Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 3 pp.383-391, June 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.3.383

Digital Human Simulation을 활용한 방사성 폐기물 처리장 주제어실의 인체공학적 평가*

이백희[1] · 장 윤[1] · 정기효[2] · 정일호[3] · 유희천[1]

[1]포항공과대학교 기계산업공학부 / [2]Pennsylvania State University 산업공학과 /
[3]현대엔지니어링 원자력부

Ergonomic Evaluation of a Control Room Design of Radioactive Waste Facility using Digital Human Simulation

Baekhee Lee[1], Yoon Chang[1], Kihyo Jung[2], Ilho Jung[3], Heecheon You[1]

[1]Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784
[2]Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University, University Park, PA, USA 16802
[3]Department of nuclear, Power & Energy Plant Division, Hyundai Engineering, Seoul, 158-050

ABSTRACT

The present study evaluated a preliminary control room (CR) design of radioactive waste facility using the JACK® human simulation system. Four digital humanoids (5th, 50th, 95th, and 99th percentiles) were used in the ergonomic evaluation. The first three were selected to represent 90% of the target population (Korean males aged 20 to 50 years) and the last to reflect the secular trend of stature for next 20 years in South Korea. The preliminary CR design was assessed by checking its compliance to ergonomic guidelines specified in NUREG-0700 and conducting an in-depth ergonomic analysis with a digital prototype of the CR design and the digital humanoids in terms of postural comfort, reachability, visibility, and clearance. For identified design problems, proper design changes and their validities were examined using JACK. A revised CR design suggested in the present study would contribute to effective and safe operations of the CR as well as operators' health in the workplace.

Keyword: Digital human simulation, Control room, Radioactive waste facility

1. 서 론

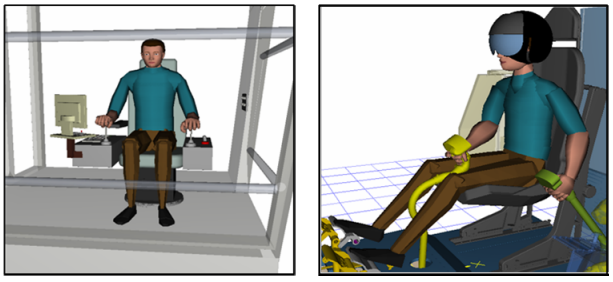
방사성 폐기물 처리장(이하, 방폐장)은 원자력발전소(이하, 원전)에서 발생하는 중 · 저준위 방사성 폐기물을 처리하는 시설이다. 중 · 저준위 방사성 폐기물은 원전에 사용된 연료를 비롯해 방사선 관리구역에서 사용된 작업복, 장갑, 기기 교체 부품 등으로써 안전하게 관리되도록 법적으로 지정되어 있다(한국방사성 폐기물관리공단, 2009a). 우리나라는 원전 내 임시저장시설에 중 · 저준위 방사성 폐기물을 보관해오고 있으나, 향후 임시저장시설의 포화를 고려해 경상북도 경주시에 2012년까지 방폐장을 신설할 계획이다(한국방사성 폐기물관리공단, 2009b).

방폐장 주제어실은 운전원의 효과적인 감시 작업 수행과

*본 논문은 2009년 한국전력주식회사의 지원을 받아 수행되었음.
교신저자: 유희천
주 소: 790-784 포항시 남구 효자동 산31, 전화: 054-279-2210, E-mail: hcyou@postech.ac.kr

개발 비용 경감을 위해 설계 초기부터 인간공학적인 고려가 필요하다. Hwang et al.(2009)은 신형 원전의 본격적인 가동에 앞서 인간공학적인 주제어실 평가를 수행하여 세 가지 측면(주제어실 설비 배치, 표시장치와 제어장치의 인터페이스, 그리고 업무 절차서의 사용성)의 주요한 사용성 개선 사항을 파악하였다. 또한, 구진영 외(2007)는 주기적 안정성 평가의 일환으로 평가 checklist를 적용하여 국내 운영 중인 원전 주제어실(고리 1~4호, 영광 1, 2호)을 인간공학적으로 평가하고 개선 요구 항목을 분석하였다. 이러한 개발된 주제어실의 인간공학적 평가는 설계 개선 사항 파악에 유용하나, 이미 개발된 주제어실의 개선에 비용 및 시간이 상대적으로 많이 소요된다. 따라서, 효과적인 주제어실 설계 및 개발을 위해서는 설계 초기부터 인간공학적인 평가의 적용이 요구된다.

가상인체모델을 이용한 digital human simulation(DHS)은 작업공간의 인간공학적 설계에 유용하게 활용되고 있다. 이상기 외(2005)와 박장운 외(2008)는 천장 크레인 운전 공간 설계와 한국형 헬리콥터 조종실 설계에 대해 DHS를 활용한 인간공학적 평가를 통하여 개선이 요구되는 설계요소를 파악하고 개선 방안을 제시하였다(그림 1 참조). 이러한 DHS를 이용한 인간공학적 설계 및 평가는 제품 개발 초기부터 가상 시제품(virtual mockup)을 사용하여 인간공학적 평가를 수행할 수 있게 하며 제품 개발 기간과 비용을 효과적으로 절감하는데 유용한 방법으로 권장되고 있다(유희천, 2007; Chaffin, 2005).



