

Digital Human Simulation을 활용한 방사성 폐기물 처리장 주제어실의 인간공학적 평가

POSTECH



Ergonomic Design Technology Lab



이백희¹, 장윤¹, 정기효¹, 정일호², 유희천¹

¹포항공과대학교 기계산업공학부
²한국전력주식회사 계측제어기술처

Contents

- 연구 배경
- 연구 목적
- 방폐장 주제어실 평가 방법
- 평가 결과 및 개선 사례
- 토의 및 향후 연구

Digital Human Simulation (DHS)

- DHS를 활용한 작업공간의 인간공학적 평가 시 유용성
 - 제품개발 초기부터 인간공학적 설계 개념 도입
 - 개발 기간 단축 및 비용 절감(Chaffin, 2005; 유희천, 2007)



연구 필요성

- ❑ 방사성 폐기물 처리장(방폐장) 주제어실의 인간공학적 평가 필요
 - 국제적 설계 규제 충족
 - 주제어실 운전원의 감시 작업 편의성 증대



신설될 경주 방폐장 조감도



방폐장 사일로(Silo)

방폐장 주제어실의 인간공학적 평가 및 개선 방안 제안

1. 방폐장 주제어실 digital mockup 및 대표인체모델 개발

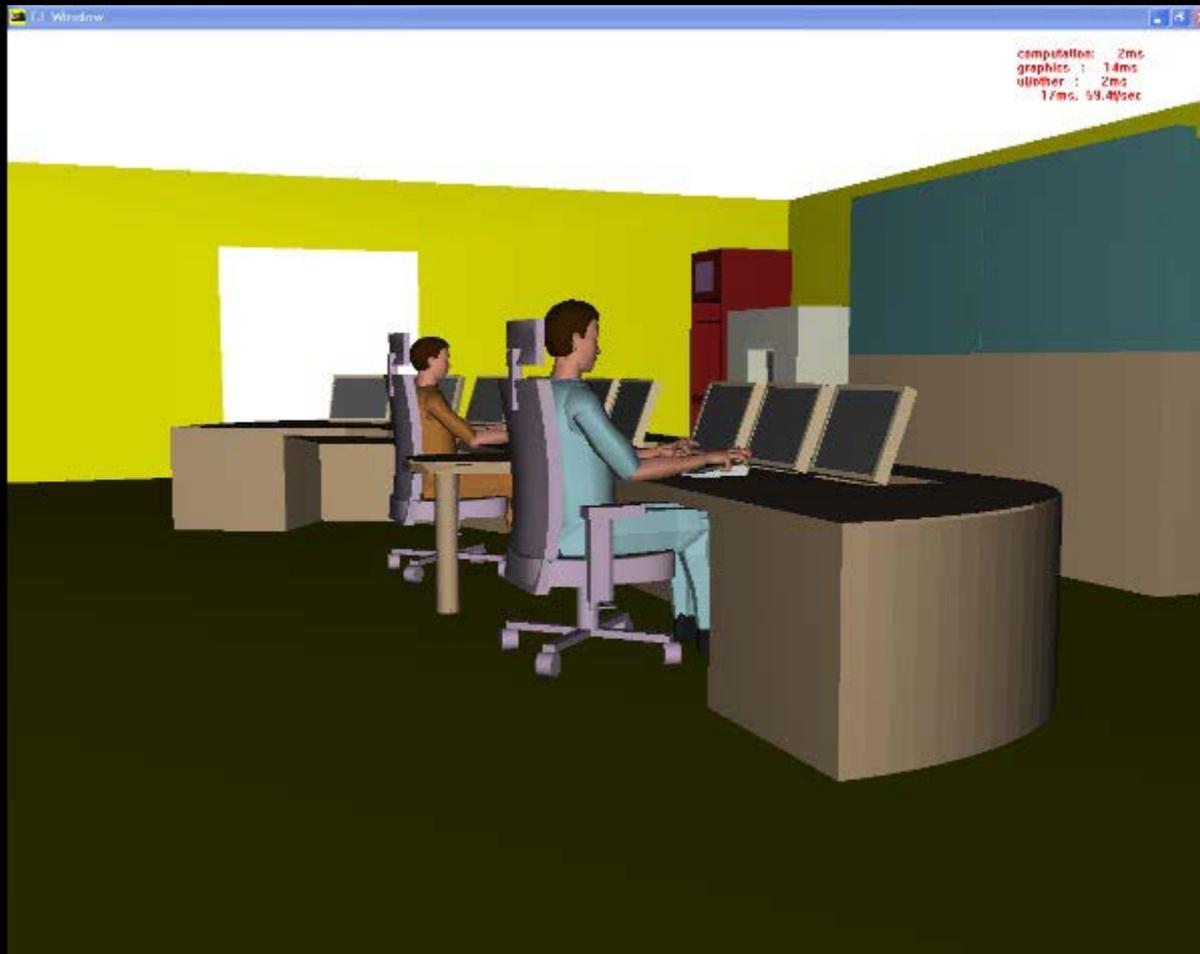
- 한국인 인체측정자료(Size Korea data) 적용
- 향후 20년간 추세변동(secular trend) 반영

