

NÂNG CAO THỰC THI ĐIỀU KHIỂN THIẾT BỊ TẬP CỔ CHÂN SỬ DỤNG CƠ CẤU CHẤP HÀNH PAM

Từ Diệp Công Thành

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 28 tháng 02 năm 2008, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 08 tháng 05 năm 2007)

TÓM TẮT: Nhu cầu phục hồi chức năng do các bệnh về thần kinh, tai nạn giao thông, tai nạn lao động, các hoạt động thể dục thể thao và tuổi già, hiện nay rất lớn và quá tải trong tất cả các bệnh viện, trung tâm chấn thương chỉnh hình và các trung tâm thể dục thể thao. Bên cạnh đó, nguồn nhân lực về vật lý trị liệu, phục hồi chức năng và một số thiết bị tập phục hồi chức năng khớp cổ chân hiện có tại các bệnh viện lớn như Chợ Rẫy, Thống Nhất và doanh nghiệp sản xuất dụng cụ vật lý trị liệu - phục hồi chức năng như Phana còn rất nhiều hạn chế như: thiết bị thiếu nhiều tính năng, hoạt động đơn giản, không thể thay đổi các tham số vật lý trị liệu để phù hợp với những điều kiện khác nhau của người bệnh nhằm giúp người bệnh đạt được sự tiến bộ nhanh nhất trong phục hồi chức năng. Sản phẩm mang tính cơ khí thuần túy, thiếu khả năng tự động và cần chuyên gia vật lý trị liệu hướng dẫn liên tục. Trên cơ sở đó, nghiên cứu chế tạo và điều khiển thiết bị tập phục hồi chức năng khớp cổ chân sử dụng cơ cấu chấp hành PAM (Pneumatic Artificial Muscle – Cơ bắp nhân tạo dùng khí nén) được giới thiệu nhằm hướng đến: hiện đại hóa trang thiết bị phục vụ ngành y tế, nâng cao năng suất và hiệu quả công việc, thay thế dần các thiết bị đã lỗi thời, thiếu nhiều tính năng hiện đang được sử dụng trong hầu hết các bệnh viện, trung tâm chấn thương chỉnh hình, các trung tâm huấn luyện thể dục thể thao, hoặc thay thế các thiết bị nhập ngoại, giá thành rẻ. Thiết bị tập cổ chân được điều khiển thông qua PC và sử dụng bộ điều khiển PID. Các tính năng hỗ trợ tốt nhất có thể cho các chuyên gia trong việc ra y lệnh cũng được trình bày thông qua phần mềm điều khiển đề xuất.

Từ khóa: Cơ cấu chấp hành PAM, Vật lý trị liệu - Phục hồi chức năng, Cổ chân, PID

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, nhu cầu về vật lý trị liệu, phục hồi chức năng trong các bệnh viện, trung tâm chấn thương chỉnh hình, trung tâm thể dục thể thao rất lớn. Bên cạnh đó, các thiết bị hiện có thiếu nhiều tính năng, hoạt động đơn giản, sản phẩm mang tính cơ khí thuần túy và đòi hỏi có chuyên gia vật lý trị liệu hướng dẫn hỗ trợ. Nghiên cứu ứng dụng các cơ cấu tác động truyền thống như động cơ điện và thủy lực trong lĩnh vực y tế phục hồi chức năng đã và đang được hoàn thiện. Tuy nhiên những hạn chế về tính an toàn, độ trợ cứng cao, không mềm dẻo và linh hoạt, tỉ số khối lượng/công suất thấp, khối lượng cơ cấu tác động lớn, khả năng lặp đi lặp lại, v.v.. luôn là những thách thức đối với các nhà khoa học.