(a) 천장 크레인 평가 (b) 헬리콥터 조종실 평가

그림 1. DHS를 활용한 인간공학적 평가 사례

본 연구는 DHS를 활용해 방폐장 주제어실의 예비 설계(preliminary design)를 평가하고 개선 설계요소를 분석하였다. 먼저, DHS 평가를 위해 H사에서 개발한 방폐장 주제어실의 예비 설계에 대해 3차원 가상 시제품을 개발하였다. DHS 평가는 Jack®을 활용하여 이루어졌으며, 2004년 Size Korea 인체측정자료와 향후 20년간의 신장 추세변동(secular trend)을 고려하여 4명의 대표인체모델(5th, 50th, 95th, and 99th percentiles)이 생성되었다. 방폐장 주제어실의 설계는 4가지 인간공학적 기준(자세 안락도, 도달성, 시계성, 그리고 여유공간)을 적용해 평가되었으며, 인간공학적 평가 결과를 토대로 개선이 요구되는 설계요소와 개선 방향이 분석되었다.

2. 평가 방법

2.1 가상인체모델

DHS 평가를 위한 대표인체모델은 설계대상인구의 90% 수용(5th ~ 95th percentiles) 특성과 향후 20년간의 신장 추세변동을 고려해 표 1에 나타낸 것과 같은 4명으로 선정되었

표 1. 방폐장 주제어실 평가를 위한 대표인체모델의 인체크기(단위: cm, kg)

순번	인체변수	Percentile			
		5th	50th	95th	99th
1	키	160.5	170.2	180.2	184.4
2	허리두께	17.8	22.0	27.3	29.4
3	발목 높이	7.3	8.5	9.6	10.2
4	어깨 높이	129.1	137.8	146.8	150.0
5	아래팔 길이	70.3	75.8	81.6	83.9
6	어깨 너비	35.8	39.7	43.1	44.8
7	위팔 사이 너비	42.7	46.6	50.6	52.7
8	앉은 엉덩이 무릎 수평길이	52.8	56.7	61.2	63.4
9	앉은 팔꿈치 높이	22.2	26.0	29.9	31.3
10	굽힌 팔꿈치 손끝 수평길이	41.5	44.8	48.0	49.3
11	발 너비	9.3	10.1	10.9	11.3
12	발 직선길이	23.5	25.3	27.1	28.0
13	손 직선길이	17.2	18.5	19.9	20.5
14	머리 너비	13.0	14.8	18.1	18.7
15	머리 수직길이	17.7	20.8	25.7	26.6
16	엉덩이 너비	30.5	33.0	35.8	36.9
17	눈동자 사이 너비	5.5	6.3	7.1	8.0
18	위팔 길이	30.7	33.2	36.0	37.0
19	앉은 어깨 높이	55.3	59.6	64.1	65.5
20	앉은 눈 높이	75.4	80.5	85.7	87.6
21	앉은 키	86.8	92.1	97.4	99.5
22	앉은 무릎 높이	46.9	50.7	54.8	56.7
23	앉은 넙다리 높이	12.7	15.2	17.8	19.4
24	몸무게	55.6	70.1	87.1	95.3

다. 설계대상인구는 방폐장 운전원 인력 소요계획을 감안하여 20~50대 남성으로 설정되었으며, 2004년 한국인 인체측정자료(n = 1,992; Size Korea, 2004)의 90%를 수용할 수 있도록 3명의 대표인체모델(5th, 50th, 95th percentiles)이 생성되었다. 또한, 본 연구는 평가에 추세변동을 고려하기 위해 세 가지 측면(한국인 남성의 성장분, 국외 신장 성장분 정보, 그리고 보수적 추정)을 반영한 99th percentile 인체모델(20년 후 95th percentile)이 추가로 생성되었다. 최근 25년간(1979~2004년) 한국인 남성의 신장은 그림 2에 나타낸 것과 같이 4.4cm 성장한 것으로 파악되고 있다. 한편, 시대적 성장분은 표 2에 나타낸 것과 같이 국가별로 경제성장 및 영양섭취 특성에 따라 차이가 있는 것으로 알려지고 있다(Roche, 1995). 예를 들면, GNP 규모가 우리나라(9,287백만 달러)보다 약 4.5배 큰 일본(42,657백만 달러)의 최근 10년간 시대적 성장분은 1.32cm인 반면 우리나라는 동시기에 1.65cm 성장하였다. 마지막으로, 국내

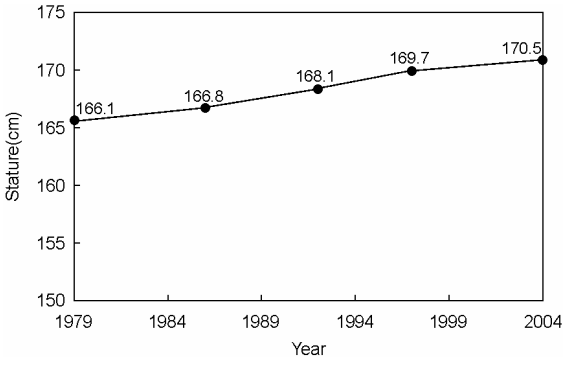


그림 2. 한국인 20~50대 남성의 신장 변화(Size Korea, 2004)

