Master's Thesis

Development of a Console Layout Optimizer Considering Ergonomic Design Characteristics

Taekho You (유 택 호)

Department of Industrial and Management Engineering

Pohang University of Science and Technology

2014

인간공학적 설계 특성을 고려한 최적 Console Layout 설계 System 개발

Development of a Console Layout Optimizer Considering Ergonomic Design Characteristics

Development of a Console Layout Optimizer Considering Ergonomic Design Characteristics

by

Taekho You
Department of Industrial and Management Engineering
(Human Factors and Ergonomics Program)
Pohang University of Science and Technology

A thesis submitted to the faculty of the Pohang University of Science and Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Department of Industrial and Management Engineering (Human Factors and Ergonomics Program)

Pohang, Korea
12. 16. 2013
Approved by
Heecheon You (Signature)
Academic Advisor

Development of a Console Layout Optimizer Considering Ergonomic Design Characteristics

Taekho You

The undersigned have examined this thesis and hereby certify that it is worthy of acceptance for a master's degree from POSTECH

12/16/2013

Committee Chair	Heecheon You	
Member	Woo-Sung Jung	
Member	Kihyo Jung	

MMIE 유택호, Taekho You

20120973 Development of a Console Layout Optimizer Considering Ergonomic Design Characteristics,
인간공학적 설계 특성을 고려한 최적 Console Layout 설계 System 개발,
Department of Industrial and Management Engineering, 2014, 37P,
Advisor: Heecheon You, Text in Korean.

ABSTRACT

Ergonomic design of controls and displays in console is important in preventing human error and for efficiency and convenience of operation. For an ergonomic design of console layout, all of layout design criteria (importance, frequency of use, sequence of use, and functional relationship) and ergonomic design criteria (visibility and reachability) should be considered. However, previous studies applied only some design characteristics of layout and ergonomic design criteria to their console layout design. For a design of optimal ergonomic console layout, it is necessary to apply overall layout and ergonomic design criteria.

This study developed an optimal console layout design system (hereafter "console layout optimizer") by applying all design characteristics of layout and ergonomic design criteria, and investigated the utility of console layout optimizer using case study. First, we developed a console layout optimizer to search for an optimal design of console layout using

optimization technique. The console layout optimizer consists of 1) Entering system information module, 2) Optimization module, and 3) Visualizing layout module. In the entering system information module, we enter system information about console layout (e.g., design criteria, operation tasks, or design requirements) which is used for searching an optimal design of console layout. In the optimization module, some of representative layouts are derivated by priority-based branch & bound technique and k-means clustering. In the visualizing layout module, the locations of controls and displays for each representative layout are displayed in the console layout optimizer.

Second, we investigated the utility of the console layout optimizer by applying it to designing console layout for low-altitude surveillance radar. Basic information of low-altitude surveillance radar (e.g., operation tasks, importance, or sequence of use) is classified by analyzing textbook for radar and doing survey of radar users. The console layout optimizer derivates five representative layouts, and all representative layouts get ergonomic performance better than the existing layout.

This study developed console layout optimizer applying all design characteristics of layout and ergonomic design criteria systematically. The console layout optimizer suggests some representative layouts which are satisfying design characteristics and design requirements. In console layout optimizer, designers can easily enter design characteristics and design requirements through UI, and it can be applied universally to various console layout design.

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT I

TABLE OF CONTENTS III

그림 목차 V

표 목차 VI

1. 서론 1

1.1. 연구의 배경 및 필요성 1

1.2. 연구 목적 2

1.3. 논문 구성 3

2. Literature Review 5

2.1. 최적해 탐색 Algorithm 5

2.2. 인간공학적 Console Layout 설계 척도 6

2.3. Branch & Bound 기법 9

2.4. K-means Clustering 기법 10

3. Console Layout Optimizer 개발 11

3.1. System Architecture 11

3.2. 설계 특성 입력 모듈 12

3.3. 수리적 최적화 모듈 14

3.3.1. 목적함수 평가 척도 16

3.3.2. 설계 제약 조건 19

3.4. Layout 시각화 모듈 21
4. Case Study: Panel Layout Design 23
4.1. 설계 변수 파악 23
4.2. 중요도 및 빈도 파악 23
4.3. 설계 특성 분석 25
4.4. 설계 결과 28
5. 토의 33
6. 결론 37
참고 문헌 38

그림 목차

그림 1. 방공레이더 console 의 구성 예 1

그림 2. Branch & bound algorithm 9

그림 3. Lloyd's algorithm for K-means clustering 10

그림 4. Console layout optimizer..... 11

그림 5. 배치된 조작기의 시계성 17

그림 6. 조작 순서와 배치순서 예시 18

그림 7. 기능적 집단화 예시..... 19

그림 8. 대표 설계 대안의 위치와 점수 표시 예..... 22

그림 9. 5%ile 인체 정보를 통한 panel 의 시계성과 도달성 점수 생성 26

그림 10. 장치 별 조작 순서 유형 27

그림 11. Cluster 수에 따른 cluster 별 평균 거리 30

그림 12. K-means clustering 기법을 통해 선택된 대표 설계 대안 32

그림 13. Software user interface 의 menu 변경 예시..... 36

표 목차

표 1. 운용 작업의 중요도와 빈도 척도 13

표 2. 제어장치 여유공간 초기값 14

표 3. Constraints for ergonomic layout optimization 21

표 4. 운용 작업 별 중요도와 빈도 예 24

표 5. 장치 별 시계성과 도달성 중요도 예 25

표 6. 대표 인체 model 의 인체 정보(단위: mm) 26

표 7. 기능적 유사도에 따른 제어장치의 grouping 27

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 필요성

Console은 시스템의 제어를 위한 제어장치와 감시를 위한 표시장치로 구성된 user interface의 집합체이다. 예를 들면, 방공레이더 console은 군의 레이더 탐지 시스템의 제어를 위해 그림 1과 같이 버튼, 키보드, 마우스와 같은 제어장치와 계기판, 경고등, 모니터와 같은 표시장치로 구성되어 있다(Jung et al., 1995; MIL-STD-1472G, 2012). Console에는 레이더 console, 발전소 control room의 console, 음향 console 등이 있다.

그림 1. 방공레이더 console의 구성 예

Console의 제어장치 및 표시장치는 효율적이고, 운용이 편리하고, 인적 오류를 예방시키도록 인간공학적으로 배치되는 것이 중요하다. 인간공학적으로 설계된 console은 운용 효율성 향상과 인적 오류를 감소시킨다(Sanders and

McCornick, 1992). 미국의 MIL-STD-1472G와 유럽의 Def-STAN-00-19은 인간공학적인 console 설계를 위해 설계 guideline을 제시하고 있다. 예를 들면, MIL-STD-1472G는 누름식 버튼의 지름을 10 ~ 25 mm로 권장하고 있으며, 버튼 간의 여유공간은 오조작 예방을 위해 50 mm 이상이 되도록 권장하고 있다.

인간공학적 console layout 설계를 위해서는 layout design criteria(중요도, 빈도, 조작순서, 기능적 집단화)와 ergonomic design criteria(시계성, 도달성)를 종합적으로 고려하는 것이 필요하다. 기존 연구들은 인간공학적 console layout 설계에 layout design criteria 와 ergonomic design criteria의 일부만을 고려하고 있다. Sargent et al. (1997)은 중요도, 빈도, 시계성, 도달성을 panel layout 설계에 고려하였으나, 효율적인 console 운용을 위해 필요한 조작 순서를 layout 설계에 고려하지 못했다. Xu et al. (2010)은 빈도와 조작순서를 nuclear power plant console의 layout 설계에 적용하였다. Wang et al. (1991)은 중요도, 빈도, 사용 순서를 고려한 panel layout 설계 방법을 제안하였지만, 편리한 console 조작을 위해 고려해야할 도달성을 layout 설계에 고려하지 못했다. 따라서 인간공학적인 최적의 console layout 설계를 위해서는 모든 layout design criteria와 ergonomic design criteria을 종합적으로 적용해야 한다.

1.2. 연구 목적

본 연구는 layout design criteria와 ergonomic design criteria를 종합적으로 적용한 console layout 최적화 시스템을 개발하고 효용성을 고찰하였다. 첫째, 본

연구는 최적화 기법을 적용하여 최적 console layout을 탐색하는 시스템을 개발하였다. 개발된 console layout 최적화 시스템은 설계 정보 입력 module, 수리적 최적화 module, 그리고 layout 시각화 module로 구성된다. 설계 정보 입력 module은 최적화에 필요한 설계 기초 정보(예: 설계 변수, 운용 작업, 설계 요구 조건)를 입력한다. 수리적 최적화 module은 priority-based branch & bound 기법과 k-means clustering을 적용하여 layout design criteria와 ergonomic design criteria를 만족시키는 대표 설계 대안을 탐색한다. Layout 시각화 module은 탐색된 만족해에 대해 군집 분석을 통해 선정된 대표 layout을 화면에 시각화해준다.

둘째, 본 연구는 개발된 시스템의 효용성을 평가하기 위해 방공 레이더 console의 layout 설계에 개발된 시스템을 적용하였다. 방공 레이더 console 설계를 위한 기초 정보(예: 운용 작업, 중요도, 사용 빈도)는 교범 분석 및 소요군 설문조사를 통해 파악되었다. 본 연구의 최적화 시스템은 5가지의 대표 layout 설계 대안을 탐색하였으며, 대표 대안들은 현용 console layout에 비해 인간공학적 측면의 성능이 우수한 것으로 나타났다.

