

Fluid Power Technology

– A Case for Global Collaboration

C. R. Burrows

1. Introduction

Fluid power is an enabling technology of key importance in a wide range of industrial sectors. It is a technology whose roots can be traced back to early studies of hydrostatics by Archimedes, but a key development was the realisation by Pascal in 1648 that pressure in a fluid at rest is transmitted equally in all directions. Doubtless many scientists and engineers understood the potential applications of Pascal's idea for a machine to utilise hydrostatic pressure to amplify a force, but Bramah was the first recorded person to utilise the principle. On the 30 November 1795 Bramah was granted a patent for a hydraulic press¹⁾. His design to transmit and amplify force by using a hand pump to pressurise a column of fluid was the forerunner of modern industrial presses and most common forms of rectilinear actuator drives such as those used to control aircraft flaps. The effectiveness of Bramah's design depended upon a seal to prevent leakage across the piston. There is some question whether credit for that is due to Bramah or his assistant Henry Maudsley who designed a self pressurised seal²⁾. However, MacNeil has noted that Bramah "conceived almost all of the basic elements used in the hydraulic power industry of today"³⁾.

Modern fluid power technology has reached its advanced state of development by incorporating advances in electronics, computers, sensors, materials and control theory. During the last 200 years a wide range of hydraulic components has been developed and refined, but arguably one of the most important advances was the introduction of rotary pump and motor units. These are key

elements in mobile hydraulic applications and their development was made possible by advances in materials and in particular the availability of manganese steel with the load bearing capability required in these high speed high pressure units. Advances in materials are of major importance in modern developments of fluid power, for example in the last decade environmental concerns have led to a re-emergence of interest in the use of water and other environmentally friendly fluids to replace mineral oil. The use of water continues to impose the same restrictions as those that led to the introduction of mineral oil in the 19th Century, but the introduction of modern materials such as ceramics has given an impetus to research into a range of alternative fluids which do not possess the tribological properties of mineral oil. The use of ceramics requires new approaches to the design and manufacture of components⁴⁾.

A number of workers now study fluid power in the context of mechatronics and this highlights the contributions electronics, embedded computers, control theory and modern design has made to the development of fluid power. This tendency is particularly noticeable in the USA where after years of neglect of the subject within engineering schools there is now a developing interest in fluid power encouraged by the National Fluid Power Association (NFPA), following the efforts of Koski to highlight the neglect of this technology in the USA^{5, 6)}. In many ways this is a healthy approach because it emphasises the wide range of applications of modern fluid power technology, but there is a danger that it will mask the ongoing requirement to overcome the inherent

disadvantages of fluid power associated with leakage, noise and inefficiency. All three of these factors are related to environmental issues and in the UK that is of major concern.

A number of researchers have devised ingenious methods to reduce pump flow ripple which is the source of fluid borne noise and several major manufacturers have introduced quieter pumps. Nevertheless there is still wide spread use of relief grooves in the port plates of pumps to reduce flow ripple; this simple modification was introduced in 1905 by Williams and Janey. Although advances in sensors and computational aids have led to a more systematic design of relief grooves, it is humbling to recognise the ingenuity and insight demonstrated by earlier engineers. Another advance has been the development of standards to measure pump ripple⁸⁾. This approach has been used to characterise the impedance of a number of other components⁹⁾ thus providing a contribution toward developing techniques for the systematic design of circuits to minimise noise¹⁰⁾. In spite of these developments, there is still wide scope for research into the relationship between fluid borne noise, structural borne noise and structure/air interaction if this archilles heel of fluid power systems is to be successfully tackled. This major task provides an ideal framework for international collaboration.

2. Fluid power research – an international perspective

2.1 National organisations

It is important that these inherent limitations of fluid power transmissions receive sustained consideration by academic researchers. Given the difficulty associated with the design of systems to minimise noise it has been suggested in a recent paper delivered at a Japan Fluid Power Systems Society (JFPS) Conference that this topic "is ideally suited to a collaborative international

investigation"¹¹⁾. That Society was formed in 2001 to replace the Japan Hydraulic and Pneumatics Society (JHPS).

This change of title is of interest in the context of the development of fluid power technology. JHPS was founded in 1970 as an academic society in the field of fluid power engineering, but the name was changed in 2001 to reflect the extension of its activities to include water hydraulics, functional fluids, control engineering and system design in addition to the original focus on oil hydraulics and pneumatics. There are 1,100 academic members, 200 student members and 123 corporate members in JFPS and this gives an indication of the academic interest in fluid power systems in Japan compared with the UK in which only four institutions have a significant interest in the area.

Prior to this change Burrows had been invited by JHPS to explain the rationale behind the decision in 1998 to change the title of the Fluid Power Centre at the University of Bath (founded in 1968) to the Centre for Power Transmission and Motion Control (CPTMC). Research at the CPTMC includes electric drives and mechanical transmissions in addition to the areas covered by JFPS. The new title, CPTMC, emphasises the importance of adopting an holistic approach to the study of alternative drive systems.

Although there is no equivalent to JFPS within the UK, a similar organisation exists in Germany as a sub division of VDMA (German Engineering Federation) entitled 'Faschverband Fluidtechnik' (Fluid Power Association) (www.vdma.org). The sub group administers/sponsors Forschungs Fond Fluidtechnik, which is supported by the fees of participating companies and it coordinates research programmes between academia and German industry. Within the UK the British Fluid Power Association (BFPA) has academic members (including the CPTMC and the National Fluid Power Centre (NFPC) at North Notts college which focuses on technician training) and it has

funded research projects, but not in a sustained manner.

