

디지털 웨어용 입출력 장치

전재욱, 최혁렬*, 남재도**, 이성일***, 최후곤****

성균관대학교 정보통신공학부, *성균관대학교 기계공학과, **성균관대학교 고분자공학과,
성균관대학교 시스템공학부, *성균관대학교 시스템경영공학부

1. 서론

인간에 대한 최초의 인공 환경이라는 의복은 인간의 신체와 외부 환경 사이에 하나의 막으로서 외부의 환경으로부터 신체를 보호하는 역할을 한다. 또한 의복은 인간 신체 일부가 확장된 (augmented) 형태로서의 기능도 수행하게 된다. 즉 의복은 인간의 확장된 신체로서 인간과 항상 같이 있게 된다. 최근에 각 개인이 원하면 언제라도 컴퓨터를 사용할 수 있도록 하기 위하여 입을 수 있는 (wearable) 형태의 착용형 컴퓨터가 (wearable computer) 등장한 것도 컴퓨터가 의복과 마찬가지로 인간과 항상 같이 있다는 점이 강조된 것이라 할 것이다.

착용형 컴퓨터 또는 디지털 웨어 (digital wear)라고 불리는 컴퓨터는 의복과 같이 항상 인간의 신체와 같이 있기 때문에 컴퓨터로서 인간에게는 확장된 신체의 기능을 하게 된다. 따라서 디지털 웨어는 신체와 외부 사이에 하나의 막으로서 작용하게 되며, 이는 신체와 외부 사이에서 정보의 삼투 기능(osmosis)을 수행하게 된다. 또한 디지털 웨어는 하나의 의복이라는 관점에서 기존 컴퓨터에 비해 각 개인의 특성을 많이 고려해야 한다. 즉 민족적 특성 및 연령과 성별에 차별성과 함께 장애인이나 노약자에 대한 별도의 고려가 필요하다. 이는 디지털 웨어의 사용자 인터페이스(user interface)는 기존 컴퓨터에 비해 더욱 각 개인의 특성을 고려해야 한다는 것이다.

현재 디지털 웨어 입력 장치는 음성 인식 기술을 이용한 장치, 기존 컴퓨터의 키보드와 마우스를 적절히 변형한 장치, 터치 스크린, 가상 키보드 형태의 입력 장치 등이며, 출력 장치로는 기존의 모니터를 변형하여 머리에 부착할 수 있는 형태로 개발된 HMD (head mount display)와 음성 합성 기술을 이용한 장치 등이 있다. 이러한 디지털 웨어의 기존 입출력 장치는 대부분 일반 컴퓨터 입출력 장치를 조금 더 편리하게 휴대할 수 있도록 하는 관점에서 개발된 것이며, 디지털 웨어가 하나의 의복이라는 관점을 고려한 것이 아니다. 디지털 웨어는 의복과 같이 신체에 밀착된 상태로 사용되기 때문에 인간의 촉감을 이용한 입출력 장치는 시각과 청각을 이용한 입출력 장치와 달리 디지털 웨어의 의복 형태와 자연스럽게 합쳐질 수 있을 것이다. 촉감을 이용한 입출력 장치는 GUI (graphical user interface) 환경에서도 시각 장애인 불편하지 않게 컴퓨터를 사용할 수 있도록 할 것이며, 시각 장애인이 이동하는 경우에도 도움을 줄 수 있고, 시각적인 개념을 학습하는 데 있어서도 여러 가지로 도움을 줄 것으로 예상된다. 이로 인해 시각장애인과 비장애인 사이의 정보 격차를 해소하는 데 도움이 될 것이다. 또한 집에서 혼자 생활하는 노인이나 환자의 건강 이상 유무를 상시로 점검하기 위해 촉감을 이용한 입출력 장치를 갖는 디지털 웨어를 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

촉각 정보는 인간 신체에서 넓은 면적을 차지하고 있는 피부를 통해 전달될 수 있고 시각이나 청

각 정보와 같이 동시에 사용될 수 있다. 게다가 인간은 촉각의 미세한 차이를 감지할 수 있고 서로 다른 강도의 촉각 정보의 차이를 더 극명하게 감지할 수 있기 때문에 다음과 같은 경우에 디지털 웨어의 촉각형 입출력 장치는 시각과 청각에 의존하는 기존 입출력 장치 기능을 보완할 수 있을 것이다.