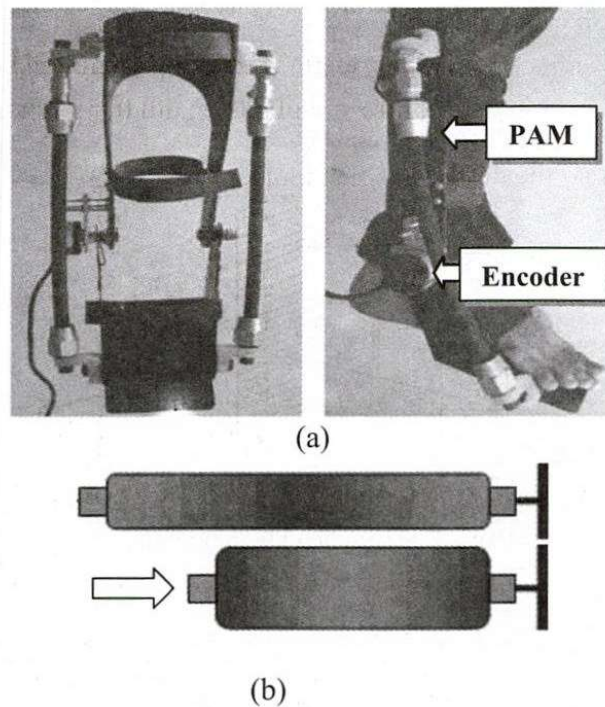
Một trong những giải pháp mới lạ đầy hứa hẹn thay thế các cơ cấu tác động truyền thống là cơ cấu chấp hành PAM [1]. Với tính năng an toàn cố hữu của khí nén, cơ cấu chấp hành PAM mang lại những tính năng ưu việt như: tính an toàn và khả năng chiều theo chuyển động, mềm dẻo, linh hoạt và khả năng lặp đi lặp lại tốt, khối lượng nhẹ, lực kéo lớn, tỉ số công suất/khối lượng cao, giá thành rẻ, dễ bảo trì, sạch sẽ, tiêu tốn năng lượng ít và nguồn năng lượng sạch, có sẵn trong tự nhiên. Từ những ưu điểm vượt trội đó, một số nghiên cứu ứng dụng như nghiên cứu ứng dụng cơ cấu chấp hành PAM trong thiết bị hỗ trợ những bệnh nhân không có khả năng cầm nắm [2], hệ thống hỗ trợ đi lại [3-5], hệ thống tay máy một bậc phục

vụ phục hồi chức năng [6-8], tay máy nhiều bậc tập phục hồi chức năng [9-11] và hệ thống hỗ trợ đi lại [12-13].

Trên cơ sở đó, nghiên cứu chế tạo và điều khiển thiết bị tập phục hồi chức năng khớp cổ chân được giới thiệu. Giải thuật điều khiển PID được sử dụng, phần mềm điều khiển được xây dựng trên ngôn ngữ Visual Basic với các tính năng hỗ trợ tốt nhất có thể cho các chuyên gia trong việc ra y lệnh và những kết quả đạt được sẽ minh chứng cho việc ứng dụng các cơ cấu tác động này trong lĩnh vực y tế phục hồi chức năng.