In North America the National Fluid Power Association (NFPA) encourages collaboration between industry and academia and it has set up a fund for a research programme to cover aspects of component and system modelling and design. Thus in three different global regions there is recognition of the need to support collaboration between industry and academia and this is consistent with the role of fluid power technology as an enabling technology of fundamental importance in various industrial sectors.

2.2 Research areas

The JFPS has 8 research committees focused on: energy saving (pneumatics); flow characteristics (pneumatics); environmentally adaptive systems (pneumatics); control methods (hydraulics); functional fluid systems; water hydraulic systems; motion based systems; and simulation tools. The significant effort focused on pneumatics is contrary to the situation in the UK and within Europe there is only significant research programmes in pneumatic systems at the Automation Laboratory in INSA Lyon and the Institute of Automation and Robotics in Warsaw Polytechnic (Poland) with lower key activities in other Centres. One area where Europe is particularly strong compared with Japan and the USA is in the development of simulation tools. Centres at Aachen, Bath, and Linköping have all developed simulation packages which have been extensively used in industry to aid in system design.

The number of papers on water hydraulics and energy saving techniques presented at the Fifth JFPS Symposium held at Nara in 2002 reflected the concern in Japan for environmental issues. This mirrors activity in Europe. For example an extensive programme on water hydraulics at Tampere University has been funded under an EU project, and in the mid 1980s, the Department of

Trade and Industry in the UK funded a water hydraulics research programme.

Senior representatives of JFPS have stressed the importance that the Society attaches to international exchanges and cooperative activities with overseas organisations. This is important in the context of the issues facing fluid power globally.

Academic institutions in the USA were at the forefront of research in fluid power technology in the period 1940 to 1960 and there was a particularly strong group in the servomechanisms laboratory at MIT¹²⁾. It was during this period that the NFPA was formed and the association celebrated its 50th anniversary in 2003. In the last 40 years the involvement of US universities in teaching and research in fluid power has waned in spite of the fact that many major fluid power companies have their corporate headquarters and R & D laboratories in the US. During the last decade there has been sustained effort by influential industrialists to highlight the need for American universities to become more involved in teaching the synthesis of power transmission systems to include comparative cost and performance analysis. There is now a group of 6 or 7 American Universities with a developing interest in fluid power mainly focused upon control studies. This period of apathy in the US towards fluid power was shared by the professional engineering institutions but there is now a Fluid Power Division within ASME and that is beginning to have a beneficial effect. It is a matter of urgency that the fluid power research community in the US becomes more aware of the widespread academic networks in Japan and Europe. They must also become familiar with the extensive literature in the field arising from the research undertaken globally. There is evidence of a lack of awareness of this literature that could lead to a wasteful duplication of effort.

It is significant that in 1994 the NFPA Reporter proclaimed a bold message "let us play to our

strengths and confront misconceptions about our weaknesses". One of the areas it highlighted was environmental compatibility with a focus on noise, leakage, and environmentally friendly fluids. Since 1994 environmental arguments have grown in intensity in most countries. Within Europe several of the universities that have combined to form Fluid Power Centres of Europe Network (www.fpce.net) have well-established research programmes in various aspects of environmental compatibility. Murrenhoff at IFAS Aachen has an extensive programme researching into biodegradable fluids and is currently studying the oxidation stability of unsaturated esters with a view to reducing the speed of oxidation. It is the poor oxidation stability of unsaturated esters that has limited the market impact of biodegradable fluids. Feldmann at the Technical University, Hamburg-Harburg has a programme that combines research in design, materials and manufacture aimed at improving hydrostatic equipment by the use of ceramic materials suitable for use with environmentally-friendly fluids. That is an example of the fusion of technologies. That work is sponsored by the Federal Ministry of Education and Research, the German Federation of Engineering Industries and is undertaken in cooperation with a number of industrial partners.

The Centre for Power Transmission and Motion Control at Bath has an established programme in the study of component and system noise. The industrial significance of this work is demonstrated by the trend in a number of industrial sectors to replace fluid power transmissions by alternative drives. For example, in the automotive industry, which is a major market for fluid power components, there is a move towards replacing hydraulic power steering by electric power steering in compact vehicles. The Centre has collaborated extensively with industrial partners in the USA, Germany and France on automotive related noise issues. Other

vehicle-related research, associated with environmental concerns has been focused on driveline control to reduce exhaust emissions¹³⁾.

The CPTMC is not researching the properties of biodegradable fluids but its research into life cycle assessment (LCA) is linked with this topic. A recent project showed that LCA applied to study the environmental impact of mobile hydraulic systems using both mineral oil and rapeseed oil indicated that there is a larger impact attributable to rapeseed oil in respect to the issues studied¹⁴⁾. That initial investigation needs to be widened before more definitive conclusions can be reached. One aspect of that work demonstrated the difficulty of obtaining data on equipment performance from industrial laboratories. Whilst the commercial reasoning behind that lack of co-operation may have seemed sensible it may well have been short sighted. It reinforces the plea for collaboration if the technology is to be advanced to combat its acknowledged weaknesses. Close cooperation between industry and academe is just as important as the research undertaken in academic laboratories. Industrial problems are the seedbed for exciting research.

