

시각장애인을 위한 착용형 컴퓨터 입출력 장치

전 재 욱, 이 성 일, 최 혁 렬, 최 후 곤, 남 재 도
성균관대학교

1. 서론

대형 컴퓨터를 시작으로 점차적으로 컴퓨터를 많이 사용하게 되어 현대에서는 사회 모든 분야에서 컴퓨터를 사용하게 되었고 각 개인이 자신의 컴퓨터를 사용하는 개인용 컴퓨터(Personal Computer, PC) 시대를 맞이하였다. 이러한 경향에 한발 더 나아가 최근에는 국한된 장소에서만 컴퓨터를 사용할 수 있는 것이 아니라 각 개인이 원하면 언제라도 컴퓨터를 사용할 수 있도록 하기 위하여 입을 수 있는 (wearable) 형태의 착용형 컴퓨터가(wearable computer) 등장하였다.

노트북 PC, PDA, 스마트폰 등은 이동성 (mobile) 및 휴대성 (portable) 으로 인하여 착용형 컴퓨터와 유사하게 사용할 수 있지만 일반적으로 착용형 컴퓨터는 사용자가 친밀하게 정보를 교환하기 위하여 사용자 인터페이스가 (user interface, UI) 기존 컴퓨터에 비해 더욱 진보하여야 한다. 특히 착용형 컴퓨터는 의복과 같이 입고 (wearable), 신체의 일부 기능을 확장할 수 (augment) 있다는 관점에서 기존의 컴퓨터에 비해 사용자 개인 별 특성을 더욱 많이 고려해야 한다. 다시 말해서 비장애인 (non-handicapped) 뿐만 아니라 장애인도 (handicapped) 간편하게 착용형 컴퓨터를 사용할 수 있는 보편적인 (universal) UI가 필요한 것이다. 따라서 기존 기기의 UI보다 더욱 인간 친화적이며 각 개인 특성을 고려한 UI를 개발하기 위하여 착용형 컴퓨터의 새로운 입출력 장치 개발이 필요하다.

현재 착용형 컴퓨터의 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 착용형 컴퓨터의 기존 입출력 장치는 대부분 일반 컴퓨터 입출력 장치를 조금 더 편리하게 휴대할 수 있도록 하는 관점에서 개발된 것이기 때문에 아직 시각 장애인이나 청각 장애인이 이러한 장치를 원활하게 사용하기가 어렵다. 특히 시각과 청각 기능이 있어서 장애를 갖는 시청각 장애인은 이러한 장치를 전혀 사용할 수 없다. 따라서 착용형 컴퓨터의 보편적 활용을 위하여 기존의 입출력 장치 기능을 보완할 수 있는 새로운 형태의 입출력 장치가 필요하다.

착용형 컴퓨터는 일반 컴퓨터와 달리 신체에 밀착된 상태로 사용되고, 시각과 청각을 제외한 감각 중에서 촉각을 이용하면 정보 전달이 용이하다는 점에서 촉각형의 입출력 장치를 개발하면 그 효율성이 높을 것으로 예상된다. 촉각형 입출력 장치는 GUI 환경에서도 시각 장애인이 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 비장애인과 시각 장애인 간의 정보 격차를 해소하는 데 도움이 될 것이다. 또한 집에서 혼자 생활하는 노인이나 환자의 건강 이상 유무를 상시로 점검하기 위해 촉각형 입출력 장치를 갖는 착용형 컴퓨터를 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

촉각 정보는 사람 몸에서 넓은 면적을 차지하고 있는 피부를 통해 전달되고 시각이나 청각 정보와 같이 동시에 사용될 수 있다. 또한 사람은 촉각의 미세한 차이를 감지할 수 있고 서로 다른 강도의 촉각 정보의 차이를 더 극명하게 감지할 수 있기 때문에 비장애인에게도 다음과 같은 경우에 착용형 컴퓨터의 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. 시각 장애인을 위한 기존 입출력 장치

촉각을 이용한 입출력 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 [1-5]. 또한 의사가 내시경을 원활하게 조종할 수 있도록 촉각을 피드백 할 수 있는 연구도 진행 중이다[6].

