

친환경성 구동시스템 - 수압시스템 Environmentally Friendly Power Transfer System-Water Hydraulic Systems

박 성 환
S. H. Park

1. 서론

최근에는 환경보존에 관한 인식이 고조됨에 따라 환경에 대한 요구가 매우 심각하게 대두되고 있으며 법적규제 또한 매우 엄격해지고 있다. 이와 같은 시대적 흐름에 맞추어 구동시스템의 안전성에 관한 규제도 날로 증가하고 있는 추세이다. 국제적인 법규제에 있어서도 환경 영향성 평가에 따라 생산규제를 동반할 수 있는 미국의 EPA(Environmental Protection Agency)와 판매규제를 동반한 EU의 규정 등이 더욱 엄격해지고 있으며, 환경에 미치는 영향을 저감하면서 품질관리 및 보장이 가능하고, 작업 환경의 안전위생을 개선하기 할 수 있는 ISO9000, ISO14000, ISO16000, HACCP(Hazard Analysis Critical Control Point)등의 규격이 이미 제정되어 있는 상황이다. 그러므로 이와 같은 사회적인 요구의 변화에 부응할 수 있는 구동시스템의 개발이 매우 절실하다.

유압시스템의 경우, 작동유의 외부누설을 완전히 배제하는 것이 불가능하고 누설에 의하여 환경오염 및 화재의 위험성이 있기 때문에 고응답성과 고출력 특성을 가진 구동시스템임에도 불구하고 그 적용이 제한되는 경우가 증가하고 있다. 이러한 시대의 흐름에 맞추어 유압시스템과 동일한 동특성과 효율을 가진 「새로운 수압시스템」의 개발이 주목을 받고 있다.^{1~11)}

물을 작동유로서 이용하는 경우, 물은 광물유와 물성이 매우 다르기 때문에 기기의 성능 및 내구성에 관해서 해결하지 않으면 안 되는 문제점이 발생한다^{1,11,12)}. 그러나 최신의 재료기술과 가공기술 및 설계의 고안 등에 의해 이들 문제가 해결되었고, 이미 새로운 수압시스템을 위한 수압용 펌프^{13~15)}, 수압용 액츄에이터^{16~18)}, 수압용 서보밸브^{19~21)}, 수압용 비례밸브²²⁾등의 수압기기가 개발되는 등 새로운 수압시스템의 실용화를 위한 개발 및 연구가 적극적으로 진행되고 있다^{23~31)}.

본보에서는 순수한 물을 작동유체로 사용하는 친

환경성 구동시스템인 수압시스템이 새롭게 재등장한 사회적 배경을 유체구동시스템의 역사를 통하여 고찰하고, 새로운 수압시스템의 신규성 및 독자성을 소개함과 동시에 수압시스템의 현황 및 장래의 전망을 소개하고자 한다.

2. 유체구동시스템의 역사

동력 전달매체로서 물의 사용은 매우 긴 역사를 가지고 있지만, 가압된 물을 이용하여 동력을 전달하고 제어하는 공학적 의미를 가진 수압시스템의 사용은 영국의 발명가 Joseph Bramah³²⁾가 파스칼의 원리에 기초하여 수압구동 프레스장치³³⁾를 개발하고 특허를 취득한 1795년부터 시작되었다.

그 후, 19세기에는 영국을 중심으로 수압시스템이 폭넓게 사용되었다. 당시 London Hydraulic Power Company는 Fig.1과 같은 펌핑 스테이션을 런던과 근교도시에 수개소 건설하였다.