2.3 Dialogue between academe and industry

There is a tradition in the USA for wide-spread industrial involvement in university based research, often with well-defined industrial goals. This culture is undoubtedly enhanced by the tax regime in the USA but the NFPA is providing excellent leadership in stimulating this activity in an area, as mentioned earlier, where until recently US universities have shown little interest. In particular the NFPA has organised two educator/industrialist summits the first in 2001 and the second 2003. At these meetings invitations were extended to academics from overseas to share their experience with American colleagues in universities: there is evidence that this is having a beneficial impact. Although

to date the academic community in the US has not been successful in obtaining funding from the National Science Foundation to establish a national research programme in fluid power discussions are still underway.

The relationship between industry and academe in Japan is in a state of change in which industrial funding for research is now being actively encouraged. At the 2002 conference in Nara, academic authors were drawn from 24 of Japan's universities and that reflects the traditional strength of the fluid power industry in that country. There is however a recognition in Japan of the growing capabilities of both China and Korea in this area of technology. There is undoubted strength in Japan in the pursuit of experimental studies but there does not appear to be wide spread interest among Japanese scholars in the theoretical aspects of fluid power, nor in developing computer based techniques. The latter is puzzling because this is one of the research topics designated by JFPS.

The collaboration between industry and academe in Germany is particularly strong and fluid power in that country is focused on the Technical Universities at Aachen, Braunschweig, Dresden and Hamburg-Harburg. All four of these laboratories are members of the Fluid Power Centres of Europe Network. More information on that Network is given in an earlier paper¹¹⁾.

2.4 Wider collaboration

The image of fluid power as a mature technology with inherent disadvantages provides a powerful incentive for research groups to establish collaborative links to ensure that the requirements of industry are met. It is also in industry's best interest to seek close collaboration with university groups and to support their activities. There are a number of examples to illustrate the increasing threat to fluid power technology from alternative technologies. The recognition that fluid power is only one of a number of competing solutions to

satisfy the requirements for power transmission was recognised by Bramah but that message has taken a long time to have any impact. In 1995 the NFPA introduced a new logo "solutions through motion control" and in 1996 the US International Fluid Power Exposition took as its theme "solutions through motion technology". In Europe during the last decade several major companies have changed the emphasis of their marketing to make clear that they offer alternative solutions to drive problems. Within academe it would be professionally irresponsible to ignore the need to educate students in the area of comparative solutions to motion control problems. Perhaps there is an element of paradox here: as academe in the US rediscovers the need to teach fluid power technology, within Japan and some areas of Europe there is now an awareness of the need to place fluid power in a wider framework.

These movements in academic and industrial thinking suggest the need for a sustained effort to form an international community of fluid power specialists. The Fluid Power net International (FPNI) is "a multinational virtual engineering laboratory focused on the field of fluid power technology" the net currently links approximately 30 laboratories with the objective of developing research co-operation between members and industry (<http://fluid.power.net/>). The network is beneficial in encouraging synergy between smaller academic groups. Likewise FPCE seeks to extend collaboration between its members to provide access to advice through the Internet and to make available a network of contacts(<http://www.fpce.net/>)

These two networks exist within a framework of established conferences focused on Germany (biennial), Scandinavia (biennial), the Bath International Workshop (annual), the JFPS Society meetings, a regular series of conferences in China, and fluid power related sessions at the annual ASME Congress. There are numerous other fluid power related meetings which led the author to

pose the question elsewhere: "has the stage been reached where there is a need for countries to collaborate and establish a major international meeting with a focus on the presentation of fundamental research in power transmission and motion control?"¹¹⁾

If these regular meetings continue to serve a purpose in bringing together industry and academe they will survive but the long term health of the technology could be enhanced by the establishment of a major International Congress to be held, say every three years. An organisational model has been developed by the Control community. Formation of the International Federation of Automatic Control (IFAC) has given the control community international recognition without detracting from the importance of national bodies. Thus an International Federation for Power Transmission and Motion Control could co-exist with national associations whose elected Chairmen would be exofficio members of the International Executive Committee. Such a development could give fresh impetus to the worldwide community of specialists. There are several fundamental research topics that would benefit from international collaboration¹⁵⁾.

Acknowledgement

I am indebted to colleagues in the CPTMC and in the global community, for their continued support. The friendships formed within the FPCE Network and wider afield, make this a community that crosses national and cultural boundaries and which yields benefits beyond the confines of professional interests.

References

- 1) C. R. Burrows, "Fluid power systems design - Braham's legacy", Proc Inst Mech Engrs, Part A, Vol. 210, pp. 105~120, 1996(Presented as the Eighty-third Thomas Hawksley memorial lecture, 13 December 1995).
- 2) I. McNeil, "J. Bramah - A Century of Invention", David & Charles, Newton Abbot, pp. 1749~1851, 1968.
- 3) I. McNeil, "Hydraulic Power", Longman Group Limited, London, 1972.
- 4) D. G. Feldmann, H. C. Bartlett and P. Scheunemann, "Development of ceramic pistons and slippers for radial piston pumps", Proceedings Bath Workshop on Power Transmission and Motion Control (PTMC 2003), pp. 241~252, 2003.
- 5) Anon, "NFPA's Educator/Industry Summit Transforming Motion Control through Fluid Power: An exploration of visions", Indianapolis, Ind (NFPA), 2003.
- 6) Koski, "REFluid Power Education - What Went Wrong?", Proceedings of Fourth Scandinavian International Conference on Fluid Power, (Eds Ahlfors, U, Lahti, L and Siekkinen, R),26-29, Tampere University of Technology, pp. 30~46, 1994.
- 7) M. Pettersson, "On Fluid Power Piston Pumps - With Special Reference to Flow Ripple Reduction", Thesis No 361 Linkping, LIU-TEK-LIC-1993:03 ISBN 91-7871-055-3, 1993.
- 8) K. A. Edge and D. N. Johnston, "The 'Secondary source' method for the measurement of pump pressure ripple characteristics, Part 1: description of method. Part 2: experimental results", Proceedings of Inst. Mech. Engrs., Part A, Vol. 204 (A1), pp. 33~40 and 41~46, 1990.
- 9) D. N. Johnston and K. A. Edge, "The impedance characteristics of fluid power components: restrictor and control valves", Proc. Inst. Mech. Engrs., Part I, Vol. 205 (II), pp. 3~10, 1991.
- 10) J. E. Drew, D. K. Longmore and D. N. Johnston, "The systematic design of low noise power systems", Proceedings of Fourth Scandinavian International Conference on Fluid

Power op cit., Tampere University of Technology, pp. 1195~1206, 1994.