시각 장애인을 위한 촉각형 출력기는 대부분 2차원적인 정보를 전달하기 위해 연구되고 있으며 3,600개의 작은 핀을 이용하여 핀의 상하 운동으로서 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 [7-12]. 또한 시각 장애인에게 3차원 정보를 전달하기 위하여 16 × 16 핀으로 구성하여 개발된 것도 있다[13].

착용형 컴퓨터에서 촉각을 이용한 입출력 장치에 관한 연구로서는 시각 장애인을 위하여 카메라에서 받은 영상 정보를 1,024개 격자에 있는 촉각 자극기로 표시한 연구와 착용형 컴퓨터에서 사용할 수 있는 여러 가지 형태의 촉각형 출력기에 관한 연구, 우주인이 우주선 밖에서 작업을 할 때 사용하기 위한 촉각형 출력기에 관한 연구 등이 있다 [14-16]. 이외에도 장애인을 위한 착용형 컴퓨터 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 [17-19].

3. 점자 기반의 장갑형 입력기

현재 컴퓨터의 입력장치로 가장 많이 사용되고 있는 키보드는 입력 속도, 정확도, 피로도, 편리함 등의 성능을 개선하기 위하여 여러 가지 형태가 제안되었다[20]. 최근 휴대용 기기의 발전에 따라 일반 키보드와 다른 형태의 코드 키보드가 개발되어 휴대용 기기의 입력기로 사용되고 있다[21-24]. 일반 키보드에서는 각 문자를 입력하기 위하여 키 하나를 누르는 방식이지만, 코드 키보드에서는 여러 개의 키를 동시에 눌러서 각 문자를 입력할 수 있다. 따라서 코드 키보드는 일반 키보드에 비해 적은 개수의 키만이 필요하고 차지하는 부피도 더 작다. 이로 인해 코드 키보드는 일반 키보드에 비해 착용형 컴퓨터 입력 장치로 사용하기 용이하다. 코드 키보드에서 각 문자를 입력하기 위한 키 조합을 keymap이라고 하며, 빠른 DRT(Discrimination Reaction Time) 값을 갖도록 keymap을 설계하여야 한다. 지금까지 개발된 코드 키보드는 각기 다른 형태의 keymap을 갖고 있으며 아직

국제 표준 keymap은 없는 실정이다.

코드 키보드 용어는 1960년대에 사용되기 시작했지만 그 이전에 Hall이 개발한 점자를 입력할 수 있는 점자 타자기가 초기의 코드 키보드라 할 수 있다(그림 1). 점자는 시각 장애인을 위하여 개발되어 그림 2와 같이 3×2 나 4×2 의 형태로 구성된 점을 볼록 튀어나오게 하여 문자와 숫자 및 여러 가지 다양한 기호나 부호 등을 나타낼 수 있는 독자적인 체계를 갖고 있다. 코드 키보드 중에서는 장갑 형태로 제작되어 키를 손가락 위에 올려놓는 형태로 개발된 것이 있다[22, 25-27]. 특히 [26, 27]에서는 이전 장갑형 입력기와 달리 기존 점자를 기반으로 하여 keymap을 설정한 장갑 형태의 코드 키보드를 개발하였다(그림 3). 이 코드 키보드는 점자타자기와 마찬가지로 점자의 각 점에 대응하는 키가 있기 때문에 원하는 문자를 입력하기 위하여 점자 타자기와 같은 키 조합을 사용하면 된다. 착용형 컴퓨터의 기존 입력장치는 대부분 벨트에 걸어놓거나 아니면 필요 시 꺼내서 사용하고 사용하지 않을 때는 다시 집어넣어서 보관하는 형태이다. 이와 달리 [26, 27]에서 개발된 점자 기반의 장갑형 입력기는 장갑과 같이 간편하게 착용하여 사용할 수 있고, keymap이 점자를 기반으로 구성되었기 때문에 시각장애인이 간편하게 사용할 수 있는 장점이 있다. 특히 점자는 문자나 숫자 이외에도 음악이나 수학에서 사용하는 여러 가지 기호도 나타낼 수 있기 때문에 점자 기반의 장갑형 입력기는 여러 가지 내용을 표현하기 위한 별도의 keymap을 개발할 필요가 없다. 점자 기반의 장갑형 입력기를 비장애인이 사용하게 되면 이를 대체로 하여 비장애인과 시각장애인 간에 원활한 의사소통과 상호 이해가 촉진될 것으로 예상된다.