1.3. 논문 구성

본 논문은 6개의 장과 3개의 부록으로 구성되어 있다. 제 1장은 연구의 배경, 필요성, 목적과 같은 연구의 전반적인 개요에 대해 서술하고 있으며, 제 2장은 본 연구의 진행을 위해 최적해 탐색 algorithm, 인간공학적 console layout

설계 척도, branch & bound 기법, 그리고 K-means clustering 기법에 대한 문헌 조사 내용을 정리하였다. 제 3장은 본 연구에서 개발한 인간공학적 최적 console layout 설계 시스템을 기술하였다. 제 4장은 본 연구에서 개발한 시스템을 방공 레이더 console의 layout 설계에 적용한 사례를 서술하고 있다. 제 5장과 6장은 제 3장과 4장의 결과에 대한 토의와 결론을 서술하고 있다. 마지막으로, 부록은 각 장에서 기술된 구체적인 분석 내용 또는 정보를 제시하고 있다.

2. Literature Review

본 연구는 인간공학적 console layout 설계 방법과 척도를 정리하고 관련 연구 동향을 파악하였다.

2.1. 최적해 탐색 Algorithm

Console layout 최적화에는 3 가지 유형의 최적해 탐색 알고리즘(interactive constraint-satisficed search algorithm, heuristic algorithm, meta-heuristic algorithm)이 사용되고 있는 것으로 나타났다. 첫째, interactive constraint-satisficed search algorithm은 최적화 모델의 제약조건을 추가 또는 제거해가면서 제약조건을 만족하는 1 개의 가능해를 반복적으로 탐색하는 과정을 통해 설계자가 만족하는 해를 찾는 방법이다(Jung et al., 1995). Interactive constraint-satisficed search algorithm은 제약조건을 추가 또는 제거하는 반복적인 과정을 통해 파악된 가능해(feasible solution) 중에서 설계자가 원하는 해를 선택할 수 있는 장점이 있다. 그러나 interactive constraint-satisfied search algorithm은 목적함수 없이 제약조건을 만족하는 1개의 가능해만을 탐색하기 때문에 제약조건을 만족하는 다양한 가능해의 성능을 종합적으로 비교하지 못하는 한계점이 있다.

둘째, heuristic algorithm은 경험적으로 우수한 배치를 창출할 수 있을 것 같은 배치 원리를 적용하여 근사 최적해(near optimal)를 탐색하는 방법이다(Rardin, 1998). Heuristic algorithm은 일반적으로 빠른 시간 내에 최적해를 찾는 것이 어려운 것으로 알려진 NP-Hard 문제의 근사 최적해 탐색에

사용되고 있다. Console layout 최적화 연구에는 설계요소의 중요도에 따라 조작이 가장 편리한 console의 중앙부터 설계요소를 배치하는 방안(Wang et al., 1991)과 배치 점수가 낮은 설계요소의 위치를 반복적으로 변경해보면서 근사 최적해를 탐색하는 방안(Udosen, 2006)이 사용되고 있다. Heuristic algorithm은 단시간에 근사 최적해를 탐색할 수 있는 장점이 있으나 탐색된 해가 최적해에 얼마나 근접한지를 판단할 수 있는 기준이 없는 한계점이 있다.

마지막으로, meta-heuristic algorithm은 확률에 기반한 반복적 탐색을 통해 근사 최적해를 찾는 방법이다(Rardin, 1998). Meta-heuristic algorithm은 heuristic algorithm과 같이 NP-Hard 문제의 근사 최적해 탐색에 널리 사용되고 있으나, 탐색된 근사 최적해가 얼마나 최적해에 근접한지를 판단하는 기준이 없는 한계점이 있다. Console layout 최적화에는 genetic algorithm (Pham and Ondor, 1992, Xu et al., 2010), simulated annealing (Sargent et al., 1997), ant colony optimization (Hani et al., 2007), particle swarm optimization (Xu et al.,2010, Xu et al., 2011)이 사용되고 있다.

2.2. 인간공학적 Console Layout 설계 척도

인간공학적 console layout 설계에는 시계성, 도달성, 조작순서, 기능적 집단화, 중요도, 사용 빈도의 6가지 설계 척도가 사용되고 있다. 첫째, 시계성은 제어장치 및 표시장치에 대한 시계성 필요도 또는 제어장치 및 표시장치의 배치 우선순위를 결정하기 위한 척도로 적용되고 있다. 예를 들면, Sargent et al. (1997)는 제어장치와 표시장치를 시계성이 필요한 장치와 필요하지 않은

장치로 구분하여, 배치 시 시계성이 필요한 장치는 관련 영역에만 배치하는 방식으로 시계성을 반영하였다. 또한, Holman et al. (2003)은 panel을 12개의 영역으로 구분하여, 사용 빈도가 높은 제어장치 및 표시장치를 시계적으로 가까운 위치에 두는 방식으로 시계성을 반영하였다.

둘째, 도달성은 제어장치 및 표시장치에 대한 도달성 필요도 또는 제어장치 및 표시장치의 배치 우선순위를 결정하기 위한 척도로 적용되고 있다. 예를 들면, Sargent et al. (1997)는 제어장치와 표시장치를 도달성이 필요한 장치와 필요하지 않은 장치로 구분하여, 배치 시 도달성이 필요한 장치는 관련 영역에만 배치하는 방식으로 도달성을 반영하였다. Holman et al. (2003)은 panel을 12개의 영역으로 구분하여, 사용 빈도가 높은 제어장치 및 표시장치를 사용자로부터 거리가 가까운 위치에 두는 방식으로 도달성을 반영하였다. 또한, Udosen (2006)은 작업장의 기계 배치 시 기계를 오른손/왼손으로 사용해야 하는 장비로 구분하여, 사용자의 오른쪽/왼쪽에 배치하는 방식으로 도달성을 반영하였다.

셋째, 조작 순서는 제어장치와 표시장치의 배치를 위한 우선순위 또는 배치 제약조건으로 적용되고 있다. 예를 들면, Xu et al. (2010)은 제어장치와 표시장치 13개에 대해 작업 순서(1~13)를 설정하였다. 설정된 작업 순서에 대해 순서가 빠른 경우 손에서 가까운 위치에 배치되도록 목적함수를 설정하였다. 또한, Holman et al. (2003)은 제어장치 중 remote unit activation 장치와 remote unit hydraulic pump switch는 왼쪽에서 오른쪽으로 배치하도록 배치 제약조건을

추가하였다. Hani et al. (2007)은 train maintanence facility의 기존 사용 순서에 따라 facility의 배치 후 이동 거리를 평가하는 방식으로 사용 순서를 정의하였다.

넷째, 기능적 집단화는 유사한 기능을 가진 제어장치와 표시장치의 grouping을 통해 같은 goup끼리 유사한 위치에 배치되는 방식으로 적용되고 있다. 예를 들면, Sargent et al. (1997)는 제어장치 및 표시장치를 시계성이 중요한 장치, 도달성이 중요한 장치, 시계성과 도달성이 함께 중요한 장치로 구분하여 group을 형성하였다. 하나의 group은 하나의 배치 unit으로 집단화되어 함께 배치되도록 정의하였다.

다섯째, 중요도는 제어장치와 표시장치의 배치 우선순위를 결정하기 위한 척도로 적용되고 있다. 예를 들면, Wang et al. (1991)은 가장 중요한 장치를 panel의 중앙에 우선 배치하기 위해 장치 별 중요도를 평가하였고, Sargent et al. (1997)은 장치 group 별로 중요도를 부여해 중요도가 높은 장치 group부터 배치를 수행하였다. 또한, Xu et al. (2010)은 장치 별 중요도의 rank를 결정하여 배치 시 중요도가 높은 장치가 우선 배치될 수 있도록 목적함수를 설정하였다.

마지막으로, 사용 빈도는 제어장치 및 표시장치의 배치 위치 또는 배치 우선순위를 결정하기 위한 척도로 적용되고 있다. 예를 들면, Holman et al. (2003)은 사용 빈도가 높은 제어장치 및 표시장치에 대해 사용자에게 가까운 거리에 위치할 수 있도록 목적함수를 작성하였다. 또한, Xu et al. (2010)은 장치 별 사용 빈도를 측정하여 사용 빈도가 높은 제어장치 및 표시장치가 우선 배치될 수 있도록 목적함수를 작성하였다.

2.3. Branch & Bound 기법

Branch & Bound 기법은 constraint의 추가를 통해 solution을 검색하여 최적 solution을 찾는 algorithm이다. Branch & bound 기법은 constraint의 추가를 통해 feasible solution set을 나누는 branch 단계, infeasible한 경우 또는 feasible solution이 기존 해보다 좋지 않은 경우 다른 대안을 찾도록 branch 이전 단계로 되돌아가는 bound 단계로 이루어진다. 예를 들면, branch & bound 기법은 그림 2의 node 0에서 x1에 대한 constraint($x1 \leq 2$ or $x1 \geq 3$)를 추가하여 새로운 해인 node 1과 node 2를 탐색하는 branch 단계, 그리고 node 3에서 파악된 새로운 해가 현재까지 탐색된 최적 해(incumbent solution)보다 점수가 낮은 경우 탐색을 종료하는 bound 단계로 구성된다.