- 11) C. R. Burrows, "Some challenges facing fluid power technology, opportunities for international collaboration and progress to date", 5th JFPS International Symposium on Fluid Power", pp. 13, 2002.
- 12) J. F. Blackburn, G. Reethof and J. L. Shearer, "Fluid Power Control", MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1960.
- 13) M. Deacon, C. J. Brace, N. D. Vaughan, C. R. Burrows and R. W. Horrocks, "Impact of alternative controller strategies on exhaust emissions from an integrated diesel/ continuously variable transmission power train", Proc. Inst. Mech. Engrs., Part D, Vol. 213(D2), pp. 95~107, 1999.
- 14) C. R. Burrows, G. P. Hammond and M. C. McManus, "Life Cycle Assessment of some mobile hydraulic systems." The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power (SICFP'99), pp. 26~28, 1999.
- 15) C. R. Burrows, "Fluid power systems -some current research issues", Proceedings of Inst. Mech. Engrs., Part C, Vol. 214, pp. 203~220, 2000.

[저자 소개]

Prof. C. R. BURROWS

E-mail : C.R.Burrows@bath.ac.uk

Tel : +44-1225-386935



Cliff Burrows was born on 20 July 1937 in Shoeburyness, Essex. He attended Westcliff Grammar School and continued part-time study in

Engineering at Southend-on-Sea Municipal College during training in industry. He was awarded a Technical State Scholarship to study for a degree in Mechanical Engineering in the University of Wales (1962), subsequently he was awarded a PhD by the University of London in 1969 for research into pneumatic servomechanisms. He received a DSc (Eng) from the University of London in 1989 for his contribution to the modelling and control of physical systems.

The Technical University of Aachen awarded him an Honorary Dr-Ing in 2000, and he received an Honorary DSc from Aston University in 2001. Professor Burrows is a Fellow of the Institution of Mechanical Engineers and the Institution of Electrical Engineers, and he was elected a Fellow of the Royal Academy of Engineering in 1998.

Prior to his appointment to the University of Bath, Burrows was on the Faculty of the University of Sussex, and the University of Strathclyde where he was Professor of Dynamics and Control and Head of Department. He served as Head of the School of Mechanical Engineering at Bath from 1990-1995, and was the Hebron and Medlock Dean of Engineering and Design from 1996-2002.

Cliff Burrows is married to Margaret and they have four children. Apart from his professional activities, he serves as a nonstipendiary Priest in the Church of England following his ordination in 1977.

유공압 기술 - 세계적 협력에 관하여
FLUID POWER TECHNOLOGY - A CASE FOR GLOBAL
COLLABORATION

클리프 버로우즈

C. R. BURROWS

1. 서 언

유공압은 다양한 산업 분야에서 핵심에 해당하는 기술의 하나이다. 이 기술은 그 연원이 아르키

메데스(Archimedes)의 초기 수력학 연구로 거슬러 올라가지만, 1648년 파스칼이 "정지 유체 속에서는 모든 방향으로 같은 크기의 압력이 작용한다"는 원리를 확립함에 따라 큰 진전이 이루어졌다. 많은 과

학자와 기술자가 파스칼의 원리를 적용하면 수압을 이용해 힘을 증폭시키는 기계의 실현이 가능함을 알고 있었지만, 처음으로 이를 구현한 사람은 브라마(Bramah)이다. 브라마는 1795년 11월 30일 수압기(hydraulic press)에 관한 특허를 받았다¹⁾. 수동 펌프로 유체에 압력을 가함으로써 힘을 전달하고 증폭한 그의 고안은 현대 산업용 수압기의 선구(先驅)이고, 항공기 보조 날개 제어 등에 사용되는 선형 작동기의 가장 보편적인 형태이다. 브라마가 고안한 수압기의 효능은 피스톤을 통한 누설을 방지하는 수밀재(seal)에 의해 좌우됐다. 브라마와 그의 조수 헨리 모즐레이(Henry Maudsley) 중 누가 저절로 가압되는 수밀재(self pressurised seal)를 고안했는가에 대한 논란이 있지만²⁾, 맥닐(MacNeil)은 브라마가 “오늘날 유압 산업에서 사용하고 있는 거의 모든 기본 요소를 고안했다”고 밝혔다³⁾.

