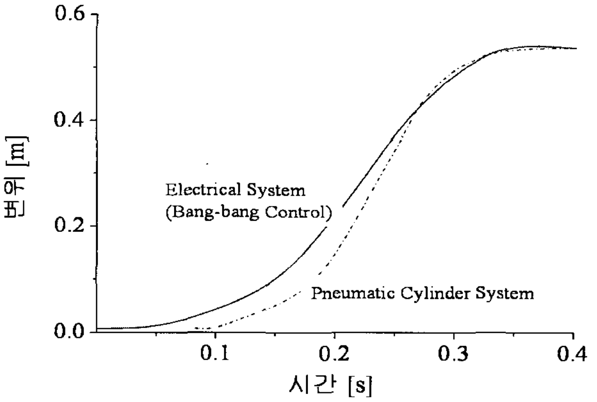
공기압 실린더로 부하를 구동하는 경우에는 유체에너지로 저장된 에너지를 단시간에 소비하게 된다. 이러한 경우에는 고속으로 구동하다가 구동 종료 지점에서 속도를 줄이는(구동 종료 지점에서의 구동부 운동에너지를 작게하여 충격을 완화한다) 구동법이 이상적이다. 이러한 이상적인 구동조건에 대해서는 이미 보고된 결과[4]가 있으므로 상세한 내용은 생략한다. 어쨌든 이러한 방법을 채택하면 그림 5와 같은 응답을 나타낸다. 이 예에서는 내경 45[mm], 스트로크 600[mm]인 공기압 실린더를 사용하였다.

다음으로 거의 같은 조건으로 전기식 구동시스템을 사용하여 부하를 이동시키는 경우를 생각해 보자. 그림 4와 같이 부하를 직선으로 움직이는 경우에는 리니어모터를 사용하는 것도 생각할 수 있지만 아직 다양한 특성을 가지는 리니어모터를 입수하는 것이 용이하지 않다. 그러므로, 편의상 직류 모터를 이용하고, 손실이 없는 메커니즘에 의하여 직선운동으로 변환한다고 가정하자. 이 때 모터 출력축 특성과 감속비에 의하여 응답이 영향을 받는다는 사실을 고려하여 감속비의 최적값을 결정하고, 뱅뱅제어를 이용하여 부하를 공기압 실린더와 동일한 시간에 이동시킨다고 가정하면, 이 때 필요한 직류 모터의 출력은 230[W] 정도가 된다.

이 예로부터 공기압 실린더와 동일한 조건으로 전기식 구동시스템을 사용하여 부하를 구동하기 위해서는 용량이 큰 모터가 필요함을 알 수 있다. 또한, 공기압 시스템은 패시브한 구동회로로 실현할 수 있지만 전기식 구동시스템은 액티브한 제어장치(모터 구동회로 포함)를 필요로 한다. 따라서, 상기한 바와 같이 부하를 고속으로 이동시키고자 하는 용도에서는 공기압 구동시스템이 전기식 구동시스템보다 우위에 있고 에너지절약 측면에서의 비교가 얼마나 무의미한지 확인 할 수 있다.



(a) 속도응답



(b) 위치응답

그림 5 전기 구동시스템과의 비교

5. 위치제어용 액추에이터로서의 특징

액추에이터로 사용한다면 위치제어 또는 속도제어용으로 사용했을 때의 특징을 논하지 않을 수 없으므로, 위치제어 측면에서 바라본 공기압 시템의 특징을 생각해보자.

공기압 시스템의 용도를 조사해 보면 전술한 PTP 제어와 같이 패시브한 형태로 사용되고 있는 것이 압도적으로 많다. 실은 바로 이것이 공기압 시스템이 갖고 있는 큰 특징이고 전기식 또는 유압식 구동시스템에서는 생각할 수 없는 사용방법이다. 역으로 공기압 구동시스템으로 위치를 제어하고자 하면 많은 문제가 발생한다. 공기압 구동시스템의 위치제어에 관해서 다음과 같은 사항을 간단하게 지적해 둔다.

