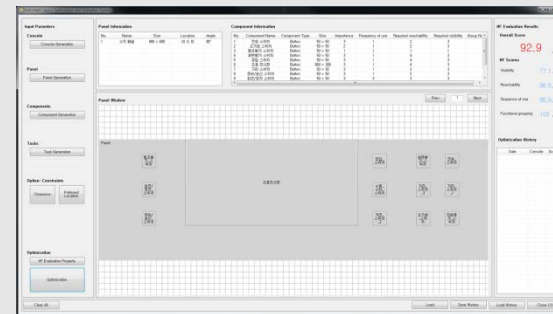
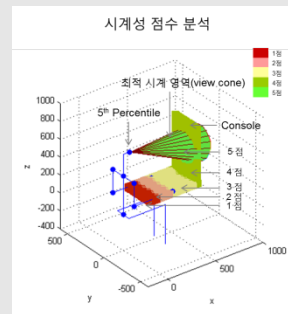


# 인간공학적 설계 특성 기반의 최적 Console layout 설계 시스템 개발



유택호<sup>1</sup>, 정기효<sup>2</sup>, 김재정<sup>1</sup>, 이원섭<sup>1</sup>, 이백희<sup>1</sup>, 노웅석<sup>3</sup>, 유희천<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 포항공과대학교 산업경영공학과

<sup>2</sup> 울산대학교 산업공학부

<sup>3</sup> LIGNex1 ILS연구팀

---

# AGENDA

---

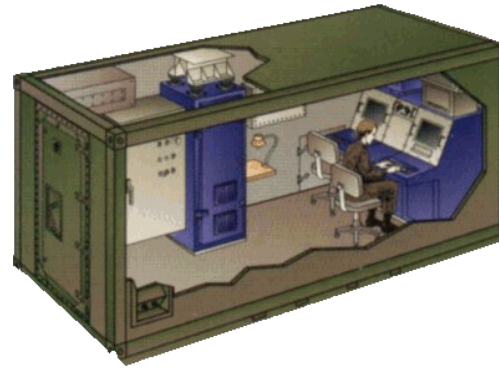
- 연구 배경 및 목적
- 연구 내용
  - ✓ 인간공학적 설계 특성 분석
  - ✓ 인간공학적 설계 특성 반영 방법
  - ✓ Console layout 설계 system protocol 제안
- 토의 및 추후 연구

# 탐지 Radar Console

- 군의 이동식 레이더 차량(예: TPS-830K, Arthur)의 shelter 내에 탑재된 탐지 레이더 console
- 다양한 임무 수행을 위해 interface가 복잡하게 설계되어 있음



이동식 레이더 차량 (Arthur)



레이더 차량 shelter



탐지 레이더 console

⇒ 효율적인 탐지 임무 수행을 위해 조작부의 인간공학적 최적 배치 필요

# 기존 Console Layout 설계 방법

- 시계성, 도달성 기반의 console layout 설계를 위해 component를 group화 및 배치(Tiffany et al., 1997)
  - ✓ Group화 된 component의 특성에 따라 시계성, 도달성 group으로 분류 및 중요도 선정
  - ✓ Console 운용 작업의 중요도에 따른 배치 우선순위를 고려해야 함
  
- 핵 발전소 control room 내부의 console 설계(Xu et al., 2010)
  - ✓ 3가지 작업 환경에서 작업 순서, 사용 빈도를 기반으로 component의 배치 우선 순위 결정
  - ✓ 핵 발전소 console은 설계 시 component의 배치 위치는 신속성과 안전성을 위해 운용자가 쉽게 도달할 수 있도록 설계되어야 함
    - ⇒ 운용자에게 중요한 정보(도달성)을 고려하지 않고 console layout 설계

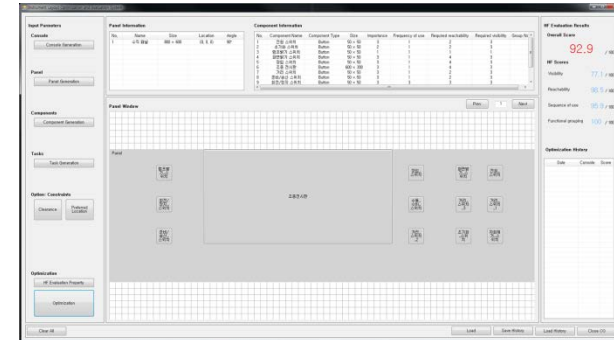
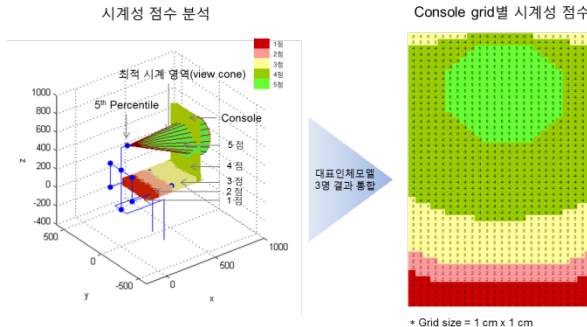
⇒ 효율적인 운용이 이루어질 수 있도록 인간공학적 설계 특성이 체계적으로 반영된 console layout 설계 필요

## 인간공학적인 Console Layout 설계를 위한 Console 설계 지원 시스템 개발

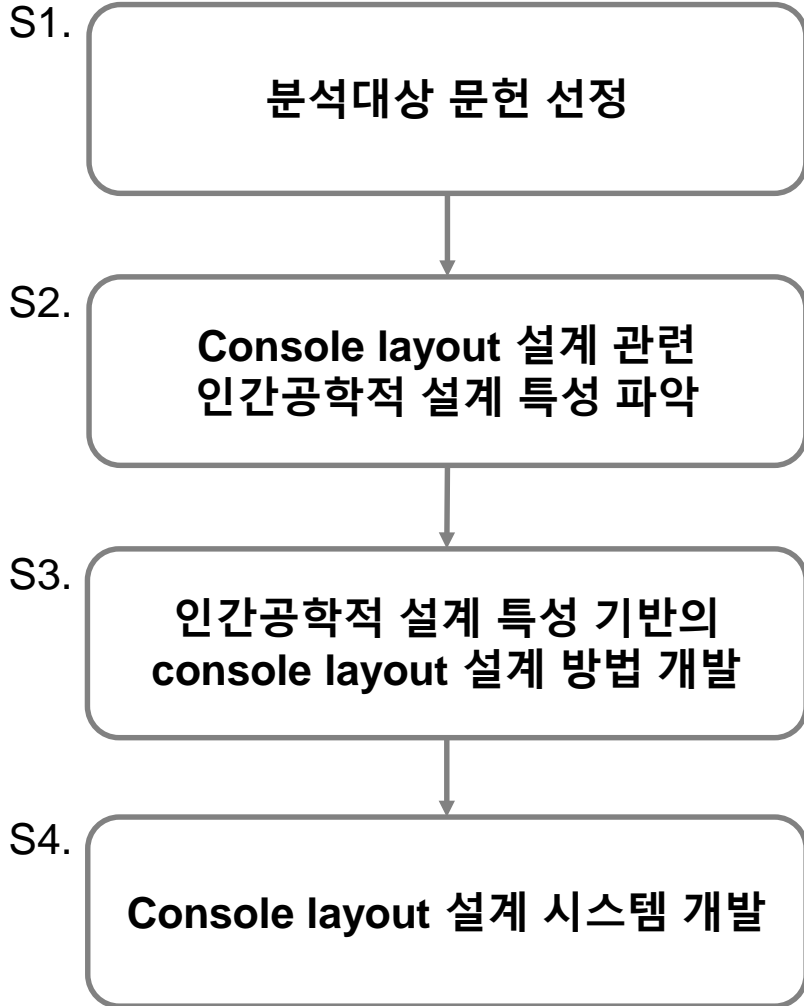
1. 문헌 조사를 통한 인간공학적 console layout 설계 특성 파악
2. 설계 특성 기반의 console layout 설계 방법 개발
3. Console layout 설계 시스템 개발 적용

No.	Author	Year	Title	Ergonomic Design Principle					Functional group
				Visibility	Reachability	Sequence of Use	Importance	Frequency	
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 Buffino, R.L.	2003	Using linear programming to optimize control panel design from an ergonomics perspective	O	-	O	-	O	O
5	Abdel, M., Wei, Y., Jingzhou, Y., and Kyle, N.	2004	A mathematical design placement	-	-	-	-	-	-
6	Udosen, U.J.	2006	Ergonomic work evaluation and	-	-	O	-	O	O
7	Hani, Y., Amodeo, L., Yalaoui, F., and Chen, H.	2007	Ant colony optimization for industrial layout problem	-	-	O	-	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	O	-
10	Xu, Y., Yang, Z., and Meng, Q.	2011	Particle swarm optimization method for panel layout	-	-	O	O	O	-

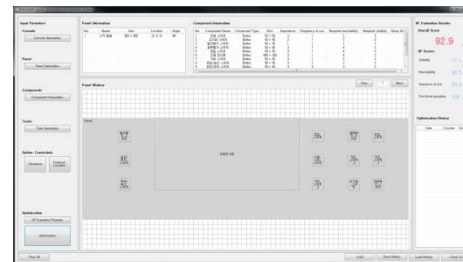
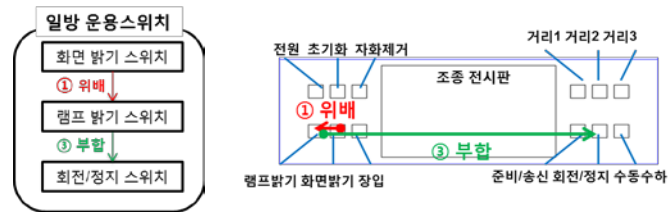
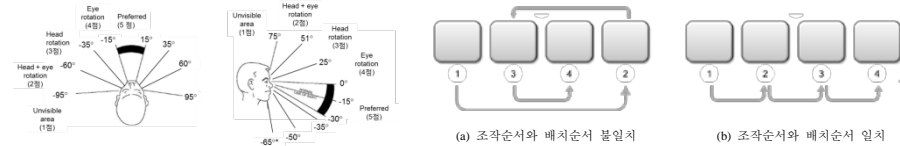
인간공학적 설계 특성 도출



# 연구 방법



No.	Author	Year	Title	Ergonomic Design Principle					
				Visibility	Reachability	Sequence Use	Importance	Frequency	Functional group
1	Wang, M.J., Liu, T.M., and Fan, Y.S.	1991	Computer aided panel layout using a multi-criteria heuristic algorithm.	-	-	0	0	0	-
2	Jung, E. S., Park, S., and Chung, S. Y.	1995	A CSP technique-based interactive control panel layout	0	0	0	0	0	0
3	Jarvonen, T. A., and Ko, M. G.	1997	A methodology for optimally designing control panels for use by multiple operators	0	0	-	0	-	0
4	Edman, G.L., Simpson, S.L., and Huff, R.A.	2003	Using linear programming to optimize control panel design from an ergonomics perspective	0	0	0	-	0	0
5	Wang, M., Fan, Y., Ingoussis, Y., and Kikuchi, Y.	2004	A mathematical method for ergonomic-based design placement	0	0	-	-	-	-
6	Johnson, U.L.	2006	Ergonomic workplace construction, evaluation and improvement by CALWORKS	-	0	0	-	-	0
7	Kim, Y., Anandakumar, Y., Zhou, F., and Chen, H.	2007	An colony optimization for solving an industrial layout problem	-	-	-	-	-	0
8	Kim, Y., Meng, Q., Yu, K., and Yu, Z.	2010	A layout method for control panel of thermal power plant	-	-	0	0	0	-
9	Kim, Y., Meng, Q., and Yang, Z.	2010	Particle swarm algorithm applied in the layout optimization for console	-	-	0	0	0	-
10	Kim, Y., Yang, Z., and Meng, Q.	2011	Particle swarm optimization method for panel layout	-	-	0	0	0	-





# S1. 문헌 조사 방법 및 Review 문헌

- ❑ Console layout 설계와 연관성이 있는 학술문헌 10편 선정
  - ✓ 문헌 검색 사이트: Science Direct, Google, IEEE, Taylor & Francis Online
  - ✓ 검색 keyword: console, layout, optimization, panel

No.	Title	Author	Year	설계 방법
1	Computer-aided panel layout using a multi-criteria heuristic algorithm	Wang et al.	1991	Multi-criteria heuristic algorithm
2	A CSP technique-based interactive control panel layout	Jung et al.	1995	CSP
3	A methodology for optimally designing console panels for use by a single operator	Sargent et al.	1997	CRAFT(using software)
4	Using linear programming to optimize control panel design from an ergonomics perspective	Holman et al.	2003	Linear programming
5	A mathematical method for ergonomic-based design: placement	Abdel et al.	2004	Linear programming
6	Ergonomic workplace construction, evaluation and improvement by CADWORK	Udosen	2006	Manual(interactive approach)
7	Ant colony optimization for solving an industrial layout problem	Hani et al.	2007	Ant colony optimization
8	A layout method for control panel of thermal power plant	Xu et al.	2010	Genetic algorithm
9	Particle swarm algorithm applied in the layout optimization for console	Xu et al.	2010	Particle swarm optimization
10	Particle swarm optimization method for panel layout	Xu et al.	2011	Particle swarm optimization

## S2. 인간공학적 설계 특성 파악 방법

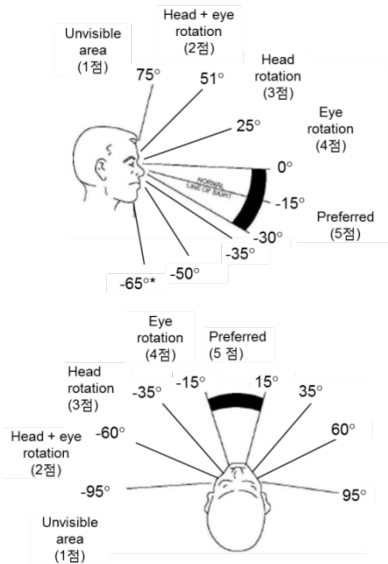
- 문헌 조사를 통해 console layout 설계에 관한 6가지 인간공학적 설계 특성 도출
  - ✓ 시계성(visibility)
  - ✓ 도달성(reachability)
  - ✓ 작업 순서(sequence of use)
  - ✓ 기능 집단(functional group)
  - ✓ 중요도(importance)
  - ✓ 빈도(frequency)
  
- 기존 관련 연구를 참조하여 인간공학적 설계 특성별 적정 설계 기준 선정  
(예: 적정 시야 각도, 적정 도달 범위)



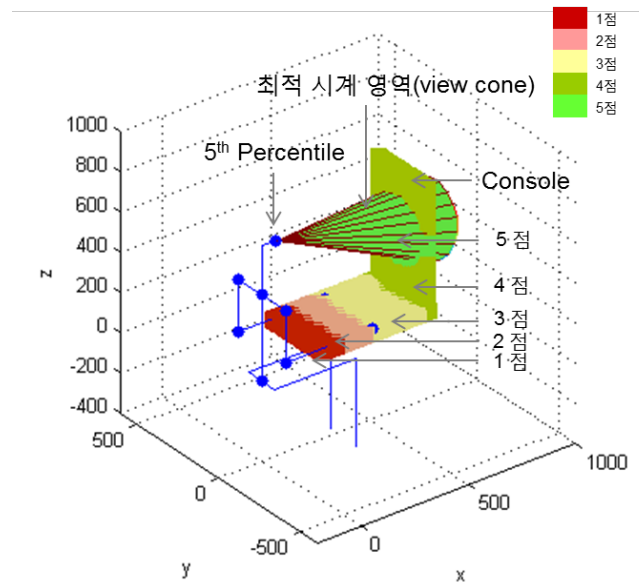
# 인간공학적 설계 특성 (1/5)

## 1. 시계성(Visibility)

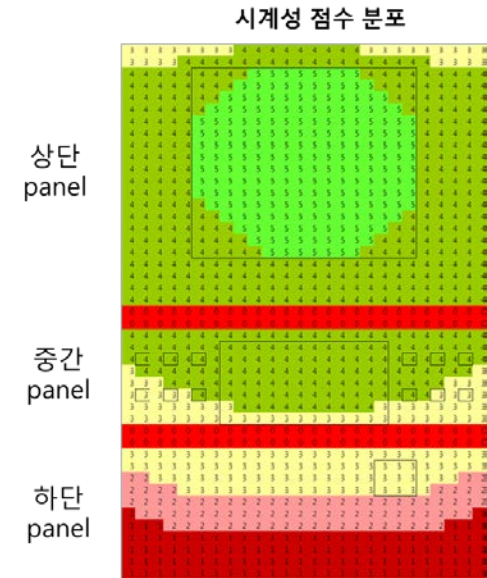
- ✓ 운용자가 눈으로 component를 확인하기 쉬운 정도
- ✓ 기본 자세에서 눈 및 고개가 움직이는 정도에 따라 시계성이 변화
- ✓ 본 연구는 신체 크기에 따른 인체 모델(5%ile, 50%ile, 95%ile)을 생성해 console의 영역 별 시계성을 simulation



