

Development of an Optimal Console Layout Design System Based on Ergonomic Design Characteristics

Taekho You¹, Kihyo Jung², Jaejung Kim¹, Wonsup Lee¹, Baekhee Lee¹, Woongseok Roh³, Heecheon You¹

¹Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784

²School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan, 680-749

³LIGNex1 Pangyo R&D Center, Seongnam, Gyeonggi-do, 463-400

ABSTRACT

Objective: The present study developed optimal console layout design system based on ergonomic design characteristics (visibility, reachability, sequence of use, importance, frequency, functional group). **Background:** Although many design methods and systems based on optimization methods to allocate components such as button and display to specific layout are suggested, understanding and applying ergonomic design characteristics to design methods are lacking. **Method:** The present study figure out ergonomic design characteristics which are important to console layout design by analyzing papers of optimal layout design papers. **Results:** The present study developed three methods (quantification for component, layout, and ergonomic design characteristic) for applying ergonomic design characteristics to console layout. In addition, the present study suggested a protocol for an optimal console layout design system. **Conclusion:** The present study suggested a protocol for an optimal console layout design system which could apply ergonomic design characteristics to console layout. The console layout design system could suggest the result based on ergonomic design characteristics. **Application:** The optimal console layout design system which will be developed to the present study could design detection radar console, control room interface of power plant or factory, or control equipment of helicopter.

Keywords: Console, Layout, Ergonomic design principle, Console layout design system

1. Introduction

Console layout은 console의 특성에 맞게 효과적이고 효율적인 운용이 이루어질 수 있도록 인간공학적으로 설계되어야 한다. 기존의 console layout 설계는 주로 운용자의 요구 사항, 인간공학 표준, 그리고 설계자의 경험을 기반으로 이루어졌다(Xu et al., 2010).

다양한 인간공학적 설계 특성들이 console layout의 최적 설계에 대한 연구에서 반영되었다. Wang et al.(1991)은 중요도, 빈도, 사용 순서를 활용해 panel layout을 설계하는 방법을 개발하였고, Sargent and Kay(1997)는 설계에 사용되는 component를 기능 집단으로 분류한 후 중요도, 시계성, 그리고 도달성에 따라 배치하는 방법을 개발하였다. 또한, Xu et al.(2010)은 component의 중요도와 빈도를 활용해 nuclear power plant의 console layout 설계에 구성요소의 배치 우선

순위를 결정하는 방법을 개발하였다.

기존 연구들은 인간공학적 설계 특성들을 설계 과정에 체계적으로 반영하지 못한 한계가 있다. 기존 연구들은 설계 방법 개발에 인간공학적 설계 특성들을 종합적으로 고려하지 않고 있다. 예를 들면, Holman et al.(2003)은 panel layout 설계 방법에서 component와 작업의 중요도를 반영하는 방안을 고려하지 않고, 중요도가 모두 동일하다는 가정 하에 구성요소들을 배치하였다. 또한, Xu et al.(2010)은 layout 설계 시 component의 중요도와 빈도를 고려한 최적 설계 방법을 제안하였다. 하지만 중요도와 빈도를 계산해 component가 배치되는 위치를 결정하지 않고 배치의 우선 순위만을 제안하였다. 따라서, 인간공학적 설계 특성들에 대한 종합적인 이해와 반영 방법에 대한 연구를 통해 최적의 console layout 설계가 필요하다.

본 연구는 문헌 조사를 통해 layout 최적 설계를 제안한 연구들이 반영하고 있는 인간공학적 설계 특성들을 파악하

었다. 기존 연구에서 활용하고 있는 인간공학적 설계 특성들을 분석해 component, layout, 그리고 인간공학적 설계 특성 별 점수를 통해 console layout 설계에 반영할 수 있는 방법들을 개발하였다. 또한 본 연구는 인간공학적 설계 특성의 반영 방법들을 활용할 수 있는 시스템의 protocol을 제안하였다.

2. Analysis of Ergonomic Console layout Characteristics

2.1 문헌조사 방법

본 연구는 layout 최적 설계에 인간공학적 설계 특성을 반영하고 있는 학술논문을 4개의 논문 검색 사이트(Science Direct, Google, IEEE, Taylor & Francis Online)를 이용해 조사하였다. Console layout 최적 설계와 관련된 keyword 4가지 (console, layout, optimization, panel)를 조합하여 논문을 검색하였다. 본 연구에서는 검색된 논문 중 console layout 최적 설계와 관련성이 높은 논문 10편을 선정하였다(Table 1).

