



## Conceptual Design of a Character Education System for Children with Developmental Disability

Song-Ee Park, Gil-Ho Song, In-ho Yun, Sang-Youn Kim\*

*Interaction Lab., Advanced Technology Research Center, Department of Computer Science and Engineering, Korea University of Technology and Education*

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new conceptual design of a character education system for children with developmental disability. The designed system represents characters in a form of intaglio so that the children with developmental disability can follow the intaglio printing with their finger pad during character education. To show engrave pattern on a display area of the character education system, we design a hexagon cells array which can be independently actuated along vertical direction. Each cell consists of an actuation part, a contact plate, a locking part, and a housing. Due to the actuation part, each cell can be moved up and down. The locking part is incorporated into the proposed system in order to minimize the power consumption. The contact plate is used for interaction with a human finger pad. In order to investigate the actuation force, we conducted the FEM (Finite Element Method) simulation. The simulation result shows that the actuation force large enough to lift or to fall the corresponding cell. The interference between an actuator and its neighbor is also simulated, and the result shows that interference is small enough to be ignored. If the character education system based on the proposed conceptual design is commercialized, it will be useful to children with developmental disability.

© 2016 KKITS All rights reserved

**KEYWORDS** : Children with developmental disability, Character education system, Linear actuator, Disabilities, Educations

**ARTICLE INFO** : Received 8 January 2016, Revised 12 February 2016, Accepted 12 February 2016.

### 1. 서론

\*Corresponding author is with the Department of Computer Science & Engineering, Korea University of Technology and Education, Tel : +82 41 560 1484, Fax : +82 41 560 1484.  
E-mail address : sykim@koreatech.ac.kr.

발달장애는 22세 이전에 발생하게 되는 만성적인 장애로써, 언어 능력, 인지 능력, 학습 능력 및 이동능력 등에서 기능상 한계를 초래한다.[1] 이러

한 장애를 가진 아동을 발달장애 아동이라 칭한다. 발달장애 아동들은 인지 및 학습능력의 결함 및 발달지체로 인해 문자학습에 어려움을 겪게 되므로 발달장애 아동을 위한 교육 방법이 필요하다.[2,3]

이러한 필요성에 따라 발달장애 아동의 문자교육을 도와주기 위한 수업 모형 및 교구가 연구되었다.[4,5,6] 이러한 연구들은 발달장애 아동의 교육효과를 증가시켰지만, 수업 보조자의 역할이 필수적이므로, 발달장애아동 스스로 문자학습을 하기엔 무리가 있다. 또한 시각에만 의존한 교육이므로 손의 소근육에는 자극을 주지 못하고 눈과 손의 협응력을 키울수 없다는 한계가 있다. 소근육은 손과 손가락을 사용하여 작은 운동을 할 수 있는 근육으로써, 소근육의 발달은 문자 쓰기에 필수적인 요소이다[7]. 문자학습을 위해서는 소근육의 발달 외에도 눈과 손의 협응력과 글자 획을 제대로 그을 수 있는 능력 등이 필요하다.[8]

이처럼 발달장애 아동을 위한 문자교육에 있어서 눈과 손의 협응 및 소근육 발달의 중요성이 강조되어 시각에만 의존한 문자교육의 한계를 보완하기 위한 연구가 진행되고 있다. 대표적인 연구로는 스마트기기를 활용한 발달장애인용 문자 학습 시스템으로, 임장현 등은 지체장애인을 위한 글자 기반 의사소통 프로그램을 제안하였고[9], 이득예, 전우천은 읽기능력 향상을 위한 모바일 학습 시스템을 개발하여 발달장애 아동의 읽기능력과 글자에 대한 흥미를 증가시키는 결과를 보였다.[10] 강정배 등은 태블릿, 스마트폰 등을 이용한 N-스크린 기반 앱 콘텐츠를 통해 발달장애 아동의 놀이 학습을 제안하였고[11], 김복남, 문현미는 발달장애 아동의 문자학습과 읽기 능력 향상을 위해 CCC전략(Copy, Cover, Compare의 절차를 통한 학습)을 통한 스마트기기 애플리케이션을 제안하였다.[12] 변관석은 스마트 러닝 기반의 언어경험접근법을

통하여 지적장애학생의 어휘력과 자기 주도 학습능력을 향상시키는 결과를 나타냈다.[13]