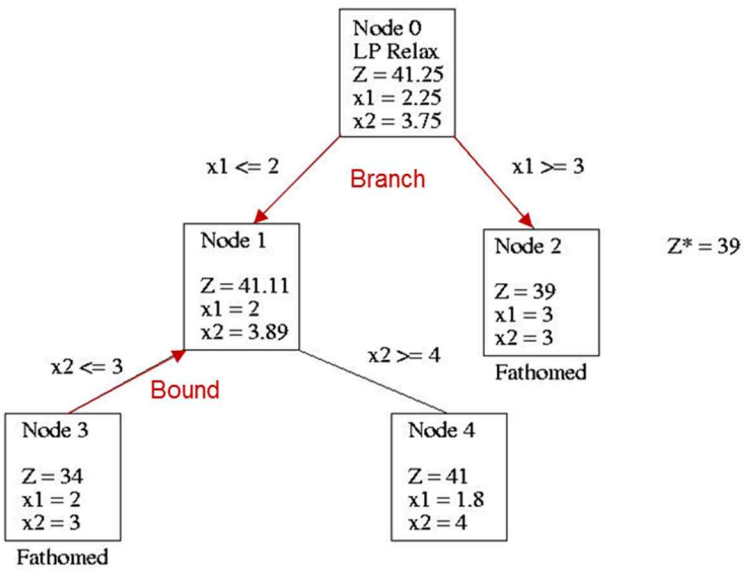


그림 2. Branch & bound algorithm

2.4. K-means Clustering 기법

K-means clustering 기법은 1957년에 Stuart Lloyd가 제안하고, 1965년에 E. W. Forgy가 발표한 기법이다. K-means clustering 기법은 heuristic method 중 하나로, k개의 node와 여러 site를 최소의 거리로 연결하기 위해 node의 최적 위치를 결정한다. 이때 각 node에 근접하여 배치되어있는 site는 하나의 군집으로 분류된다.

K-means clustering 기법은 그림 3과 같이 Lloyd가 제안한 algorithm 순서로 진행된다. 우선 k개의 node를 정해진 data domain 내에 random한 위치에 생성한다. 각 site 별로 거리가 최소인 node를 찾아 군집으로 분류한 후, 군집의 중심 위치로 node를 재배치한다. 재배치된 node에 대해 다시 site를 군집으로 분류한 후, node의 위치가 변하지 않을 때까지 node와 site에 대한 군집 분류를 진행한다.

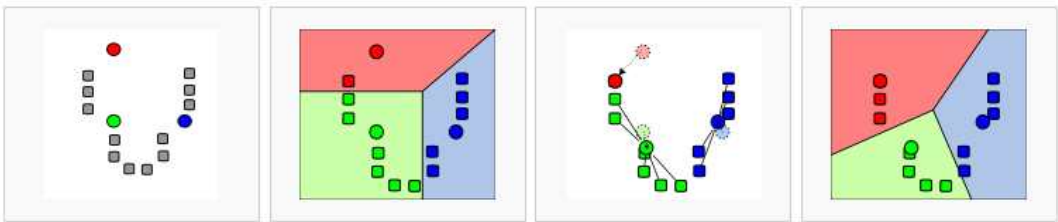


그림 3. Lloyd's algorithm for K-means clustering

3. Console Layout Optimizer 개발

본 연구는 layout design criteria와 ergonomic design criteria을 고려하여 최적 설계 대안을 탐색하는 console layout 최적화 시스템(이하, console layout optimizer)을 그림 4와 같이 개발하였다. Console layout optimzer의 user interface는 C#을 이용하여 시각화되었고 최적화 algorithm은 C++를 이용하여 구현되었다.

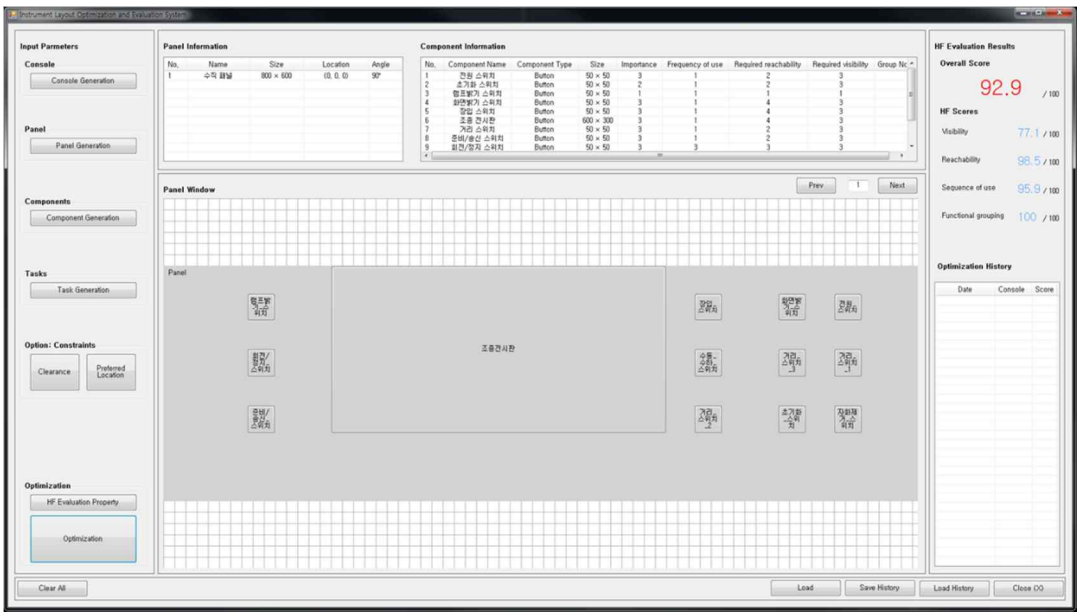


그림 4. Console layout optimizer

3.1. System Architecture

본 연구의 console layout optimizer는 1) 설계 특성 입력 모듈, 2) 수리적 최적화 모듈, 그리고 3) layout 시각화 모듈로 구성된다. 첫째, 설계 특성 입력

모듈은 console layout 설계에 필요한 기초 설계 정보를 입력받는다(3.2장 참조). 둘째, 수리적 최적화 모듈은 입력된 기초 설계 정보와 최적화 algorithm을 이용하여 대표 layout들을 탐색한다(3.3장 참조). 마지막으로, layout 시각화 모듈은 탐색된 대표 layout들을 시각화하여 사용자가 최적의 설계 대안을 선택할 수 있게 한다(3.4장 참조).

3.2. 설계 특성 입력 모듈

설계 특성 입력 모듈은 설계 변수 입력 부문, 작업 특성 입력 부문, 그리고 설계 요구조건 입력 부문으로 구성된다. 첫째, 설계 변수 입력 부문은 설계 대상 console에 대한 두 가지 설계 변수(panel, 제어/표시장치)를 입력받는다. Panel에 대한 입력 정보는 panel 이름, 위치, 그리고 크기이다. 제어장치 및 표시장치에 대한 입력 정보는 장치 이름, 유형(제어장치 예: 버튼, 다이얼; 표시장치 예: 계기판, 모니터), 크기, 그리고 중요도이다.

둘째, 작업 특성 입력 부문은 설계 대상 console의 운용 작업 특성 4가지(작업 명칭, 중요도, 사용 빈도, 장치 조작 순서)를 입력받는다. 작업별 중요도와 사용 빈도는 표 1과 같이 작업의 임무 연관성에 따라 5점 척도로 입력된다. 예를 들면, console 운용에 중요한 역할을 하지만 한 번 작업 후 자주 수행하지 않는 작업의 중요도는 4점, 사용 빈도는 2점으로 입력될 수 있다. 장치 조작 순서는 작업별 순차적으로 조작/감시해야 하는 제어장치와 표시장치의 순서를 의미한다. 예를 들면, radar console에서 지형 입력 작업은

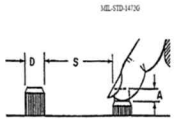
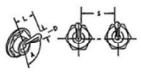
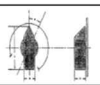
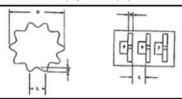
조종전시판, 추적구 및 모니터, 장입스위치의 순서로 조작 및 감시가 이루어진다.

표 1. 운용 작업의 중요도와 빈도 척도

구분	점수	기준
중요도	5 점(매우 높음)	Console 운용에 있어 **매우 중요한 작업**
	4 점(높음)	Console 운용에 있어 **중요한 작업**
	3 점(보통)	Console 운용에 있어 **관련이 있는 작업**
	2 점(낮음)	Console 운용에 있어 **다소 관련이 있는 작업**
	1 점(매우 낮음)	Console 운용에 있어 **미약한 관련이 있는 작업**
사용 빈도	5 점(매우 높음)	**1 일 자주**
	4 점(높음)	**1 일 수회**
	3 점(보통)	**2 ~ 3 일당 1 회**
	2 점(낮음)	**주 1 회**
	1 점(매우 낮음)	**매우 간헐적**(예: 월 1 회)

마지막으로, 설계 요구조건 입력 부문은 여유성과 위치 제약에 대한 요구조건을 입력받는다. 설계변수 간의 여유성은 오조작을 예방할 수 있도록 최소 여유공간 크기를 설정할 수 있다. 본 연구는 설계변수 간의 여유공간 초기값을 MIL-STD-1472G 기준으로 설정하였다(표 2 참조). 위치 제약은 설계 대안 탐색 전에 제어장치와 표시장치를 특정 영역에 고정 배치하는 것을 의미한다. 예를 들면, 긴급 정지 장치는 실수로 인한 오작동을 예방하기 위해 다른 제어장치와 격리될 수 있도록 특정 위치(예: panel의 우측 상단 모서리)에 고정 배치할 수 있다.