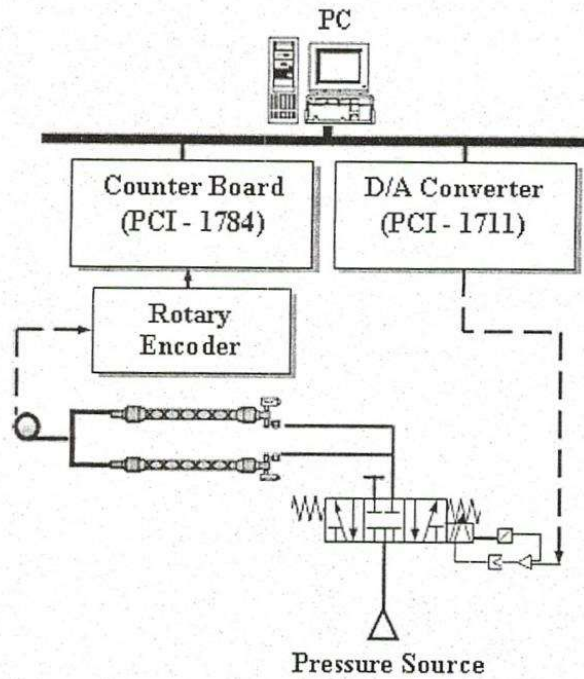
2. XÂY DỰNG HỆ THỐNG

Thiết bị tập phục hồi chức năng khớp cổ chân sử dụng cơ cấu chấp hành PAM được trình bày trên hình 1a. Nguyên lý hoạt động của cơ cấu chấp hành PAM được thể hiện trên hình 1b. Bằng cách tăng áp suất khí bơm vào, cơ cấu chấp hành PAM sẽ phình to theo chiều ngang và rút ngắn lại theo chiều dài, từ đó tạo ra lực kéo. Thiết bị tập cổ chân bao gồm máy vi tính IBM (Pentium 2.4 GHz) tính toán giá trị tín hiệu cần điều khiển và điều khiển van tỉ lệ khí nén (FESTO, MPYE-5-1/8HF-710 B) [14] thông qua card giao tiếp biến đổi D/A (Advantech, PCI 1711) [15], và điều khiển hai cơ cấu chấp hành PAM (FESTO, MAS-10-N-220-AA-MCFK) [1]. Sơ đồ khối điều khiển hệ thống được trình bày trên hình 2. Tín hiệu cảm biến góc được đo đặc thông qua cảm biến H40 Seri (H40-8-3600ZO Metronix) và được phản hồi về máy tính thông qua mạch giao tiếp đọc tín hiệu đa dụng (Advantech, PCI 1784) [16]. Những kết quả thực nghiệm được đo đặc ở áp suất làm việc 0.5 [MPa] và phần mềm điều khiển được xây dựng trên nền Visual Basic 6.0.



Hình 1. Thiết bị tập phục hồi chức năng khớp cổ chân sử dụng PAM

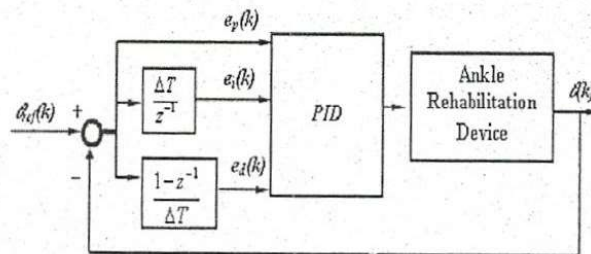
(a) Mô hình thiết bị; (b) Nguyên lý hoạt động của PAM



Hình 2. Sơ đồ khối hệ thống

3. ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG

Giải thuật điều khiển PID được biết đến như là một trong những bộ điều khiển ổn định và thường sử dụng rất nhiều trong công nghiệp vì những ưu điểm nổi bật như: có dạng đơn giản, độ ổn định cao trong vùng hoạt động rộng, v.v... Ứng dụng bộ điều khiển PID cho thiết bị y tế phục hồi chức năng khớp cổ chân được đề xuất và sơ đồ khối điều khiển được trình bày trên hình 3. Tín hiệu điều khiển có thể được biểu diễn như sau:



Hình 3. Sơ đồ điều khiển thiết bị

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Biến đổi Laplace của (1) cho

$$U(s) = K_p E(s) + \frac{K_p}{T_i s} E(s) + K_p T_d s E(s) \quad (2)$$

và kết quả hàm truyền của bộ điều khiển PID:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3)$$

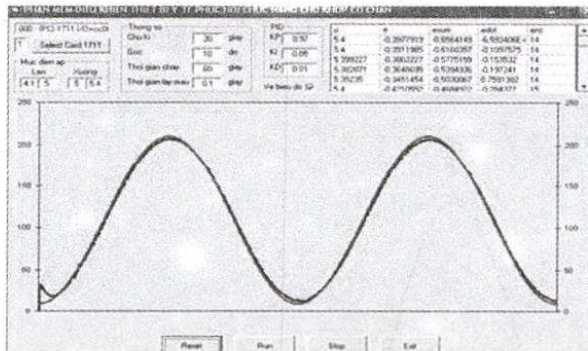
Kết quả tín hiệu điều khiển trong miền thời gian tại thời điểm k được thể hiện:

$$u(k) = K_p e(k) + u(k-1) + \frac{K_p T}{T_i} e(k) + K_p T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \quad (4)$$

ở đây $u(k)$ and $e(k)$ là tín hiệu điều khiển và sai số hệ thống.

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Chương trình điều khiển giao diện người sử dụng được viết trên nền Visual Basic 6 và được trình bày trên hình 4. Trên hình 4, các thông số hỗ trợ cho quá trình tập phục hồi chức năng như thời gian tập và điều trị, góc gập duỗi cho khớp gối và chu kì tuần hoàn của quá trình gập duỗi được các chuyên gia vật lý trị liệu – phục hồi chức năng lựa chọn tùy theo điều kiện bệnh lý của bệnh nhân (Hình 4-b). Các thông số bộ điều khiển PID cũng được lựa chọn, đề xuất và cài đặt (Hình 4-c). Bên cạnh đó, các thông số phản hồi từ hệ thống như giá trị tín hiệu điều khiển, sai số của hệ thống, v.v.. cũng được ghi nhận và thể hiện trên giao diện điều khiển (Hình 4-d). Đường đặc tuyến điều trị trong trường hợp này có dạng hình sin với các tham số được cài đặt ở trên. Và kết quả điều khiển cũng như độ chính xác của hệ thống được giám sát trực tuyến từ giao diện điều khiển.



a)

Thông số

Chu kì: 30 giây

Góc: 10 độ

Thời gian chạy: 60 giây

Thời gian lấy mẫu: 0.1 giây

b)

PID

KP: 0.97

KI: 0.05

KD: 0.01

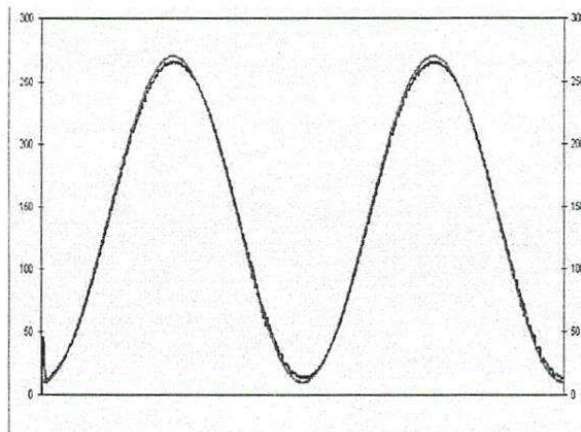
c)

u	e	esum	edot	enc
5.4	-0.3977919	-0.6564149	-6.593406E-14	14
5.4	-0.3911985	-0.6166357	-0.1097575	14
5.399227	-0.3802227	-0.5775159	-0.153532	14
5.382871	-0.3648695	-0.5394936	-0.197241	14
5.35235	-0.3451454	-0.5030067	0.7591382	14
5.4	-0.4210592	-0.4684922	-0.284377	15

d)

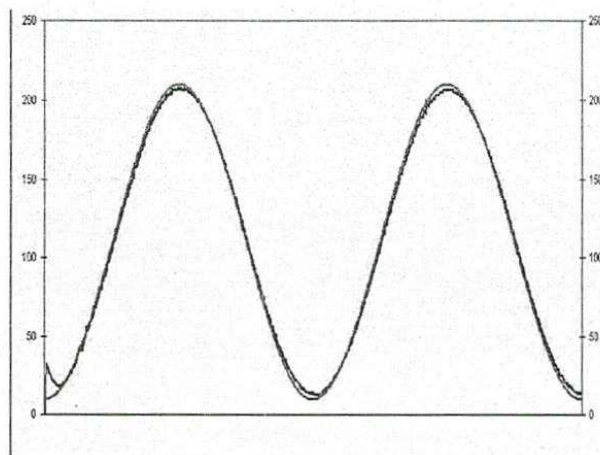
Hình 4. Giao diện điều khiển; (a): Giao diện điều khiển; (b): Hộp cài đặt thông số trị liệu; (c): Hộp cài đặt giá trị tham số bộ điều khiển; (d): Thông số phản hồi từ hệ thống

Kết quả thực nghiệm được xem xét trên nhiều điều kiện khác nhau. Hình 5 trình bày kết quả thực nghiệm với điều kiện ban đầu được chọn như: hình sin với thời gian/chu kỳ là 25 giây, biên độ góc tập trị liệu là 13 độ, các tham số điều khiển hệ thống được chọn thông qua thử nghiệm và sai số và được như sau: $K_p = 0.97$, $K_i = 0.05$, $K_d = 0.01$. Từ hình 5, sai số đo được vào khoảng 0.4 độ và thiết bị được điều khiển bám theo giá trị mong muốn được cài đặt ban đầu.



Hình 5. Thời gian/chu kỳ = 25s, biên độ góc = 13, $K_p = 0.97$, $K_i = 0.05$, $K_d = 0.01$

Trong vật lý trị liệu phục hồi chức năng, tùy theo các điều kiện bệnh lý khác nhau của bệnh nhân mà góc trị liệu cũng như thời gian trị liệu trong một chu kỳ cần thay đổi để cho phù hợp. Hình 6 giới thiệu kết quả điều khiển thiết bị trong điều kiện thay đổi thời gian/chu kỳ là 30 giây, biên độ góc tập là 10 độ, các giá trị của bộ điều khiển vẫn giữ nguyên như trường hợp trước. Kết quả đạt được cho thấy độ ổn định của bộ điều khiển PID. Kết quả đạt được với sai số vị trí là 0.5 độ.