2. 방폐장 주제어실 평가 및 개선

- 인간공학적 평가 기준 4 가지(자세 안락도, 도달성, 시계성, 여유공간) 적용
- NUREG-0700 (원자력발전소 설계 지침) 규격 충족 여부 분석
- 개선 설계 대상 파악 및 개선 방안 제안

방폐장 주제어실 Digital Mockup

- 방폐장 주제어실에 대한 예비 설계 도면(preliminary design)에 근간해 3차원 CAD 모델 개발



대표인체모델 생성

Size Korea (2004)의 한국인 남성(20 ~ 50대)을 대표하는 4명의 대표인체모델 생성

5th %ile
(키 = 160.5 cm)



50th %ile
(키 = 170.2 cm)



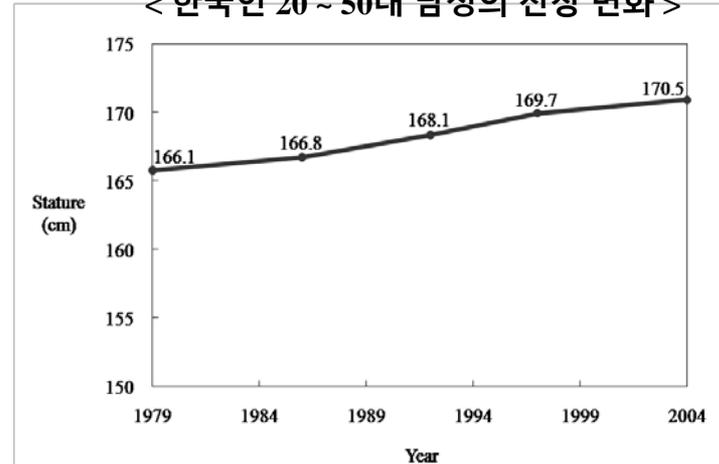
95th %ile
(키 = 180.1 cm)



99th %ile
(키 = 184.4 cm)