표 2. 제어장치 여유공간 초기값

Component	Picture	Operating body part	Min. (mm)	Preferred (mm)
Push button		Single finger	13 (25 for glove)	50
		Thumb or palm	25	150
		Sequential*	6	13
Toggle switch		Single finger	19	50
		Sequential*	13	25
Rotary selector switch		One-hand	25	75
		Two-hand	50	125
Discrete thumbwheel control		Thumb	10	-

*Sequential: operating body parts are sequentially used. e.g., index and middle finger can be used for push buttons

3.3. 수리적 최적화 모듈

수리적 최적화 모듈은 목적함수, 설계제약조건, 그리고 최적해 탐색 알고리즘으로 구성된다. 첫째, 목적 함수는 식 1과 같이 console panel에 배치된 제어장치 및 표시장치에 대한 시계성, 도달성, 조작 순서, 기능적 집단화 점수(3.3.1장 참조)의 합으로 구성된다. 각 criteria의 점수는 0~100점의 범위로 계산되며, 목적함수의 점수는 척도들의 산술평균으로 계산되어 0 ~ 100점의 범위를 가진다.

식 1.

$$Maximize\left\{4\times\sum_{k=1}^{n}(I_{V,k}\times F_k\times V_k)+4\times\sum_{k=1}^{n}(I_{R,k}\times F_k\times R_k)+4\times\sum_{i=1}^{l}(I_{S,i}\times F_{S,i}\times S_i)+4\times\sum_{j=1}^{m}(I_{G,j}\times F_{G,j}\times G_j)\right\}\div 4$$

where: l = number of tasks,

m = number of functional groups,

n = number of components,

$I_{V,k}$ = visibility importance (range: 1 ~ 5) of component k,

$I_{R,k}$ = reach importance (range: 1 ~ 5) of component *k,*

F_k = frequency (range: 1 ~ 5) of component *k*,

V_k = visibility comfort (range: 0 ~ 1) of component *k,*

R_k = reach comfort (range: 0 ~ 1) of component *k*

$I_{S,i}$ = importance (range: 1 ~ 5) of task *i,*

$F_{S,i}$ = frequency (range: 1 ~ 5) of task *i*,

S_i = sequence satisfaction proportion (range: 0 ~ 1) of task *i,*

$I_{G,j}$ = importance (range: 1 ~ 5) of functional group *j,*

$F_{G,j}$ = frequency (range: 1 ~ 5) of functional group *j*,

G_j = functional grouping satisfaction proportion (range: 0 ~ 1) of functional group *j,*

둘째, 설계 제약 조건은 console layout 설계 대안 탐색을 위해 설계에 반영되어야 하는 요구조건을 설정한다. 본 연구는 MIL-STD-1472G 요구사항 분석과 문헌 조사를 통해 설계 제약 조건으로 물리적, 신체적, 인지적 제약 조건의 12가지 항목을 설정하였다(상세한 내용은 3.3.2장 참조).

마지막으로, 최적해 탐색 알고리즘은 설계 대안 탐색과 대표 설계 대안 도출의 2가지 단계로 이루어진다. 설계 대안 탐색 단계에서는 priority-based branch and bound (이하 priority-based B&B) 기법을 적용하여 다양한 설계 대안을 탐색한다. Priority-based B&B는 설계 대안 탐색을 위해 제어장치와 표시장치의 배치를 수행하는 branching 단계, 그리고 제어장치와 표시장치의 재배치를 위해 branching 이전으로 돌아가는 bounding 단계로 이루어진다. Branching 단계는 입력된 제어장치와 표시장치를 배치 우선순위에 따라 순차적으로 배치를 수행하여 설계 대안을 탐색하게 된다. 배치 우선 순위는 지시기 및 조작기 중 목적함수 값에 영향을 많이 주는 순서에 따라 설정된다. Bounding 단계에서는

branching 후 예측된 최대 목적함수 값이 설정된 기준 점수를 충족하지 못하는 경우 또는 배치가 불가능한 경우 branching 이전 단계로 돌아간다. 대표 설계 대안 도출 단계에서는 설계 대안 탐색 이후에 K-means clustering 기법을 통해 대표 설계 대안을 도출한다. Priority-based B&B는 설정된 기준 점수를 충족하는 모든 설계 대안을 탐색하여 저장한다. 그로 인해 탐색된 대안은 설계 특성이 유사할 수 있으므로 군집분석을 통해 각 군집을 대표하는 설계대안을 파악하는 것이 필요하다.

3.3.1. 목적함수 평가 척도

목적함수는 시계성, 도달성, 조작 순서, 그리고 기능적 집단화의 4가지 척도로 정량화된다. 시계성은 제어장치와 표시장치의 배치 위치에 대한 시계성 점수로 정량화된다. 제어장치와 표시장치의 시계성 점수는 console panel에 배치된 영역의 시계성 점수의 평균 값으로 계산된다. 예를 들어, 그림 5와 같이 배치된 제어장치 A는 4점((4점+4점+4점+4점)/4), 제어장치 B는 5점((5점+5점+5점+5점)/4)의 시계성 점수를 가진다. 시계성 점수의 총합은 식 2와 같이 제어장치와 표시장치의 시계성 점수에 중요도와 빈도를 곱하여 정량화된다. 도달성은 시계성과 같이 제어장치와 표시장치의 배치 위치에 대한 도달성 점수로 정량화된다. 도달성 점수의 총합은 식 3과 같이 제어장치와 표시장치의 도달성 점수에 중요도와 빈도를 곱하여 정량화된다.

그림 5. 배치된 조작기의 시계성

식 2.

$$Visibility\quad Score = 4 \times \sum_{k=1}^{n} (I_{V,k} \times F_k \times V_k)$$

where: n = number of components,

$I_{V,k}$ = visibility importance (range: 1 ~ 5) of component k,

F_k = frequency (range: 1 ~ 5) of component k,

V_k = visibility comfort (range: 0 ~ 1) of component k,

식 3.

$$Reachability\quad Score = 4 \times \sum_{k=1}^{n} (I_{R,k} \times F_k \times R_k)$$

where: n = number of components,

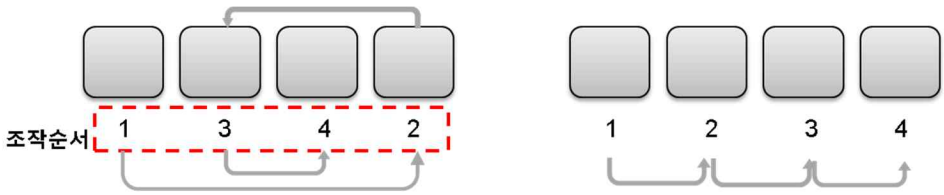
$I_{R,k}$ = reach importance (range: 1 ~ 5) of component k,

F_k = frequency (range: 1 ~ 5) of component k,

V_k = visibility comfort (range: 0 ~ 1) of component k,

조작 순서는 console 운용 시 제어장치의 운용 순서와 제어장치의 배치 순서가 일치하는 비율로 정량화된다. 예를 들면, 그림 6 - (a)에 명시된 것과 같이 조작 순서와 배치 순서가 불일치하게 되면 운용 작업 시 손의 움직임이

많아지게 되어 운용 시간이 길어지고 운용 중 다른 제어장치로 인한 오조작 가능성이 높아지게 된다. 하지만 그림 6 - (b)와 같이 조작 순서와 배치 순서가 일치하는 경우 운용 작업 중 손이 한 방향으로 움직이게 되어 운용의 효율성이 높아지고 오조작 가능성이 낮아지게 된다. 조작 순서 점수는 식 4와 같이 전체 조작기의 배치가 조작순서와 일치하는 경우의 총합에 대한 비율에 중요도와 빈도를 곱한 점수로 정량화한다.



(a) 조작순서와 배치순서 불일치 (b) 조작순서와 배치순서 일치

그림 6. 조작 순서와 배치순서 예시

식 4.

$$Sequence\ of\ Use\ Score = 4 \times \sum_{i=1}^{l} (I_{S,i} \times F_{S,i} \times S_i)$$

where: l = number of tasks,

$I_{S,i}$ = importance (range: 1 ~ 5) of task *i*,

$F_{S,i}$ = frequency (range: 1 ~ 5) of task *i*,

S_i = sequence satisfaction proportion (range: 0 ~ 1) of task *i*,

기능적 집단화는 임무 별 기능적 유사도가 높은 제어장치와 표시장치의 group이 유사한 위치에 함께 배치된 비율로 정량화된다. 예를 들면, 그림 7 - (a)와 같이 group 1의 제어장치와 표시장치 사이에 다른 제어장치 또는

표시장치가 배치되는 경우 기능적 집단화를 만족하지 못하며, 그림 7 - (b)와 같이 group 1의 제어장치와 표시장치가 함께 배치되는 경우 기능적 집단화를 만족하게 된다. 기능적 집단화 점수는 식 5와 같이 모든 제어장치와 표시장치가 기능적 집단화를 만족하는 경우에 대한 비율에 중요도와 빈도의 곱으로 정량화한다.