본 연구는 기존 console layout 최적 설계 연구들의 시계성, 도달성, 작업 순서, 중요도, 빈도, 그리고 기능 집단과 같은 인간공학적 설계 특성 반영 현황을 파악하였다(Table 1). 또한 설계 특성들이 console layout 최적 설계에 적용되는 방안

을 분석해 인간공학적 설계 특성의 반영 방법을 도출하였다. 도출된 인간공학적 설계 특성과 그 반영 방법을 종합해 최적 console layout 설계 시스템에 그 결과를 적용하였다.

2.2 분석 결과

선정된 논문에서 6가지 인간공학적 설계 특성들(시계성, 도달성, 작업 순서, 중요도, 빈도, 그리고 기능 집단)이 도출되었다. 첫째, 시계성(visibility)은 운용자가 눈으로 component를 확인하기 쉬운 정도를 나타내는 특성이다. 시계성이 높을수록 component는 운용자가 시인하기 쉬운 위치에 배치되어 있다. 예를 들어, Sargent and Kay(1997)는 normal line of sight를 기준으로 panel의 시계성 영역을 설정해 해당 영역에만 component가 배치하도록 설정하였다.

둘째, 도달성(reachability)은 운용자가 component들을 조작할 수 있도록 신체가 도달하기 편한 정도를 나타내는 특성이다. Component의 도달성이 낮은 경우 운용자가 해당 component를 조작하기 위해 신체를 많이 움직이거나 신체에 무리가 가는 동작을 취해야 한다.

셋째, 작업 순서(sequence of use)는 component를 연속으로 조작해야 하는 경우 작업 순서에 맞도록 자연스럽게 배치하는 정도를 나타내는 특성이다. 예를 들어, Figure 1.a와 같이 component가 조작 순서대로 배치되어있지 않은 경우 운용자가 조작에 어려움을 느끼고 순서를 혼용해 오작동을 일으킬 가능성이 있다. 반면, Figure 1.b와 같이 component가

Table 1. Studies applying ergonomic design principle of a console layout and comparison of ergonomic design principle in each study (publication period: 1991 ~ 2011; sorted by publication year)

No.	Author	Year	Title	Ergonomic Design Principle					
				Visibility	Reachability	Sequence of Use	Importance	Frequency	Functional group
1	Wang, M.J., Liu, C.M., and Pan, Y.S.	1991	Computer-aided panel layout using a multi-criteria heuristic algorithm	-	-	O	O	O	-
2	Jung, E. S., Park, S., and Chang, S. Y.	1995	A CSP technique-based interactive control panel layout	O	O	O	O	O	O
3	Sargent, T. A., and Kay, M. G.	1997	A methodology for optimally designing console panels for use by a single operator	O	O	-	O	-	O
4	Holman, G.T., Carnahan, B.J., and Bulfin, R.L.	2003	Using linear programming to optimize control panel design from an ergonomics perspective	O	O	O	-	O	O
5	Abdel, M., Wei, Y., Jingzhou, Y., and Kyle, N.	2004	A mathematical method for ergonomic-based design: placement	O	O	-	-	-	-
6	Udosen, U.J.	2006	Ergonomic workplace construction, evaluation and improvement by CADWORK	-	O	O	-	O	O
7	Hani, Y., Amodeo, L., Yalaoui, F., and Chen, H.	2007	Ant colony optimization for solving an industrial layout problem	-	-	-	-	O	-
8	Xu, Y., Meng, Q., Yu, K., and Xu, Z.	2010	A layout method for control panel of thermal power plant	-	-	O	O	O	-
9	Xu, Y., Meng, Q., and Yang, Z.	2010	Particle swarm algorithm applied in the layout optimization for console	-	-	O	-	O	-
10	Xu, Y., Yang, Z., and Meng, Q.	2011	Particle swarm optimization method for panel layout	-	-	O	O	O	-

조작 순서대로 배치되어야 console 운용이 효율적으로 이루어질 수 있다.

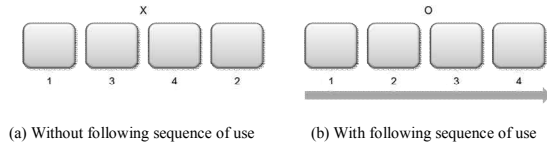


Figure 1. Component allocation considering sequence of use

넷째, 중요도(importance)는 운용에 있어 중요한 component가 운용자가 조작하기 편하도록 배치되는 정도를 나타내는 특성이다. 작업의 중요도가 높은 component는 조작 및 시인이 용이한 위치에 배치되어 효과적인 console 운용이 가능하다.

다섯째, 빈도(frequency)는 운용에 자주 사용되는 component는 운용자가 조작하기 편하도록 배치되는 정도를 나타내는 특성이다. 빈도가 높은 component는 조작 및 시인이 용이한 위치에 배치된다. 예를 들어, console의 전원 스위치는 운용에 자주 사용되지 않기 때문에 console의 조작 및 시인이 용이하지 않은 가장자리 등에 배치할 수 있다.