위 연구는 발달장애 아동이 문자를 학습 할 때 화면을 눈으로 봄과 동시에 손으로 직접 접촉함으로써 눈과 손의 협응력을 키울 수 있다. 하지만 소근육 발달이 지체되어 손가락의 정교한 움직임을 하지 못하는 발달장애 아동에게는 화면에 제시된 글자의 획을 정확히 따라 하기가 어렵다. 이러한 발달장애 아동의 특성을 보완하기 위해서 행동의 경계를 인위적으로 만들어주면 학습 및 수행과제를 효과적으로 수행 할 수 있다.[14]

따라서 발달장애아동을 위한 문자교육시스템은 문자를 봄과 동시에 손가락으로 인지하도록 하여 눈과 손의 협응력을 키워 줄 수 있어야 하며, 소근육 발달이 지체된 발달장애아동들이 정확히 문자를 따라 할 수 있도록 물리적인 제한, 즉 행동의 경계를 제시하여 손가락으로 정확한 문자를 익힐 수 있도록 해야 한다. 본 논문에서는 문자를 음각 형태로 표시하여 발달장애 아동이 문자학습을 쉽게 할 수 있는 시스템을 설계하였다. 설계 된 시스템은 1획 또는 2획으로 구성된 단순한 문자를 음각으로 표시하며, 발달장애 아동은 음각문자를 손으로 따라하여 문자를 학습함으로써 눈과 손의 협응력을 키울 수 있고, 문자 인식 및 쓰기를 수행 할 수 있도록 한다.

## 2. 문자교육 시스템의 음각 문자 표현 메커니즘

본 연구에서 제시하는 문자교육 시스템은 음각 문자 표현을 위해 <그림 1>과 같이 여러 개의 리니어 액추에이터가 배열구조로 구성되도록 설계하였다. 배열구조에서 특정 위치에 존재하는 리니어 액추에이터가 상하로 움직이면 해당하는 위치에 있는 셀의 사용자 접촉면을 아래·위로 움직이게 한

다. 리니어 액추에이터가 아래로 움직이면 해당 셀의 사용자 접촉면이 하강하여 음각 상태를 나타내고, 리니어 액추에이터가 다시 상승하여 사용자 접촉면을 하강하기 전 상태로 복귀시키면 비음각 상태를 나타낸다. 이와 같은 메커니즘을 통하여 문자교육 시스템에 특정 문자 또는 숫자를 음각형태로 표현할 수 있으며, 이러한 메커니즘을 통해 문자가 표시되는 면을 문자표시부라 한다.

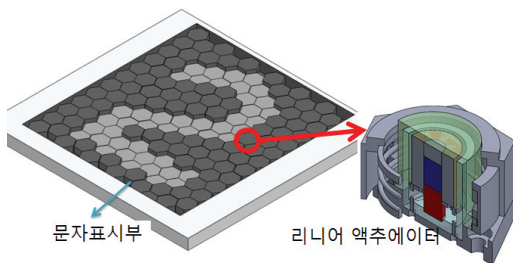


그림 1. 문자교육시스템의 구성도  
Figure 1. Configuration of the character education systems

문자표시부에서 음각으로 표시되는 문자를 손가락으로 따라 그리며 학습하려면 음각의 너비가 손가락이 들어가고 지나갈 수 있도록 충분한 길이여야 한다. 국가기술표준원에서 작성한 한국인 인체 치수조사사업 (Size Korea) 보고서에 따르면 1~22세의 둘째손가락 손톱 밑과 가장 인접한 첫 번째 관절의 너비의 측정 최대값은 19.18mm이다.[15] 따라서 제안하는 문자교육시스템이 표현하고자 하는 문자 획의 너비는 25mm로 설계하였다.

25mm의 획 너비를 표현하기 위한 셀의 크기는 셀의 형태에 따라 달라질 수 있으며, 셀의 형태에 따라서 가로/세로/사선의 획의 표현 및 획 표현의 용이성도 달라진다.

문자표시부를 구성하는 셀의 모양에 따라 다양한 배열형태가 발생하는데, <그림2>는 각 셀의 모양에 따른 배열구조이다. <그림 2>와 같이 5각형, 7각형, 8각형의 셀의 모양을 가지게 되면 셀의 배

열 사이사이에 틈이 발생하게 되고 이는 문자를 표현함에 있어서 매끄럽게 표현 하지 못하는 한계를 가진다.