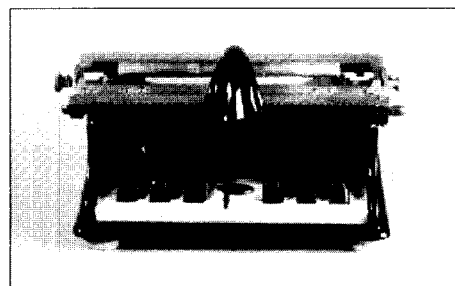


그림 1. Hall 점자 타자기

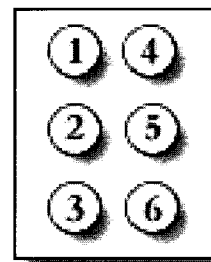


그림 2. 점자 셀 (3 x 2)



그림 3. 점자 기반의 장갑형 입력기

4. 점자 기반의 촉각형 출력기

사람 손을 통하여 촉각 정보를 전달하기 위한 이상적인 촉각형 출력기는 구동기 밀도가 1개/mm²이며 2mm 정도의 돌출부, 각 촉각 자극 요소당 1N이하, 구동속도 50Hz 이상, 10W/cm² 정도의 에너지밀도를 가져야 하는 것으로 알려져 있다[5, 28]. 이는 사람 손의 접촉면에 대하여 실험적으로 구한 결과이지만 사람 손은 자극속도와 자극의 깊이, 힘의 세기 등 관련된 요소들의 조합에 따라 반응에 관한 민감도의 차이가 존재하며 또한 손바닥의 부위에 따라서도 많은 차이가 있기 때문에 다양한 형태의 촉각형 출력기를 개발 할 수 있다.

기존의 여러 가지 촉각형 출력기 중에서 기능성 고분자를 이용하여 촉각형 출력기를 개발하면 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 고분자 중에서 고분자 유전체의 동작 원리는 다음과 같다. 실리콘이나 우레탄과 같이 유전율이 높은 유연한 고분자재료의 양면에 부드러운 전극을 입히고, 양면에 전압을 가하면 양쪽 표면에 축적된 양전하와 음전하에 의하여 상호간에 인력이 발생하고 이로 인하여 고분자 유전체가 두께 방향으로의 압축을 하고 면적방향으로는 팽창을 한다[29]. 즉 그림 4에 나타낸 것과 같이 정전기력(electrostatic force)에 의하여 고분자 유전체가 동작하게 된다. 정전기력에 의한 간단한 변형 모델을 바탕으로 유효 변형 압력을 유도하게 되면 $\sigma = \epsilon_r \epsilon_0 E^2 = \left(\frac{V}{t}\right)^2$ 관계식을 얻을 수 있다. 여기에서 ϵ_r 과 ϵ_0 는 각각 유전체의 상대유전율과 대기중에 절대유전율을 나타내며, σ 는 두께방향의 스트레스, V 와 t 는 각각 가해진 전압과 두께를 나타낸다. 따라서 상기 관계식에 의하면 고분자 유전체의 스트레인은 가해진 전압의 제곱에 비례한다는 것을 알 수 있다.

상기 고분자 유전체를 이용하여 [30]에서는 동적 점자 출력기를 개발하였다. 기존 동적 점자 출력기에서 사용된 점자 출력 셀은 대부분 압전소자나 공압을 이용하였기 때문에 가격이 고가이며 장치의 소형화가 어려운 문

제점이 있다. 반면에 [30]에서 제안된 점자 출력 셀은 기존의 점자출력기 단점을 극복할 수 있는 방식으로 장치의 상세한 구조는 그림 5에 나타낸 것과 같다. 제안된 점자 출력 셀은 일반 점자를 나타낼 수 있도록 6개의 촉각 자극요소가 3×2 형태로 배열되어 있다. 제작된 점자 출력 셀의 실제 모습은 그림 6에 나타낸 것과 같으며 실제로 상용화된 점자 출력 셀의 2배의 크기로 제작되었다. 점자 출력 셀은 상부에 3×2 배열 형태의 전극을 입히고 하부에는 공통전극을 입힌 두 장의 고분자유전체를 구형의 선장력기(pretensioner)를 가운데에 두고 샌드위치형으로 접합한 것이다.

그림 7은 고분자 유전체를 이용하여 개발하고자 하는 동적 점자 출력기 개념도이다. 여기에서 컴퓨터 화면이 횡방향으로 통상 80개의 문자를 포함할 수 있기 때문에 점자 출력 셀을 횡방향으로 80개 배열하고, 점자 출력 패턴의 리프레쉬와 디스플레이(refresh/display)를 반복하여 정보를 전달한다.

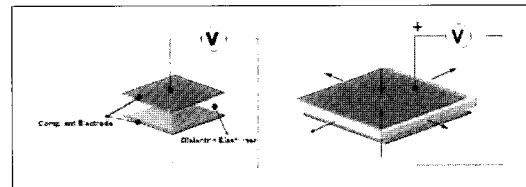


그림 4. 고분자 유전체의 구동원리

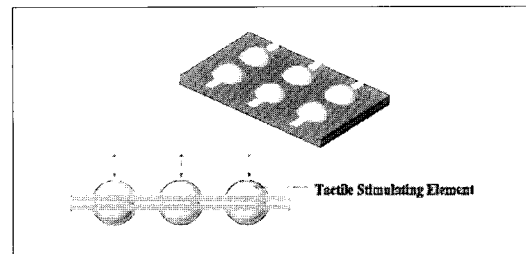


그림 5. 동적 점자출력기용 점자 출력 셀 구성

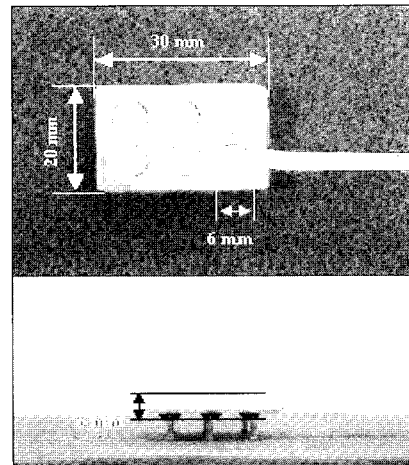


그림 6. 점자출력셀의 실물사진

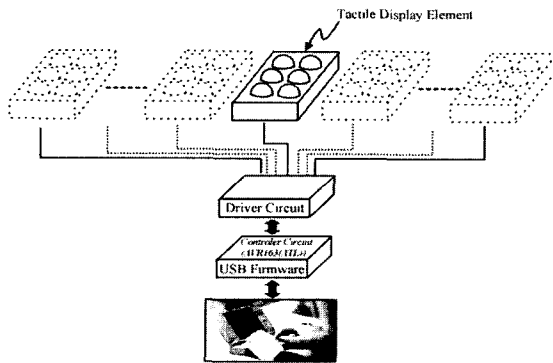


그림 7. 시각 장애인 동적 점자 출력기 개요

[30]에서 개발된 동적 점자 출력기는 향후 소형화하여 밀도를 더 증가시키면 시각장애인에게 2차원 정보를 전달할 수 있는 장치로 개발될 수 있을 것이다.

5. 결론

인도와 차도 사이의 턱 제거나 (curb cuts) TV 자막 (closed captioning) 등은 처음에는 장애인을 고려하여 개발되었지만 후에 비장애인에게도 편리하게 사용되고 있다. 이와 마찬가지로 착용형 컴퓨터에서 시각장애인을 위해 개발되는 촉각형 입출력 장치는 단순히 시각 장애인만을 위하여 사용되는 것이 아니라 비장애인을 위해서도 편리하게 사용될 수 있을 것이다. 또한 시각과 청각에 의존한 기존의 입출력 장치 만을 사용해서는 착용형 컴퓨터를 적용할 수 없었던 분야에도 촉각형 입출력 장치를 부가적으로 사용하면 착용형 컴퓨터를 사용할 수 있게 될 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 정보통신부 선도기반기술개발사업 (과제번호:2002s131) 연구비의 부분적 지원으로 수행된 결과입니다.