표 2. Secular trend of stature for different populations

Populations	Age*	Gender**	Secular trend per decade (cm)	References
Italian	N.S.	N.S.	0.97	Arcaleni (2006)
American	N.S.	M	1.00	NASA (2006)
Portuguese	18	M	0.99	Padez and Johnston (1999)
Pole	19	M	2.10	Bielicki and Szklarska (1999)
Korean	20~49	M & F	1.65	Size Korea (2004)
Japanese	20~49	M & F	1.32	AIST (2006)

*N.S: not specified / **M: male, F: female

신장 성장분 특성과 국외 신장 성장분 특성에 근간해 방폐장 주제어실이 20년 후에도 목표 수용률을 최대한 충족시킬 수 있도록 보수적인 시대적 성장분 추정값을 적용하였다.

가상인체모델은 정의된 대표인체모델의 인체크기 정보를 Jack에 입력해 그림 3과 같이 생성되었다. Jack에서 가상인체모델을 생성하기 위해서는 27개 인체변수에 대한 크기를 입력해야 하나, 한국인 인체측정자료는 그 중에서 24개 인체변수에 대한 자료만을 제공하고 있다. 따라서, 본 연구는 한국인 인체측정자료에 제공되어 있는 24개 인체변수의 치수는 직접 입력하고, 나머지 3개 인체변수(손 너비, 머리길이, 엄지 손끝 길이)는 입력된 인체변수 값에 근간한 Jack의 추정치를 사용하였다.

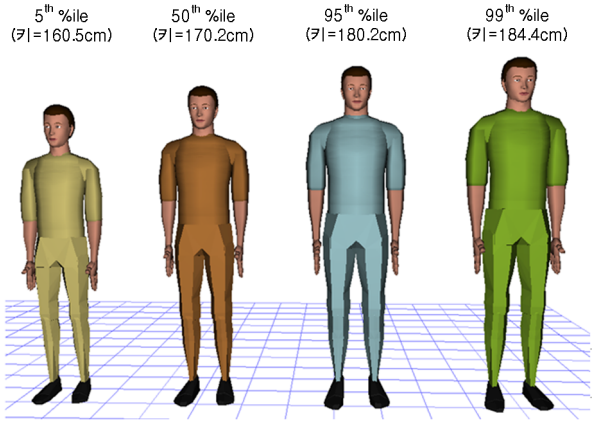


그림 3. Jack®을 이용해 생성된 가상인체모델

2.2 평가 기준 자세

본 연구는 컴퓨터 작업 자세와 관련된 기존 연구를 참고하여 DHS 평가를 위한 운전원 감시 자세를 표 3과 같이 설정하였다. 기존 연구들은 컴퓨터 작업 자세에 대한 관찰 및 자세 분석을 통해 표 3에 나타낸 것과 같은 컴퓨터 작업에 대한 추천 자세를 제시하고 있다. 본 연구는 방폐장 주제어실 감시 작업과 특성이 유사한 컴퓨터 작업에 대한 기존 연구의 추천 자세를 참고하여 평가 기준 자세(그림 4 참조)를 설정하였다. 표 3을 예로 들면, 어깨 굽힘 동작에 대한 컴퓨터 작업 추천 자세는 0~25°이며, 방폐장 평가 기준 자세로 관련 추천 범위의 중간 값 13°가 선정되었다.

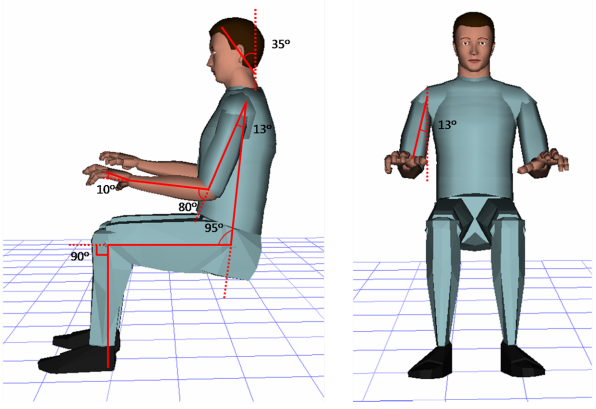
2.3 인간공학적 평가 기준

본 연구의 평가에는 표 4와 같은 네 가지 인간공학적 평가 기준이 고려되었으며, 주제어실 설계요소 별 평가 기준은 해당 설계요소의 특성을 고려해 표 5와 같이 설정되었