< 한국인 20 ~ 50대 남성의 신장 변화 >



25년간 신장의 변화: 4.4 cm 성장

신장의 20년 추세 변동(secular trend)을 평가에 반영하기 위해 99th %ile 인체모델 추가

평가 기준 자세 정의

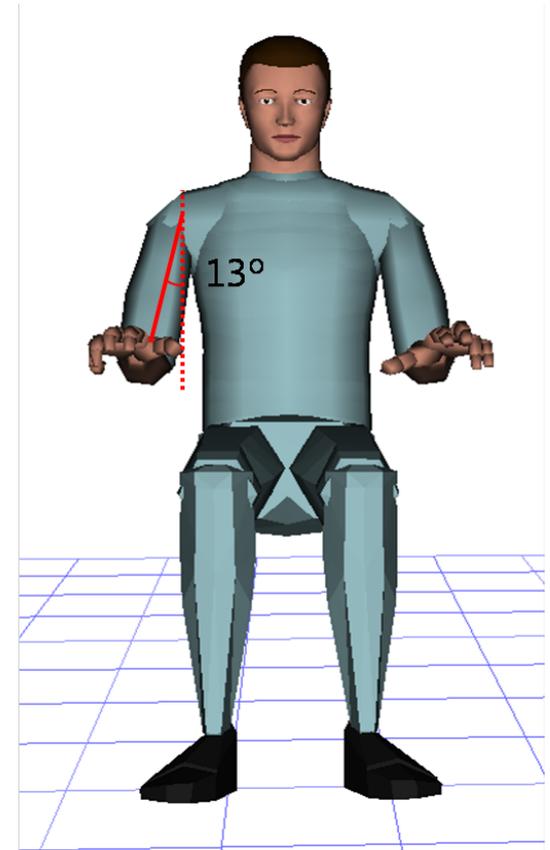
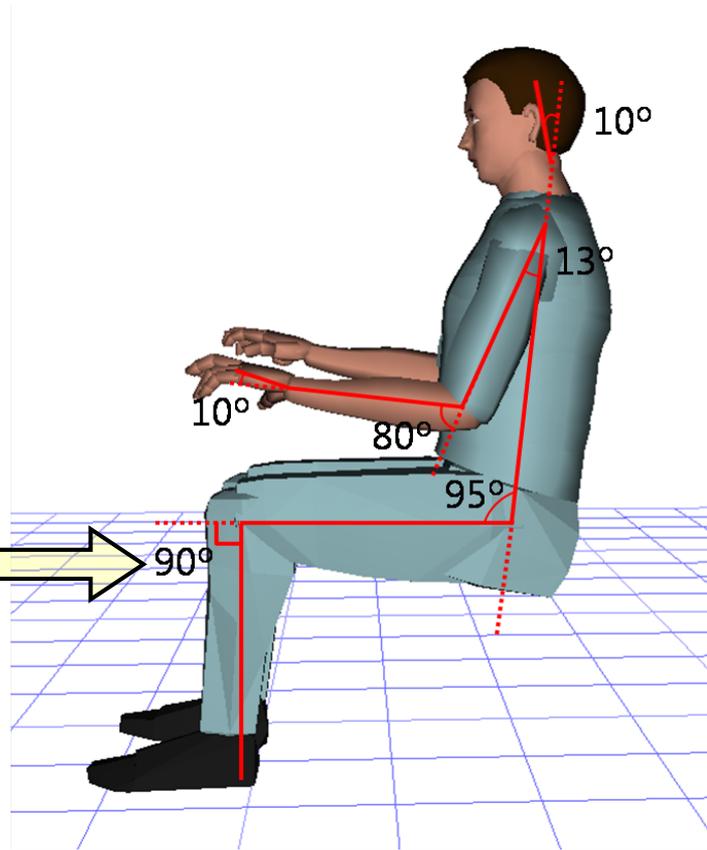
- 기존 computer workstation 연구들(14건)의 추천 자세를 적용하여 평가 기준 자세 설정

< 추천 자세 적용 예시: knee >

참고문헌: ANSI/HFES (2007)

관절동작: flexion (+)

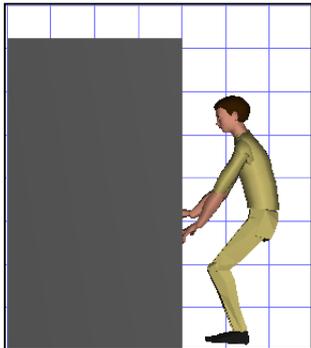
추천자세: 90°



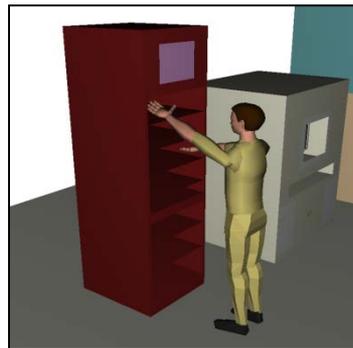
인간공학적 평가 기준

- 기존 DHS 평가 연구(박장운 외, 2008)에서 활용된 4가지 평가 기준을 적용

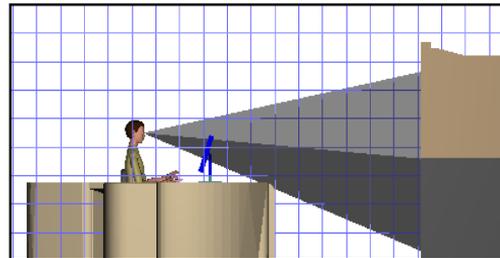
평가 기준	설명
자세 안락도(postural comfort)	운전원이 감시 작업 수행 시 편안한 자세를 유지하는 정도
도달성(reach)	운전원이 주제어실 설계요소에 용이하게 도달할 수 있는 정도
시계성(visibility)	운전원이 주제어실 설계요소를 편안하게 볼 수 있는 정도
여유공간(clearance)	운전원의 신체와 설계요소 간의 여유공간 정도