(a) 기능적 집단화 미흡　　(b) 기능적 집단화 만족

그림 7. 기능적 집단화 예시

식 5.

$$Functional\ Group\ Score = 4 \times \sum_{j=1}^{m} (I_{G,j} \times F_{G,j} \times G_j)$$

where: m = number of functional groups,

$I_{G,j}$ = importance (range: 1 ~ 5) of functional group j,

$F_{G,j}$ = frequency (range: 1 ~ 5) of functional group j,

G_j = functional grouping satisfaction proportion (range: 0 ~ 1) of functional group j,

3.3.2. 설계 제약 조건

설계 제약 조건은 console layout 설계를 위해 제어장치와 표시장치를 배치하는 경우 유의해야 할 조건으로, 물리적, 신체적, 인지적 제약조건으로 구성된다. 물리적 제약 조건은 제어장치 및 표시장치의 배치가 물리적으로

가능해야 한다는 제약조건으로, no overlap, placement within design space, 그리고 alignment가 있다. No overlap은 제어장치와 표시장치가 겹치지 않게 배치되도록 하는 제약조건이다(Xu et al., 2010; Wang et al., 1991). Placement within design space는 제어장치와 표시장치가 배치 공간 내에 모두 배치되도록 하는 제약조건이다(Pham and Onder, 1992; Jung et al., 1995). Alignment는 제어장치와 표시장치가 정렬(예: 좌측 또는 중앙)되어 배치되도록 하는 제약조건이다(Xu et al., 2011).

신체적 제약 조건은 제어장치와 표시장치의 배치가 운용자의 신체 조건과 부합해야 한다는 제약조건으로, vision, reach, clearance가 있다. Vision은 운용자가 시인 가능한 위치에 제어장치와 표시장치가 배치되도록 하는 제약조건이다(MIL-STD-1472G, 2012; Holman et al., 2003). Reach는 운용자의 손이 도달 가능한 위치에 제어장치가 배치되도록 하는 제약조건이다(MIL-STD-1472G, 2012; Holman et al., 2003). Clearance는 운용자가 제어장치를 조작하는 경우 다른 제어장치와 간섭이 발생하지 않도록 여유공간을 확보하도록 하는 제약조건이다(MIL-STD-1472G, 2012; Wang et al., 1991; Holman et al., 2003).

인지적 제약 조건은 제어장치와 표시장치가 인지하고 사용하기 적합하도록 배치되어야 한다는 제약조건으로, spatial clue, prevention of accidental activation이 있다. Spatial clue는 표시장치의 조작과 관련된 제어장치를 공간적 위치 관계를 통해 파악할 수 있게 배치하도록 하는 제약조건이다(MIL-STD-1472G, 2012). Prevention of accidental activation은 시스템에 중요한 역할을 하는

제어장치(예: 긴급 정지 장치)의 오조작을 방지하기 위해 다른 제어장치와 격리 배치하도록 하는 제약조건이다(MIL-STD-1472G, 2012).

표 3. Constraints for ergonomic layout optimization

Classification	Constraints		Description	Reference
Physical requirement	No overlap		All components shall be clearly distinguished	Wang et al. (1991), Xu et al. (2010)
	Placement within design space		All components shall be located with the panel	Jung et al. (1995), Pham and Onder (1992)
	Alignment		All components shall be aligned	Xu et al. (2011)
Body requirement	Vision	Visually accessible	Visual displays and controls shall be visually accessible	Holman et al. (2003), MIL-STD-1472G (2012)
		Minimum viewing distance	The viewing distance from the eye reference point to displays shall be more than 51 centimeters (20 inches)	
		Maximum viewing distance	The viewing distance from the eye reference point to displays shall be less than 70 centimeters (28 inches)	
	Reach	Accessible	All controls shall be located within the maximum reach	Holman et al. (2003), MIL-STD-1472G (2012)
		Avoidance of cross-ing hands	Controls shall be located according to the order of the operations to avoid crossing or interchanging hands	
	Clearance		The size of a control shall be designed ensuring that the operation of a control does not interrupt those of other controls	Holman et al. (2003), MIL-STD-1472G (2012), Wang et al. (1991)
Cognitive requirement	Spatial clue		Controls and displays shall be located and arranged to show which controls involve which display	MIL-STD-1472G (2012)
	Prevention of accidental activation		Emergency shutoff controls shall be accessibly located to prevent accidental activation	MIL-STD-1472G (2012)

3.4. **Layout 시각화 모듈**

본 연구의 console layout optimizer는 탐색된 대표 설계 대안들을 그림 8과 같이 화면에 시각화한다. Console layout optimizer는 대표 설계 대안의 결과에 따라 제어장치와 표시장치의 위치를 시각화해주고, 배치 위치에 따른 점수를

표시한다. 사용자는 설계 대안의 배치 위치와 점수를 확인해가면서 최적 설계 대안을 선택한다.

그림 8. 대표 설계 대안의 위치와 점수 표시 예

4. Case Study: Panel Layout Design

본 연구는 개발된 console layout optimizer를 통해 방공레이더 console의 panel layout을 설계하고 기존 panel layout과 비교 평가하여 console layout optimizer의 실효성을 검증하였다. 본 연구는 console layout 설계안을 도출하기 위해 운용 교범 분석을 통해 설계 변수를 파악하였고 운용자를 대상으로 한 설문조사를 통해 설계 요구조건을 파악하였다.

4.1. 설계 변수 파악

본 연구는 방공레이더 console의 운용 교범(LIG Nex1, 2002)을 분석하여 1) 방공레이더 console의 기초 설계 정보(크기, 유형)와 2) 운용 작업을 파악하였다. 첫째, 방공레이더 console의 기초 설계 정보로 1개의 touch screen, 2개의 switch, 그리고 10개의 button을 포함하는 1개의 panel이 파악되었다. 둘째, 방공레이더 console의 운용 작업으로 총 73개의 작업이 파악되었다. Console 운용 작업은 준비 및 점검 작업, 레이더 운용 작업, 레이더 운용 환경 설정, 모의 훈련, 그리고 표시 정보 환경 설정의 5가지 부문으로 구분된다.

4.2. 중요도 및 빈도 파악

본 연구는 설문조사를 통해 운용 작업의 중요도 및 빈도, 장치의 시계성 및 도달성 중요도를 파악하였다. 본 연구의 설문조사에는 총 21명(31±7세)이 참여하였다. 운용 작업의 중요도와 빈도, 그리고 장치의 시계성 및

도달성은 5점 척도로 평가되었다.

첫째, 임무 별 중요도와 빈도는 설문조사를 통해 표 4와 같이 파악되었다. 탐지와 관련된 임무는 중요도가 4 ~ 5점으로 높게 나타나 console 운용에 중요한 임무로 파악되었고, 탐지 및 훈련 임무는 빈도가 평균 3 ~ 4점으로 나타나 매일 사용되는 임무로 파악되었다.

둘째, 13개의 제어장치에 대한 시계성 및 도달성 중요도가 파악되었다. 시계성은 해당 장치를 얼마나 쉽게 볼 수 있는가를 나타내며, 도달성은 해당 장치까지 손을 뻗어 얼마나 쉽게 조작할 수 있는가를 나타낸다. 설계 요구사항은 구성 요소의 사용 시 시계성과 도달성의 중요도에 따라 1점(낮음) ~ 5점(높음)으로 평가되었고, 설문조사 결과는 표 5와 같이 파악되었다.

표 4. 운용 작업 별 중요도와 빈도 예

구분		ID	중요도		빈도	
			평균	SD	평균	SD
준비 및 점검 작업	정치	1	4.9	0.5	1.7	1.2
		2	4.8	0.6	1.7	1.2
	자체점검	3	3.9	1.2	3.2	1.3
		4	3.5	1.4	2.8	1.5
		5	4.0	1.0	2.7	1.5
		6	2.5	1.4	1.8	1.3
	작동준비	7	4.4	0.8	3.4	1.6
		8	2.1	1.3	2.4	1.4
		9	1.8	1.0	2.2	1.3
		10	2.8	1.2	2.2	1.2
	주요장치 조종	11	4.1	0.9	3.0	1.4

		12	4.1	0.9	3.0	1.4
		13	3.6	1.0	2.4	1.4

표 5. 장치 별 시계성과 도달성 중요도 예

No.	이름	시계성	도달성
1	Push button1	4.5	4.6
2	Push button2	3.8	3.9
3	Push button3	4.3	4.1
4	Push button4	4.3	4.1
5	Rotary switch1	4.0	4.0
6	Rotary switch2	4.0	4.0
7	Touch screen	4.8	4.8

4.3. 설계 특성 분석

본 연구는 console layout 설계를 위해 1) panel의 시계성/도달성 점수 생성, 2) 제어장치와 표시장치의 조작 순서 도출, 3) 제어장치와 표시장치의 기능적 유사도 파악 과정을 수행하였다. 첫째, panel의 시계성/도달성 점수는 운용자에 대한 panel의 위치에 따라 결정된다. 기 입력된 사용자 인체 정보를 기반으로 그림 9와 같이 panel의 시계성과 도달성 점수를 생성한다. 본 연구는 panel의 시계성과 도달성 점수를 도출하기 위해 표 6과 같이 파악된 20대와 30대 남성의 5, 50, 95%ile 인체 정보를 사용하였다.

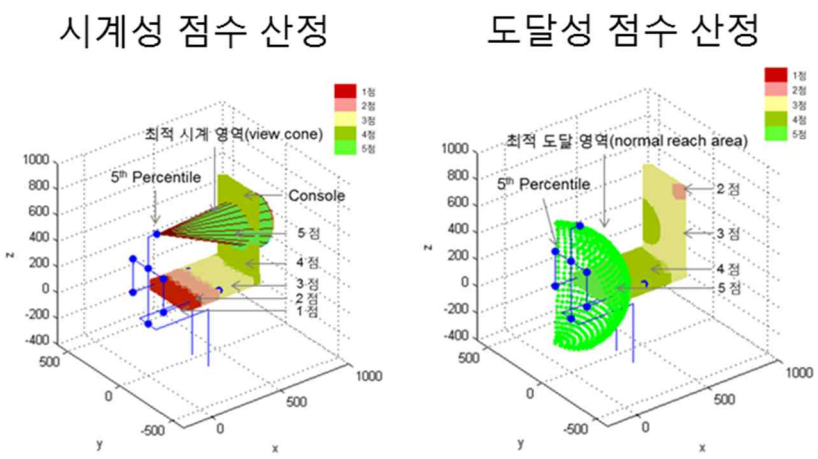


그림 9. 5%ile 인체 정보를 통한 panel의 시계성과 도달성 점수 생성

표 6. 대표 인체 모델의 인체 정보(단위: mm)

Body dimension		Size Korea data			Link dimension		BL ratio	Link size		
Variable	Code	5th	50th	95th	Variable	Code		5th	50th	95th
Head length	BD1	155	175	210	Eye-to-body centerline distance	LD1	0.42	65	73	88
Eye height	BD2	769	815	865	Eye level-to-shoulder pivot distance	LD2	0.32	246	261	277
Bideltoid breadth	BD3	369	402	432	Shoulder pivot width	LD3	0.77	284	309	333
Arm length*	BD4	709	766	819	Humeral link	LD4	0.39	277	299	319
					Forearm link	LD5	0.34	241	260	278
Hand length	BD5	172	186	199	Hand link	LD6	1.00	172	186	199
Acromial height	BD6	556	599	641	Trunk link	LD7	0.77	428	461	494
Hip breath, sitting	BD7	320	347	383	Hip pivot width	LD8	0.49	157	170	187
Buttock-popliteal length	BD8	425	469	512	Femoral link	LD9	0.89	378	417	456
Popliteal height	BD9	373	406	441	Shank link	LD10	0.90	335	365	396
					Ankle pivot to floor distance**	LD12	0.20	100	106	113

* Shoulder-to-wrist length + hand length

둘째, 제어장치와 표시장치의 조작 순서는 방공레이더 console의 운용 교범에 명시된 사항에 기반하여 파악되었다. 예를 들어, 작동준비 작업은 준비/송신 스위치, 조종 전시판, 회전/정지 스위치 순서로 작업이 이루어지게 된다. 방공레이더 console 운용 작업의 조작순서는 최대 3개의 제어장치를

조작하는 것으로 파악되었고, 작업 별 조작순서와 유형은 그림 10과 같이 파악되었다.

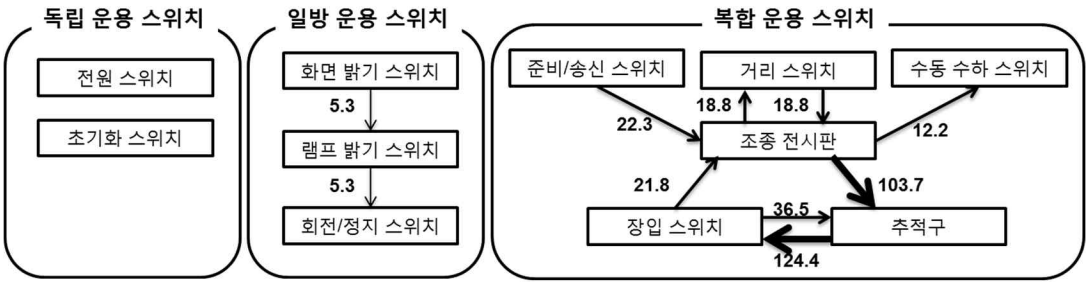


그림 10. 장치 별 조작 순서 유형

마지막으로, 제어장치와 표시장치의 기능적 유사도는 방공레이더 console의 운용 작업에 기반하여 파악되었다. 작업 별로 사용하는 제어장치와 표시장치에 대해 해당 작업의 중요도와 사용 빈도(4.2장 참조)를 곱하여 기능적 유사도를 파악하였다. 기능적 유사도가 높은 제어장치와 표시장치에 따라 표 7과 같이 자체 점검, 작동준비, 주요장치 조종, 전시화면 조종 group으로 구분되었다.

표 7. 기능적 유사도에 따른 제어장치의 grouping

Group 구분	세부 작업	중요도(I)	빈도(F)	Priority (I x F)	Group 중요도(∑I)	연관 제어장치
자체점검	작업 1	4.3	3.5	14.9	19.92	화면밝기 스위치 램프밝기 스위치 회전정지 스위치 조종전시판
	작업 2	4.4	3.5	15.5		
	작업 3	4.4	3.3	14.7		
	작업 4	4.4	2.8	12.5		

	작업 5	2.4	1.6	3.8		준비/송신 스위치
작동준비	작업 6	4.3	4.0	17.0	12.3	전원스위치 램프 밝기 스위치 화면 밝기 스위치
	작업 7	2.8	4.1	11.2		
	작업 8	2.3	3.3	7.8		
	작업 9	3.0	3.3	10.0		
주요장치 조종	작업 10	5.0	4.0	20.0	13.1	초기화 스위치 조종전시판 회전정지 스위치 준비송신 스위치
	작업 11	4.8	3.8	17.8		
	작업 12	3.4	2.6	8.8		
전시화면 조종	작업 13	3.4	2.8	9.4	21.9	거리 스위치 조종전시판
	작업 14	3.2	2.0	6.3		
	작업 15	4.5	3.8	17.3		
	작업 16	4.6	4.3	19.5		
	작업 17	3.3	3.1	10.3		
	작업 18	2.9	2.9	8.5		

4.4. 설계 결과

본 연구의 console layout optimizer는 설계 제약조건을 충족하는 약 600개의 만족 대안들을 탐색한 것으로 나타났다. 탐색된 만족 대안들은 평균 86점(표준편차: 2.2)으로 분석되었으며, 점수의 범위는 81점 ~ 90점으로 파악되었다. 평가 척도별 만족 대안들의 평균 점수는 시계성 82점(표준편차: 0), 도달성 90점(표준편차: 0.2), 작업순서 100점(표준편차: 0), 기능적 집단화 70점(표준편차: 8.6)으로 분석되었다.

탐색된 만족 대안들의 시계성 점수와 작업순서 점수는 유사한 것으로 나타났다. 시계성 점수는 console panel의 중앙부가 5점으로 가장 높고 나머지

부분은 4점으로 동일하다. 그로 인해, 중요도와 빈도가 가장 높은 조종 전시판이 중앙에 배치되고 나머지 component들이 주변에 배치되어 시계성 점수의 변동이 미미한 것으로 사료된다. 또한, 작업 순서는 전체 component (12개) 중에서 3개(조종전시판, 준비/송신 스위치, 수동수하 스위치)만 해당되어 상대적으로 쉽게 만족시킬 수 있는 것으로 추정된다.

탐색된 만족 대안들의 기능적 집단화 점수는 다른 척도들보다 편차가 큰 것으로 나타났다. 탐색된 대안들의 기능적 집단화 점수는 54점 ~ 88점의 범위를 보이는 것으로 파악되었다. 기능적 집단화 점수의 분포가 다양한 이유는 하나의 component가 다수의 group에 해당되기 때문인 것으로 파악된다. 예를 들면, 조종 전시판은 5 개의 그룹에 포함되어 조종 전시판이 포함되는 그룹 중 일부는 집단화 요건을 충족시킬 수 없다.

본 연구는 탐색된 만족 대안들에 K-mean cluster analysis를 적용하여 대표 대안 5개를 추출하였다. K-mean cluster analysis에는 city block (metropolitan) distance가 적용되었다. 최적 군집 개수는 군집 개수를 2개부터 10개까지 하나씩 증가시키면서 파악된 average distance in each cluster가 그림 11과 같이 수렴하는 5개로 선정되었다.