지금까지 기술한 바와 같이 공기압 구동시스템의 최대 특징은 유체에너지로 저장한 에너지를 단시간에 사용하여 부하를 고속으로 구동한다는 점이다. 반면에 액티브한 제어는 저장 에너지를 조작하여 소정의 제어를 실현하는 것이므로 공기압 구동시스템을 액티브한 제어에 사용한다는 것은 공기압 구동시스템의 가장 큰 특징을 희생하게 될 지도 모른다.

또한, 공기의 압축성은 정밀한 위치제어를 어렵게 하기 때문에 위치제어 측면에서 전기식 또는 유압식 구동시스템과 어깨를 나란히 하는 것은 용이하지 않다.

6. 에너지절약 측면에서의 향후의 과제

전술한 바와 같이 공기압 시스템은 연속운전조건에서 정의되는 효율이 낮아도 그 존재가치를 충분히 주장할 수 있지만, 향후에는 실제 가동조건을 염두에 둔 에너지절약 방안이 요구될 것으로 생각한다.

6.1 고압화와 에너지절약

관련법규가 개정된 이래 고압화한 경우의 여러 가지 장점이 논의되었지만 아직까지 고압화에 대해서는 구체적 방향이 결정되지 않은 듯하다. 그러므로, 가장 많이 사용되고 있는 공기압 기기를 대상으로 하여 고압화의 장점을 구체적으로 검토할 필요가 있고, 또한, 공기압원을 고압화하는 과제도 검토해야 한다. 압축기의 체적효율 등을 전부 100[%]로 가정하고 대기압에서 7[kgf/cm^2]까지 단열상태로 압축하면 효율이 약 46[%] 이고, 대기압에서 14[kgf/cm^2]까지 단열상태로 압축하면 효율이 약 45[%] 이다. 그러나, 현실적으로는 압축기의 단수가 증가하면 전체 효율의 저하를 초래하고, 그 결과 압축기측의 효율이 낮아지므로 에너지절약과는 상반대는 결과를 초래한다. 더군다나 공기압 배관에 누설이 있는 경우에는 고압화에 따라서 누설이 증가 할 수도 있다. 그러나, 이것과는 반대로 고압화에 의하여 공기압기기가 소형화되므로 제조부터 폐기까지의 전 과정에서 에너지절약을 실현 할 수도 있다. 그러므로, 고압화에 의한 에너지절약에 관해서는 종합적으로 조사, 검토할 필요가 있고, 이 과제에 대해서도 학회를 중심으로 진행하기를 기대한다.

6.2 에너지절약을 달성하기 위한 방법

공기압 시스템을 대상으로 하는 에너지절약 대책은 각 방면에서 실시되고 있다. 대표적인 방법으로는 다음과 같은 방법을 들 수 있다.

1) 공기압원에서 현장까지의 압력손실 감소와 공기 누설 방지 대책(건조기 등의 압력손실 포함)
2) 기기 구동압력의 저압화
3) 공기블로어의 저압화
4) 공기압원 설비의 효율향상
5) 배기공기의 유효이용

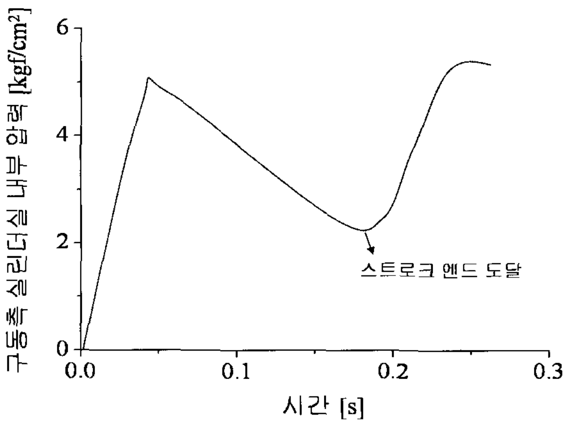
공기압 기기를 실제 가동할 때의 에너지절약법 중 한 예를 소개하면 다음과 같다.

전술한 공기압 기기의 PTP 구동을 주목해 보자. PTP 구동시의 스트로크 및 실린더실 내부 압력 응답은 일반적으로 그림 7과 같다.