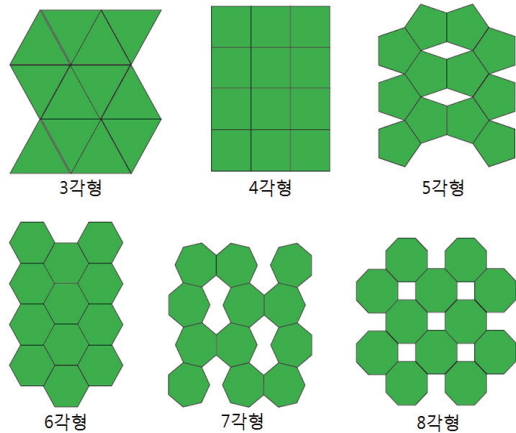


그림 2. 셀의 모양에 따른 배열  
Figure 2. Array structure - according to the shape of the cell

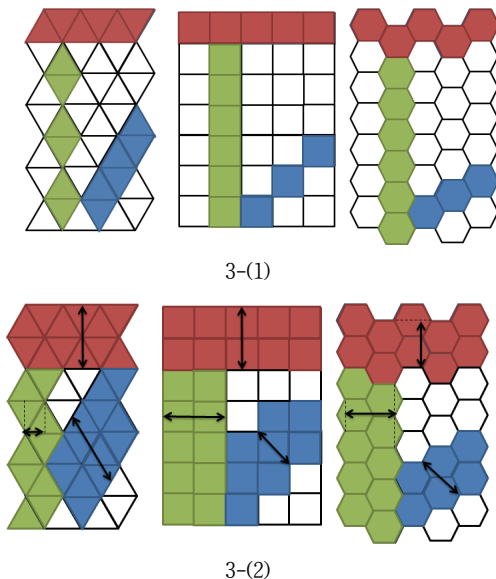


그림 3. 셀의 형태별 획 표현  
3-1. 1개의 셀로 가로/세로/사선의 획 표현  
3-2. 2개의 셀로 가로/세로/사선의 획 표현  
Figure 3. Stroke represented (drawing a line) - according to the shape of the cell

셀과 셀 사이에 잉여공간이 발생하지 않는 셀의 형태는 삼각형, 사각형, 육각형의 형태이고, 세 가지의 셀의 형태 중에서 가로, 세로, 사선 방향의 획을 표현하기에 유리한 정육각형 벌집구조로 셀이 배열되도록 설계 하였다.

배열 된 각각의 셀이 독립 구동하려면 셀의 개수만큼 액추에이터가 필요하므로 최소의 셀의 개수로 문자를 표현 할 수 있어야 한다. <그림 3>은 셀의 모양이 삼각형, 사각형, 육각형 형태일 때 가로/세로/사선의 획을 표현한 것이다. <그림 3-1>과 같이 한 획을 표현하기 위해 한 셀만을 사용하면 삼각형의 경우 세로획, 사각형의 사선획의 표현에 부적합하다. 셀과 셀이 이어지는 부분, 즉 모서리 간 교차 지점에서 손가락이 지나가기가 어렵다. 육각형 형태의 셀의 경우 사선, 세로의 획 표현이 용이하고 가로 획의 경우 다소 좁으나, 사각형에 비해 모든 획의 표현이 가능하다.



그림 4. 문자교육시스템이 표현하는 숫자  
Figure 4. The number displayed by the character education systems

<그림 3-2>와 같이 한 획을 표현하기위해 2개의 셀을 사용하는 경우 각 획의 너비의 편차가 육각형일 경우 가장 적음을 알 수 있다. 따라서 문자를 표현하기 위해, 육각형의 벌집구조 형태를 사용하였고, 한 획의 너비는 2개의 셀로 구성되도록

설계 하였다. 이에 따라 모든 획에서 25mm 이상의 너비를 표현하기 위해 한 획을 표시할 때 셀 2줄을 구동시키도록 설계하였다. 2줄의 셀이 만들어 내는 획의 너비는 정육각형 한 변의 길이의 5/2배 이므로 이에 따라 본 시스템의 한 셀의 크기는 한번의 길이가 10mm인 정육각형으로 설계 하였다. <그림 4>는 한 획을 구성하는 셀의 개수가 2개인 경우에 표현되는 숫자를 나타낸 것이다. 한 획의 너비를 표현함에 있어서 2개 이상의 셀로 구성 되면 모든 획이 제대로 표현됨을 보여준다.