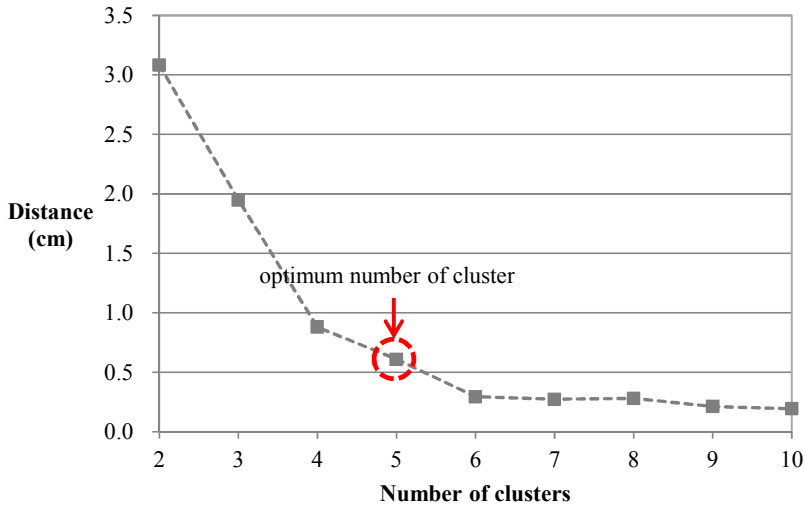
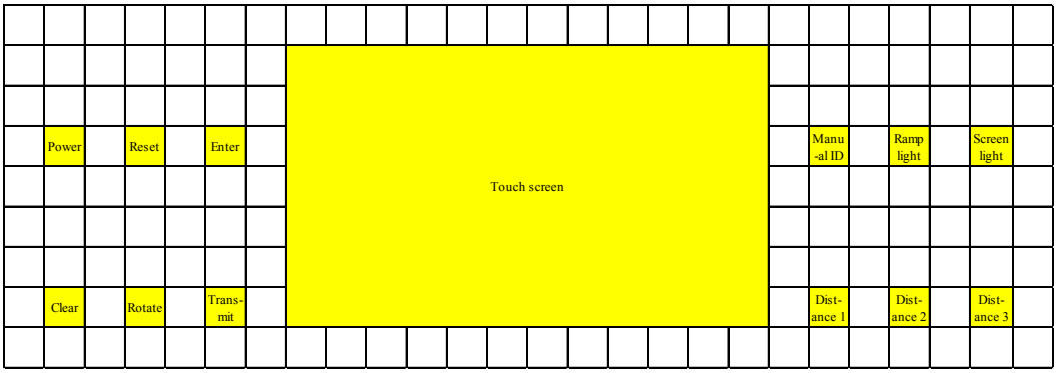
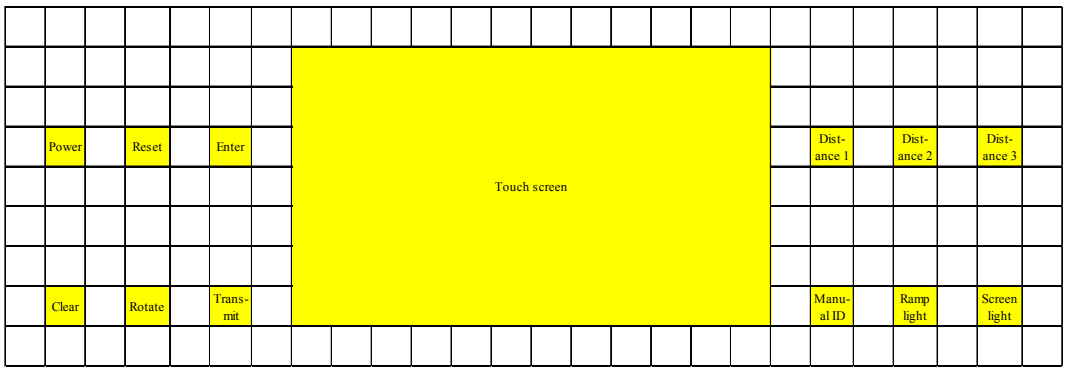


그림 11. Cluster 수에 따른 cluster 별 평균 거리

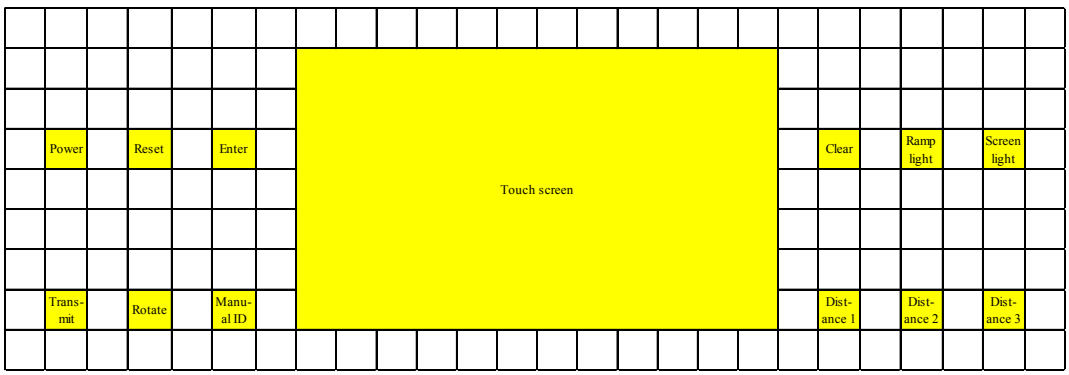
대표 설계 대안은 그림 12와 같이 군집별로 총 5개가 선정되었다. 군집을 대표하는 대안은 같은 군집에 속하는 layout중에서 가장 점수가 높은 대안으로 선정되었다. 선정된 대표 설계들은 모두 조종전시판이 중앙에 배정되었고, 조종전시판을 중심으로 좌/우에 각각 여섯 개의 버튼이 나란히 배치되었다. 전원버튼과 초기화 버튼은 조종전시판 좌측에 배치되었으며, 거리 스위치는 조종전시판 우측에 배치되었다. 또한, 유사한 기능을 가지는 램프밝기 스위치와 화면밝기 스위치, 회전 스위치와 준비송신 스위치는 모든 layout에서 서로 인접 배치되었다.



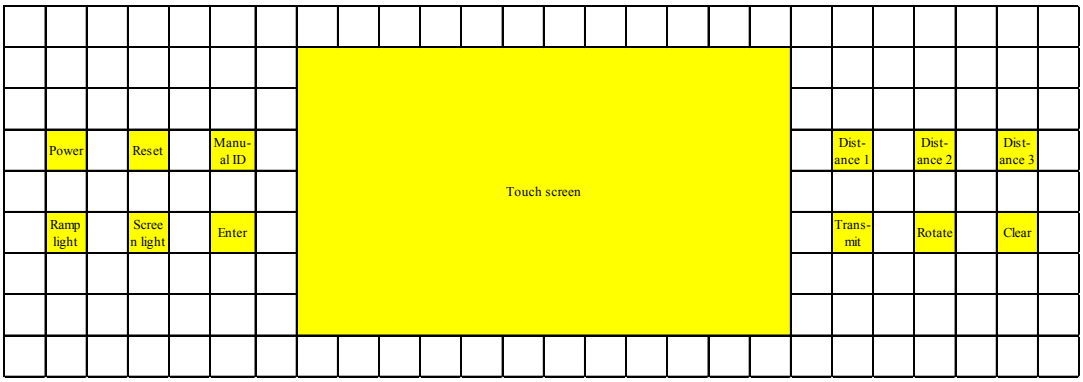
(a) Bottom align A (overall score = 90; sequence of use: 100, functional grouping: 88, visibility:82, reach: 90)



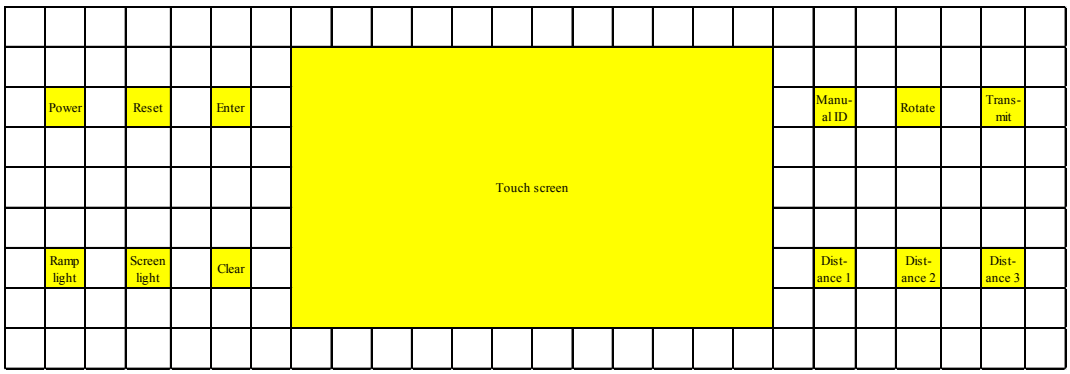
(b) Bottom align B (overall score = 88; sequence of use: 100, functional grouping: 80, visibility:82, reach: 90)



(c) Bottom align C (overall score = 87; sequence of use: 100, functional grouping: 78, visibility:82, reach: 90)



(d) Middle align A (overall score = 90; sequence of use: 100, functional grouping: 88, visibility:82, reach: 90)



(e) Middle align B (overall score = 87; sequence of use: 100, functional grouping: 78, visibility:82, reach: 90)

그림 12. K-means clustering 기법을 통해 선택된 대표 설계 대안

5. 토의

본 연구는 layout design criteria(중요도, 빈도, 조작순서, 기능적 집단화)와 ergonomic design criteria(시계성, 도달성)을 체계적으로 반영하여 console layout 설계안을 도출하는 console layout optimizer를 개발하였다. 본 연구는 console layout 설계와 관련된 문헌 조사를 통해 layout design criteria와 ergonomic design criteria를 파악하였고, console layout 설계의 목적함수로 반영되는 4개의 design criteria(시계성, 도달성, 조작순서, 기능적 집단화)에 대한 정량화 방법을 제안하였다. 시계성과 도달성은 console 운용 자세를 기반으로 제어장치와 표시장치의 배치 위치에 대한 시계 편의성 및 도달 편의성으로 정량화된다. 조작순서는 운용 작업의 순서에 부합하도록 제어장치가 위에서 아래로, 왼쪽에서 오른쪽으로 배치된 비율로 정량화된다. 기능적 집단화는 여러 임무에서 공통적으로 사용되는 제어장치와 표시장치가 근접하여 배치된 비율로 정량화된다. 개발된 console layout optimizer는 design criteria에 대한 정량화를 기반으로 최적화 기법을 통해 console layout 설계 대안을 도출할 수 있다.