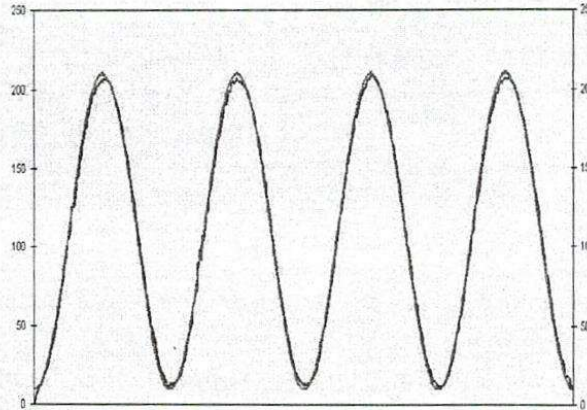


Hình 6. Thời gian/chu kỳ = 30s, biên độ góc = 10

Để nâng cao thực thi điều khiển hệ thống, thời gian/chu kỳ được chọn là 10 giây và biên độ góc trị liệu là 10 độ. Các giá trị của bộ điều khiển được thay đổi như sau: $K_p = 0.97$, $K_i = 0.03$, $K_d = 0.001$.

Kết quả đạt được chứng tỏ hệ thống hoạt động tốt trong các điều kiện thay đổi, sự lựa chọn giá trị bộ điều khiển có thể được tìm thông qua thử nghiệm và sai số. Các giá trị này có thể

được đề xuất tự động dựa trên yêu cầu của chuyên gia. Kết quả đạt được trên hình 7 cho thấy sai số vẫn nhỏ, 0.55 độ, và hệ thống có thể ứng dụng trong kỹ thuật y tế phục hồi chức năng.



Hình 7. Thời gian/chu kì = 10s, biên độ góc = 10 , $K_p = 0.97$, $K_i = 0.03$, $K_d = 0.001$

5.KẾT LUẬN

Với tính năng an toàn cố hữu, tính chiều theo chuyển động, và khả năng lặp đi lặp lại tốt trong quá trình chuyển động, cơ cấu chấp hành PAM là một sự lựa chọn thay thế hữu hiệu trong các trường hợp tương tác với con người. Nghiên cứu ứng dụng cơ cấu chấp hành PAM vào lĩnh vực y tế như chăm sóc sức khỏe, phục hồi chức năng và lắp ghép tay chân giả đã và đang được quan tâm hàng đầu bởi các nhà khoa học trên thế giới. Nghiên cứu thiết kế và chế tạo các thiết bị y tế phục hồi chức năng sử dụng cơ cấu chấp hành PAM là một hướng đi mới trong lĩnh vực Bio-mechanics.

Với các kết quả đạt được từ thực nghiệm điều khiển thiết bị tập phục hồi chức năng khớp cổ chân sử dụng PAM, việc ứng dụng cơ cấu chấp hành PAM vào các thiết bị y tế vật lý trị liệu – phục hồi chức năng là rất khả thi. Sản phẩm mang tính cơ khí y sinh học và phần mềm điều khiển đa tính năng giúp thích ứng với các điều kiện bệnh lý khác nhau của bệnh nhân.

Thông qua việc thay thế dần các thiết bị hiện có thiếu nhiều tính năng bằng các thiết bị tự động với nhiều tính năng, các chuyên gia có nhiều sự lựa chọn hơn trong giải pháp trị liệu và giúp người bệnh vững tin mau chóng hòa nhập cộng đồng.

Với mô hình thử nghiệm ở trên, đáp tuyến của mô hình đã đáp ứng được các yêu cầu thông số khác nhau của quá trình vật lý trị liệu. Tuy nhiên, nhằm nâng cao hơn khả năng thực thi điều khiển, cũng như các dạng phác đồ trị liệu khác nhau như hình thang, hình tam giác và các bộ điều khiển hiện đại như Neural Network hay Fuzzy Logic, đó sẽ là những đề xuất tiếp theo của nghiên cứu này.