### 3. 음각 표현을 위한 리니어 액추에이터 설계

배열 구조를 구성하는 각각의 음각표현 구동기(리니어 액추에이터)는 <그림 5>와 같이 구동부와 잠금부, 사용자 접촉면, 하우징으로 구성되도록 디자인하였다. 구동부는 사용자 접촉면을 상·하 방향으로 움직이며, 구동부의 작동에 따라 사용자 접촉면은 하강한 상태인 음각상태와 상승한 상태인 비음각 상태로 존재한다.

음각표현 구동기의 구동부를 설계 하는데 있어서 솔레노이드 코일에 전기를 인가시켜 발생한 자기력으로 움직임을 발생시키는 VCM(Voice Coil Motor)방식의 리니어 액추에이터는 작은 구조 대비 큰 힘을 발생시킬 수 있고 위치결정도가 높으며 출력조절이 용이하다는 장점을 가지고 있어, 본 시스템에서 사용하고자 하는 액추에이터로 적합하다.

VCM방식의 액추에이터는 자석, 솔레노이드 코일, 자기회로를 구성 할 수 있도록 하는 자성체로 구성되어 있으며, 자석과 자성체로 형성된 자기장 속에 솔레노이드 코일에 전류가 흐르면 발생하는 로렌츠 힘에 의해 동작하게 된다. non-commutated moving magnet (NCM) 방식의 액추에이터는 자석 이동방식인 moving magnet NCM과, 코일이동방식

인 non-commutated moving coil (NCC) 로 나뉘어 지는데, NCM방식은 NCC에 비해 길이가 길고 직경이 비교적 작다. NCC방식은 길이가 짧고 직경이 넓은 편인데, 베어링이나 샤프트가 필요 없다는 장점을 가지고 있으므로 코일이동방식의 구조로 구동부의 리니어 액추에이터를 설계하였다.

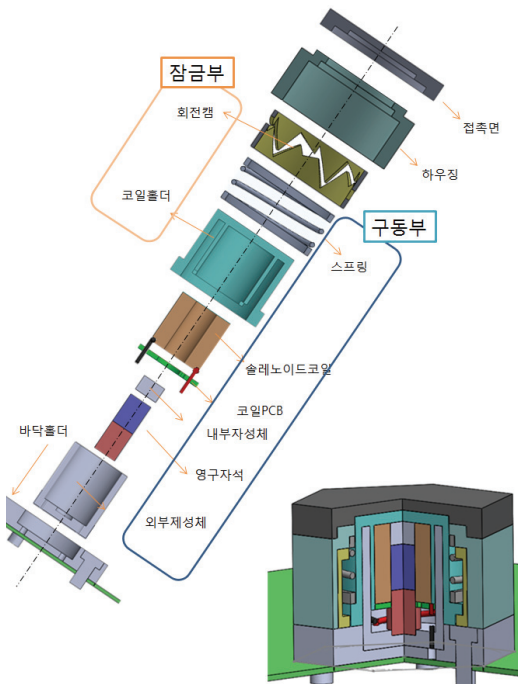


그림 5. 리니어 액추에이터의 구조  
Figure 5. The structure of the linear actuator

구동부는 영구자석, 솔레노이드코일, 그리고 스프링으로 구성되어 있으며 영구자석은 솔레노이드코일을 둘러싼 강자성체인 회전 캠과 붙어있다. <그림 5> 영구자석과 자성체로 인해 형성된 자기장 속에 솔레노이드 코일에 전류가 인가되면 로렌츠 힘에 의하여 코일이 위로 상승한다. 전류공급이 사라지면 스프링의 탄성력에 의해 하강하게 된다.