표 3. 컴퓨터 작업 자세와 방폐장 주제어실 평가 기준 자세

신체부위	관절 동작	추천 자세(°)	참고문헌	추천 자세 범위(°)	기준 자세(°)
Neck*	ventral flexion(+) /dorsal flexion(−)	34~65	Grandjean et al.(1983)	24.5~65	35
		24.5~65	김철중 외(1991)		
Shoulder	flexion(+) /extension(−)	0~25	Chaffin and Andersson(1984)	0~25	13
		0	ANSI/HFES(2007)		
		13	Geandjean(1987)		
		23	Salvendy(1987)		
	abduction(+) /adduction(−)	0~25	Chaffin and Andersson(1984)	0~25	13
		8~23	Salvendy(1987)		
Elbow	flexion(+)	70~135	Cushman(1984); Grandjean et al.(1983); Miller and Suther(1981); Weber et al.(1984)	70~135	80
		90	ANSI/HFES(2007)		
		99	Salvendy(1987)		
		75~125	Grandjean et al.(1983)		
Wrist	flexion(+) /extension(−)	−10~30	Hedge el al.(1995); Keir et al.(1995); Rempel and Horie(1994); Weiss et al.(1995)	−10~30	10
Trunk**	flexion(+)	90	Chaffin and Andersson(1984)	90~110	95
		104	Geandjean(1987)		
		100~110	Salvendy(1987)		
		90	ANSI/HFES(2007)		
Hip**	flexion(+)	0	ANSI/HFES(2007)	0	0
Knee**	flexion(+)	90	ANSI/HFES(2007)	90	90

* 목뒷점(cervical)을 축으로 하여 목뒷점을 지나는 수직선과 목뒷점에서 이주점(tragion)을 잇는 선이 이루는 각도
** 횡단면(transverse plane)과 신체부위가 이루는 각도



(a) 측면 착석 자세 (b) 정면 착석 자세

그림 4. 방폐장 주제어실 평가 기준 자세

다. 인간공학적 평가 기준은 기존 DHS 평가 연구들(박장운 외, 2008; Bowman, 2001; Nelson, 2001)에서 활용된 자세 안락도, 도달성, 시계성, 그리고 여유공간으로 결정되었다. 또한, 선정된 인간공학적 평가 기준은 평가 대상 설계요소의 특성에 따라 선택적으로 적용되었다. 예를 들면, 표 5는 운전원이 착석하는 console은 자세와 여유공간 측면에서 평가되며, 방폐장 관련 정보를 제공하는 LDP(large display panel)는 자세 안락도와 시계성 측면에서 분석됨을 보여준다.

방폐장 주제어실의 설계 적합성 판단은 인간공학적 평가 결과의 NUREG−0700 설계 지침(O'Hara et al., 2002) 충족 여부 분석을 통해 이루어졌다. NUREG−0700은 표 6과 같이 원전에 사용되는 각종 설계요소에 대한 인간공학적 설계 지침을 제공하고 있다. 표 6에 예시된 NUREG−0700 지침에 따르면, console의 여유공간은 5^{th} percentile과 95^{th} percentile 운전원 착석 시 적절한 다리 움직임 공간을 제공할 수 있도록 설계되어야 하며, LDP의 위치는 다양한 위치에서 근무하는 모든 운전원들이 화면을 볼 수 있도록 결정되어야 하고, LCD의 높이는 시야 범위 −40~20° 내에 있도록 설계할 것을 추천한다. 본 연구는 NUREG−0700에 제공된 설계 지침을 적용하여 방폐장 주제어실의 설계 적합성을 평가하였다.

표 4. 인간공학적 평가 기준

평가 기준	설명
자세 안락도 (postural comfort)	운전원이 감시 작업 수행 시 편안한 자세를 유지하는 정도
도달성(reachability)	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

표 5. 설계요소와 인간공학적 평가 기준 연관관계 분석 예

순번	설계요소	자세 안락도	도달성	시계성	여유 공간
1	Console	○	×	○	○
2	LDP	○	×	○	×
3	LCD	○	×	○	×
4	Security access control sub-console	○	○	×	×
5	CCTV master control rack	○	○	×	×
6	Main fire control panel	○	○	×	×
7	Printers	○	○	×	×

3. 평가 사례

본 연구의 평가 결과 중 방폐장 주제어실의 대표적인 세 가지 설계요소(console, LDP, LCD)에 대한 인간공학적 적합성 평가 사례를 소개한다. 먼저, console의 최소여유공간은 가상인체모델 4명에 대해 1.6~6cm로 분석되어 NUREG-0700의 설계 기준을 만족하는 것으로 파악되었다. 최소여유공간 크기는 다리와 console간의 최단 거리로 계산되었으며, 가상인체모델의 인체크기가 클수록 감소한다. 예를 들면, 그림 5는 95th percentile 인체모델에 대한 최소여유공간 크기는 3.5cm이고, 99th percentile 인체모델에 대한 최소여유공간 크기는 1.6cm인 것을 보여준다.