참고문헌

1. T. Nara, et. al., "An application of SAW to a tactile display in virtual reality," 2000 IEEE Ultrasonics Symp.
2. 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.
3. Y. Ikei, et. al., "Texture presentation by vibratory tactile display," 1997 Virtual Reality Annual Int. Symp. March, 1997.
4. I. Poupyrev, et. al., "Touch engine: a tactile display for handheld devices," CHI 2002.
5. M. Jungmann and H. F. Schlaak, "Miniaturised electrostatic tactile display with high structural compliance," Proceedings of the Conference Eurohaptics 2002, Edinburgh, U. K., 2002.
6. G. Moy et. al., "A compliant tactile display for teleaction," IEEE International Conference on Robotics and Automation, April, 2000.
7. NIST 'Pins' Down Imaging System for the Blind, http://www.nist.gov/public_affairs/factsheet/visualdisplay.htm
8. P. Bach-y-Rita, et. al., "Form perception with 49-point electrostatic stimulus array on the tongue: a technical note," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 35, no. 4, October, 1998.
9. 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, no. 8, August, 1995.
10. K. Kaczmarek, et. al., "Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems," *IEEE Trans. On Biomedical Engineering*, vol. 38, no. 1, January, 1991.
11. 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.
12. 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), (in press), 2003.
13. Y. Kawai and F. Tomita, "Interactive tactile display system," Proc. of ASSETS'96, 1996.
14. C. C. Collins, et. al., "Mobile studies with a tactile imaging device," Fourth Conf. on Systems & Devices For The Disabled, 1977.

15. F. Gemperle, et. al., "Design of a wearable tactile display," Fifth International Symposium on Wearable Computers, October, 2001.
16. J. L. Rochlis and D. J. Newman, Aviation, "A tactile display for international space station (ISS) extravehicular activity(EVA)," *Space and Environmental Medicine*, vol. 71, no. 6, June, 2000.
17. M. Gandy, "Wearable computers for persons with disabilities," Sixth International Symposium on Wearable Computers, Seattle, October, 7-October, 10, 2002.
18. Georgia Institute of Technology, "All for one, 1 for All," Research Horizons, Fall, 2002.
19. B. N. Walker and D. 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.
20. K. M. Porosnak, "Keys and keyboards," Handbook of Human Computer Interaction, M. Helander, Ed. New York:Elsevier, pp. 475-494, 1988.
21. D. Gopher and D. Raji. "Typing with a two-hand chord keyboard:will the qwerty become obsolete?" *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 18, no. 4, pp. 601-609, July/August, 1988.
22. Rosenberg and M. Slater, "The chording glove:a glove-based text input device," *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics Part C:Applications and Reviews*, vol. 29, no. 2, pp. 186-191, May, 1999.
23. GKOS Keyboard, <http://loti.mbnet.fi/~gkos/gkoscom>.
24. Bat Chord Keyboard, <http://www.nanopac.com>.
25. D. Sturman and D. Zeltzer, "A survey of glove-based input," *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp.30-39, January, 1994.
26. M. Cho, et. al., "A pair of braille-based chord gloves," Sixth International Symposium on Wearable Computers, Seattle, October 7 - October 10, 2002.
27. S. Lee, et. al., "A pair of chord gloves for braille input to computers for blind users," 7th ERCIM, Chantilly, France, October 24-October 25, 2002.
28. N. Asamura, T. Shinohara, Y. Tojo, N. Koshida, H. Shinoda, "Necessary spatial resolution for realistic tactile feeling display," *Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.1851-1856, 2001.
29. 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.
30. 최혁렬외 6인, "고분자 유전체를 이용한 동적 접자 출력기," 제어자동화시스템 공학회 논문지, 2003 (예정)

저자소개



《김재욱》

- 1984년 서울대학교 전자공학과 (공학사).
- 1986년 서울대학교 전자공학과 (공학석사).
- 1990년 Purdue University (Ph. D.).
- 1990년~1994년 삼성전자 자동화연구소 선임연구원.
- 1994년~현재 성균관 대학교 정보통신공학부 교수.
- 주요 관심분야 : 로봇공학/임베디드시스템/공장 자동화.



《이성일》

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



《최혁렬》

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



《최후곤》

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



《남제도》

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