현대 유압 기술은 전자, 컴퓨터, 검출기, 재료 및 제어 이론 분야의 발전과 결합됨으로써 더욱 발전된 상태에 도달했다. 지난 200년 동안 다양한 유압 기기가 개발, 개량되었지만, 회전 펌프와 모터의 개발이 가장 중요한 진전이라고 할 수 있다. 이들 기기는 유공압 기술을 차량에 적용할 때의 핵심 요소로, 재료의 발달, 특히 고속, 고압용 기기에서 요구되는 부하내력(荷耐力)이 큰 망간강(manganese steel)을 사용할 수 있게 됨에 따라 그 개발이 가능해졌다. 재료의 발달은 현대 유공압 기술 발전의 핵심이다. 예를 들면, 지난 10년간 환경에 대한 우려는 광물유 대신 물 또는 환경 친화적인 유체를 사용하는 데 대해 다시 관심을 불러일으키게 되었다. 물의 사용은 19세기 광물유(mineral oil)를 사용하게끔 만든 한계점과 똑같은 한계점을 계속 야기한다. 그러나 세라믹과 같은 현대적 재료가 소개됨으로 인해 광물유가 갖고 있는 윤활 성질이 없는 다양한 대체 유체에 대한 연구가 유인(誘因)되었다. 세라믹을 사용하기 위해서는 유공압 기기의 설계 및 제작에 대해 새로운 접근이 요구된다⁴⁾.

현재 많은 사람들이 메카트로닉스라는 맥락에서 유공압을 연구하는데, 이는 전자, 컴퓨터, 제어 이론 및 현대적 설계를 부각시키고 유공압의 발전으로 이어졌다. 이러한 경향은 특히 미국에서 뚜렷한데 미국의 공과 대학에서는 수년간 유공압을 간과했으나 미국 내에서의 유공압 기술에 대한 무관심을 부각시키려는 코스키(Koski)의 노력에 이어 전국 유공압 협

회(National Fluid Power Association, NFPA)의 격려에 의해 유공압에 대한 관심이 커지고 있다⁵⁻⁶⁾. 또, 이러한 경향은 현대 유공압 기술의 적용 범위를 넓히도록 강조하므로 여러 면에서 바람직하지만, 누설, 소음 및 비효율과 관련된 유공압 고유의 단점을 극복해야할 지속적인 요구를 방해하는 위험이 있다. 그러나 위의 세 가지 단점은 환경 관련 사항으로 영국 내에서는 주요 관심사이다.

많은 연구자들이 유체로 인한 소음의 원인인 펌프 맥동 흐름을 줄이기 위한 독창적인 방법을 고안해냈고, 여러 주요 기기 제조업체에서 소음이 적은 펌프를 선보였다. 그렇지만 여전히 펌프의 밸브 판(port plate)에 방출 흐름을 가공하여 맥동을 줄이는 방법이 널리 이용되고 있다. 이러한 간단한 개선 방안은 1905년 윌리엄즈(Williams)와 재니(Janey)에 의해 소개되었다. 검출기 및 계산 도구의 발달이 방출 흐름을 더욱 체계적으로 설계할 수 있게끔 했지만 초기의 기술자들이 보여준 독창성과 직관은 높이 평가되어야 마땅하다. 또 다른 진전은 펌프 맥동의 계측을 표준화한 것이다⁸⁾. 이러한 접근은 다른 많은 구성 요소의 임피던스 특성을 밝히는데 이용되었고⁹⁾, 따라서 소음을 최소화 할 수 있도록 회로를 체계적으로 설계할 수 있는 기술의 발전에 기여했다¹⁰⁾. 이러한 발전에도 불구하고, 유공압 시스템의 단점을 성공적으로 극복하려면 유체로 인한 소음, 구조에 기인한 소음 및 구조와 공기 상호 작용 사이의 관계에 관한 다방면의 연구가 필요하다. 이러한 주요 과제는 이상적인 국제 협력의 틀을 제공한다.

2. 유공압 연구 - 국제적 조망

2.1 국가별 연구 단체

유공압 기술 고유의 한계에 대해 대학의 연구자들이 지속적인 관심을 갖는 것이 중요하다. 소음을 최소화하기 위한 시스템 설계와 관련된 어려움을 감안할 때, 이에 관한 주제에 대해서 “협조적인 국제적 조사가 이루어지도록 조정되어야 한다”고 최근 일본 유공압 시스템 학회(Japan Fluid Power System Society, JFPS)의 학술대회에서 발표된 논문에서 제안하고 있다¹¹⁾. 이 학회는 일본 유공압 학회(Japan Hydraulic and Pneumatics Society, JHPS)를 대체해서 2001년에 결성되었다.

명칭의 변경은 유공압 기술의 발전이란 맥락에서

흥미롭다. JHPS는 유공압 공학 분야의 학술단체로 1970년에 설립되었으나, 처음의 관심 분야인 유압과 공기압은 물론 수압(water hydraulics), 기능성 유체(functional fluid), 제어 공학 및 시스템 설계까지 포함하도록 활동 영역의 확장을 반영하여 2001년에 명칭을 바꾸었다. 이 학회에는 1100명의 정회원(academic members), 200명의 학생 회원 및 123개의 특별 회원(corporate members)이 가입해 있는데, 이는 유공압 분야에 뚜렷한 관심을 갖는 연구기관(Institutions)이 4개 뿐인 영국에 비해 일본 내에서 이 분야에 대한 학술적 관심이 어느 정도인지를 보여준다.

명칭 변경에 앞서 일본 JHPS는 바스 대학교 내에 1968년에 설립된 유공압 연구소(Fluid Power Center)의 명칭을 1998년에 동력 전달 및 운동 제어 연구소(Power Transmission and Motion Control, CPTMC)로 바꾸기로 결정한 이유에 대해 설명을 듣고자 버로우즈 교수를 초빙했다. CPTMC에서 수행하고 있는 연구는 JFPS에서 연구하고 있는 분야 외에 전기 구동과 기계적 동력 전달 분야를 포함하고 있다. CPTMC라는 새로운 명칭은 대체 구동 시스템의 연구에 대해 전체적 접근법을 채택해야 할 중요성을 강조한다.