사용자 접촉면이 음각상태·비음각상태를 유지하려면 구동부에 지속적인 전류공급이 필요하므로

전력수급면에서 비효율적이다. 따라서 잠금부 파트를 추가하여 전류공급을 차단하여도 음각·비음각 상태를 유지할 수 있도록 하였다. 잠금부는 코일홀더 부품과 회전 캠으로 구성되도록 설계 하였으며, <그림 5>와 같이 회전 캠 내부에 코일홀더가 겹쳐진 구조이다. 코일홀더의 측면에는 작은 돌기가 바깥을 향해 돌출되어 있으며, 회전 캠의 내부면은 내부를 두르는 지그재그 형태의 홈이 새겨져 있고, 코일홀더의 돌기는 회전 캠 옆면의 홈에 맞물려있다. 코일홀더는 구동부 작동 시 솔레노이드 코일의 상승에 의해 회전 캠의 홈을 따라 상하·회전 운동을 하면서 음각·비음각 상태에 따른 잠금 역할을 수행하게 된다.

#### 4. 문자교육 시스템의 유한요소법 시뮬레이션

제안하는 액추에이터는 <그림 5>와 같이 솔레노이드 코일과 코일 홀더, 스프링등으로 구성되어 있다. 초기 상태에는 스프링이 압축되어 있고 솔레노이드코일이 코일홀더와 함께 위로 올라가면서 스프링을 더욱 압축시킨다. 다시말해 액추에이터가 동작하는 동안 스프링은 계속 압축되면서 힘을 받게 된다. 그러므로 영구자석과 솔레노이드사이에서 발생하는 힘 ( $F_g$ ) 가 스프링 탄성력 및 구동부의 무게에 의한 힘의 합 ( $F_r$ ) 보다 커야 액추에이터가 동작된다. 그러므로 본 연구에서는  $F_r$ 을 계산하였고  $F_g$ 를 시뮬레이션해 보았다. <그림 6> 은 각 셀들을 동작시키기 위한  $F_r$ 과  $F_g$ 를 보여준다.

<그림 6>에서 가로축은 액추에이터의 스트로크(행정거리)이며 세로축은 힘을 보여준다. <그림 6>에서 보듯이 액추에이터가 동작하는 전구간에서(스트로크 : 0 ~ 2.5mm 의 구간) 솔레노이드와 영구자석에서 발생하는 힘 ( $F_g$ , 구동력) 은 스프링 탄성력 및 구동부의 무게에 의한 힘의 합 ( $F_r$ ) 보다

크기 때문에 셀의 상하 이동이 원활하게 발생할 수 있음을 알 수 있다.

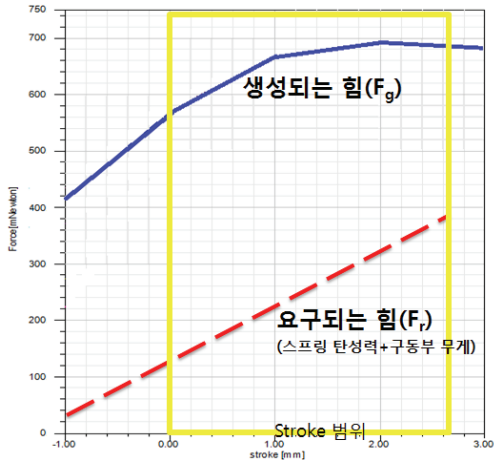


그림 6. 액추에이터 힘 생성 FEM 시뮬레이션  
Figure 6. FEM simulations of Actuator force generation

<그림 7>은 인접한 두 액추에이터 간의 자기 간섭에 대한 유한요소법 시뮬레이션 결과이다. 이와 같은 연구에서 가장 중요한 것은 자속이 밖으로 나가지 못하도록 잘 차폐하여 내부적으로 힘을 최대화 하며 인접한 액추에이터와의 간섭을 최소화 하는 것이다. 그래서 본 연구에서는 하우징을 자성체로 구성하여 자속선이 폐 경로를 따라 발생되도록 하였다 (<그림 7>). 그러나 특정부위에서 자기포화가 발생하거나 자속선이 폐 경로를 따라 이동하여도 누수가 작게나마 발생할 가능성은 존재한다. 그러므로 본 연구에서 간섭이 발생하는지 그리고 발생하는 간섭의 영향을 파악하기 위해 다른 셀에서 발생하는 자기장에 의해 액추에이터가 받은 힘을 계산해 보았다. 다른 셀에서 발생하는 자기장에 의한 힘은 약 0.16mN 으로 계산되었다. 본 연구에서 액추에이터가 구동하기 위하여 요구되는 힘은 약 120mN 정도 (<그림 6>에서 스트로크가 0일 때)가 됨을 생각하면 다른 셀에서 발생하는 자기장

에 의해 액추에이터가 받은 힘은 0.16mN으로써 무시할만한 수치이므로 인접한 셀 간에 간섭이 없다고 가정할 수 있다.