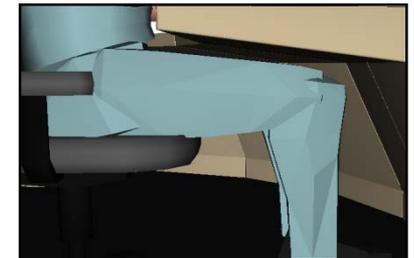
자세 안락도



도달 용이성



시계 적절성



여유공간 적절성

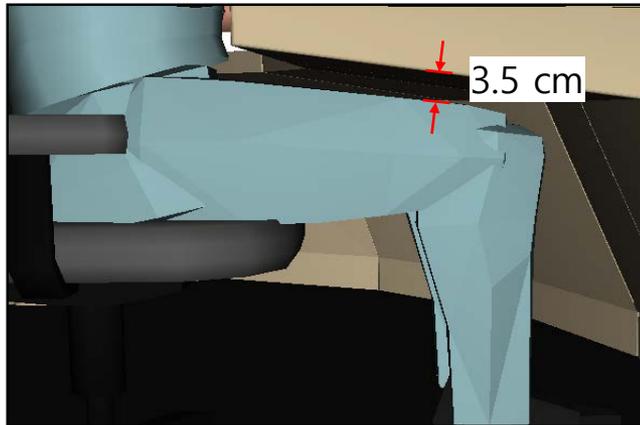
설계요소 별 평가 기준(예)

□ 평가 대상 설계요소 별 특성을 고려해 인간공학 평가 기준 결정

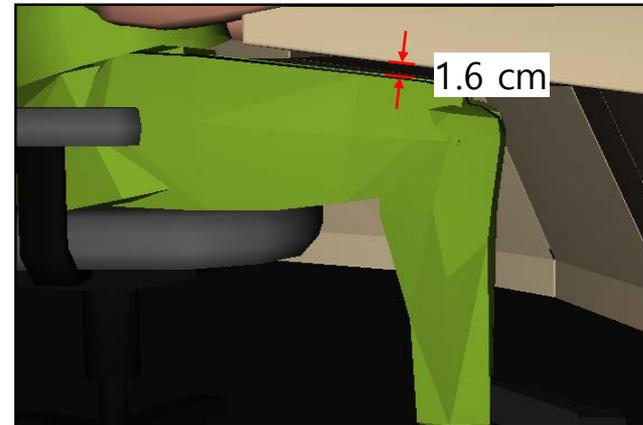
순 번	설계 요소	자세 안락도	도달성	시계성	여유 공간
1	Console	O	X	X	O
2	LDP	O	X	O	X
3	LCD	O	X	O	X
4	Security access control sub-console	O	O	X	X
5	CCTV master control rack	O	O	X	X
6	Main fire control panel	O	O	X	X
7	Printers	O	O	X	X

평가 사례: Console

- 충분한 다리 여유공간 제공: NUREG-0700 설계 기준 만족
 - 가상인체모델의 다리와 console간 최소 여유 공간 크기: 1.6 cm ~ 6 cm
 - 99th %ile에게도 여유 공간 제공



95th %ile

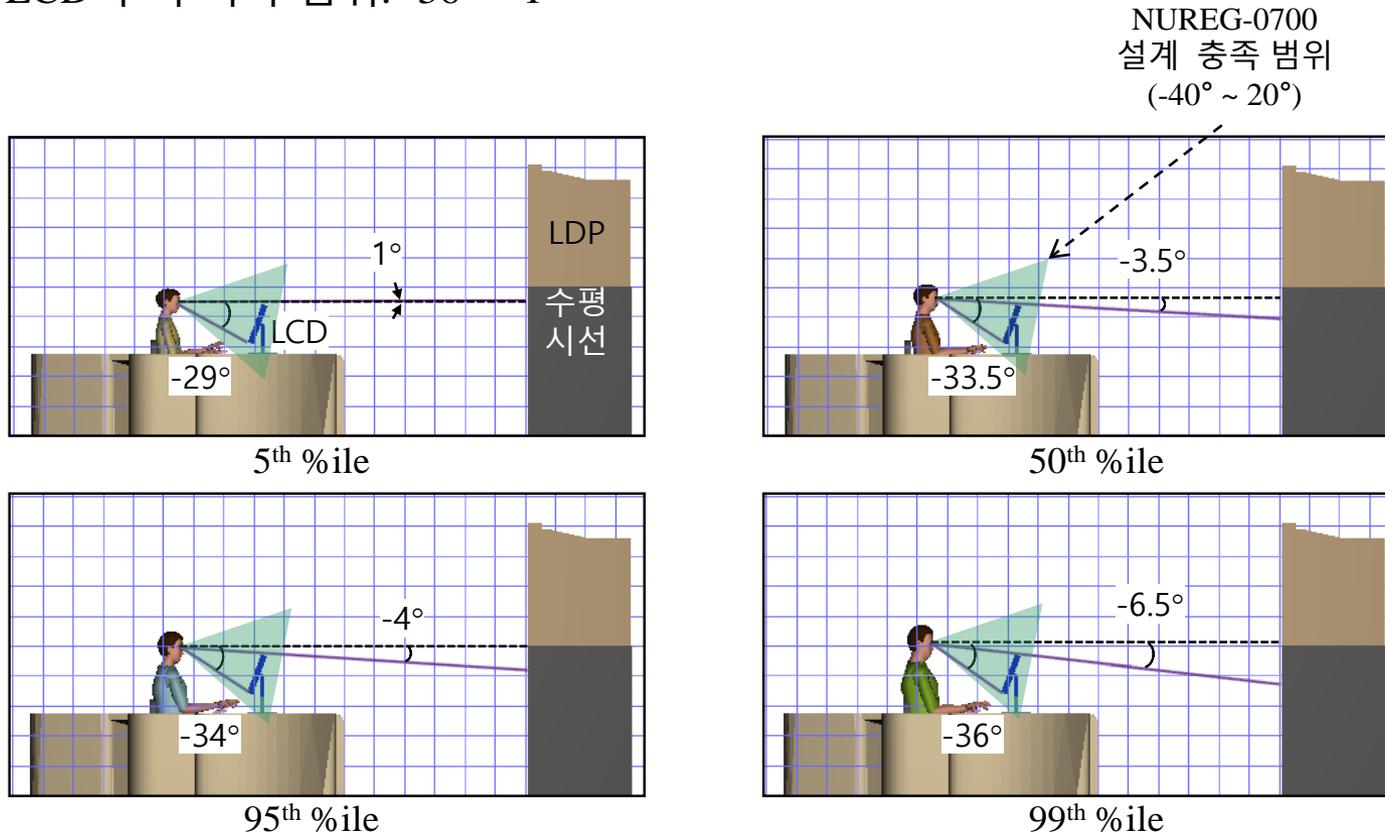


99th %ile

LCD

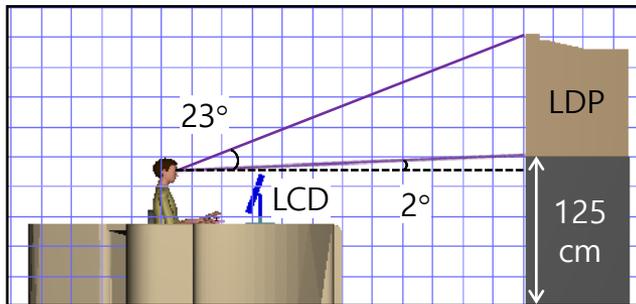
□ LCD 수직 시야 범위는 NUREG-0700 설계 기준($-40^{\circ} \sim 20^{\circ}$)을 만족함

- LCD 수직 시야 범위: $-36^{\circ} \sim 1^{\circ}$

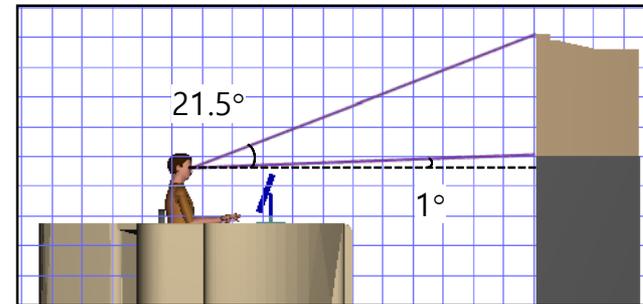


LDP

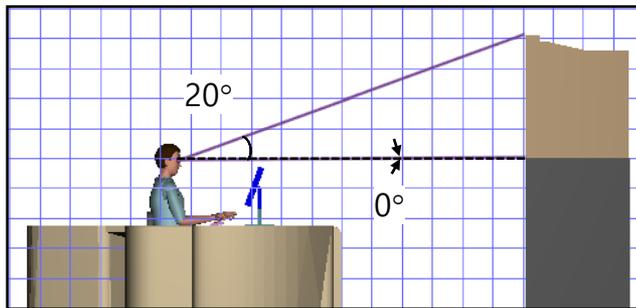
- ❑ LDP (large display panel) 수직 시야는 수평시선보다 높게 형성됨
 - LDP 수직 시야 범위: $-1^{\circ} \sim 23^{\circ}$
 - 표시장치 권장 시야 각도: $-26^{\circ} \sim -2^{\circ}$ (Grandjean et al., 1983), $-56^{\circ} \sim -1^{\circ}$ (김철중 외, 1999)
- ⇒ 장시간 감시 작업 수행 시 불편할 수 있음