IMPROVEMENT CONTROL PERFORMANCE OF ANKLE REHABILITATION DEVICE USING PAM

Tu Diep Cong Thanh
University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT: *The requirement of the rehabilitation due to the problem with labor accident, sport and advantaged age, is so big and over the control of most hospitals, rehabilitation therapy centers, and sport centers. In addition, the human resource for physical therapy, rehabilitation and some ankle rehabilitation equipment in Cho Ray Hospital, Thong Nhat Hospital and Phana Company is so limited such as: limited operations, simple operation, fix the condition regardless the human physical conditions of the patient in order to get the best effectiveness. The device is just mechanism without automation, and need the support from the therapist. Thus, the study for manufacturing and control the ankle rehabilitation device using PAM (Pneumatic Artificial Muscle) is introduced. It focuses on making modern the therapy device, improve the effectiveness of labor, representation old device, limited operation, which are used in most hospitals, rehabilitation therapy centers, and sport centers. The device are controlled through the PC and using PID controller. All the therapy parameters are chosen by therapist and is shown through the user interface software.*

Keywords: *Pneumatic artificial muscle (PAM), Physical Therapy – Rehabilitation, Ankle, PID.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Festo, *Fluidic Muscle DMSP/MAS Key Features*, Festo Company, Germany.
- [2]. Zheng Li, *Using robotic hand technology for the rehabilitation of recovering stroke patients with loss of hand power*, Master Thesis, North Carolina State University, USA, (2003).
- [3]. Blaya JA, Herr H., *Adaptive control of a variable-impedance ankle-foot orthosis to assist drop-foot gait*, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, (2004).
- [4]. Andersen J.B, Sinkjaer T., *An actuator system for investigating electrophysiological and biomechanical features around the human ankle joint during gait*, IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, (1995).
- [5]. Davis S, Tsagarakis N, Canderle J, Caldwell DG, *Enhanced modelling and performance in braided pneumatic muscle actuators*, International Journal of Robotics Research, (2003).
- [6]. Ahn, K.K. and Thanh, T.D.C., *Nonlinear PID control to improve the control performance of PAM manipulators using neural network*, in KSME, Int., Jour., Korea Society of Mechanical Engineering, Vol. 19, No. 1, pp. 106~115, (2005).
- [7]. Ahn, K.K., Thanh, T.D.C. and Ahn, Y.K., *Performance improvement of PAM manipulators using Magneto-rheological brake*, in KSME, Int., Jour., Korea Society of Mechanical Engineering, Vol. 19, No. 3, pp. 777~790, (2005).

- [8]. Ahn, K.K., Thanh, T.D.C. and Ahn, Y.K., *Intelligent Switching Control of Pneumatic Artificial Muscle Manipulator*, in JSME, Int., Jour., Series C, Japan Society of Mechanical Engineering, Vol. 48, No. 4, pp. 657~667, (2005).
- [9]. Caldwell, D. G., Medrano-Cerda, G. A., and Goodwin, M. J., *Control of pneumatic actuator*, in Proc., IEEE Int., Conf., Control System, , pp. 40~48, (1993).
- [10]. Tsagarakis, N., Caldwell, D.G., Medrano-Cerda, G.A., *A 7 DOF pneumatic muscle actuator (pMA) powered exoskeleton*, IEEE International Workshop on Robot and Human Interaction, Pisa, Italy, pp. 327~333, (1999).
- [11]. M. Folgheraiter, G. Gini, M. Perkowski, and M. Pivtoraiko, *Adaptive Reflex Control for an Artificial Hand*, in Proc., SYROCO 2003, Symposium on Robot Control, (2003).
- [12]. Carey Reid Merritt, *A pneumatically actuated brace designed for upper extremity stroke rehabilitation*, Master Thesis, North Carolina State University, USA, (2003).
- [13]. Repperger D.W, Phillips C.A, Johnson D.C., Harmon R.D, Johnson K., *A study of pneumatic muscle technology for possible assistant in mobility*, in Proc., IEEE, Int., Conf., IEEE/EMBS, pp. 1884~1887, (1997).
- [14]. Festo, *Proportional Directional Control Valves MPYE Technical Data*, Festo Company, Germany.
- [15]. Advantech, *PCI-1711/1731 User's Manual*, Advantech Company, USA
- [16]. Advantech, *PCI-1784 User's Manual*, Advantech Company, USA