영국에는 JFPS에 비견될 만한 단체가 없지만 독일에는 비슷한 단체로 독일 공업 연맹(German Engineering Federation, VDMA, www.vdma.org)의 산하 단체로 유공압 협회(Fluid Power Association, Faschverband Fluidtechnik)란 이름의 단체가 있다. 이 단체는 참여 기업의 회비로 지원되는 'Forschungs Fond Fluidtechnik'을 관리, 후원하고, 대학과 산업체 사이의 연구 계획을 조정한다. 영국에는 CPTMC와 초급 기술자 훈련에 초점을 맞추고 있는 노스 노츠 대학(North Notts college)의 국립 유공압 연구소(National Fluid Power Centre, NFPC)를 포함한 학술 단체가 회원으로 가입되어 있는 영국 유공압 협회(British Fluid Power Association, BFPA)가 연구 사업을 지원하지만, 지속성이 없다.

북미(미국)에는 전국 유공압 협회(National Fluid Power Association, NFPA)가 산학 협력을 고무(鼓舞)시키고, 기기, 시스템 모델링 및 설계 분야를 망라하는 연구 계획을 지원하기 위한 기금을 조성했다. 따라서 지구상의 다른 세 지역에서 산학 협력을 지원할 필요성을 다양한 산업 분야의 기초 핵심 기술

로서의 유공압 기술의 역할과 함께 일관성 있게 인식하고 있다.

2.2 연구 분야

JFPS에는 에너지 절약(공기압), 유동 특성(공기압), 환경 적응 시스템(공기압), 제어 기법(유압), 기능성 유체 시스템, 수압 시스템, 운동 기반 시스템(motion based system) 및 모의 도구(simulation tools)에 초점을 맞춘 여덟 개의 연구 위원회가 있다. 공기압에 관한 명백한 노력은 영국 및 유럽에서의 상황과 대비된다. 유럽의 경우는 리옹(Lyon) INSA의 자동화 실험실(Automation Laboratory)과 낮은 비중으로 활동하는 기타 연구소와 더불어 폴란드 바르샤바 공과 대학(Warsaw Polytechnic)의 자동화 및 로봇 연구소(Institute of Automation and Robotics)에서의 공기압 시스템에 관한 연구가 두드러질 뿐이다. 일본이나 미국에 비해 유럽에서 특히 강한 분야는 모의 도구(Simulation Tools)의 개발이다. 아헨, 바스 및 리코핑(Likoping)의 연구소들이 모두 시스템 설계를 돕기 위해 산업체에서 널리 사용하고 있는 모의 도구를 개발했다.

2002년 나라(Nara)에서 개최된 제5회 JFPS 학술 대회에서 발표된 수압과 에너지 절약 기술에 관한 많은 논문이 일본 내에서의 환경 문제에 대한 관심을 반영했다. 이는 유럽 내에서의 활동의 반영이다. 예를 들면, 탐피어 대학교(Tampere University)에서의 수압에 관한 광범위한 계획은 EU 단위의 사업 하에 지원되었고, 1980년대 중반 영국 통상 산업성(Department of Trade and Industry)은 수압 연구 계획을 지원했다.

JFPS의 고위 관계자는 학회가 국제 교류 및 외국 연구 단체와의 협력 활동에 진력하는 것이 중요하다고 강조했다. 이는 세계적으로 유공압 기술이 직면한 문제의 맥락으로 볼 때 중요하다.

1940년에서 1960년까지 유공압 기술에 관한 연구의 선두 주자는 미국의 학술 단체였다. 매사추세츠 공대(MIT)의 서보 기구 실험실은 특히 강세였다¹²⁾. 이 때 NFPA가 결성되었고, 이 협회는 2003년에 50주년을 기렸다. 많은 유공압 회사가 미국에 본사 및 연구 개발 부서를 두었음에도 불구하고 지난 40년 동안 미국 대학들의 유공압 교육 및 연구에의 관여는 위축되었다. 지난 10년간 상대적 비용 및 성능 분석을 포함하기 위해 동력 전달 시스템 교육에 미국

대학이 좀 더 관여할 필요성을 부각시키려고 영향력 있는 기업가들이 지속적으로 노력했다. 지금은 여섯 내지 일곱 개의 미국 대학에서 주로 제어 연구에 초점을 맞추어 유공압에 대한 관심이 커지고 있다. 이 기간 동안 전문 공학 학술 단체들이 유공압에 대해 냉담했지만, 지금은 미국기계학회(ASME) 내에 유공압 부문(Fluid Power Division)이 생기고 유익한 효과가 나타나기 시작하고 있다. 미국 내의 유공압 연구 공동체는 일본과 유럽에서 광범위하게 형성된 학술 연계망(network)에 대해 시급히 더 잘 인식해야 한다. 그들은 또한 세계적으로 수행되는 연구에 의해 생기는 분야에 대한 폭넓은 문헌을 좀 더 자주 접해야 한다. 이러한 문헌 인지의 소홀함이 소모적인 노력의 반복을 야기할 수 있다는 증거가 있다.

1994년 NFPA의 보고자(Reporter)가 과감하게 “우리의 장점을 살리고 단점에 대한 잘못된 관념을 직면하자”고 선언한 것은 획기적이다. 부각된 분야의 하나는 소음, 누설 및 환경 친화적 유체에 초점을 맞춘 환경 친화성이었다. 1994년 이후 대부분 국가에서 환경에 관한 논의가 심화되었다. 유럽에서는 유공압 연구소 유럽 연계망(Fluid Power Centres of Europe Network, www.fpce.net)을 형성하기 위해 모인 여러 대학들이 다방면의 환경 친화성에 대한 연구 계획을 수립했다. 아헨 IFAS의 뮌렌호프(Murrenhoff)는 미생물에 의해 분해되는 유체에 관한 심도 있는 연구 계획을 갖고, 산화 속도를 늦추는 관점에서 불포화 에스테르(esters)의 산화 안정성에 대해 연구하고 있다. 불포화 에스테르의 미생물 분해 유체로서의 상품성의 한계는 산화 안정성이 나쁘기 때문이다. 함부르크-하브르그(Hamburg-Harburg) 공과대학의 펠드만(Feldmann)은 환경 친화적 유체를 사용하기에 적합한 세라믹 재료를 사용함으로써 유압 기기를 개선하고자 설계, 재료 및 제작에 관한 통합 연구 계획을 갖고 있다. 이는 기술 융합의 한 예이다. 이 작업은 연방 교육 연구부(Federal Ministry of Education and Reserch), 독일 공업 연맹(German Federation of Enginnering Industries)에 의해 지원되고, 다수의 산업체 동참자와의 협력 하에 수행되고 있다.

바스의 CPTMC는 기기 및 소음에 관한 연구 계획을 수립했다. 이 작업의 산업적 의미는 여러 산업 분야에서 다른 구동기로 유공압 동력 전달을 대체하려는 경향이 잘 나타난다. 예를 들면, 유공압 기기의 주요 시장인 자동차 산업에서는 소형차의 유압 동력

조향(hydraulic power steering)을 전기 동력 조향(electric power steering)으로 바꾸려는 움직임이 있다. CPTMC는 자동차 관련 소음 문제에 대해 미국, 독일 및 프랑스의 산업체 동참자와 폭넓게 협력하고 있다. 환경적 관심과 관련된 자동차에 관한 다른 연구는 배기 배출물을 줄이기 위해 구동계 제어에 치중하고 있다¹³⁾.

CPTMC는 미생물 분해 유체의 성질에 대해서는 연구하지 않지만, 수명 평가(life cycle assessment)에 관한 연구는 이 주제와 연관되어 있다. 최근의 한 사업은 팜물유와 평지(油菜) 씨 기름 모두를 사용하여 차량용 유압 시스템이 환경에 미치는 영향을 조사하는 연구에 수명 평가(LCA)를 적용한 결과 연구 초점의 관점에서 볼 때 평지 씨 기름이 환경에 미치는 영향이 더 크게 나타난 것을 보여주었다¹⁴⁾. 좀 더 명확한 결론에 도달하기 위해서는 광범위한 조사의 필요성이 있다. 이 작업의 한 단면은 산업체 실험실에서 장비 성능에 관한 자료를 모으기가 어려움을 보여주었다. 협력 결핍의 상업적 이유가 타당하게 보였지만 이는 단견일 수도 있다. 만약 유공압 기술이 알려진 단점을 극복하기 위해 발전하려면 협력의 필요성이 강조된다. 산업체와 대학 사이의 긴밀한 협력은 대학의 실험실에서 수행되고 있는 연구만큼 중요하다. 산업적 문제는 흥미로운 연구의 모판(苗床)이다.

2.3 산업체와 대학 사이의 의사 소통

미국에는 산업체에서 종종 아주 명확한 산업적 목표를 갖고 대학 기반의 연구에 폭넓게 관여하는 전통이 있다. 이러한 문화는 의심의 여지없이 미국의 조세 제도에 의해 강화되었지만, NFPA는 앞에서 언급했듯이 최근까지 대학이 별 관심을 보이지 않은 분야에서의 이러한 활동을 고무시키는 탁월한 지도력을 보여주었다. 특히, NFPA는 처음은 2001년, 그 다음은 2003년 두 번의 교육자와 기업인의 모임을 주선했다. 이 모임의 초청 대상자는 미국 내 대학의 동료들과 그들의 경험을 나누어 가지도록 하기 위해 해외의 학자들에게까지 확대되었다. 이는 유익한 효과가 있음이 증명되었다. 전국 과학 재단(National Science Foundation)으로부터 자금을 지원받기 위한 미국 내 대학 공동체 모임은 성공하지 못했으나 유공압에 대한 전국적 연구 계획을 수립하는 일은 여전히 진행중이다.

일본 내에서의 산업체와 대학 사이의 관계는 산업체가 연구 자금을 지원하도록 활발하게 장려하는 단계로 변하고 있다. 2002년 나라(Nara) 학술 대회에는 일본 내 24개의 대학으로부터 발표자가 모였는데, 이는 일본의 유공압 산업이 전통적으로 강제임을 반영한다. 그렇지만 일본은 유공압 기술 분야에서의 중국과 한국의 성장 잠재력을 인식하고 있다. 일본은 실험적 연구의 추구에서는 상당한 강점을 갖고 있다. 그러나 일본 학자들에게서는 유공압의 이론적 측면에는 폭넓은 관심이 보이지 않으며, 컴퓨터 기반 기술의 개발에도 관심이 적은 것처럼 보인다. 컴퓨터 기반 기술이 JFPS에 의해 지정된 연구 분야의 하나인 점을 생각하면 이해가 되지 않는다.

독일에서의 산업체와 대학 사이의 관계는 아주 좋은데, 유공압은 아헨, 브라운슈바이그(Braunschweig), 드레스덴(Dresden) 및 함부르크-하부르크의 공과 대학에 집중되어 있다. 네 연구소 모두 유공압 연구소 유럽 연계망의 회원이다. 이 연계망에 대한 상세한 정보는 나라(Nara)에서 발표한 글에 실려있다¹¹⁾.

2.4 폭넓은 협력

발달된 기술이지만 고유의 단점을 가지고 있는 유공압의 모습은 연구 집단에게 산업체의 요구를 충족시킬 수 있게끔 협력적인 연계를 확립하려는 강력한 동기를 부여한다. 산업체의 최대 관심사는 대학의 연구 집단과의 긴밀한 협력을 모색하고 그 활동을 지원하는 것이다. 다른 기술로부터 유공압 기술에 가해지는 위협이 증가함을 보여주는 예가 많이 있다. 유공압은 단지 동력 전달에 있어서의 요구를 충족시킬 수 있는 많은 경쟁적인 해법 중의 하나라는 것은 브라마에 의해 인지되었으나, 이 사실이 조금이라도 영향을 미치기까지는 오랜 시간이 걸렸다. 1995년 NFPA는 “운동 제어를 통한 해법”이라는 표어를 소개했고, 1996년 미국 국제 유공압 박람회는 “운동 기술을 통한 해법”을 주제로 채택했다. 유럽에서는 지난 10년간 다수의 큰 회사들이 구동 문제에 대해 다른 해법을 제공한다는 것을 명확히 하기 위해 영업의 주안점을 바꾸었다. 대학에서 학생들에게 운동 제어 문제에 대한 경쟁력 있는 분야를 교육해야 할 필요성을 간과하는 것은 직업적으로 무책임하다. 아마도 여기에는 역설적인 요소가 있다. 미국의 대학이 유공압 기술을 가르쳐야 할 필요성을 재발견했는데 일본과 유럽의 일부에서는 유공압을 광범위한 틀 안

에 두어야 할 필요성을 인식했다.

이러한 대학의 움직임과 산업체의 고려는 유공압 전문가의 국제적 공동체를 형성하기 위해 지속적으로 노력해야 할 필요성을 제시한다. 국제 유공압 연계(Fluid Power Net International, FPNI)는 유공압 기술에 초점을 맞춘 여러 국적의 실용적 공학 연구소의 공동체이다. 이 공동체는 현재 산업체와 회원 사이의 연구 협력을 증진시킬 목적으로 약 30 개의 연구소를 연결시키고 있다([http:// fluid.power.net](http://fluid.power.net)). 이 연계망은 소규모의 대학 연구 집단 사이의 상승 작용을 고무시키는 데 유익하다. 마찬가지로 FPNI는 인터넷을 통해 조언을 쉽게 얻을 수 있게 하고 접속할 수 있는 연계망이 가능하도록 하기 위해 회원간 협력의 확대를 모색하고 있다(<http://www.fpce.net>).

두 연계망은 주로 독일(격년제), 스칸디나비아(격년제), 바스 국제 연수회(Bath International Workshop, 연 1회), JFPS 회의, 중국 내의 정기적인 일련의 학술대회 및 ASME 연례 총회에서 유공압 관련 회의와 같은 확립된 학술회의의 틀 안에 있다. 그 외에도 필자로 하여금 “동력 전달과 운동 제어에 관한 기초적 연구를 발표하는 데 초점을 맞춘 주요 국제회의를 개최하고 협력할 필요가 있는 단계가 되었는가?”라는 의문을 품게 하는 유공압 관련 회의가 많이 있다¹¹⁾.

만약 이러한 정기적인 회의가 산업체와 대학을 함께 참여시키는 목적을 수행한다면 그 회의는 살아남을 것이다. 그러나, 장기적으로 기술 발전을 더욱 건전한 방향으로 진작(振作)하려면 주요 국제회의(Major International Congress)의 개최(예를 들어 매 3년마다)를 확립해야 할 것이다. 제어 공동체가 이러한 조직의 모델을 개발했다. 국제 자동 제어 연맹(International Federation of Automatic Control)의 결성은 각국 조직의 중요성을 훼손시키지 않으면서 제어 공동체에 국제적 인식을 심어주었다. 따라서 국제 동력 전달 및 운동 제어 연맹(International Federation of power Transmission and Motion Control)은 각국의 협회와 공존할 수 있고, 각국에서 선출된 의장은 국제 집행 위원회의 당연직 구성원이 될 수 있다. 이러한 발전은 전문가의 세계적 공동체에 신선한 유인(誘因)이 될 수 있다. 이를 통해 국제 협력으로부터 유익함을 얻을 수 있는 몇 가지 기초적 연구 주제도 있다¹⁵⁾.

후 기

CPTMC와 세계적 공동체의 동료들의 지속적 지원에 사의를 표한다. FPCE 연계망 및 더 넓은 지역 내에 형성된 우정은 국경과 문화를 초월하는 공동체를 만들었고, 이는 전문가적 관심의 한계를 넘어 유익한 열매를 맺었다.

참고문헌

- 생 략 -



[역자 소개]

오인호 회원

E-mail : ioh@mail.hhu.ac.kr

Tel : 051-410-4282

1954년 5월 20일생

1997년 부경대학교 기관공학과 공학박

사 학위 취득, 1977년~1987년 선박기관

사 및 기관장 근무, 1987년 한국해양대

학교 전임강사, 2001년 한국해양대학교

기관시스템공학부 교수, 유공압시스템

학회, 대한기계학회, 한국박용기관공학회 등의 회원.