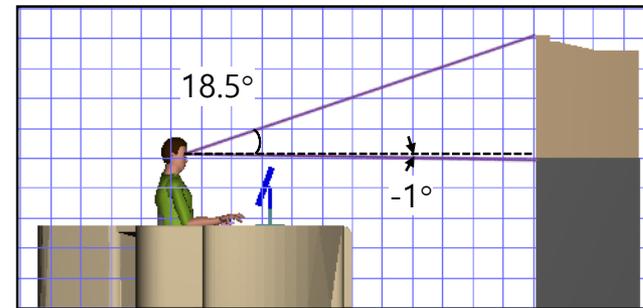
5th %ile



50th %ile



95th %ile

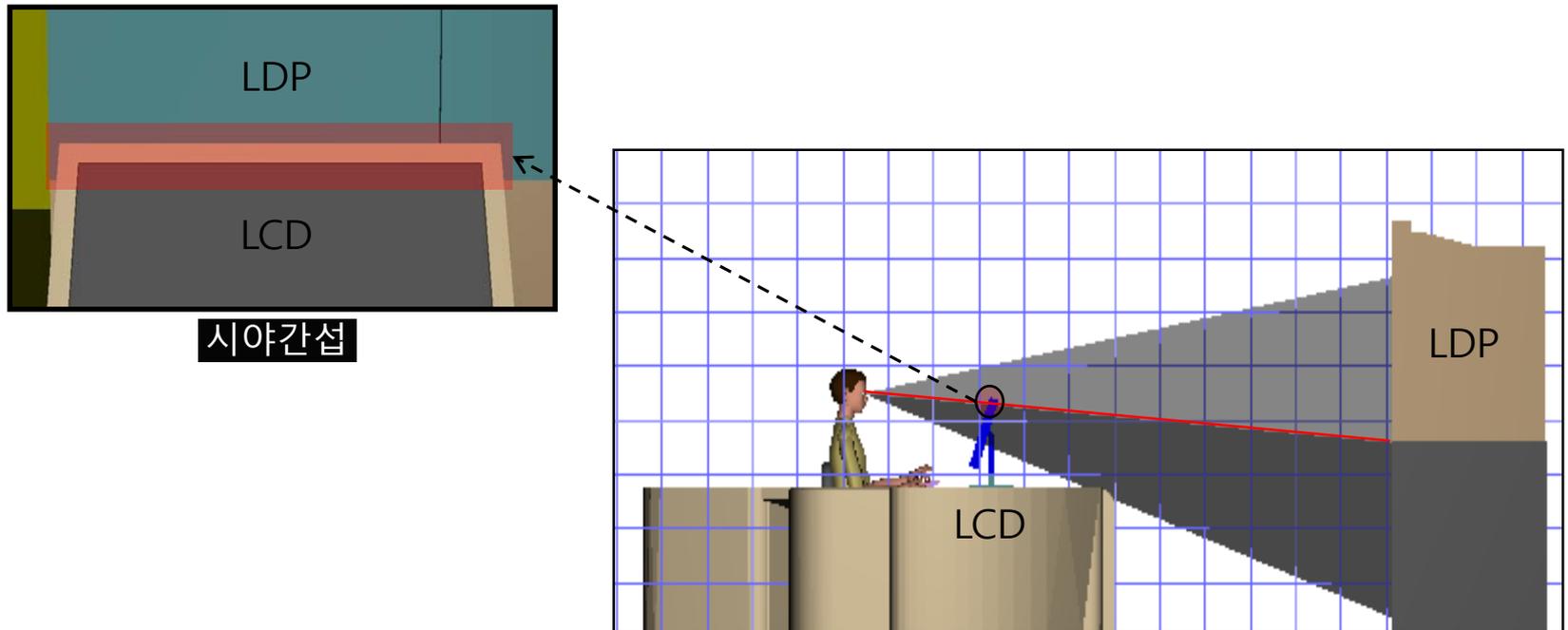


99th %ile

LDP와 LCD의 시계성 연관관계

□ LDP와 LCD의 시계성 연관관계

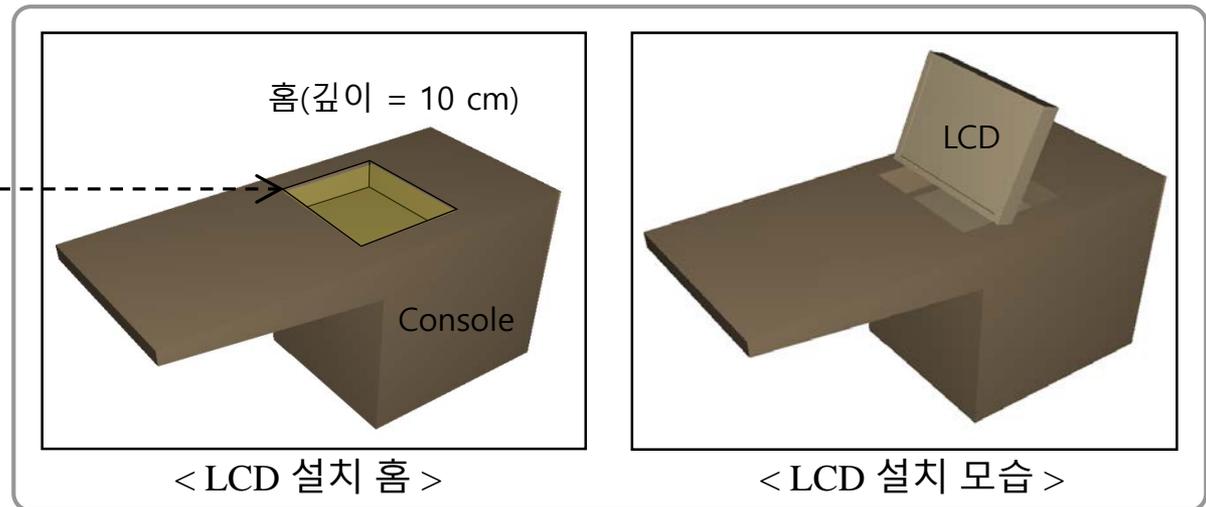
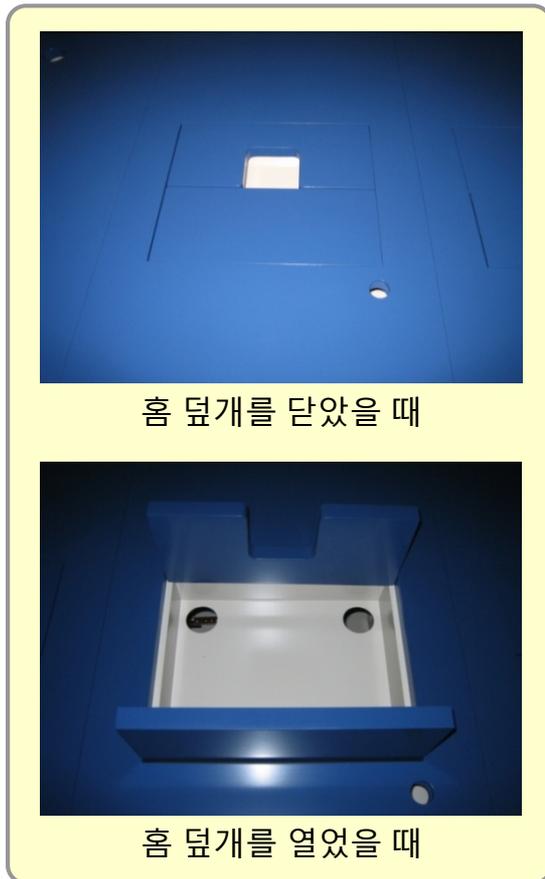
- LDP 높이를 낮추어 수직 시야 각을 개선하기 위해서는 LCD 높이를 함께 낮춰야 함
- LDP 높이를 낮출 경우 LCD에 의한 **시야간섭**이 발생할 수 있음



LDP 수직 시야 개선 방안

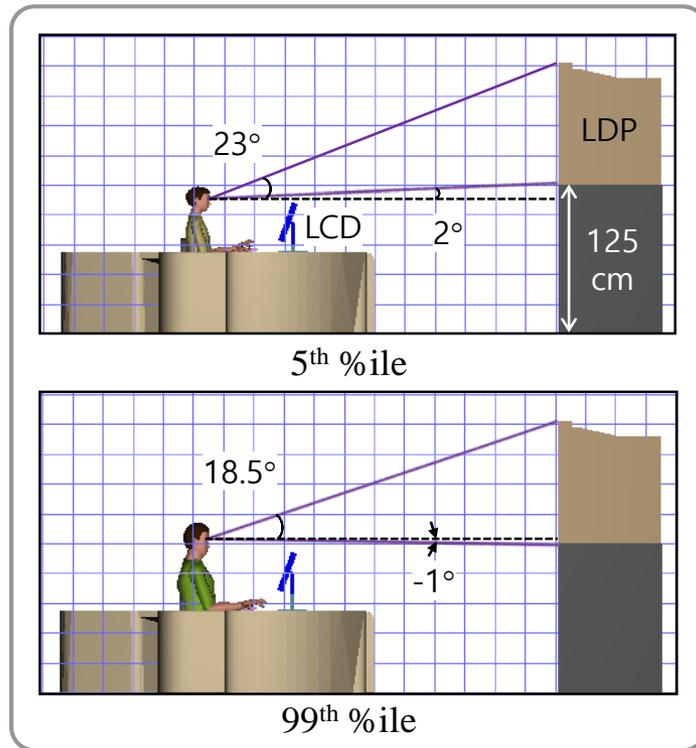
- LCD가 설치될 console에 홈 구비

⇒ LCD와 LDP의 수직 설치 높이를 효과적으로 낮춤

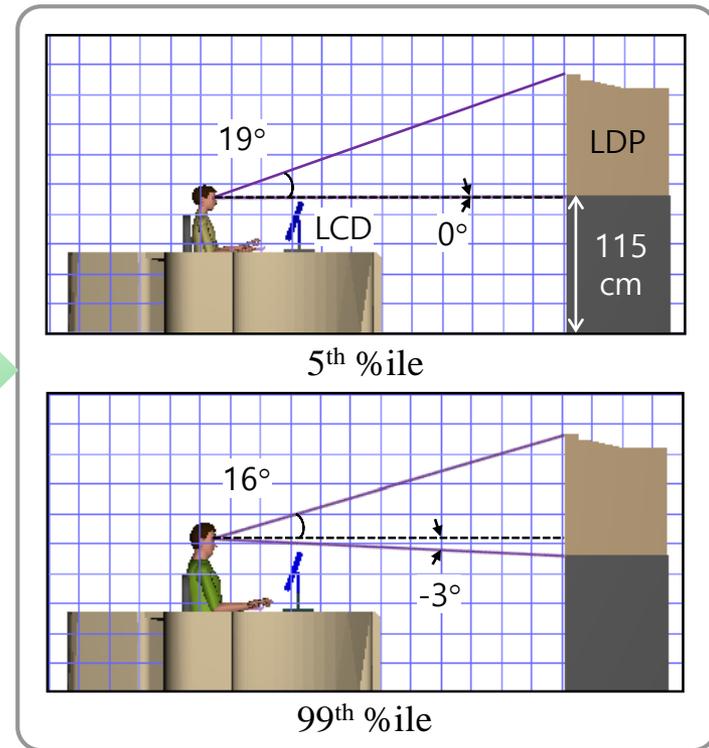


LDP 개선 효과

- LDP 수직 시야는 기존 $-1^{\circ} \sim 23^{\circ}$ 에서 $-3^{\circ} \sim 19^{\circ}$ 로 최대 4° 까지 개선됨
- ⇒ 장시간 감시로 인한 운전원의 신체피로를 일부 경감시키는 효과 예상



< 기존 LDP 수직 시야 범위 >



< 개선 후 LDP 수직 시야 범위 >

토의 사항

- 방폐장 주제어실의 예비설계에 대한 인간공학적 평가 및 개선
 - 방폐장 주제어실의 3차원 digital mockup 개발
 - 한국인의 인체특성을 고려한 대표인체모델 생성
 - 국제적 설계 규격(NUREG-0700)의 충족 여부 평가

- 추세변동(secular trend)을 반영한 평가
 - 향후 20년간의 신장의 성장을 반영한 99th %ile 인체모델 추가 고려

향후 연구

- Dual 표시장치(LDP와 LCD)에 대한 연구의 필요성
 - Dual 표시장치에 대한 인간공학적 권장 시야 각 연구의 부재
 - Dual 표시장치의 기본 자세는 computer workstation 자세와 상이할 수 있음
- ⇒ Dual 표시장치 작업 자세 및 권장 시야 각에 대한 추가 연구 필요



< Dual 표시장치 >

Q & A

Thank you for your attention