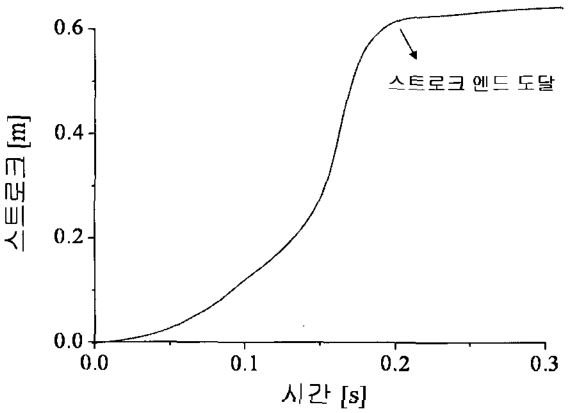
그림 7을 살펴보면 스트로크 엔드에 도달한 시점에서는 구동측(공급압력측)의 실린더실 내부 압력이 아직 공급압력에 도달해 있지 않고 스트로크 엔드에 도달한 이후에도 계속해서 압력이 증가하고 있음을 알 수 있다. 즉, 부하의 동작이 완료된 이후에도 공기를 계속해서 공급하고 있고, 최종적으로 실린더실 내부 압력이 공급압력에 도달하게 된다.

그러므로, 스트로크 엔드에 도달한 이후의 공기의 공급은 단순히 종단에 있어서의 강성을 확보하는 것에 기여할 뿐이고 대부분의 경우에는 공기를 허비하게 될 뿐임을 알 수 있다.(스트로크 엔드에 도달한 후에 구동반력이 증가하는 것은 있을 수 없는 일이다.) 따라서, 공기의 공급을 스트로크 엔드에 도달한 시점, 또는 스트로크의 중간위치에서 차단함으로서 공기소비량, 즉, 에너지소비를 줄일 수 있다.

그림 7과 같은 조건에서는 30[%] 이상의 공기소비량을 줄일 수 있었다.



(a) 압력응답



(b) 위치응답

그림 7 PTP 구동에 대한 공기압 실린더의 응답

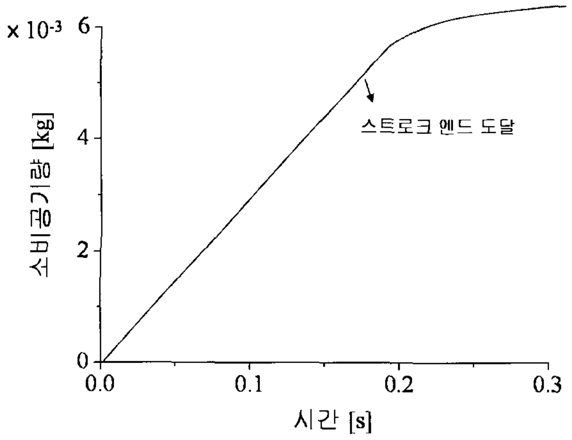


그림 8 구동법에 의한 소비공기량 절약 예

6.3 저압화의 가능성에 대하여

발상을 전환하면 저압화하는 경우도 생각해 볼 수 있다.

구동압력을 저압화하면 소비동력이 감소하므로 기기가 대형화되지 않는 한 에너지절약 측면에서의 요구를 해결할 수도 있을 것이다.

그리고, 미래의 공학기술이 해결해야 할 과제 중에서 인간 친화적인 기계를 만들어 내야 한다는 과제가 점점 중요한 위치를 차지하게 될 것으로 생각된다. 앞으로 문제가 될 고령화 사회에서는 인간의 활동을 보조하기 위한 액추에이터가 필요하게 되고, 이 때 공기가 가지고 있는 압축성, 즉, 컴플라이언스(compliance)를 활용하기 위해서는 작동압력을 저압화해야 한다. 물론, 이때의 액추에이터는 공기압 실린더와 같이 현재 시판되고 있는 것과는 근본적으로 다른 액추에이터가 될 가능성도 염두에 두지 않으면 안 된다.(전혀 다른 발상에 의하여 액추에이터를 개발해야 할지도 모른다.)