개발된 console layout optimizer는 설계 특성 및 요구 사항을 충족하는 다수(예: 3개~ 6개)의 설계 대안을 제시한다. Console layout optimizer는 다수의 설계 대안을 제시함으로써 다양한 위치 중 설계자의 선호에 가장 부합하는 설계 대안을 선택할 수 있다. 기존의 console layout 설계와 관련된 연구들은 1개의 설계 대안만을 제시하기 때문에 실제로 console을 설계하는 경우

설계자의 선호와 부합하지 않은 설계 대안이 도출될 가능성이 있다. 또한, 기계적인 이유로 인해 설계 시 배치 위치를 변경해야 하는 상황이 발생하게 되면 설계자는 변경된 설계안을 검증하기 어렵다. 본 연구는 설계자의 선호와 실제 설계를 고려하여 여러 대안 중 최선의 설계 대안을 선택할 수 있도록 console layout optimizer를 개발하였다.

개발된 console layout optimizer는 설계 특성 및 제약 조건을 user interface를 통해 간편하게 입력할 수 있도록 되어 있어 다양한 console 설계에 범용적으로 적용될 수 있다. Console layout optimizer는 설계 대상 console의 정보를 console, panel, 제어장치 및 표시장치, 작업 정보, 제약 조건으로 구분하여 순차적으로 입력하도록 구성되어 있다. Console의 설계 정보를 순차적으로 입력함으로써 설계자가 체계적으로 console의 특성을 입력할 수 있고, 다양한 console의 특성을 적용할 수 있도록 구성되어 범용적으로 적용 가능하다.

개발된 console layout optimizer는 2가지 측면의 한계점을 가지고 있다. 첫째, console layout 설계 시 panel 내의 제어장치 및 표시장치의 작업 순서 뿐만 아니라 다른 panel 내의 제어장치 및 표시장치와 연동된 작업 순서도 함께 고려되어야 한다. 예를 들면, console layout 설계 시 유사한 기능 집단으로 구분될 수 있는 조작장치와 제어장치를 다른 panel에 배치하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 단일 panel에 대해 따로 배치를 수행하는 경우 제어장치와 표시장치의 배치 순서가 달라져 운용자가 혼동을 느낄 수 있다.

따라서 console layout 설계 시 panel들 사이에 연관성이 있는 경우를 고려하여 설계해야 한다. 둘째, 설계 목적함수로 사용되는 design criteria들은 console의 운용 특성에 따라 목적함수의 반영 비율이 변경될 수 있어야 한다. 본 연구의 console layout optimizer는 design criteria들에 대해 동일한 비율을 적용하여 최적의 설계 대안을 탐색한다. 하지만 console의 운용 특성 중 일부만 중요한 경우 반영 비율을 변경할 수 있어야 한다. 예를 들면, 작업 시 하나의 제어장치만을 사용하는 console은 조작순서가 불필요하므로 조작순서의 반영 비율을 낮추고 다른 design criteria의 비율을 높여야 하기 때문에 design criteria의 반영 비율을 조절하는 기능이 필요하다.

Console layout optimizer는 적용성을 제고하기 위해 2가지 측면의 후속연구가 필요하다. 첫째, 사용자 상호작용을 통해 보다 진화된 최적해를 찾을 수 있는 interactive search 기능의 개발이 요구된다. Console 설계 대안이 도출된 이후 설계자의 요청에 의해 layout을 변경해야 할 수 있다. 기존 console 설계에서는 설계 대안이 도출된 후 변경이 필요한 경우 설계자가 임의로 설계 대안을 변경하게 되는데, 변경된 설계안에 대한 검증이 필요하다. Console layout optimizer는 설계자가 설계 대안을 변경하는 경우, 변경된 설계 대안에 대한 검증이 이루어지도록 설계 점수를 도출하는 등 interactive search 기능에 대한 개발이 이루어져야 한다. 둘째, 본 연구의 console layout optimizer는 physical user interface의 layout 설계에만 적용될 수 있어 software user interface에 적용될 수 있도록 확장하는 후속 연구가 필요하다. Physical user interface의 layout는

제어장치 및 표시장치가 서로 겹치지 않고 정해진 panel 내에서 모두 배치 가능하도록 설계가 이루어져야 한다. 하지만 software user interface에서 제어장치와 표시장치가 배치된 이후 화면에서 사라지거나 이동할 수 있는 기능이 추가되기 때문에, 이를 고려한 설계가 이루어져야 한다. Software user interface는 그림 13과 같이 다양한 기능이 한 화면에 제공되기 때문에 여러 제어장치와 표시장치가 겹쳐서 제공되고, 화면 별 layout에 대한 설계가 이루어져야 한다.

그림 13. Software user interface의 menu 변경 예시

6. 결론

본 연구는 layout design criteria와 ergonomic design criteria를 종합적으로 적용한 console layout 최적화 시스템(이하, console layout optimizer)을 개발하였다. 첫째, 본 연구는 최적 console layout 설계를 위해 시계성, 도달성, 조작 순서, 기능적 집단화, 중요도, 사용 빈도의 6가지 design criteria를 선정하였다. 선정된 6가지 design criteria에 대한 정량화 방법과 함께 최적 console layout 설계안을 도출하기 위한 설계 적용 방법을 개발하였다. 둘째, 본 연구는 branch & bound 기법을 응용하여 설계 대안을 탐색하는 priority-based branch & bound 기법을 개발하였다. Priority-based branch & bound 기법은 branch & bound 기법을 기반으로 제어장치와 표시장치의 배치 후 설계 가능성을 검토하여 효율적으로 해를 탐색한다. 셋째, 본 연구는 입력된 설계 변수를 기반으로 priority-based B&B 기법을 통해 대표 설계 대안을 도출하는 최적화 시스템을 개발하였다. 최적화 시스템을 통해 방공레이더 console에 대한 5가지 대표 설계 대안을 도출하였고, 도출된 대표 설계는 기존 console layout에 비해 기능적 집단화 점수가 높은 것으로 파악되었다. 마지막으로, 본 연구의 console layout optimizer는 radar console 설계 정보를 기반으로 설계 제약조건, 설계 요구조건 등을 적용하였기 때문에 radar console 설계에 기초자료로써 활용 가능하다.

참고 문헌

Reference

1. Hani, Y., Amodeo, L., Yalaoui, F., and Chen, H. (2007). Ant colony optimization for solving an industrial layout problem, *European Journal of Operational Research*, 183(*2*), pp. 633-642.
2. Holman, G.T., Carnahan, B.J., and Bulfin, R.L. (2003). Using linear programming to optimize control panel design from an Ergonomics perspective, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting*, USA, pp. 1317-1321.
3. Jung, E. S., Park, S., and Chang, S. Y. (1995). A CSP technique-based interactive control panel layout, *Ergonomics*, 38(*9*), pp. 1884-1893.
4. MacQueen, J. B. (1967). Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability 1*. University of California Press. pp. 281–297. Retrieved 2009-04-07.
5. Pham, D.T. and Onder, H.H. (1992). A knowledge-based system for optimizing workplace layouts using a genetic algorithm, *Ergonomics*, 35(*12*), pp. 1479-1487.
6. Rardin, R. L. (1998). *Optimization in Operations Research*. Prentice Hill.
7. Sanders, M. S., and McCormick, E. J. (1992). *Human Factors in Engineering and Design* (7th ed.). New York: McGraw-Hill.
8. Sargent, T. A., Kay, M. G., and Sargent, R. G. (1997). A methodology for optimally designing console panels for use by a single operator, *Human Factors*, 39(*3*), pp. 389-309.
9. Udosen, U.J. (2006). Ergonomic workplace construction, evaluation and improvement by CADWORK, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(*3*), pp. 219-228.
10. U.S. Department of Defense Design Criteria Standard (2012). *MIL-STD-1472G* (Publication No.). Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Console.
11. Wang, M.J. Liu, C.M. and Pan, Y.S. (1991). Computer-aided panel layout using a multi-criteria heuristic algorithm, *Ergonomics*, 29(*6*), pp. 1215-1233.
12. Xu, Y.,Meng, Q., Yu, K., and Xu, Z. (2010). A Layout Method for Control Panel of Thermal Power Plant, *Key Engineering Materials*, 419-420, pp. 657-660.

13. Xu, Y., Meng, Q., and Yang, Z. (2010). Particle swarm algorithm applied in the layout optimization for console, *Advanced Computer Control, International Conference on*, 5, pp. 541-544.
14. Xu, Y., Yang, Z., and Meng, Q. (2011). Particle Swarm Optimization Method for Panel Layout, *Key Engineering Materials*, 450, pp. 308-311.