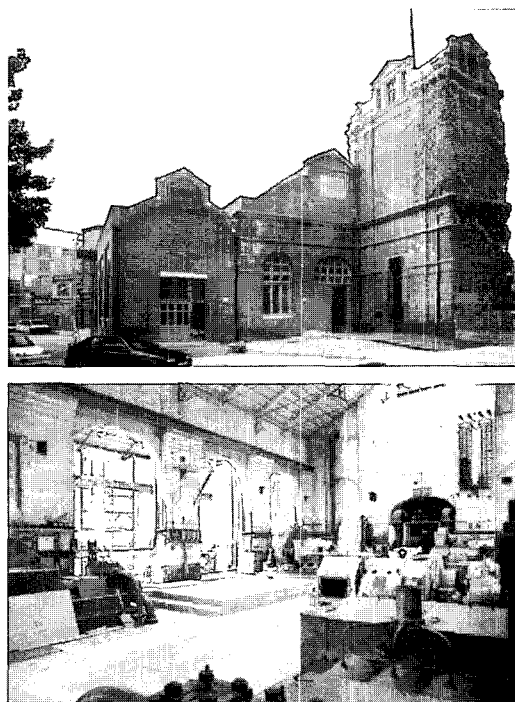


Fig. 1 Pumping station and its main plant room

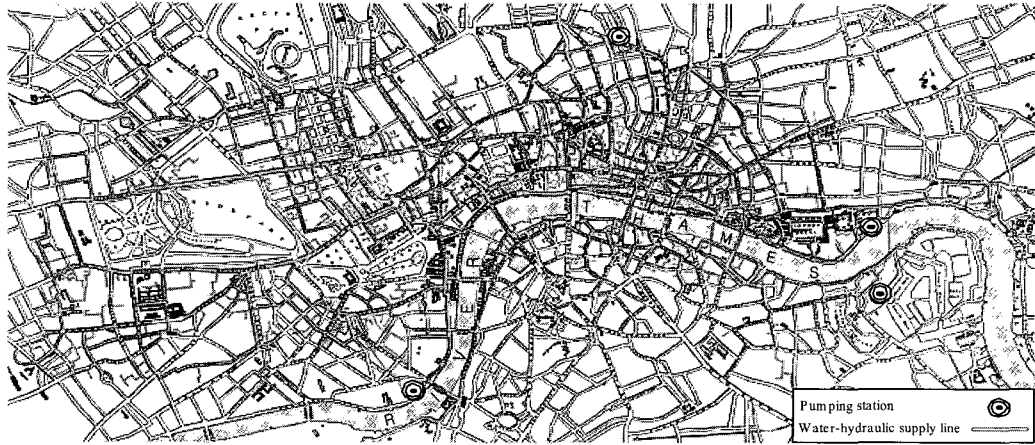


Fig. 2 Water hydraulic pump room and supply line (London)

Fig. 2는 펌핑스테이션에서 생성된 고압의 물을 밀집된 공업단지와 상업지역에 수도와는 별도의 배관을 통하여 현재의 전력배전망과 같이 가압된 물을 공급한 라인을 나타내며, 크레인, 도개교, 호이스트, 프레스, 윈치, 엘리베이터 등이 이러한 가압된 고압의 물로 구동되었다.

동력을 보다 간편하게 제어할 수 있는 엔진이나 전동기는 대규모의 전력배전망이 없는 19세기에는 존재하지 않았기 때문에, 수압시스템은 당시 매우 귀중한 구동시스템이었다. Fig. 3에 나타난 런던 테임즈강의 타워브릿지(도개교)³⁴⁾는 수압구동의 가장 친근한 예이며, Fig. 4에 나타난 파리의 에펠타워의 엘리베이터는^{35,36)} 지금도 수압으로 구동되고 있다.

그러나 당시의 펌핑스테이션의 최대 공급압력은 7[MPa] 또는 그 이하의 저압이었고, 더욱이 사용현장에서는 3~5[MPa] 까지 저하하는 것이 일반적이였다. 또한, 당시의 수압구동 기술은

- 물의 저점성에 의한 내부외부 누설
 - 물의 저윤활특성에 의한 마찰과 마모의 발생
 - 물의 기기재료에 대한 부식성과 발청성
 - 물의 캐비테이션의 발생 및 동결
- 등 여러 가지 문제점을 그대로 포함하고 있었다.

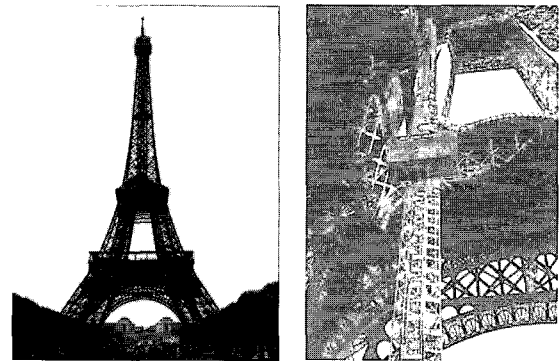
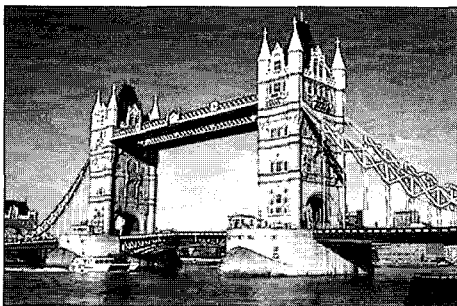


Fig. 4 Eiffel Tower and water hydraulic driven elevator

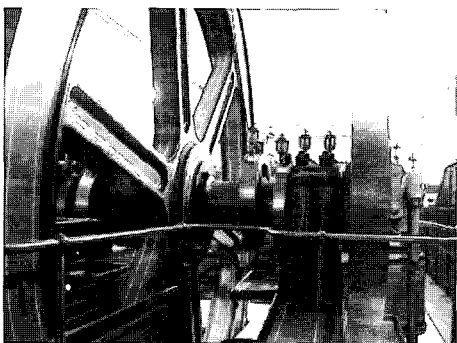


Fig. 3 Tower Bridge at London and water hydraulic systems for bascule driving

이러한 문제를 해결한 시스템으로서 20세기에 등장한 것이 유압시스템이다. 근대적인 유압구동기술의 역사가 시작된 것은 1906년 Fig.5에 나타낸바와 같이 미국의 전함 버지니아호의 함포시스템의 구동과 제어에 유압시스템이 사용되었던 시기부터이다³⁷⁾. 작동유체로서 물 대신 석유계의 작동유³⁸⁾를 사용함으로써, 당시의 수압시스템이 가지고 있었던 여러 가지 문제가 한꺼번에 대폭 개선되었고, 동시에 소형경량화, 고제어·고응답화, 고압화, 고효율화 등이 현저하게 진행되었다. 현재에는 항공기, 자동차, 건설기계,

가공기계 등의 분야에서 없어서는 안 될 중요한 구동시스템으로서 폭넓게 사용되고 있다.



Fig. 5 Battleship USS Virginia (1906)

3. 새로운 수압구동 시스템의 등장

유압시스템은 기능이 매우 뛰어나지만, 광물성 작동유를 작동유체로 사용하기 때문에 여러가지 문제점이 존재한다. 그중 하나가 바로 화재의 위험성이고, 그 대책으로서 water-glicol^{39,40)} 등의 물을 다량 함유한 난연성 작동유⁴¹⁾의 사용이 1940년대부터 시작되었다. 또 광물유의 사용으로 인한 자원과 에너지의 낭비를 없애기 위한 대책으로서 1970년대에는 HWBF, HWCF 등의 고합수 작동유가 주요 관심사가 되기도 하였다^{42~45)}. 그러나 이들 작동유는 광물성 작동유의 대용으로서 그 역할을 가진 것으로 작동유로서는 중간적인 성격을 가진 것이며 가능한 종래에 사용되고 있는 유압기에 적합한 작동유의 사용을 고려한 것이었다.

이에 반하여, 20세기 후반부터 유체제어의 새로운 전개 특성은, 작동유체로서 수돗물을 사용하면 광물유를 사용하는 유압시스템이 근원적으로 가진 환경오염과 자원 확보의 문제가 모두 사라진다는 적극적인 발상을 배경으로 연구가 시작되었다. 일본에서는 1978년에 당시까지와는 완전히 새로운 발상을 근거로 Yamaguchi⁴⁶⁾가 작동유로서 수돗물의 사용 가능성을 최초로 검토 했다. 즉, 작동유체로서 수돗물의 사용을 가정하고 그 실현 가능성에 대하여 물성, 운할, 캐비테이션 등 다양한 면에서 검토를 행하였다. 그 결과, 작동유체로서 수돗물을 사용하기 위한 매우 중요한 과제는 기기에 사용 가능한 재료 및 유체운할의 실현이고, 이들 문제를 극복 가능하면, 구동시스템으로서 충분히 사용 가능하다는 것을 명백하게 하였다. 그러므로 이 연구는 수돗물을 작동유체로서 사용하는 것을 전제로 하고 있으며, 수돗물의 사용에

적합한 제어기기를 제작한다는 개념으로 기존의 연구와는 반대 개념에서 출발한 연구로서 중요한 의미를 가진다. 최근에는 수돗물 사용의 문제점으로 지적된 과제가 대부분 해결되었고, 이를 근간으로 사회적 요구에 부응하여 수돗물을 사용하는 구동시스템인 「새로운 수압시스템」이 주목받는 시대가 된 것은 이러한 기초연구가 있었기 때문이다⁴⁷⁾.

1990년대에 이르러 환경문제가 매우 중요한 문제가 되고 유압시스템의 화재, 에너지 절약문제 등과 더불어 제3의 문제점으로서 작동유의 누설과 동반된 환경오염의 문제가 부각되고 있다. 이러한 환경 문제에 가장 민감한 북유럽국가들에서는 핀란드, 덴마크를 중심으로 수돗물을 작동유체로서 사용한 수압시스템에의 관심이 고조되고 연구가 활발하게 행하여져서 수압용 펌프, 모터, 실린더 전자밸브 등의 개발이 활발히 진행되었다. 일본에서도 기업과 대학을 중심으로 개발연구가 행해져 서보밸브 비례밸브 등이 개발되었다. 이와 같이 최근에 새로운 수압시스템의 개발이 가능하게 된 것은, 「재료의 발달, 가공기술의 향상, 운할에 관한 고안」 등에 의하여 과거의 수압시스템의 제반문제가 해결되었기 때문이다. 즉, 새로운 수압기기의 중심적 재료가 되는 스테인리스강과 전자밸브에 적합한 성능을 가진 전자스테인리스강이 다양하게 개발되어 상용화 되어 있다⁴⁸⁾. 또한, 캐비테이션은 가능한 한 발생하지 않는 것이 바람직하지만, 물의 증기압은 Table 1-1의 물성의 개략치에 나타낸바와 같이 광물유에 비하여 매우 크고, 특히 온도가 매우 높아지면 보다 커지기 때문에 수압시스템에서는 캐비테이션이 발생하기 쉽다. 이러한 이유에서 캐비테이션 피식의 방지를 위하여 필요한 경질재료로서 세라믹스와 고도의 표면처리기술이 실용적으로 이용되고 있다. 더욱이 섭동부에 적합한 엔지니어링 플라스틱도 실용화 되어 있는 상황이다.

또, 수돗물을 사용한 경우에 문제가 되는 것은 틱새로부터의 내부누설이다. 일반적으로 틱새로부터 누설되는 유량은 층류영역에서는 틱새의 크기의 3승에 비례하고, 동점도에 반비례한다.

Table 1-1에 의하면 수돗물은 대표적 광물유에 비해 동점도가 1/30정도이기 때문에 수압기기의 경우 틱새 두께를 유압기기의 1/3정도로 하면 틱새로부터의 누설량은 유압기와 동등한 레벨이 된다. 가공비용은 다소 증가하지만, 현재는 가공기술의 향상에 의하여 이러한 정밀가공도 충분히 실현 가능한 상황이다. 또, 물은 점도가 작고, 운할성이 결여되어 있어,

정압베어링과 같은 방법을 이용해서 마찰과 마모를 방지하는 고안도 행하여지고 있다.

Table 1-1 Comparison of tab and typical petroleum based working fluid

	Tab water	Typical Petroleum based fluid
Density at 20°C [Kg/m ³]	1000	900
Kinematic viscosity at 20°C [m ² /s]	1×10 ⁻⁶	30×10 ⁻⁶
Bulk Modulus [MPa]	2200	1500
Vapor pressure at 20°C [Pa]	2300	0.5
Density changing rate [%/°C]	0.04	0.08
Viscosity changing rate [%/°C]	2	4

이상과 같이 목적 및 요구를 근간으로 개발되어온 새로운 수압시스템은 과거의 수압기술과 다르다는 것을 명시하기 위하여 일본의 수압시스템 관계자들은 이 시스템을 「아쿠아 드라이브 시스템(Aqua Drive System : ADS)」이라고 부르는 경우도 있다.

4. 새로운 수압시스템의 특징

새로운 수압시스템은 19세기에 사용되었던 수압기술과 완전히 별개의 목적과 성격을 가지고 개발되고 있는 것을 전술의 역사적 배경으로부터 알 수 있다. 즉, 새로운 수압시스템의 기초적인 개념은 「수돗물을 작동유체로 사용한다」는 것이며, 다른 Fluid Power System에는 없는 새로운 수압시스템의 특징 즉, 독자성과 신규성은 모두 이 개념을 근간으로 한다. 이하에서는 새로운 수압시스템의 특징에 대해 기술한다.

4.1 새로운 수압시스템의 독자성

구동시스템의 청정성은 그 시스템이 기계유를 어느 정도 소비하는지를 고려해서 분류할 수 있다. 기계유를 가장 많이 소비하는 것은 Table 1-2에 나타낸 바와 같이 유압시스템이고, 기기 내에 유지되는 작동유의 많은 양이 외부로 누설된다. 다만, 대부분의 유압시스템은 기계공장과 대형기기 등 비교적 이러한 누설에 관용적인 분야에 주로 사용되고 있기 때문에 지금까지는 큰 문제가 되지 않을 뿐이다.

Table 1-2 Relationship between the driving method and oil

	Hydraulic	Electrics	Pneumatics	Water Hydraulic
Working Fluid	Oil	-	Air	Tab water
Lubrication	Oil	Lubricant	Oil mist	Tab water
Oil Leakage	Much	Extremely small	Extremely small	Non

한편, 전기와 공기압 시스템은 작동유 자체는 사용하고 있지 않지만, 기기의 원활을 위하여 약간의 기름을 사용하고 있으므로, 기름의 사용에 전혀 무관하다고는 볼 수는 없다. 예를 들어 기름의 사용량이 비록 극소량이지만 반도체 제조와 같은 공정에서는 공기압의 사용이 문제가 된다. 그러나 수압시스템은 기름을 전혀 사용하지 않기 때문에, 완전한 「Oil Free」 제품이다. 기름을 전혀 사용하지 않기 때문에 수압시스템은 다음과 같은 2차적인 특징을 가지고 있다.

- 외부누설에 의한 환경오염의 문제가 없다.
- 자원으로서의 광물유를 소비하지 않는다.
- 리턴배관이 없는 시스템의 구성이 가능하다.
- 방사능에 오염되지 않는다.

수돗물은 원래 공기와 마찬가지로 생활주변에서 흔히 볼 수 있는 물질이므로, 「환경친화성」이 뛰어나며, 대부분의 경우 그대로 버려도 오염문제가 없기 때문에, 필요한 경우에는 공기압과 같이 리턴배관이 없는 시스템의 구성도 가능하다. 공장이 더러워지는 원인의 하나가 윤활유 등의 기계유의 비산에 의한 것이므로, 구동시스템을 수압시스템으로 개선하면 이러한 문제점들도 해결된다. 또, 수돗물의 밀도와 점도 등 물성치의 온도에 따른 변화는 Table 1-1에 나타낸 바와 같이 광물유와 비교해서 매우 작기 때문에 온도변화에 의한 영향이 작은 시스템의 구성도 가능하다. 그러나 수돗물은 비등, 동결 등의 문제 때문에 사용온도의 범위가 광물유에 비하여 좁은 것에 주의할 필요가 있다.

4.2 새로운 수압시스템의 신규성

(1) 고강성, 낮은 압력손실 : Table 1-1에 나타낸 바와 같이 수돗물은 광물유와 비교해서 밀도는 약간 크고, 체적탄성계수가 50%정도 크기 때문에 강성이 매우 큰 시스템 즉, 특성주파수가 높은 시스템의 구축이 가능하다. 또, 작동유체인 물이 저점도이기 때

문에 관마찰 압력손실이 작고, 점도가 큰 기름을 사용하는 유압시스템의 배관계에 비교해서 가늘거나 긴 배관처리가 가능하다. 즉, 수압유닛과 구동제어 시스템이 멀리 떨어져 있는 장대한 시스템도 구축이 가능하다. 다만, 관로를 너무 가늘게 하면, 같은 양의 유량을 보내기 위한 유속이 커지기 때문에 유속변동에 따른 큰 압력변동 즉, 「수격」에 의한 큰 압력상승이 발생한다. 수격에 의한 압력상승은 음속과 유속변동의 곱에 비례하지만, 고강성일수록 음속이 크기 때문에 큰 수격이 발생하고 더욱이 낮은 압력손실일수록 이것이 감소되지 않고 시스템 전체에 전파하기 때문에 이러한 점에 주의할 필요가 있다. 중고압 시스템 (7MPa 이상)의 경우, 고강성의 특질이 우수하면 제어성이 뛰어나며 또한, 소형경량으로 고속응답이 가능하다. 그러므로 수압시스템은 기존의 유압시스템과 전기구동시스템을 대신할 수 있는 최적의 구동시스템이 될 것이다.

(2) 내수성 · 청정성 : 수압시스템의 작동유체는 수돗물이기 때문에 수압기기는 원래 물에 직접 접촉해도 전혀 문제가 없다. 이에 반하여 전기시스템은 제어성능이 뛰어나다는 점에서 매우 발달되어 있고, 제어성만을 고려할 경우 수압시스템은 전기시스템에 비하여 이용가치가 떨어진다. 그러나 전기시스템은 물의 접촉에 매우 약한 결점이 있고, 물에 직접 접촉하는 시스템과 청정성을 필요로 하는 분야에서는 전기시스템 보다는 중저압 수압시스템 (7~0.7MPa) 또는 중고압 수압시스템(7MPa 이상)이 최적의 구동시스템이라고 할 수 있다. 즉, 수압시스템의 이용분야는 전기시스템에 적합하지 않은 약간의 특수한 분야에 한정된다.

(3) 고효율 · 고강성 : 일반적으로 공기압 시스템은 가격이 저렴하고, 간편한 구동시스템의 구현을 목표로 폭넓게 사용되고 있으나, 저장성이고 응답성이 낮으며, 에너지 효율이 낮은 문제점이 있다. 예를 들어, 대기압 $P_0=0.1[MPa(abs)]$ 의 공기를 압축해서 압력 $P_s=0.8[MPa(abs)]$, 체적 V 의 압축공기를 만들기 위하여 필요한 에너지 E_0 는 상태변화를 등온변화로 고려하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_0 = P_s V \ln\left(\frac{P_s}{P_0}\right) = P_s V \ln\left(\frac{0.8}{0.1}\right) = 2P_s V \quad (1)$$

한편, 압력 P_s 의 압축공기를 통상의 사용방법으로

하는 경우, 출력 가능한 에너지 E 는 많아도 $E = P_s V$ 정도이다. 그러므로 공기압 시스템의 에너지 효율은 $E/E_0 \leq 1/2$ 이 되고, 단순계산에 의하면 최대의 경우에서도 약 0.5 정도이다. 이에 반하여, 수압시스템의 효율을 이보다 크게 하는 것은 시스템의 고안에 의하여 충분히 가능하다. 또 저장성의 공기압 시스템과는 전혀 달리 수압시스템은 매우 고강성이다. 따라서 공기압시스템보다 제어성이 뛰어나며, 에너지 효율도 높기 때문에 유지비용이 저렴한 구동시스템이 수압시스템에 의해 실현될 수 있다. 더욱이 공기압시스템과 같은 압력 레벨의 저압 수압시스템 (0.8MPa(abs)이하)에 사용하는 기기는 공기압기기에 약간의 수정을 가하면 수압기기로서의 사용이 가능한 것들이 많기 때문에 초기비용의 문제도 충분히 해결 가능하다. 그러므로 공기압시스템과는 다른 의미에서 저비용이고, 고성능인 시스템이 수압시스템에 의하여 실현가능하다고 말할 수 있다.

(4) 가정내의 내수성 : 가정 내에서 간단히 이용 가능한 구동시스템으로는 지금까지 전기시스템 외에 인력밖에 없다고 생각되어 왔다. 전기시스템은 물에 직접 접촉하는 경우, 안전하다고 말할 수 없기 때문에 이러한 경우, 인력에 의존할 수밖에 없었다. 그러나, 전력과 같이 각 가정에 필수적으로 공급되고 있는 것으로서 수도압 에너지가 있다. 이 에너지는 수압시스템에 의하여 손쉽게 기계운동에너지로 전환이 가능하고, 물 주변 환경에서 사용해도 전혀 문제가 없다. 또, 정전시에도 사용가능하다.

5. 새로운 수압시스템의 현황과 전망

수압시스템에 있어서 시스템을 구축하는데 필요한 요소는

- 서보밸브와 절환밸브 등의 제어밸브
- 실린더, 모터 등의 액츄에이터
- 펌프, 원동기
- 각종 센서, 앰프, 컨트롤러 등의 제어장치
- 배관 부속품 및 관 등의 각종 액세서리

등이다. 현재에는 기기의 재료로서 다양한 기능성 스테인리스강과 세라믹스, 엔지니어링 플라스틱 등이 이용 가능하며, 정밀 가공기술도 발전해 있기 때문에, 새로운 수압시스템용의 기기의 실현이 가능한 단

계에 있다. 북유럽에서는 핀란드의 Tampere Institute of technology의 IHA(Institute of Hydraulic and Automation)과 Denmark Institute of technology를 중심으로 수압기기의 개발과 실용화가 적극적으로 진행되고 있고, 일본에서도 대학과 기업에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 시장에서는 표준적인 제품으로서 입수 가능한 부품이 매우 다양하지는 않지만, 수압용 서보밸브 및 비례밸브, 수압펌프, 수압용 액츄에이터(복동실린더, 텔레스코픽 실린더, 요동모터, 레이디얼 피스톤 모터, 액셀 피스톤 모터) 등이 이미 개발되어 기능적으로는 필요한 운동을 실현하기에 충분한 종류가 판매되고 있다. 또, 수문과 하천용 게이트, 간호기기, 식품가공기기, 원자력 설비 등의 분야에서 수압시스템이 실용화 된 많은 실적이 있다.

그러나 현재에 있어서도 아직 수압시스템을 자유로이 구성할 수 있을 정도의 다양한 기기는 개발되어 있지 않다. 또, 수압시스템 기술은 아직 전기/유압/공기압에 비해 신뢰성 및 내구성의 향상 등 기술적으로 극복해야 할 하는 문제도 많고, 제품가격도 고가이기 때문에 수요도 한정되어 있다. 그러나 신소재, 신기술의 개발이 진행되고 있는 지금은 주변의 하이테크 기술과 제품을 적용하는 것에 의하여 전기/유압/공기압에 뒤를 이은 제4의 구동기술로서 실용화되고 폭넓게 보급될 것으로 기대된다.

6. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 수압시스템 관련 기술은 현 단계에서는 전기, 유압, 공기압 등과 비교해서 신뢰성 및 내구성의 향상 등 극복해야 될 문제점이 많다. 또, 제품 가격도 고가이며 요소기기의 공급도 충분하다고 할 수 없으며 수요도 한정되어 있는 것이 사실이다. 그러나 신소재, 신기술의 개발이 급속도로 진행되고 있는 현실을 반영하여, 주변의 하이테크기술을 적절히 적용하면 전기, 유압, 공기압의 뒤를 이어 제 4의 구동 기술로서 실용화되고 폭넓게 보급 될 수 있을 것이다. 장래에는 ISO14000 HACCP의 보급, 안전위생, 환경관련 수요의 증가 등 사회적 배경에 힘입어, 수압기술의 개발도 한층 가속되고 새로운 시장이 점점 넓어질 가능성이 있으며, 다양한 수압용기기의 개발은 매우 중요한 연구과제이다.

참 고 문 헌

- 1) E. Trostmann, "Water Hydraulics Control Technology", Marcel Dekker, New York, 1996.
- 2) S. Usher, "Water Hydraulic Power- The Technology Matures - Putting Water to Work", Proceedings of the 47th National Conference on Fluid Power USA, pp. 221~230, 1996.
- 3) 宮川新平, "水動システムの實用化の現状", フルードパワーシステム, 第31巻, 第3号, pp. 223~227, 1996.
- 4) K. A. Edge, "The Control of Fluid Power Systems-Responding to the Challenges", Proc. Instn Mech. Engrs, Part I, Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 211, pp. 91~110, 1997.
- 5) 山口惇, "水壓システムの挑戦", フルードパワーシステム, 第29巻, 第7号, pp. 592~596, 1998.
- 6) Z.Y. Li, Z. Y. Li, X. F. He, and S. D. Yang, "The Development and Perspective of Water Hydraulics", Forth JHPS International Symposium on Fluid Power, pp. 335~342, 1999.
- 7) 宮川新平, "ハイテク水壓技術開發の現状と社會的背景", 油空壓技術, 第38巻, 第7号, pp. 29~34, 1999.
- 8) 宮川新平, "水壓システムの現状と応用實例展望(エコドライブシステムとしての水壓技術)", 平成12年日本油空壓學會ウインターセミナー, pp. 1~10, 2000.
- 9) 浦田暎三, 宮川新平, "水壓驅動技術入門(アクアドライブシステム)", 日刊工業新聞社, 2002.
- 10) B. Hilbrecht, "Water as Pressure Medium in Water Hydraulic Systems", Proceedings of the 48th National Conference on Fluid Power, pp. 555~559, 2000.
- 11) 宮川新平, "アクアドライブシステム(ADS)を展望する", 油空壓技術, 第42巻, 第2号, pp. 12~19, 2003.
- 12) 池尾茂, "作動流体としての水道水", 油空壓技術, 第39巻, 第11号, pp. 6~11, 2000.
- 13) 寺岡崇志, 井上淳, 伊藤隆, "機構的工夫による水壓ポンプの開發", 平成10年春季油空壓講演會, pp. 79~81, 1998.

- 14) S. Nie, "Design Technique for Water Hydraulic Axial Piston Pumps(Motors)", Proceedings of the 48th National Conference on Fluid Power, pp. 581~590, 2000.
- 15) M. Takashima, K. Saki, A. Yuge and A. Tanaka, "Development of High Performance Component for Pollution Free Water Hydraulic System", Third JHPS International Symposium on Fluid Power, No. 107, pp. 49~54, 1996.
- 16) L. R. Ruble, Jr "The Expanded Focus, Use and Future of Water Powered Rotary Actuators", Proceedings of the 48th National Conference on Fluid Power, pp. 567~574, 2000.
- 17) M. Shinoda, C. Yamashina and S. Oshima, "Development of a Low-pressure Water Hydraulic Motor", Fifth JFPS International Symposium on Fluid Power, Vol. 1, pp. 187~192, 2002.
- 18) 赤松俊介, "水壓驅動システム用シリンダ", 油空壓技術, 第39巻, 第11号, pp. 12~15, 2000.
- 19) E. Urata, S. Miyakawa and C. Yamashina, "Hydrostatic Support of Spool for Water Hydraulic Servovalve", Proceedings of 4th Scandinavian International Conference on Fluid Power, Tampere, Finland, Vol. 2, No. 2, pp. 91 0~929, 1995.
- 20) E. Urata, S. Miyakawa, C. Yamashina and Y. Nakao, "Frequency Response of a Water Hydraulic Servovalve", Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 3, pp. 2212~2217, 1995.
- 21) E. Urata, S. Miyakawa, C. Yamashina, Y. Nakao, Y. Usami and M. Shinoda, "Development of a water Hydraulic servovalve", JSME International Journal Series B, Vol. 41, No. 2, pp. 286~294, 1998.
- 22) T. Takahashi, C. Yamashina and S. Miyakawa, "Development of water hydraulic proportional control valve", Forth JHPS International Symposium on Fluid Power, pp. 549~554, 1999.
- 23) 宮川新平, "アクアドライブ技術最新の動向", 油空壓技術, 第39巻, 第11号, pp. 1~5, 2000.
- 24) 大島茂, "海外における研究の動向", 油空壓技術, 第42巻, 第2号, pp. 1~5, 2003.
- 25) 眞田一志, "(社)日本フルードパワーシステム學會における水壓驅動に関する活動", 油空壓技術, 第42巻, 第2号, pp. 6~7, 2003.
- 26) 三浦吉成, "(社)日本フルードパワー工業會におけるアクアドライブの歩み", 油空壓技術, 第42巻, 第2号, pp. 8~11, 2003.
- 27) 寺岡崇志, 丹羽進, "介護用水圧リフタ", 油空壓技術, 第39巻, 第11号, pp. 16~19, 2000.
- 28) 江龍晃, "水壓驅動式自動脱骨機イーラダスの開発", 油空壓技術, 第40巻, 第7号, pp. 45~49, 2001.
- 29) 眞田一志, 石川格, 山口惇, "半導体ウエハ樹脂止水圧驅動プレスに関する研究", 平成13年春季フルードパワーシステム講演會, pp.61~63, 2001.
- 30) K. Sanada, "A Method of Designing a Robust Force Controller of a Water Hydraulic Servo System", Proc. Instn Mech. Engrs, Part I, Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 216, pp. 135~141, 2002.
- 31) 辻和明, "水道水を利用した水壓驅動装置「WADS リフター」", 油空壓技術, 第42巻, 第2号, pp. 29~32, 2003.
- 32) J. Bramah, "Obtaining and Applying Motive Power" HM Patent Office, Pat. 2045, 1975.
- 33) C. R. Burrows, "Fluid Power Systems Design -Bramah's legacy", 83rd Thomas Hawksley Memorial Lecture, Proc. Instn Mech. Engrs, Part A, Journal of Power and Energy, Vol. 210, pp. 105~120, 1996.
- 34) "The Tower Bridge Experience", Tower Bridge Exhibition, pp. 1~18, 2000.
- 35) 田中考, "制御工學より見た油壓技術(流量周波數特性より見た電氣油壓サーボ弁の応用範囲)", 油壓と空氣壓, 第14巻, 第6号, pp. 420~425, 1983.
- 36) 吉原誠, "水壓式エレベーター", 油空壓技術, 第42巻, 第2号, pp. 26~28, 2003.
- 37) A. Esposito, "Fluid Power with Applications 4th Edition", Prentice Hall, 1997.
- 38) 岡田美津雄, "油壓作動油", 油壓と空氣壓, 第23巻, 第7号, pp. 708~713, 1992.
- 39) 前田陸三, "水グリコール", 油壓と空氣壓, 第23巻, 第7号, pp. 721~725, 1992.
- 40) 谷川友彦, "水グリコール難燃性作動液", 油壓と

- 空氣壓, 第17券, 第2号, pp. 125~128, 1986.
- 41) "油壓システムにおける難燃性作動油に関する研究(1980-1981)", 機械振興協會技術研究所.
- 42) 岡谷幸一, 日比昭, 市川常雄, "高含水作動液を使用したアキシャルピストンポンプの吸込み性能", 油壓と空氣壓, 第13券, 第4号, pp. 250~253, 1982.
- 43) 浦田暎三, "「高含水比流体による液壓驅動」研究委員會報告", 油壓と空氣壓, 第14券, 第4号, pp. 257~263, 1983.
- 44) 馬場助五, "高含水作動液の現状と問題点", 油壓と空氣壓, 第17券, 第2号, pp. 118~124, 1986.
- 45) 浦田暎三, "高含水流体(HWCF)による液壓驅動", 油壓と空氣壓, 第23券, 第7号, pp.726~733, 1992.
- 46) 山口惇, "水道水を作動流体とする可能性", 油壓と空氣壓, 第9券, 第4号, pp. 205~210, 1978.
- 47) 山科智四, 宇佐見雄一, 信田昌男, 宮川新平, "環境融和形水壓驅動システムの開發", エバラ時報, 第175号, pp. 3~8, 1997.

- 48) 川島正人, "水壓驅動システム用ステンレス鋼", 油壓技術, 第42券, 第13号, pp. 45~50, 2003.

[저자 소개]



박성환(책임저자)

E-mail : shpark01@pusan.ac.kr

Tel : 051-510-1449

1967년 11월 8일생

1996년 부산대학교 대학원 정밀기계공학과 박사 학위 취득, 1998년 일본학술진흥회 (JSPS) 외국인 특별연구원(Tokyo Institute of Technology), 2001년 영국 Royal Society Post-doctoral Fellow(University of Bath, the Centre for P.T.M.C), 2002년 일본 Tokyo Institute of Technology Visiting Researcher, 2005년 일본 Tokyo Institute of Technology 제어시스템 공학과 박사학위 취득, 현재 부산대학교 공과대학 기계공학부 NURI BEAM사업단 교수, 전기·유압 서보 시스템의 설계 및 제어, 수압 제어용 고속전자밸브의 개발, 수압 시스템의 제어에 중사, 일본 Fluid Power System 학회 회원, 수압 구동 추진 연구위원회 위원, 공학박사