LCD 수직 시야 범위는 NUREG-0700의 설계 기준을

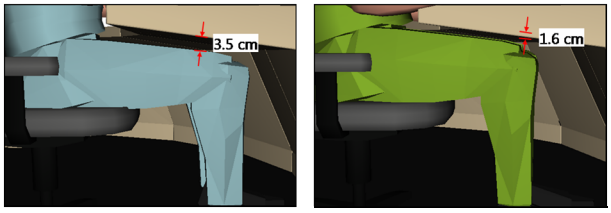
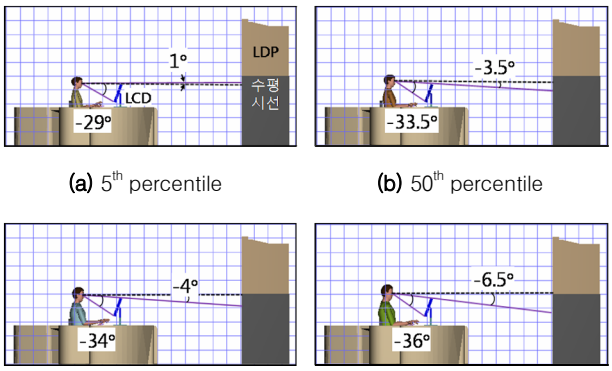


그림 5. Console의 다리 여유공간 분석 결과

표 6. 인간공학적 평가 기준

평가 대상	평가 기준	권장 지침	평가 적용 Percentile
Console	Clearance	Should provide adequate height, depth, and knee clearance for the 5th to 95th percentile adults(p. 426, 11.1.5-4)	95th & 99th
LDP	Visibility	Permit operators at the consoles full view of all display panels(p. 459, 12.1.1.3-1)	5th ~ 99th
		Be able to view information from multiple locations(p. 327, 6.3.1-1)	
		Horizontal viewing angle requirement: Acceptable limit is within 30° from the centerline of each display(p. 329, 6.3.2-4, 6.3.2-5)	
	Location	Centrally located in the control room(p. 311)	5th ~ 99th
		Viewing distance - Minimum: Not closer to any observer than half the display width or height, which is greater(p. 329, 6.3.2-3) - Maximum: Able to resolve all important display detail at the maximum viewing position(p. 329, 6.3.2-2)	
	Character size	Character height (cm) = 6.283×D×(MA) / 21600(p. 47, 1.3.1-4) Minimum of minutes of arc (MA): 16' Recommended MA: 20'~22'	5th ~ 99th
		Character height-to-width ratio should be between 1:0.7 to 1:0.9(p. 47, 1.3.1-5)	
LCD	Visibility	Vertical viewing angle requirement: Not more than 20° above and 40° below the user's horizontal LOS(p. 419, 11.1.2-6)	5th ~ 99th
		Viewing distance: 33~80cm with 46~61 cm preferred(p. 420, 11.1.2-8)	

만족하는 것으로 분석되었다. LCD 수직 시야 범위는 그림 6에 나타낸 것과 같이 평가 기준 자세에서 가상인체모델이 LCD를 바라보는 시야 각으로 계산되었다. 그림 6을 예로 들면, LCD 수직 시야 범위는 5th percentile 가상인체모델의 경우 −29~1°, 95th percentile 가상인체모델의 경우 −34 ~ −4°로 파악되어, NUREG−0700의 설계 기준인 −40~20°를 만족하는 것으로 분석되었다.

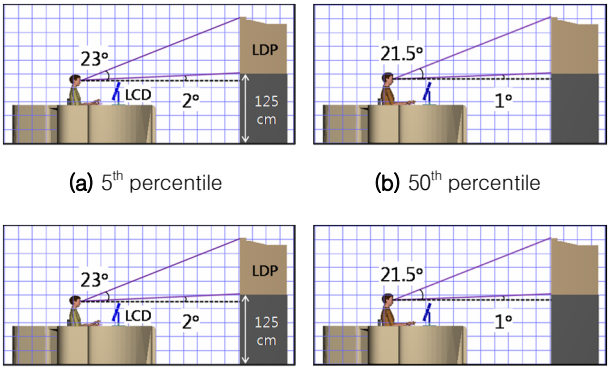


(a) 5th percentile (b) 50th percentile

(c) 95th percentile (d) 99th percentile

그림 6. LCD 수직 시야 범위

LDP의 수직 시야는 그림 7에 나타낸 것과 같이 수평 시선보다 높게 형성되어 장시간 감시 작업을 수행할 경우 자세가 불편할 수 있는 것으로 나타났다. LDP 수직 시야 범위는 LCD를 넘어 125cm 높이에 설치된 LDP를 볼 수 있는 시야 각으로 계산되었다. 그림 7.a를 예로 들면, 5th percentile 가상인체모델의 LDP 수직 시야 각은 2~23°로서, 5th percentile 가상인체모델이 LCD 너머로 LDP를 적합하게 볼 수 있는 것으로 나타났다.