시계성 평가 척도



인체모델 기반의 console 영역별 시계성 점수 생성 방법

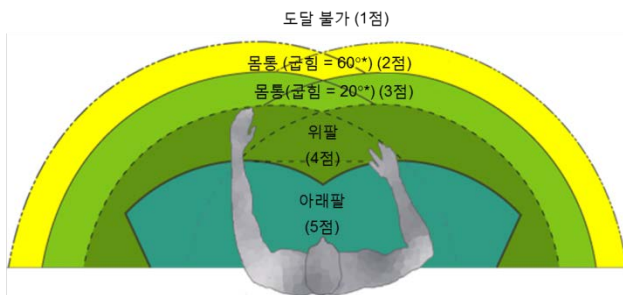


Console 영역별 시계성 점수 예

# 인간공학적 설계 특성 (2/5)

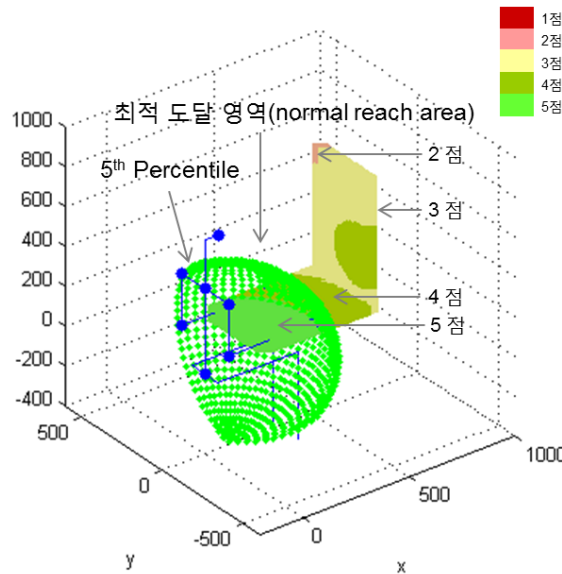
## 2. 도달성(Reachability)

- ✓ 운용자가 component들을 조작할 수 있도록 **신체가 도달하기 용이한 정도**
- ✓ 기본 자세에서 아래팔, 위팔, 몸통이 움직이는 정도에 따라 도달성이 변화
- ✓ 본 연구는 신체 크기에 따른 인체 모델(5%ile, 50%ile, 95%ile)을 생성해 오른손과 왼손의 사용에 따른 console의 영역별 도달 정도를 simulation

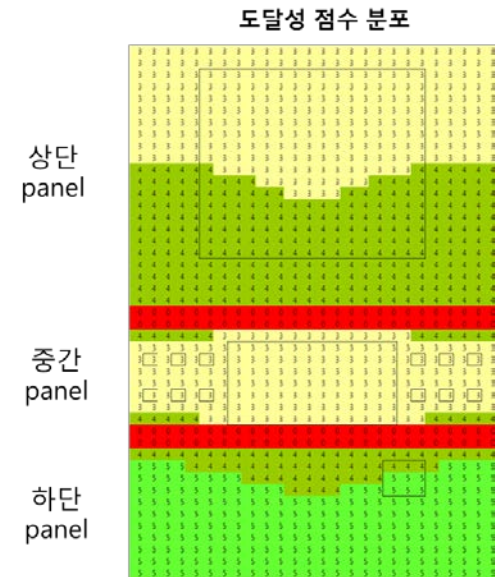


\* RULA (McAtamney and Corlett, 1993)의 몸통 굽힘 평가 기준 적용

도달성 평가 척도



인체모델 기반의 console 영역별 오른손 도달성 점수 생성 방법

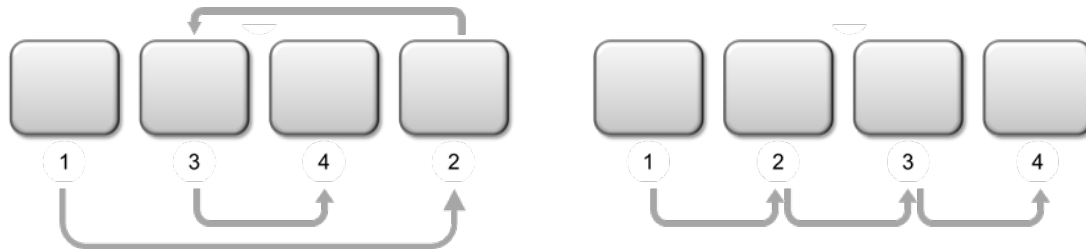


Console 영역별 도달성 점수 예

# 인간공학적 설계 특성 (3/5)

## 3. 사용 순서(Sequence of use)

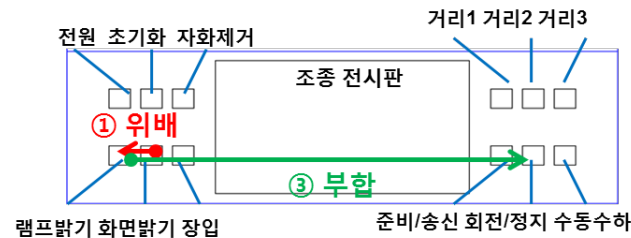
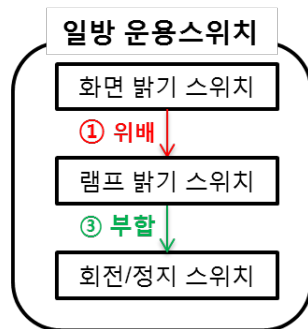
- ✓ Component를 연속으로 조작해야 하는 경우 component를 **사용 순서에 맞도록 자연스럽게 배치**하는 정도
- ✓ 조작순서와 배치순서가 일치하는 경우 사용 순서가 높게 평가됨
- ✓ 조작순서가 위에서 아래, 왼쪽에서 오른쪽으로 배치되는 경우 사용 순서가 높게 평가됨



(a) 조작순서와 배치순서 불일치

(b) 조작순서와 배치순서 일치

배치 순서에 따른 사용 순서

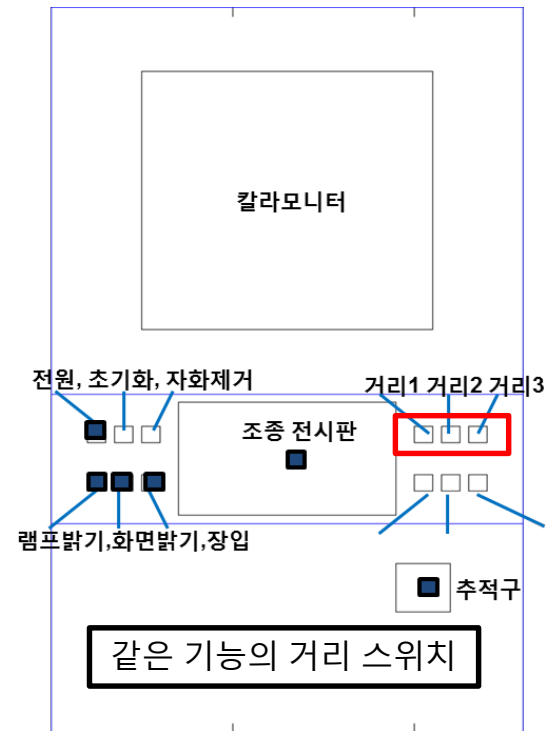
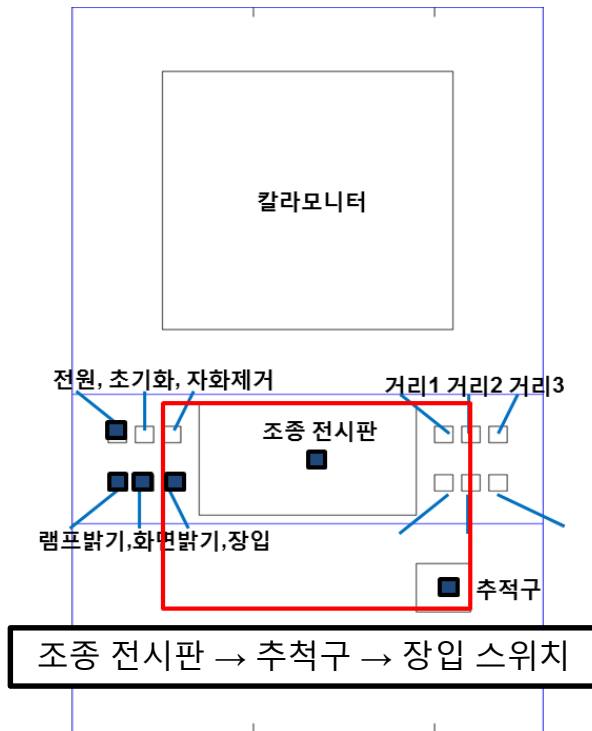


스위치 사용 순서와 조작 방향

# 인간공학적 설계 특성 (4/5)

## 4. 기능 집단(Functional group)

- ✓ 기능적으로 유사한 component들이 **근접하여 배치**되는 정도
- ✓ 여러 작업을 함께 수행하는 component들은 근접하여 배치
- ✓ 같은 작업을 수행하지 않지만 같은 기능을 가지고 있는 component들은 근접하여 배치



# 인간공학적 설계 특성 (5/5)

## 5. 중요도(Importance)

- ✓ 운용에 있어 중요한 component가 운용자가 조작하기 편하도록 배치되는 정도
- ✓ 중요도가 높게 평가된 component는 조작 및 시인이 용이한 위치에 배치

## 6. 빈도(Frequency)

- ✓ 운용에 자주 사용되는 component가 운용자가 조작하기 편하도록 배치되는 정도
- ✓ 빈도가 높게 평가된 component는 조작이 용이한 위치에 배치



중요도가 높은 운전 계기판의 배치



사용 빈도가 높은 방향 지시등의 배치



# S3. Console Layout 설계 방법 개발

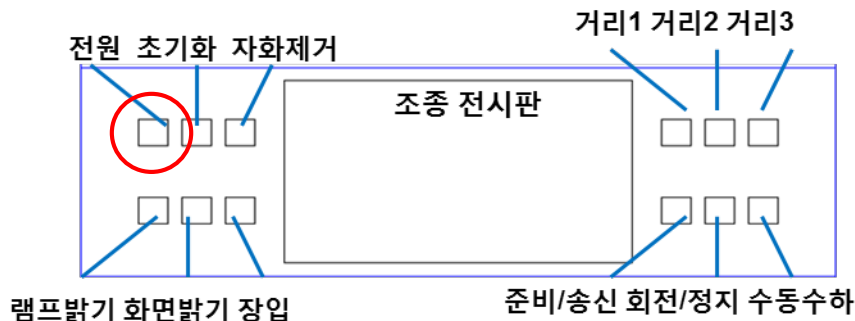
- ❑ 6개 인간공학적 설계 특성을 이용하여 다양한 layout을 평가하며 최적 console layout 탐색
- ❑ 인간공학적 설계 특성별 평가 항목 선정

평가 항목		Component 평가	Panel 평가	인간공학적 설계 특성 평가
내용		Component가 panel에 배치되기 위한 설계 특성 평가 및 정량화	Panel의 위치와 각도에 따른 설계 특성 평가 및 정량화	Console layout의 설계 후 배치된 component가 인간공학적 설계 특성을 만족시키는 정도를 평가
인간공학적 설계 특성	시계성	○	○	○
	도달성	○	○	○
	사용 순서	-	-	○
	기능 집단	○	-	-
	중요도	○	-	-
	빈도	-	-	○



# Component 평가 방법

## Component가 panel에 배치되기 위한 인간공학적 설계 특성 평가 및 정량화



### 전원 스위치

- ✓ 특성: console 운용 시작 시 사용 후 사용하지 않음
- ✓ 평가 점수
  - 시계성: 3.8, 도달성: 3.4, 중요도: 4.3, 빈도: 2.3

## Component 평가 점수는 console 운용자를 대상으로 한 설문조사를 통해 파악될 수 있음

**방공레이더 콘솔의 인간공학적 설계를 위한 설문 조사**

안녕하십니까.

본 설문은 현재 운용중인 TFS-850K에 대한 설문조사로서 조사결과는 자기국방통제레이더(이하, 자국방) 콘솔의 인간공학적 설계시 기초자료로 활용될 예정입니다. 설문 예상 소요시간은 1시간입니다.

본 설문은 과 물론 부로 제시된 사항의 여하 빈도, 중요도, 그리고 연관 정도를 6점(0점: 전혀 없음, 1점: 낮음, 2점: 조금 낮음, 3점: 보통, 4점: 조금 높음, 5점: 높음)으로 평가하시길 바랍니다. 예를 들어, 빈도는 5점(보통)을 기준으로 빈도가 낮을수록 낮은 점수(1점과 2점), 높을수록 높은 점수(4점과 5점)를 부여하면 됩니다. 한편, 빈도, 중요도, 연관 정도가 해당사항이 없을 경우에는 0점을 주시면 됩니다.

본 설문은 포항공과대학교 산업경영공학과 인간공학 설계기술 연구실(연구책임 유희진 교수, 054-279-2210)의 "자국방 레이더 및 조타기의 인간공학적 최적 Layout 설계 방법 개발" 연구의 일환으로 진행되고 있습니다. 본 설문에서 얻어지는 귀하의 응답은 보다 편리하고 좋은 레이더레이더의 콘솔 개발에 유용하게 활용될 것입니다.

본 설문과 관련하여 문의 사항이 있으시면 설문조사 총괄담당자(울산대학교 정기호 교수, 052-289-2709)에게 언제든지 연락 주시기 바랍니다.

2012년 5월.

포항공과대학교 산업경영공학과 인간공학 설계기술 연구실.

**I. 신상 정보**

1. 귀하의 성별을 선택(○)하여 주시고, 생년월을 기입하여 주십시오.

a. 성별  남  여

b. 생년월 \_\_\_\_\_년 \_\_\_\_\_월

2. 귀하의 계급을 기입하여 주십시오.

\_\_\_\_\_년

3. 귀하의 합치레이더 운용 경력(예: 10년)을 기입하여 주십시오.

\_\_\_\_\_년

**II. 방공레이더 운용작업의 중요도와 빈도**

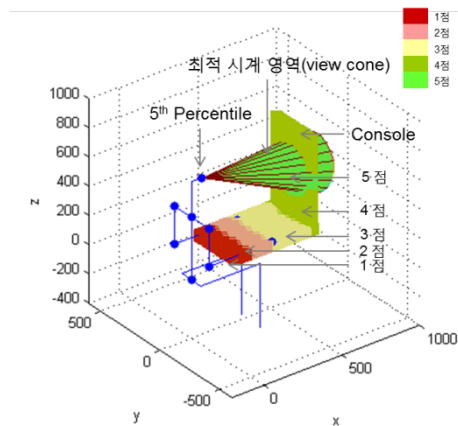
이래의 운용작업이 합치업무 수행에 있어 얼마나 중요하거나 레이다 운용시 해당 작업이 얼마나 높은 빈도로 발생하는지를 1점 ~ 5점으로 평가하십시오. 해당사항이 없는 경우에는 0점으로 평가하시면 됩니다.

구분	작업 항목	중요도	빈도	
준비 작업	경계:	우상부의 위치 탐색	○	○
		레이더 편차와 보상	○	○
		편차기 유지로 결정	○	○
		송신준비 중 결정	○	○
		고장확인	○	○
		정중중지	○	○
	작동준비	송신준비 설정	○	○
		레이더표준 결정과 스위치 열쇠 열쇠	○	○
		레이더표준 결정과 스위치 열쇠 열쇠	○	○
	규장비 철락운도	운도조절	○	○
조절		○	○	
주요장치 조종	인체나 조종	○	○	
	송신 조종	○	○	
	장비 초기화	○	○	
	편차기의 조종	○	○	
	거리원 조종	○	○	
전시화면	표적전시 조종	○	○	
	방공전시 조종	○	○	

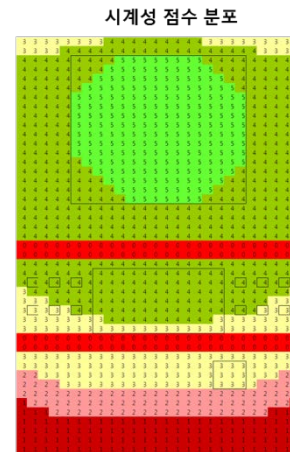
# Panel 평가 방법

- Panel의 위치와 각도에 따른 인간공학적 설계 특성 평가 및 정량화
- 신체 크기에 따른 인체 모델(5%ile, 50%ile, 95%ile)을 생성해 눈과 손의 움직임을 기반으로 panel의 시계성, 도달성 점수 설정 가능

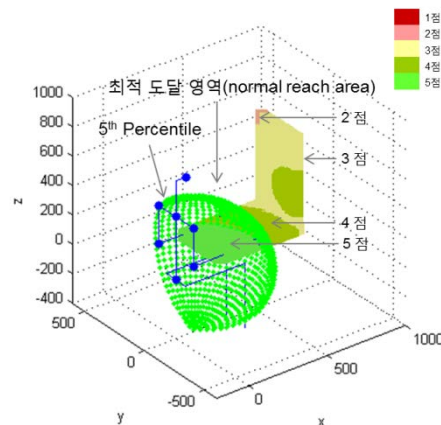
시계성



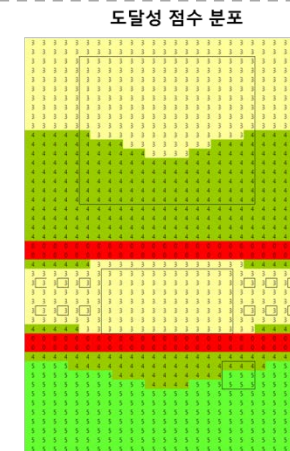
대표인체모델  
3명 결과 통합



도달성



대표인체모델  
3명 결과 통합



# 인간공학적 설계 특성 평가 방법

## 시계성 평가 방법

$$VI = 20 \times \sum_{j=1}^N (Vw_j \times Vp_j)$$

where :  $N$  = number of components

$Vp_j$  = visibility score of panel grids where component  $j$  is placed

$Vw_j$  = visibility weight of component  $j$

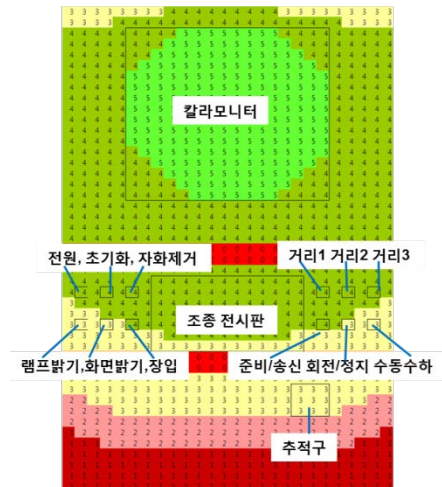
## 도달성 평가 방법

$$RE = 20 \times \sum_{j=1}^N (Rw_j \times Rp_j)$$

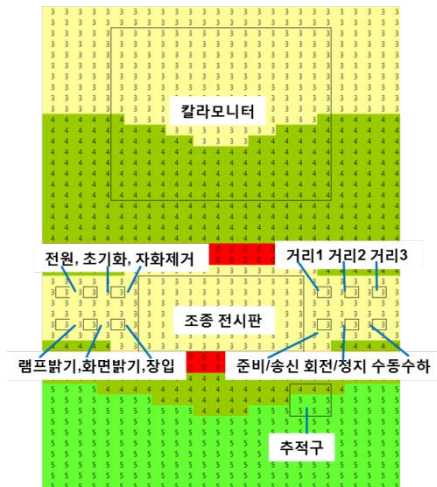
where :  $N$  = number of components

$Rp_j$  = reachability score of panel grids where component  $j$  is placed

$Rw_j$  = reachability weight of component  $j$



시계성 panel에 배치된 component



도달성 panel에 배치된 component

## 전원 스위치

✓ 평가 점수

시계성: 3.8, 도달성: 3.4

✓ 배치된 위치의 panel 점수

시계성: 4, 도달성: 3.4

✓  $VI = 3.8 \times 4 = 14.2$

✓  $RE = 3.4 \times 3.4 = 11.56$

# 인간공학적 설계 특성 평가 방법

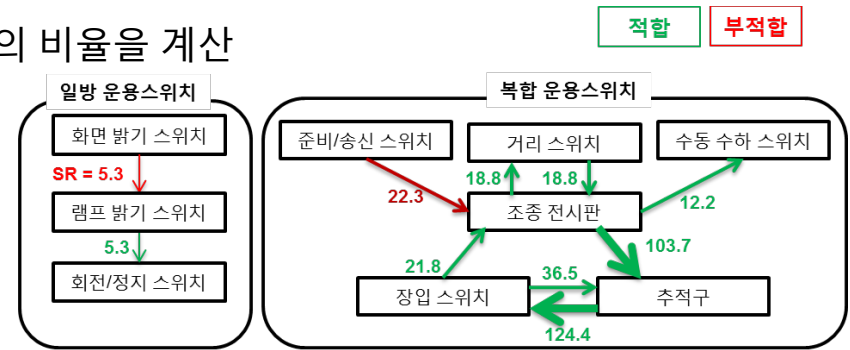
## □ 사용 순서 평가 방법

- ✓ 운용 작업의 중요도와 빈도를 곱해 사용 순서 점수 생성
- ✓ 전체 점수 중 조작 방향이 순서에 적합한 점수의 비율을 계산

$$SU = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^M (SR_{jk} \times y_{jk})}{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^M SR_{jk}} \times 100$$

where:  $M$  = number of components

$$y_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{if component } k \text{ is on the right or under side of the component } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



## □ 기능 집단 평가 방법

- ✓ 기능 집단으로 분류된 component의 배치 영역 생성
- ✓ 전체 배치 영역 중 기능 집단으로 분류된 component의 배치 영역 비율 계산

$$FG = \sum_{i=1}^N \left\{ w_i \left( 1 - \frac{A_i - RA_i}{EA - RA_i} \right) \right\} \times 100$$

where:  $N$  = number of functional groups

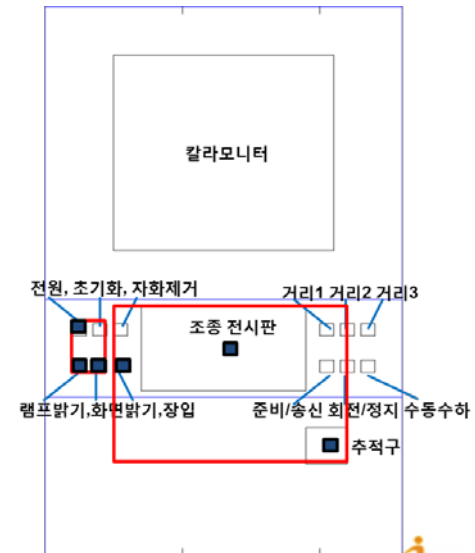
$w_i$  = weight of group  $i$

$A_i$  = area covering all components in group  $i$

$RA_i$  = reference area when components in group  $i$  are perfectly grouped

$EA$  = effective total area covering all components

$$SU = \text{조작 순서에 적합한 SR의 합} \div \text{모든 SR의 합} \times 100 \\ = 341.4 \div 369.1 \times 100 = 92.5$$

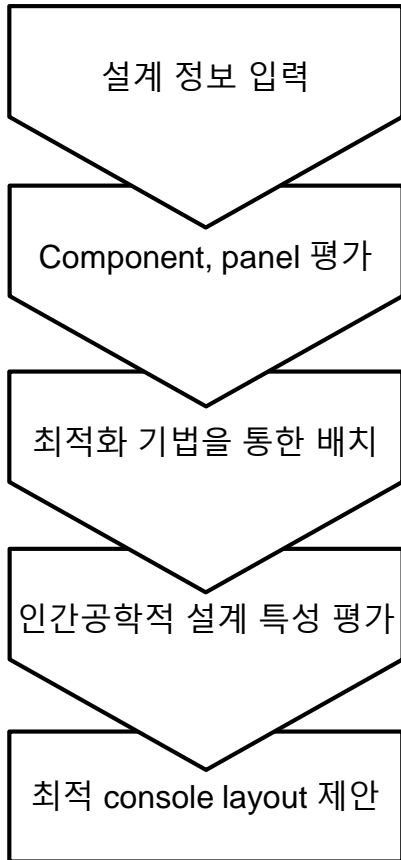


# S4. Console Layout 설계 System 구현

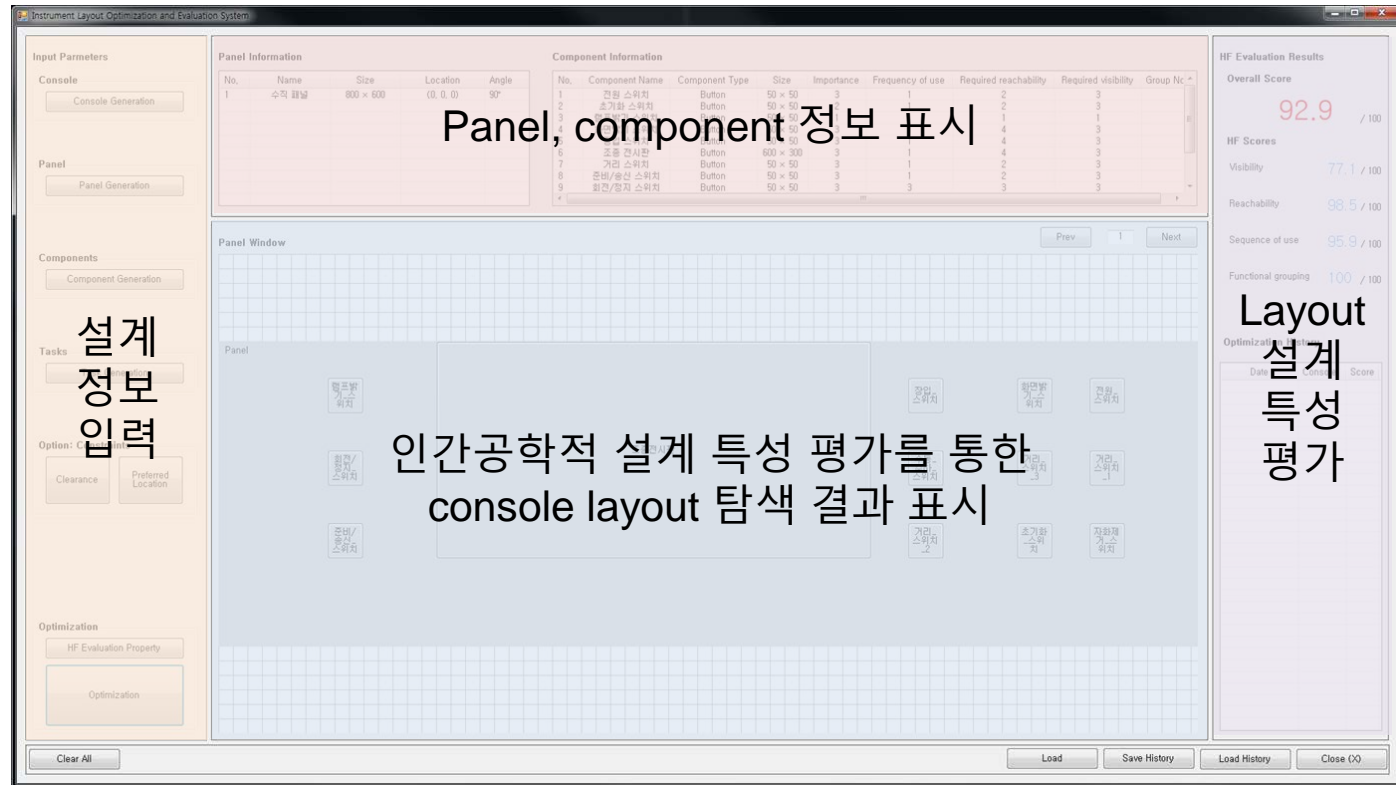
- 시스템 개발 목적
  - ✓ 효율적인 console 운용을 위한 최적 layout 설계
  - ✓ 인간공학적 설계 특성 기반 console layout 설계 방법을 system으로 구현
  - ✓ 최적화 기법을 이용한 다양한 console layout 설계 제안
  - ✓ Console layout 설계의 정량적 비교 분석을 통해 개선안 제안
  
- C#과 Matlab을 이용하여 console layout 설계 system 구현
  
- 시스템 활용 방안
  - ✓ 탐지레이더 console 설계
  - ✓ 공장이나 발전소의 조작실 interface 설계
  - ✓ 헬리콥터 조종장비 설계



# System 운용 절차 및 UI 예



System 운용 절차



System 운용 절차를 반영한 software UI 예시



# 토의

- 인간공학적 설계 특성의 정량화를 통한 console layout 설계
  - ✓ 기존 연구는 최적화 기법을 적용하여 최적 설계안을 제시하였으나 해당 설계안의 인간공학적 사용성은 고려되지 못함
  - ✓ 본 연구는 console layout 설계 시 인간공학적 설계 특성(시계성, 도달성, 중요도, 사용 빈도, 작업 순서, 기능 집단) 고려
  
- 기대 효과
  - ✓ 인간공학적 설계 특성이 반영되어 설계된 군 console 장비의 layout은 임무의 효율성과 군 전투력을 향상시키고, 장비 운용자의 조작 오류 및 탐지 오류를 방지
  
- 추후 연구
  - ✓ 최적 console layout 설계 system 개발
  - ✓ 다양한 console에 대한 console layout 설계 system 평가
  - ✓ 인간공학적 설계 특성이 반영된 console layout 설계 적용

# Q & A

Thank you