- (i) 비행기 조종, 대규모 공장 조정, 경주용 자동차 운전 등과 같이 시각적인 정보가 지나치게 많이 사용되고 있는 환경
- (ii) 해저 작업, 우주선 외부에서의 작업, 군사 작전 수행 등과 같이 시각 정보나 청각 정보가 제한되는 특수 환경
- (iii) 정밀한 의료 시뮬레이터나 의료 기기, 새로운 형태의 오락 및 게임기 등과 같이 촉각 정보가 보조적으로 필요한 환경

2. 기존의 촉각형 입출력 장치

촉각 형태의 자극에 대한 인간 반응에 대해 연구와 함께 촉각형 센서를 개발하여 로봇이 보다 더 다양한 작업을 수행할 수 있도록 하는 연구가 많이 진행되었다[1-5]. 이러한 촉각형 센서는 궁극적으로 인체 피부의 일부 기능을 수행하고자 하는 것으로 타 센서와 같이 사용하여 로봇 작업 효율을 향상시킬 수 있다.

반면에 촉각형 출력 장치는 주로 가상현실에서 활용되거나 시각 장애인을 위한 보조 장치로 (assistive device) 개발되고 있다. 가상현실에서 사용하기 위하여 개발된 촉각형 출력기는 surface acoustic wave 모터를 이용하여 개발된 것, RC 서보모터를 이용하여 6×6 핀 형태로 개발한 것, 물체의 표면 질감 정보를 전달하기 위해 50개의 진동 핀으로 구성되어 개발된 것, piezoceramic 소형 모터를 개발하여 모바일 기기용으로 개발된 것, 기능성 고분자를 이용하여 개발된 것 등이 있다[6-10]. 또한 의사가 내시경을 원활하게 조종할 수 있도록 촉각을 피드백할 수 있는 연구도 진행 중이다[11]. 시각 장애인을

위한 촉각형 출력기는 대부분 2차원적인 정보를 전달하기 위해 연구되고 있으며 3,600개의 작은 핀을 이용하여 핀의 상하 운동으로써 정보를 전달하는 것, 컴퓨터 화면 상의 2차원 정보를 사람의 피부를 통하여 전달하거나 혀를 통하여 전달하는 것, 7×7 전극을 통한 정전기 자극을 가하여 정보를 전달하는 것, 기능성 고분자 재료를 이용하여 정보를 전달하는 것 등이 있다[12-17]. 또한 시각 장애인에게 3차원 정보를 전달하기 위하여 16×16 핀으로 구성되어 개발된 것도 있다[18].

디지털 웨어에서 촉각을 이용한 입출력 장치에 관한 연구로는 시각 장애인을 위하여 카메라에서 받은 영상 정보를 1,024개 격자에 있는 촉각 자극기로 표시한 연구와 디지털 웨어에서 사용할 수 있는 여러 가지 형태의 촉각형 출력기에 관한 연구, 우주인이 우주선 밖에서 작업을 할 때 사용하기 위한 촉각형 출력기에 관한 연구 등이 있다[19-21]. 이 외에도 장애인을 위한 디지털 웨어 입출력 장치에 관한 연구는 지형 정보를 소리 정보로 변환하는 연구, 동작 인식에 관한 연구, 원격 진료에 관한 연구, 강의실이나 극장에서 음성으로 표현된 내용을 문자로 변환하는 자막에 관한 연구, 뇌 기능의 일부가 손상된 장애인을 위한 인지 보철 기술을 (cognitive prosthetics) 이용한 시스템 연구 등이 있다[22-24].

3. 기능성 고분자를 이용한 촉각형 입출력 장치

인공근육(artificial muscle)에 관한 연구는 인체 모방에 관한 연구 중에서 가장 활발하게 수행되고 있는 분야 중 하나이다. 근육의 특징을 요약하면 제한된 공간 내에 다수의 구동기가 (actuator) 존재하여(compact) 질량 대 구동력의 비가 우수하고 (high power density), 별도의 장치 없이 저속에서 높은 구동력을 낼 있으며 (high power, low speed), 선형운동이 가능하고(linear motion), 자체적으로 연성을 갖고 있다는 점(compliant)을 들 수 있다[25]. 그런데 전기 모터와 같이 기존에 많이 사용되고 있는 구동

기는 근육과 전혀 다른 특성을 갖기 때문에 기존 구동기로 인공근육을 개발하려면 여러 가지 문제점이 존재한다. 최근 물성과 기계적 거동 뿐만 아니라 외형상으로도 인체 근육과 유사한 기능성 고분자 (electro active polymer, EAP) 물질을 이용한 인공 근육 개발에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 현재 주목 받고 있는 기능성 고분자는 ion-exchange polymer metal composite (IPMC), 전도성 고분자 (conductive polymer), 고분자 젤 (polymer gel), 고분자 유전체 (electrostrictive polymer, EP), 압전성 고분자 (piezoelectric polymer) 등이 있으며 이들은 기존 구동기 보다 작은 크기로 인간의 근육과 거의 동일한 운동 반응 시간으로 구동할 수 있기 때문에 생체의 근육에 가장 근접한 특성을 갖고 있는 장점이 있다[26-28].

Figure 1은 기능성 고분자 중 하나인 polyvinylidene fluoride-trifluoroethylene (PVDF-TrFE) 공중합체를 이용하여 8×8 키패드를 개발한 것이다. 키를 소형화하여 좁은 면적에 형렬 형태로 키를 아주 많이 배치하여 밀도를 높이면 이것은 2차원 촉각형 센서 형태로 활용할 수 있다. 이러한 2차원 센서는 얇은 형태로 가공이 가능하고 구부러진 상태에서도 사용이 가능하기 때문에 디지털 웨어의 입력 장치로 사용할 수 있을 것이다.

기능성 고분자를 이용하여 촉각형 출력기를 개발

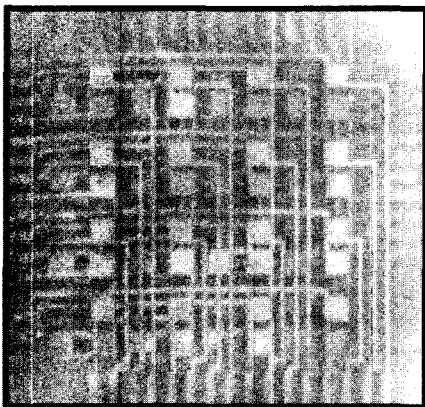


Figure 1. PVDF 이용 8×8 키패드.

하면 다른 방법에 의한 출력기에 비해 부드럽고, 부드러움의 정도도 제어할 수 있는 장점이 있다. 또한 재료비가 저렴하고 간단하게 가공할 수 있고, 구동기 밀도를 증가시키는 것이 용이하다. 기능성 고분자를 이용하여 촉각 형태의 출력기로 활용 가능한 연구 중에서는 고분자 유전체를 이용하여 1자유도와 5 자유도의 구동기를 개발한 것이 있으며[29,30], 시각 장애인을 위하여 기능성 고분자를 이용하여 동적 점자 출력기를 개발한 것이 있다[17, 31]. 기존 동적 점자 출력기에서 사용된 점자 출력 셀은 대부분 압전소자나 공압을 이용하였기 때문에 가격이 고가이며 장치의 소형화가 어려운 문제점이 있는 반면에 [31]에서 제안된 점자 출력 셀은 기존의 점자출력기 단점을 극복할 수 있는 방식으로 Figure 2에 나타난 바와 같다. 고분자를 이용한 동적 점자 출력기에서 소형화하여 밀도를 증가시키면 2차원 정보를 전달할 수 있는 2차원 촉각형 출력기로 사용할 수 있을 것이다.

4. 디지털 웨어용 입출력 장치

인공근육을 모방할 수 있는 기능성 고분자를 이용하면 인간 친화적인 형태의 촉각형 입출력 장치 개발이 가능할 것이다. 나아가서 이러한 기능성 고분자를 이용한 촉각형 입출력 장치를 디지털 웨어에 적용할 때 다음과 같이 점이 고려되면 의복으로서의 디지털 웨어 기능이 더욱 향상될 것이다.

- (i) 기능성 고분자를 이용한 촉각형 입력 장치와 출력 장치는 현재 각각 분리된 형태로서 개발되고 있다. 그런데 인체의 피부가 근육과 분리된 형태가 아니라 합쳐진 형태인 것 같이 촉각형 입출력 장치도 일체형으로 개발되면 디지털 웨어에 더 자연스럽게 합쳐질 수 있을 것이다. 이를 위해서는 센서와 구동기의 특성을 모두 갖는 기능성 고분자를 이용한 입출력기 개발이 필요하다.
- (ii) 기능성 고분자로 섬유(fiber) 형태의 구동기를 개발하게 되면 이를 이용하여 다양한 형상의 입

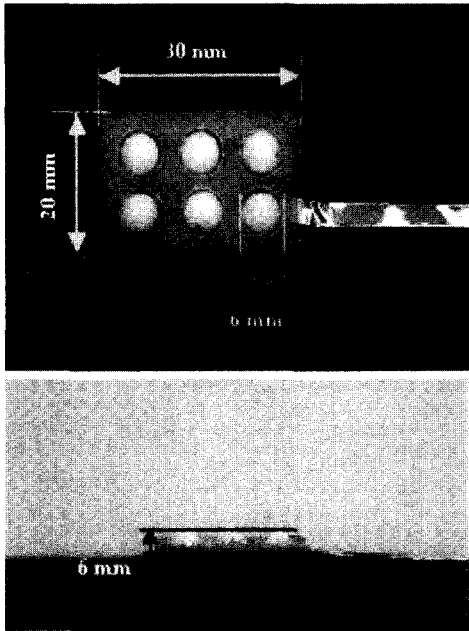


Figure 2. 동적 점자 출력 셀.

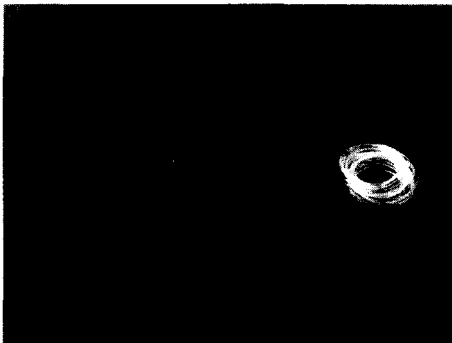


Figure 3. 용액이 첨가되지 않은 전도성 고분자 섬유.

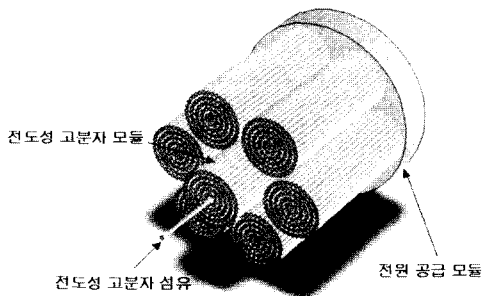


Figure 4. 전도성 고분자 섬유 이용 구동기 개념도.

출력기 개발이 가능하게 될 것이다. 최근에 전도성 고분자를 전기 분산을 통하여 나노 크기의 섬유로 제조하려는 연구가 진행 중이다 (Figure 3). 인체 근육은 다량의 근섬유가 결합되어 이루어진 것으로 분석되고 있으며, 따라서 섬유 형태의 고분자 구동기를 이용하면 Figure 4와 같은 형태로 인공근육을 개발할 수 있을 것이다. 섬유 형태의 구동기를 단순히 의복의 기능만을 수행하는 일반 섬유와 같이 엮어서 디지털 웨어를 만들면 입출력기가 별도의 위치에 한 덩어리로 존재하는 것이 아니라 디지털 웨어 전체에 걸쳐 분산된다. 따라서 일반 의복과 마찬가지로 디지털 웨어를 매우 다양한 형태로 만드는 것이 가능할 것이다.

5. 결 론

촉각형 입출력 장치는 아직 컴퓨터에서 본격적으로 사용되고 있지 않다. 그러나 디지털 웨어의 의복 기능을 고려하면 디지털 웨어에서는 촉각형 입출력 장치가 시각과 청각을 이용한 입출력 장치보다 더 중요한 의미를 갖는다. 또한 시각과 청각에 의존한 기존의 입출력 장치 만을 사용해서 디지털 웨어를 적용할 수 없었던 분야에도 새로이 적용할 수 있을 것이다. 기능성 고분자를 이용한 촉각형 입출력 장치는 인간 친화적이고 게다가 일반 의복에 사용되는 섬유와 같이 엮어서 사용할 가능성이 있다는 점에서 향후 디지털 웨어에 적절한 입출력 장치가 될 것으로 예상된다.

현재까지 착용형 컴퓨터에 대한 연구는 주로 컴퓨터를 인간이 착용할 수 있도록 하는 (wearable) 연구에 집중되었으며 의복으로서의 미적 기능에 대한 연구는 다소 간과되었다. 그런데 디지털 웨어는 컴퓨터 기능을 갖는 인간의 의복이라는 점을 강조하면 향후 연구는 디지털 웨어의 미적 기능을 살릴 수 있는 것에 대해 집중되어야 할 것이다. 기능성 고분자를 이용한 입출력 장치에 대한 연구는 디지털 웨

어의 미적 기능을 살리는 연구의 일환이 될 것이다.

참고문헌

1. G. Moy and R.S. Fearing, "Effects of Shear Stress in Teleaction and Human Perception", *7th Symp. on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, ASME IMECE Anaheim, CA Nov. 1998.*
2. V. J. Lumelsky, et. al., "Sensitive Skin", *IEEE Sensor Journal*, Vol. 1, No. 1, June 2001.
3. H. Liu, P. Meusel, and G. Hirzinger, "A Tactile Sensing System for the DLR Three Finger Robot Hand", *ISMCR*, pp 91-96, 1995.
4. H. Kawasaki, H. Shimomura, and Y. Shimizu, "Educational-industrial complex development of an anthropomorphic robot hand 'Gifu hand'", *Advanced Robotics*, Vol. 15, No. 3, pp. 357-363, 2001.
5. M. Hakozaiki, H. OASA, and H. Shinoda, "Telemetric Skin", *Technical Digest of The 16th Sensor Symposium*, pp.223~226, 1998.
6. T. Nara, et. al., "An application of SAW to a tactile display in virtual reality", *2000 IEEE Ultrasonics Symp.*
7. C. R. Wagner, et. al., "A Tactile Shape Display Using RC Servomotors", *10th Symp. on Haptic Interface for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, March 2002.
8. Y. Ikei, et. al., "Texture Presentation by Vibratory Tactile Display", *1997 Virtual Reality Annual Int. Symp.* March 1997.
9. I. Poupyrev, et. al., "TouchEngine: A Tactile Display for Handheld Devices", *CHI 2002.*
10. M. Jungmann and H. F. Schlaak, "Miniaturised Electrostatic Tactile Display with High Structural Compliance", *Proceedings of the Conference Eurohaptics 2002*, Edinburgh, U.K., 2002.
11. G. Moy et. al., "A Compliant Tactile Display for Teleaction", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, April 2000.
12. NIST 'Pins' Down Imaging System for the Blind, http://www.nist.gov/public_affairs/factsheet/visualdisplay.htm
13. P. Bach-y-Rita, et. al., "Form perception with 49-point electrotactile stimulus array on the tongue: A technical Note", *Journal of Rehabilitation Research and Development*, Volume 35, Number 4, Oct. 1998.
14. K Kaczmarek, et. al., "A Tactile Vision-Substitution System for the Blind: Computer-Controlled Partial Image Sequencing", *IEEE Trans. On Biomedical Engineering*, Vol. BME 32, Number 8, Aug. 1995.
15. K Kaczmarek, et. al., "Electrotactile and Vibrotactile Displays for Sensory Substitution Systems", *IEEE Trans. On Biomedical Engineering*, Vol. 38, Number 1, Jan. 1991.
16. H. Tang, D. J. Beebe, "A Microfabricated Electrostatic Haptic Display for Persons with Visual Impairments", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Vol.6, No.3, pp.241-248, 1998.
17. G. M. Spinks, G. G. Wallace, J. Ding, D. Zhou, B. Xi, J. Gillespie, "Ionic Liquids and Polypyrrole Helix Tubes: Bringing the Electronic Braille Screen Closer to Reality", *Proc. SPIE's 10th Annual Symp. on Smart Structures and Materials: Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD)*, 2003.
18. Y. Kawai and F. Tomita, "Interactive Tactile Display System", *Proc. of ASSETS'96*, 1996.
19. C.C. Collins, et. al., "Mobile Studies with a Tactile Imaging Device", *Fourth Conf. on Systems & Devices For The Disabled*, 1977.
20. F. Gemperle, et. al., "Design of a wearable tactile display," *Fifth International Symposium on Wearable Computers*, Oct. 2001.
21. J. L. Rochlis and D. J. Newman, Aviation, "A Tactile Display For International Space Station (ISS) Extravehicular Activity (EVA)", *Space and Environmental Medicine, Volume 71, Number 6, June 2000.*
22. M. Gandy, "Wearable Computers for Persons with Disabilities", *Sixth International Symposium on Wearable Computers*, Seattle, Oct. 7 - Oct. 10, 2002.
23. Georgia Institute of Technology, "All for one, 1 for All", *Research Horizons*, Fall 2002.
24. Bruce N. Walker and David M. Lane, "PSYCHOPHYSICAL SCALING OF SONIFICATION MAPPINGS: A COMPARISON OF VISUALLY IMPAIRED AND SIGHTED LISTENERS", *Proceedings of the 2001 International Conference on Auditory Display, Espoo, Finland, July 29-August 1, 2001.*
25. R. L. Lieber, "Skeletal Muscle is a Biological Example of a Linear Electro-Active Actuator", *Proc. of SPIE 6th Annual Int. Symp. on Smart Structures and Materials*, 1999.
26. M. Shahinpoor, et. al. "Ionic Polymer-Metal Composites (IPMC) As Biomimetic Sensors, Actuators & Artificial Muscles - A Review", *Artificial Muscle Research Institute.*
27. Y. Bar-Cohen, T. Xue, B. Joffe, S.S. Lih, P. Willis, J. Simpson, J. Smith, T. St. Clair, M. Shahinpoor, "Low Mass Muscle Actuators(LoMMAs) Using Electroactive Polymers", *Smart Structures and Materials Symposium, Enabling Technologies: Smart Structures and Integrated Systems*, San Diego, CA, 3-6, Mar. 1997.

28. R. Pelrine, R. Kornbluh, J. Joseph, "Electrostriction of Polymer Dielectrics with Compliant Electrodes as a Means of Actuation", *Sensor and Actuators A: Physical*, Vol.64, pp.77-85, 1998.
29. K. Park, et. al. "An Electrostrictive Polymer Actuator Control System", *2001 IROS*, pp. 470-475, 2001.
30. H. Choi, et. al. "Multiple degree-of-freedom digital soft actuator for robotic applications", *Smart Structures and Materials Symposium, Enabling Technologies: Smart Structures and Integrated Systems*, pp. 262-271, San Diego, CA, 3-6, Mar 2003.
31. 최혁렬의 6인, "고분자 유전체를 이용한 동적 점자 출력기", *제어자동화시스템 공학회 논문지*, 9권 8호, pp. 592-599, 2003.

저자 프로필



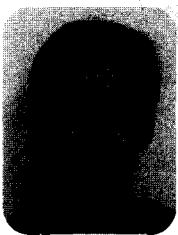
전 재 욱

1984. 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1986. 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990. Purdue University (Ph.D.)
 1990-1994. 삼성전자 자동화연구소
 선임연구원
 1994-현재. 성균관 대학교 정보통신공학부
 교수
 주요 관심분야: 로봇공학/임베디드시스템
 /공장 자동화
 E-mail: jwjeon@yurim.skku.ac.kr



최 혁 렬

1984. 서울대학교 기계공학과 (공학사)
 1986. 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
 1994. 포항공과대학교 (공학박사)
 1995-현재. 성균관 대학교 기계공학부
 부교수
 관심분야: Artificial muscle actuator, field-
 rescue robotics, dextrous mechanism,
 milli/micro robot



남 재 도

1984. 서울대학교 화학공학과 (공학사)
 1986. 서울대학교 화학공학과 (공학석사)
 1991 University of Washington (Ph.D.)
 1991-1993. University of Washington
 연구원
 1993-1994. 삼성그룹 제일합섬 기술
 연구소 선임연구원
 1994-현재. 성균관 대학교 고분자공학과 교수
 관심 분야: 고분자 나노복합재료, 항공용
 복합재료, Direct Methanol Fuel Cell,
 기능성 고분자 구동기 센서



이 성 일

1985. 서울대학교 산업공학과 (공학사)
 1987. 서울대학교 산업공학과(공학석사)
 1989. Georgia Institute of Technology (MS)
 1995. University of Wisconsin-Madison (Ph.D.)
 1995-1996. University of Wisconsin-
 Madison Post-Doc
 1997-1998. 전남대학교 산업공학과
 전임강사
 1999-현재. 성균관 대학교 시스템 공학부
 조교수
 관심분야: 인간공학, 인지공학, HCI,
 Universal Design



최 후 곤

1975. 서울대학교 산업공학과 (공학사)
 1979. 서울대학교 대학원산업공학과
 (공학석사)
 1981. Iowa State University (MS)
 1985. Iowa State University (Ph.D.)
 1985-1989. Montana State University
 조교수
 1989-현재. 성균관대학교 시스템경영공학부
 교수
 주요 관심분야: CAD/CAPP/CAM
 /CIMS