(a) 5th percentile (b) 50th percentile

(c) 95th percentile (d) 99th percentile

그림 7. LDP 수직 시야 범위

가상인체모델들에 대한 LDP 수직 시야 범위는 −1~23°로 파악되었으며, 이는 전체 LDP 화면을 볼 수 있어야 한다는 NUREG−0700의 설계 기준을 만족한다. 그러나, LDP 시야 각은 수평 시선보다 높게 형성되어 기존 문헌의 표시장치 권장 시야 각도 범위(Grandjean et al., 1983: −26 ~ −2°; Kim et al., 1991: −56 ~ −1°; O'Hara et al., 2002: −40~20°)를 벗어나는 것으로 나타나 장시간 LDP 감시 작업을 수행할 경우 신체 불편 및 피로를 초래할 수 있는 것으로 나타났다.

LDP 높이를 낮추어 수직 시야 각을 개선하기 위해서는 LCD 높이를 함께 낮춰야 하는 것으로 분석되었다. LDP 수직 시야는 LDP의 높이를 낮추어 개선될 수 있으나, 그림 8에 나타낸 것과 같이 현행 설계에서 LDP 높이를 낮출 경우 LCD에 의한 시야간섭이 발생할 수 있다. 이러한 LCD에 의한 시야 간섭은 그림 9에 나타낸 것과 같이 console에 LCD 하단부를 삽입하는 홈을 설치함으로써 효율적으로 제거될 수 있는 것으로 파악되었다. 깊이 10cm인 LCD 설치 홈 구비를 통해 LDP 수직 높이를 115cm로 낮출 경우, 그림 10과 같이 LDP 수직 시야 범위는 −3~19°로 개선되는 것으로 파악되었다. 본 연구에서 개선된 LDP 시야 범위는 기존 시야 범위(−1~23°)보다 낮아진 것으로 분석되었다. 예를 들면, 5th percentile 가상인체모델에 대한 LDP의 시야 범위는 기존 2~23°에서 0~19°로 개선되었다. 한편, LCD 설치 홈을 구비할 경우 LCD 수직 시야 범위는

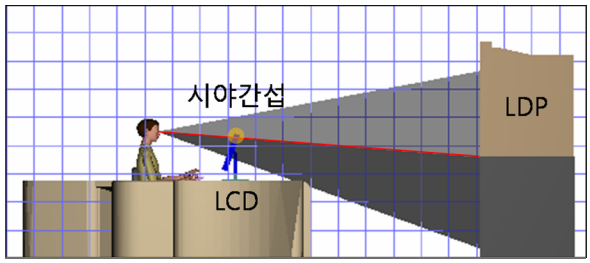
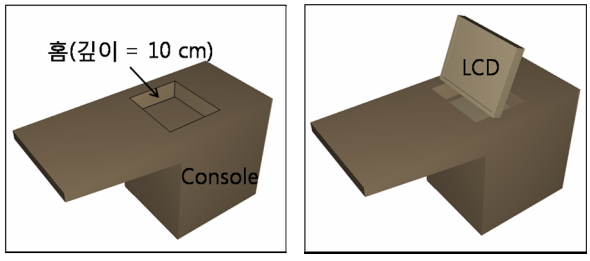


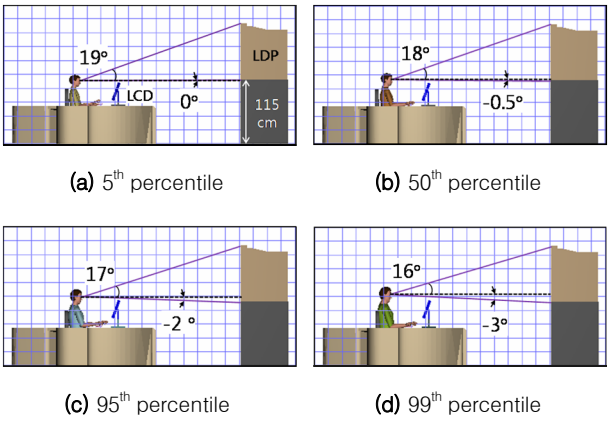
그림 8. LDP와 LCD의 시계성 연관관계



(a) LCD 설치 홈 (b) LCD 설치 모습

그림 9. Console의 LCD 설치 홈

−31 ~ −2.5°로 나타나 NUREG−0700의 설계 기준(−40 ~20°)을 만족하는 것으로 파악되었다.

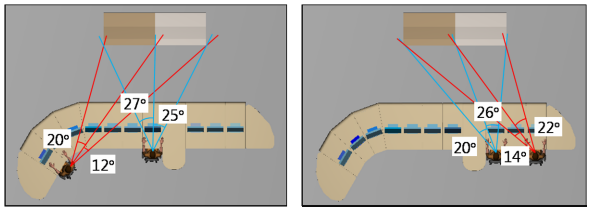


(a) 5th percentile (b) 50th percentile

(c) 95th percentile (d) 99th percentile

그림 10. 개선된 LDP의 수직 시야 범위

LDP의 수평 시야 범위는 NUREG−0700에 명시된 LDP 중앙을 기준으로 좌우 수평 시야 각 30° 내의 설계 지침을 만족하는 것으로 분석되었다. 방폐장 주제어실은 그림 11에 나타낸 것과 같이 한 명의 운전원(좌측 7개 console 담당)과 한 명의 감독관(우측 3개 console 담당)에 의해 운영될 계획이다. 운전원과 감독관 모두에 대해 LDP 수평 시야 범위는 LDP 중앙을 바라보는 시선을 기준으로 LDP의 좌/우 모서리를 바라보는 시선의 사이 각도로 계산되었다. 운전원의 수평 시야 범위는 console의 착석 위치에 따라 12~27°인 것으로 나타났고, 감독관의 수평 시야 범위는 14~26°로 파악되었다.