우리가 유체에너지로 저장한 에너지를 단시간에 사용하여 부하를 고속으로 구동할 수 있는 공기압 구동시스템의 특징을 잘 활용하고 있는지에 대한 평가도 필요하다. 예를 들어 공기압 실린더 구동회로에 스피드 컨트롤러(역지밸브가 부착된 가변오리피스)를 사용하면 오리피스의 기능에 의하여 공기압 구동시스템이 가지고 있는 특징이 희석된다고 해석할 수 있기 때문이다. 또한, 공기압 실린더를 구동하기 전에 배기측 실린더실 내부를 대기압으로 설정해두면 더욱 고속으로 부하를 이동할 수 있지만, 피스톤이 실린더 헤드를 뚫고 나가버릴 것을 염려하는 관계자들 사이에서 이러한 구동법은 바람직하지 않은 것으로 평가되고 있으므로 에너지절약에 상반되는 방법으로 실린더를 사용하고 있다. 이러한 상황을 생각한다면 공기압 실린더의 고속구동을 에너지 절약측면에서 재검토할 필요가 있다.

7. 결 언

저자의 독단과 편견에 근거한 해설이 되어 버렸는지도 모르겠지만, 지구환경보호라는 대의명분을 살리기 위해서는 제조부터 폐기까지의 전 과정에서 사용하는 에너지를 절약하기 위하여 지금까지 이상으로 노력해야 한다는 사실을 유공압 분야에서도 인식해야 할 필요가 있다.

그리고, 공기압 구동시스템은 유압 구동시스템, 전기 구동시스템과 비교하여 정상상태에서 정의되는 동력(에너지) 변환효율을 기준으로 평가하면 존재가치를 주장할 수 없다. 그러나, 에너지 변환효율을 저하시키는 근본적 요인인 공기의 압축성을 최대한 살릴 수 있도록 노력 한다면 저비용과는 다른 측면에서의 공기압 구동시스템의 우수성을 주장할 수 있게 된다. 이러한 노력과 더불어 에너지절약을 향하여

노력을 계속하는 것이 공기압에 관여하는 엔지니어가 취해야 할 할 향후의 자세로 생각한다.

후 기

본 해설은 일본플루이드파워시스템학회지(구 일본유공압학회지)에 실린 해설을 번역한 내용이다. 원문의 출처 및 원저자는 다음과 같다.
河合素直, "空氣壓驅動システムは生き殘れるか?", 油壓と空氣壓, Vol. 27, No. 3, pp. 383~390, 1996

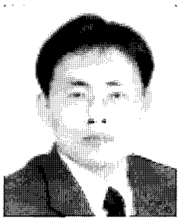
참고 문헌

1) 光岡 "驅動システムの現狀と動向", 油壓と空氣壓, Vol. 19, No. 6, pp. 436~443, 1988.
2) L. S. Larman, "Choosing the drive system for the right application", I. Mec. E., pp. 99~104, No. 11, 1985.
3) D. P. Rose, "Hydraulic, electric, pneumatic control which way to go?", I. Mec. E., pp. 23~30, No. 11, 1985.
4) 河合, 川上, "空氣壓シリンダの高速驅動に關する一考察", 油壓と空氣壓, Vol. 21, No. 3, pp. 318~325, 1990.
5) 河合, "空氣壓によるパワー制御の特長と短所", 油壓と空氣壓, Vol. 24, No. 4, pp. 445~450, 1993.

[저자 소개]

S. Kawai
1964년 와세다대학 이공학부 졸업, 2000년~2002년 일본플루이드파워 시스템학회(구 일본유공압학회) 학회장, 현재 동대학 이공학부 교수

[역자 소개]



강보식
E-mail: kbs668@kimm.re.kr
Tel: 042-868-7156
1962년 8월 31일생(양)
1990년 부경대학교 기관공학과 석사 과정 졸업, 2002년 한양대학교 제어공학과 박사 과정 수료, 1990년~현재 한국기계연구원 기계시스템신뢰성연구센터 책임연구원 근무, 2005년~현재 동 연구원 기계시스템신뢰성연구센터 유공압팀장, 대한기계학회, 한국신뢰성학회 등의 회원