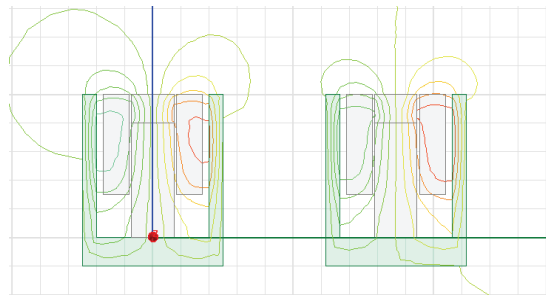
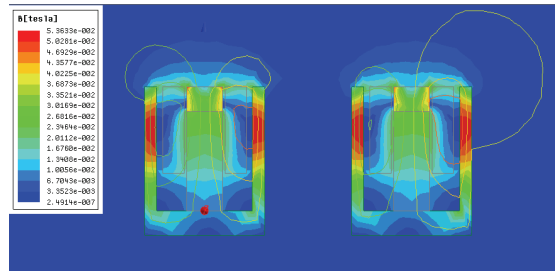


그림 7. 액추에이터 간 간섭 시뮬레이션  
Figure 7. FEM simulations of interference between actuators

## 5. 결 론

본 논문에서는 배열구조의 리니어 액추에이터들이 각각 독립 구동하여 음각여부를 표시하여 문자를 표현하고, 이를 이용해 발달장애 아동들이 손가락으로 음각부분을 따라그리며 문자를 학습 할 수 있는 시스템을 설계하였다. 제안하는 디자인은 문자표현이 용이하도록 정육각형의 사용자 접촉면을 가진 리니어 액추에이터를 별집구조로 배열하도록 설계 하였고, 배열 된 사용자 접촉면은 각각의 리니어 액추에이터의 독립구동을 통해 음각·비음각 상태를 나타내어 이를 조합함으로써 문자를 표시하였다. 음각·비음각 상태를 표현하기 위해 리니어 액추에이터 내에서 힘을 발생시키는 구동부와

음각·비음각 상태를 유지시키는 잠금부를 설계 하였으며, 제안하는 액추에이터의 구동 여부를 알아보기 위해 구동부에서 발생하는 힘을 유한요소 법 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 시뮬레이션 결과에 따르면 리니어 액추에이터의 구동부에서 발생하는 힘이 스프링 탄성력과 회전 캠의 무게의 합 이상의 힘을 생성하고 자기장 간섭이 미약하므로 안정적으로 구동할 수 있음을 알 수 있다.

## References

- [1] P. J. Accardo, and B. Y. Whitman, *Dictionary of developmental disabilities and terminology*, Paul H. Brooks Publishing Company, 1996.
- [2] M. I. Semmel, L. S. Barritt, and S. W. Bennett, *Performance of EMR and nonretarded children on a modified cloze task*, American Journal of Mental Deficiency, Vol. 74, No. 5, pp. 681-689, 1970.
- [3] S. R. Goldman, and J. W. Pellegrino, *Information processing and educational microcomputer technology: where do we go from here?*, Journal of Learning Disabilities, Vol. 20, No. 3, pp. 144-198, 1987.
- [4] G. E. Yeo, C. S. Noh, M. R. Kang, and H. O. Park, *A study on developing literacy learning model and program for children with mental retardation*, Journal of Special Education: Theory and Practice, Vol. 1, No. 1, pp. 139-166, 2000.
- [5] S. J. Seo, J. Y. Son, and J. E. Lee, *Validating guidelines for developing easy-to-read books for people with developmental disabilities*, The Korea Journal of Learning Disabilities Vol. 11, No. 2, pp. 159-186, 2014.
- [6] K. Y. Kim, S. Y. Lee, and E. H. Park, *Development of instructional materials for inclusive class using AAC*, AAC Research & Practice, Vol. 2, No.1, pp. 49-69, 2014.
- [7] M. H. Yeom, *The effects on fine motor training to writing correction for children with writing disabilities*, 2004.
- [8] B. Y. Seo, and Y. H. Joo, *The language development and teaching*, Seoul:Korea National Open University, 1986.
- [9] J. H. Lim, E. H. Park, and S. H. Lee, *A preliminary study for Korean text-based communication program development*, Special Education Research, Vol. 12, No. 1, pp. 247-273, 2013.
- [10] D. Y. Lee, and W. C. Jun, *Design and implementation of a PREP-based mobile system for improving reading skills of children with learning disabilities*, Korean Association of Information Education, Vol. 15, No. 2, pp. 227-239, 2011.
- [11] J. B. Kang, J. H. Kim, C. G. Kim, and B. S. Song, *Development of web application based on N-screen for play activities of children with developmental disorder*, Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 18, No. 4, pp. 1-8, 2013.
- [12] B. N. Kim, and H. M. Mun, *The effects of CCC strategy application on the word spelling and the reading fluency of students with intellectual disabilities*, Special Education Research, Vol. 14, No. 1, pp. 155-174, 2015.
- [13] G. S. Byeon, *The effect of language experience approach based smart learning on job-related vocabulary abilities and self-directed learning abilities of students with moderate intellectual disabilities*, 2015.

- [14] S. J. Biggs, and M. A. Srinivasan, *Haptic interfaces*, Handbook of Virtual Environments, Lawrence Erlbaum, 2002.
- [15] Size Korea (Hand measurement data search), [http://sizekorea.kats.go.kr/02\\_data/handData.asp](http://sizekorea.kats.go.kr/02_data/handData.asp) Oct., 2010.

## 발달장애 아동을 위한 문자교육 시스템 개념 설계

박송이, 송길호, 윤인호, 김상연  
한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

### 요 약

본 연구에서는 소근육 발달이 지연되어 문자학습에 어려움을 겪는 발달장애 아동을 위한 문자교육 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 음각으로 문자를 표현하며 발달장애 아동은 문자를 손가락으로 따라 그리며 문자를 학습 할 수 있다. 음각 문자를 표현하기 위해 리니어 액추에이터를 배열구조로 구성되도록 설계하였으며, 액추에이터들의 독립 구동을 통하여 음각 형태의 문자를 표현한다. 문자를 효과적으로 표현하기 위해 정육각형의 셀이 벌집구조로 배열되도록 설계하였고 배열구조를 구성하는 각각의 리니어 액추에이터는 상·하 방향으로 힘을 생성하는 구동부와 음각·비음각 상태를 유지하기 위한 잠금부로 구성되도록 설계하였다. 설계된 리니어 액추에이터의 구동여부를 판단하기 위해 유한요소법 시뮬레이션을 수행하였고, 액추에이터가 음각·비음각 상태를 표현하기에 충분한 힘을 생성하는 것을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 2015년도 한국기술교육대학교 교육연구진흥사업 (과제명: 정전기력 기반의 햅틱 액추에이터 (2015-0131) 및 보건복지부 한국보건산업진흥원의 의료기기 기술개발 사업 (과제명 : 완구형 교육시스템의 개발, HI14C0765)의 지원을 받아 수행되었습니다.



**Song-Ee Park** received a B.S. (2013) from the Korea University of Technology and Education. She is undertaking a master course as a member of the Interaction at Korea University of Technology and Education. Her current research interests include Haptics, UX design with Haptics, Linear actuators.

*E-mail address:* banga@koreatech.ac.kr



**Gil-Ho Song** received the M.S. degree in the Department of Computer Engineering from Korea University of Technology and Education. in 2014.

*E-mail address:* ime05skh@koreatech.ac.kr



**In-ho Yun** received a B.S. (2012) from the Korea University of Technology and Education. And now he is undertaking

a master and doctoral course as a member of the Interaction lab at Korea University of Technology and Education. His current research interests include Haptics, Kinesthetic Actuators, Torque feedback actuators.

*E-mail address:* dgooly@koreatech.ac.kr



**Sang-Youn Kim** received a B.S. (1994) from the Korea University, Korea and an M.S.E. (1996) and a Ph.D. (2004) in mechanical engineering at Korea

Advanced institute of Science and Technology (KAIST). From 2004 to 2005, he was a researcher at Human Welfare Robot System Research Center. In 2005, he was a research staff at Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT). He is currently a professor of Computer Engineering at Korea University of Technology and Education. His current research interests include Human- Computer Interaction, Virtual Reality, and Haptics.

*E-mail address:* [sykim@koreatech.ac.kr](mailto:sykim@koreatech.ac.kr)