(a) 운전원 (b) 감독관

그림 11. LDP 수평 시야 범위

4. 토 의

본 연구는 Jack을 활용하여 방폐장 주제어실의 개념 설계에 대한 인간공학적 평가와 NUREG−0700 설계 기준 충족 여부를 분석하였다. 방폐장 주제어실의 설계 적합성은 네 가지 인간공학적 측면(자세 안락도, 도달성, 시계성, 그리고 여유공간)에서 NUREG−0700에서 제시된 원전 관련 설계 지침과 기타 인간공학 문헌에서 제시된 지침의 충족 여부를 종합적으로 고려하여 분석되었다. 또한, DHS 평가를 통해 설계 개선이 요구되는 것으로 파악된 설계 항목에 대해 설계 개선 방안을 개발하고 개선 효과를 분석하였다. 본 연구를 통해 평가 및 개선된 방폐장 주제어실 예비 설계는 방폐장 주제어실 구축 시 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 평가에는 한국인 인체크기 정보와 추세변동을 적용하여 생성된 가상인체모델들이 활용되었다. 대표인체모델은 방폐장 주제어실 운전원의 인구학적 특성을 고려하여 2004년 Size Korea 인체측정자료의 20~50대 남성의 90%를 수용하는 3명(5th ~ 95th percentiles)으로 정의되었다. 또한, 본 연구는 1979년부터 2004년까지의 한국인 신장 정보에 근간하여 향후 20년의 추세적 성장을 반영한 99th percentile 인체모델을 추가로 선정하여 분석하였다.

본 연구는 가상인체모델 생성 시 한국인 인체측정자료에 누락된 3개 인체변수(손 너비, 머리 길이, 엄지 손끝 길이)에 대해 Jack에서 제공하는 추정치를 사용하였으나, 이들 변수들은 다른 인체변수들과 통계적 연관관계가 높은 것으로 분석되었다. Jack은 27개 인체변수에 대한 수치를 사용하여 가상인체모델을 생성하는데, 입력되지 않은 인체변수는 자동으로 추정하게 된다. 본 연구에서는 사후 분석(post hoc analysis)으로 US Army 인체측정자료(Gordon et al., 1988)를 이용하여 누락된 3개의 인체변수와 나머지 인체변수들에 대해 stepwise regression 분석을 수행한 결과 (p_{in} = 0.05, p_{out} = 0.1), 누락된 3개의 인체변수의 회귀식들이 높은 수정회귀계수(adj. R^2 = 52%, 손 너비; 83%, 머리 길이; 84%, 엄지 손끝 길이)를 가지는 것으로 파악되었다.

본 연구는 기존 연구에서 제시한 computer workstation 작업 자세에 근간해 평가 기준 자세를 설정하였다. 그러나, 본 연구의 방폐장 주제어실은 두 개의 표시장치(LCD와 LDP)가 설치되어 있어 computer workstation과는 작업 자세가 상이할 수 있다. 따라서, 방폐장 주제어실에 대한 보다 적합한 평가를 위해서는 LCD와 LDP를 사용하는 작업 특성을 고려한 평가 기준 자세의 설정이 필요하다.

참고 문헌

구진영, 장통일, 이중근, 이용희. 국내 원자력발전소 주제어실의 인

간공학적 설계 기준 비교 검토. *대한인간공학회 2006 추계학술대회지*, 2006.

김철중, 이남식, 김진호, 박세진, 박수찬, 박재희, 조현모, 이윤우, 이희윤. *VDT Workstation의 인간공학적 설계 및 평가기술에 관한 연구*. 한국표준과학연구원, KRISS-93-061-IR, 1991.

박장운, 정기효, 이원섭, 강병길, 이정효, 엄주호, 박세권, 유희천. Digital Human Simulation을 통한 인간공학적 헬리콥터 조종실 설계 평가 방법 개발. *대한인간공학회 2008 춘계학술대회지*.

유희천. Digital human model simulation for ergonomic design of tangible products and workplaces. *대한인간공학회 2007 추계학술대회지*, 2007.

이상기, 이민정, 조영석, 권오채, 박정철, 유희천, 한성호. Digital human simulation을 통한 overhead crane의 인간공학적 설계 및 평가. *대한인간공학회/ 한국감성과학회 2005 춘계학술대회 및 제 8회 한일 공동 인간공학 심포지움*, 57-60, 2005.

정기효, 이원섭, 박장운, 강병길, 엄주호, 박세권, 유희천. 한국형 헬리콥터 조종실의 인간공학적 설계 및 평가. *제 16회 지상무기학술대회*, 2008.

한국방사성 폐기물관리공단. 중·저준위 방사성 폐기물의 정의. Retrieved August 21, 2009 from http://www.krmc.or.kr., 2009a.