마지막으로, 기능 집단(functional group)은 기능적으로 유사한 component들이 근접하여 배치되는 정도를 나타내는 특성이다. 예를 들어, Holman et al. (2003)은 기능적으로 유사한 component들이 멀리 떨어진 위치에 배치되는 경우에 cost coefficient를 높게 설정해 component들이 근접하여 배치되도록 설정하였다.

3. Development of an Optimal Console Layout System

3.1 인간공학적 설계 특성의 최적 반영 방법

선정된 논문에서 인간공학적 설계 특성이 반영되고 있는 방법들을 통합해 3가지 반영 방법(component, layout, 그리고 인간공학적 설계 특성 별 정량화)을 도출하였다. 첫째, component별 정량화는 component가 console에 배치되기 위한 조건으로 설정된다. Layout에 배치되기 위해 필요한 기본 점수를 설정하거나, 배치 우선 순위를 정하기 위해 설정되는 점수 등이 있다. 예를 들어, 도달성 점수는 component 별로 특정 점수 이상의 layout 위치에 배치될 수 있도록 하기 위해 운용자가 component를 조작하기 위해 필요한 도달 수준을 점수화할 수 있다.

둘째, layout별 정량화는 component가 layout에 배치되기 위해 필요한 layout의 점수 분포를 나타낸 것이다.

Component는 layout의 점수 분포보다 component별 점수가 높은 위치에 배치할 수 있다. 또는 인간공학적 설계 특성으로 layout을 구분해 component의 배치 가능 영역을 설정할 수 있다. 예를 들어, Sargent and Kay(1997)는 시계성, 도달성, 그리고 시계성 & 도달성의 특징을 가진 subpanel을 설정해 해당 영역에만 관련 component가 배치 가능하도록 점수화하였다.

마지막으로, 인간공학적 설계 특성 별 정량화를 통해 console layout의 설계 후 배치된 component가 인간공학적 설계 특성을 얼마나 만족시키고 있는지 평가할 수 있다. 예를 들어, Holman et al.(2003)은 유사한 component들이 근접하도록 cost coefficient를 최소화하는 식을 통해 기능 집단을 평가 점수로 설정하였다. 또한, Xu et al.(2010)은 component의 작업 순서와 기능 집단을 평가 점수화해 최적화 목적식으로 활용하였다.

Table 2. Scoring method for applying ergonomic design principles to optimal console layout design system

	Component Score	Layout Score	Ergonomic design principle score
Visibility	0	0	0
Reachability	0	0	0
Sequence of use	-	-	0
Importance	0	-	-
Frequency	0	-	-
Functional group	-	-	0

3.2 시스템 구현 protocol 제안

본 연구는 문헌 조사를 통해 분석한 인간공학적 설계 특성과 반영 방법을 활용하는 최적 console layout 설계 시스템에 적용하는 protocol을 제안하였다(Figure 2). 본 시스템은 입력되는 정보(예: panel의 크기, 위치)를 토대로 console을 component, layout별로 정량화한다. 본 시스템에서는 정량화하는 정보 중 일부 정보(예: component의 시계성 점수)를 사용자가 직접 설정할 수 있다. 본 시스템은 배치 우선순위, 배치 가능 영역을 고려하여 최적화를 통한 console layout 설계 안을 제안한다. 본 시스템은 설계 안을 인간공학적 설계 특성 별 점수를 통해 평가하여 최적의 결과를 가지는 console layout 설계를 제안하고, 사용자가 여러 대안들 중 최적의 console layout을 선택하게 된다.

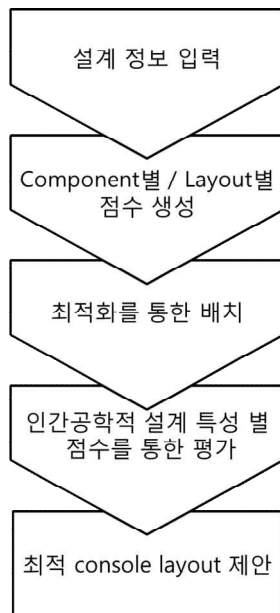


Figure 2. Protocol for optimal console layout design system

4. Discussion

본 연구는 기존 최적 layout 설계 연구들을 분석하여 인간공학적 설계 특성과 인간공학적 설계 특성을 layout 설계에 체계적으로 반영하는 방법을 파악하였다. 문헌 조사를 통해 시계성, 도달성, 작업 순서, 중요도, 빈도, 그리고 기능 집단을 도출할 수 있었고, 개별 문헌에서 활용한 인간공학적 설계 특성의 반영 방법을 토대로 component, layout, 그리고 인간공학적 설계 특성 별 정량화를 설정할 수 있었다. 본 연구는 이를 활용하여 최적 console layout 설계 system에 활용 가능한 protocol을 제안하였다.