한국방사성 폐기물관리공단. 중·저준위 월성원자력환경관리센터 사업개요. Retrieved August 21, 2009 from http://www.krmc.or.kr, 2009b.

ANSI/HFES. *Human Factors Engineering of Computer Workstations*. California, USA: Human Factors and Ergonomics Society, 2007.

Arcaleni, E., Secular trend and regional differences in the stature of Italians, 1854-1980. *Economics and Human Biology*, 4, 24-38, 2006.

Bielicki, A. and Szklarska, A., Secular trends in stature in Poland: national and social class-specific. *Annals of Human Biology*, 26(3), 251-258, 1999.

Bowman D., Using digital human modeling in a virtual heavy vehicle development environment. In Chaffin, D. B. (Ed.), *Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design*. Warrendale, PA: SAE International, 2001.

Chaffin, D. B., Improving digital human modeling for proactive ergonomics in design. *Ergonomics*, 48(5), 478-491, 2005.

Chaffin, D. B., *Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design*. Pennsylvania, USA: SAE, 2001.

Chaffin, D. B. and Andersson, G., *Occupational Biomechanics* (2nd ed.). New York, USA: WileyInterscience, 1984.

Gordon, C. C., Bradtmiller, B., Churchill, T., Clauser, C., McConville, J., Tebbetts, I. and Walker, R., *1988 Anthropometric Survey of US Army Personnel: Methods and Summary Statistics* (Technical Report NATICK/TR-89/044). US Army Natick Research Center: Natick, MA, 1998.

Grandjean, E., *Ergonomics in Computerized Offices*. Philadelphia, USA: Taylor & Francis, 1987.

Grandjean, E., Hunting, W. and Pidermann, M., VDT workstation design: Preferred settings and their effects. *Human Factors*, 25, 161-175, 1983.

Hedge, A. and Powers, J. A.. Wrist postures while keyboarding: Effects of a negative slope keyboard system and full motion forearm supports. *Ergonomics*, 38, 508-517, 1995.

Hwang, S.-L., Liang, S.-F.M.b, Liu, T.-Y.Y., Yang, Y.-J., Chen, P.-Y., Chuang, C.-F., Evaluation of human factors in interface design in main control rooms. *Nuclear Engineering and Design*, 239, 3069-3075, 2009.

NASA., Man-system integration standards. Retrieved September 22, 2009 from http://msis.jsc.nasa.gov/Volume1.htm, 2006.

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). Secular change in Japan. Retrieved January 11, 2009, from http://www.dh.aist.go.jp/research/centered/anthropometry/secular.php.en, 2006.

Nelson, C., Anthropometric Analyses of Crew Interfaces and Component Accessibility for the International Space Station. In Chaffin, D. B. (Ed.), *Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design*. Warrendale, PA: SAE International, 2001.

O'Hara, J. M., Brown, W. S., Lewis, P. M. and Persensky, J. J., *Human-System Interface Design Review Guidelines* (DC 20555-0001). U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research, 2002.

Padez, C. and Johnston, F., Secular trends in male adult height 1904-1996 in relation to place of residence and parent's educational level in Portugal. *Annals of Human Biology*, 26(3), 287-298, 1999.

Roche, A. F., Executive Summary of Workshop to Consider Secular Trends and Possible Pooling of Data in Relation to the Revision of the NCHS Growth Charts. Division of Health Examination Statistics, National Center for Health Statistics, Hyattsville, Maryland, 1995.

Size Korea. 한국인 인체측정 통계자료. Retrieved September 26, 2009 from http://sizekorea.kats.go.kr, 2004.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 이 백 희 ❖ x200won@postech.ac.kr
인하대학교 산업공학과 학사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 석사과정
관심분야: 디지털 환경 기반 인간공학적 제품 설계 및 평가, 자동차 인간공학, 사용자 인터페이스 설계

❖ 장 윤 ❖ thursday@postech.ac.kr
한동대학교 산업정보디자인학부 학사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 석사과정
관심분야: 인간공학적 제품 설계, 3차원 시각화, 정보 디자인

❖ 정 기 효 ❖ khjung@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업경영공학과 박사
현 재: Pennsylvania State University 산업공학과 Post-doc
관심분야: 디지털 환경 기반 인간공학적 제품 설계 및 평가, 사용자 중심 제품 설계, 사용성 평가, 직업성 근골격계질환 예방 및 통제

❖ 정 일 호 ❖ wgo15ugo@hec.co.kr
경희대학교 멀티미디어시스템공학과 석사
현 재: 현대엔지니어링 원자력부 연구원
관심분야: 주제어실 설계, MCB 설계, 원자력 인간공학

❖ 유 희 천 ❖ hcyou@postech.ac.kr
Pennsylvania State University 산업공학과 박사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 부교수
관심분야: 인간공학적 제품설계 기술, 사용자 중심의 제품설계, 가상 환경 기반 인간공학적 제품 설계 및 평가, 사용성 공학, 근골격계질환 예방 및 통제

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2009년 11월 05일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 03월 19일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 04월 30일