최적 console layout 설계 system을 통해 인간공학적 설계 특성을 체계적으로 반영할 수 있다. 본 연구는 기존 문헌들을 분석해 각 문헌에서 활용중인 인간공학적 설계 특성을 도출해 정리하였고, 인간공학적 설계 특성이 반영될 수 있는 방안을 종합한 적용 방법을 개발하였다. 따라서 본 연구에서 제안하는 최적 console layout 설계 system을 통해 console의 특성에 맞는 인간공학적 설계 특성들을 반영할 수 있을 것으로 기대한다. 본 연구에서 개발된 인간공학적 설계 특성이 고려된 최적 console layout 설계 시스템은 탐지 레이더 console, 공장이나 발전소 등의 조작실(control room) interface, 헬리콥터 조종장비 등의 설계에 적용될 수 있을 것이다.

추후 연구로 최적 console layout 설계 system 개발 및

개발된 system의 인간공학적 사용성 평가 연구가 수행될 수 있다. 본 연구는 문헌 조사를 통해 분석된 인간공학적 설계 특성과 반영 방안에 대한 구체적인 적용 방법을 제안하지 못하는 한계가 있다. 따라서 개발된 system을 활용해 기존 console을 분석해 개선할 수 있는지 평가하는 연구가 필요하다. 또한, 최적의 console layout을 제안하기 위해 다양한 최적화 방법들이 이용될 수 있으므로, console layout에 이용할 수 있는 최적화 방법들에 대한 연구가 필요하다.

Acknowledgements

The present research was supported by the LIGNex1 Company.

References

- Abdel, M., Wei, Y., Jingzhou, Y., and Kyle, N., A mathematical method for ergonomic-based design – placement, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34, 375-394, 2004
- Hani, Y., Amodeo, L., Yalaoui, F., and Chen, H., Ant colony optimization for solving an industrial layout problem, *European Journal of Operational Research*, 183(2), 633-642, 2007.
- Holman, G.T., Carnahan, B.J., and Bulfin, R.L., Using linear programming to optimize control panel design from an Ergonomics perspective, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting*, (pp. 1317-1321), USA, 2003.
- Jung, E. S., Park, S., and Chang, S. Y., A CSP technique-based interactive control panel layout, *Ergonomics*, 38(9), 1884-1893, 1995.
- Sargent, T. A., Kay, M. G., and Sargent, R. G., A methodology for optimally designing console panels for use by a single operator, *Human Factors*, 39(3), 389-309, 1997.
- Udosen, U.J., Ergonomic workplace construction, evaluation and improvement by CADWORK, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(3), 219-228, 2006.
- Wang, M.J. Liu, C.M. and Pan, Y.S., Computer-aided panel layout using a multi-criteria heuristic algorithm, *Ergonomics*, 29(6), 1215-1233, 1991.
- Xu, Y., Meng, Q., Yu, K., and Xu, Z., A Layout Method for Control Panel of Thermal Power Plant, *Key Engineering Materials*, 419-420, 657-660, 2010.
- Xu, Y., Meng, Q., and Yang, Z., Particle swarm algorithm applied in the layout optimization for console, *Advanced Computer Control, International Conference on*, 5, 541-544, 2010.
- Xu, Y., Yang, Z., and Meng, Q. (2011). Particle Swarm Optimization Method for Panel Layout, *Key Engineering Materials*, 450, 308-311, 2011.

Author listings

Taekho You: noelfly@postech.ac.kr

Highest degree: B.S., Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: M.S. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Ergonomic Interface System for the Disabled Person

Kihyo Jung: kjung@ulsan.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial & Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

Position title: Assistant Professor, School of Industrial Engineering, University of Ulsan

Areas of interest: Ergonomic product design, Digital human simulation, Usability testing, Work-related musculoskeletal disorders(WMSDs) prevention

Jaejung Kim: januan@postech.ac.kr

Highest degree: B.S., Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Combinatorial Optimization, Order Consolidation

Wonsup Lee: mcury@postech.edu

Highest degree: B.S., Industrial and Media Design, Handong University

Position title: Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic product design, Product shape design based on 3D scanning, 3D human modeling, Engineering design

Baekhee Lee: x200won@postech.ac.kr

Highest degree: M.S., Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Vehicle Ergonomic, Hospital Ergonomic

Woongseok Roh: woongseok.roh@lignex1.com

Highest degree: B.S., Computer Science Engineering, Sogang University

Position title: ILS Researcher, LIGNex1

Areas of interest: Human Engineering, Weapon System, M&S

Heecheon You: hcyou@postech.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Industrial Engineering, Pennsylvania State University

Position title: Associate Professor, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing