Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.21, No.4, pp.15-24, December 2002

로봇팔의 제어-운동 양립성에 관한 연구*

A study on Control-motion Compatibility of Robot Mechanical Arm

손 일 문** , 곽 효 연***

ABSTRACT

In the programming of industrial robot, it is difficult to control the motion of mechanical arm by teach pendant in the coordinate system, because an operator may have the poor perceptions of the position and direction of mechanical arm in three-dimensional workspace.

In this paper, we argued that cognitive characteristics must be considered in a study on the control-motion compatibility of teach pendant for improving the task performance. "The visual cues or references related to the positions and directions of axes in the coordinate system according to changing of operator-robot orientation" was suggested as one of the important factors by protocol analysis. In the experiments, this suggested factor, and visual cues(Gray,1991) were tested to evaluate the effects on task performance. In results, the visual cues was good to improve the task performance, too. But the improvement of task performance by the teach pendant considering the suggested factor was better than the visual cues. Furthermore, it was acquired as the best result that the reduction rate of task completion time, and the numbers of task errors were 48.2%, and 86.5%, respectively, by using the visual cues and the suggested factor, simultaneously. Male's work completion time was 78.0%, and the numbers of task errors were 61.4% compared to female's.

Keyword: industrial robot, teach pendant, cognitive characteristics, control-motion compatibility, operator-robot orientation

* 이 논문은 2001년도 동명대학 학술연구조성비로 연구되었음
** 동명대학 산업경영과
주소 : 608-740 부산시 남구 용당동 505
전화 : 051-620-3435
E-mail : imson@yongma.tmc.ac.kr
*** 수원과학대학 산업시스템경영과

1. 서 론

산업용 로봇은 티치펜던트(teach pendant)라 불리우는 휴대용 RCU(hand-held remote control unit)를 통해 프로그래밍된다. 티치펜던트의 주 기능은 조작자가 로봇에게 공간상의 위치를 교시(teaching)하기 위해 로봇팔의 운동을 수동으로 제어하는 것이다. 즉, 이는 그림 1과 같이 인간-로봇 상호작용(human-robot interaction)의 인터페이스이다.

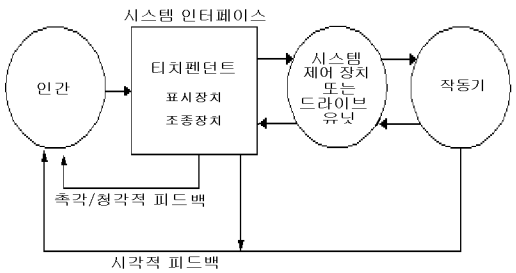

그림 1. 인간-로봇 상호작용

로봇팔은 여러 가지 좌표시스템, 또 다양한 운동모드를 가지고 있어 운동제어에 난점이 있고(Edwards, 1984), 티치펜던트의 유형이 다양하고 일관성이 없어 제어오류 및 안전사고의 발생 원인이 된다(Helander 와 Karwan,1988). 실제로 로봇팔의 운동제어 작업에서 조작자가 로봇팔을 3차원 공간의 목표 위치로 이동시키기 위해 반복적인 제어의 시행착오를 겪게되는 데, 보다 정확하고 신속하게 위치를 교시하기 위해서는 로봇팔의 공간의 위치, 방향, 깊이에 대한 지각과 인지적 능력이 요구된다. 특히, 오늘날 여러 가지 이점으로 off-line 프로그래밍 도구인 가상 로봇시스템이 보편화되었는데, 여기서는 실제보다 위치와 방향에 대한 지각이 어려울 뿐만 아니라 접근의 한계성도 있어 작업의 효율이 더욱 문제된다.

한편, 여러 연구자들이 로봇팔 운동제어의 수행도를 향상시키고자 티치펜던트의 인적요소에 대해 연구하여왔다. 그러나 기존의 연구들은 티치펜던트의 물리적 특성을 주로 연구하여 앞에서 언급한 바와 같이 로봇팔의 운동제어작업 특성상 이의 수행도 향상에 한계를 가진다고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 인간-로봇 상호작용의 측면에서 조작자의 작업특성을 분석하여 제어-운동 양립성(control-motion compatibility)을 보장할 수 있는 인지적 요소를 제시하였다. 그리고 실험을 통하여 제시된 요소와 기존연구의 시각단서가 작업수행시간과 오류에 미치는 효과를 검증하였고, 또 심리학 연구에서 공간지각능력의 남녀차이를 언급하였는데(임정빈 등, 1997), 로봇팔의 운동제어는 이러한 능력과 관련이 있어 남녀간의 수행도 결과를 비교하였다.

2. 로봇팔의 운동제어의 특성

2.1 티치펜던트의 인적요소

로봇팔의 운동제어에 대한 난점과 효율성을 개선하기 위하여 여러 연구자들이 인간공학적인 티치펜던트에 대해 연구하여 왔다.

Brantmark 등(1982), Ghosh와 Lemay (1985), Gray 등(1990)은 여러 가지 상황 하에서 조이스틱과 푸시버튼의 효과를 비교 연구하였고, Podgorski와 Boleslawski (1990)는 제어키의 배열에 따른 수행도의 변화, Gray 등(1991)는 동작방향에 대한 시각 단서의 효과를 연구하였다. 이들 연구를 종합해보면 티치펜던트의 설계에는 크기, 형태 및 무게 등과 같은 인체계측학적 특징, 관련 기능을 집단화하는 것과 같은 기능키의 배열방법, 하나의 키에 할당할 수 있는 기능의 가지수, 기능의 암호화, 색채, 밝기, 색대비, 가시도 등과 같은 기능의 표기방법, 푸시버튼, 조이스틱, 스위치, 소프트키 등과 같은 입력장치의 유형, 표시장치의 한계성 등과 같은 인적요소를 내포하고 있다.

이러한 연구들에서 Gray(1991)의 시각단서를 제외하고는 주로 티치펜던트의 물리적인 요소를 고려한 것이라 할 수 있다. Gray (1991)은 로봇팔의 운동에 대한 (반)시계방향, 좌우 및 상하방향을 작업장에 고정적으로 표시하였다. 그러나 이것은 조작자의 위치가 변경될 때 여전히 좌표시스템에 대한 혼동의 문제를 크게 해결하지 못하였다. 따라서 이러한 문제의 해결은 인간-로봇 상호작용에 따른 조작자 행위의 측면에서 관찰하고 대안을 모색하는 것이다.

2.2 제어-운동 양립성의 인지적 특성

로봇 프로그래밍의 대부분은 티치펜던트로 로봇팔을 원하는 위치로 이동시킨 후, 메모리 버튼을 누르는 과정이다. 이러한 운동제어작업에는 직무요구(job demand)가 다소 복잡하고 시행착오도 많은 특성을 가진다. 이의 효율성 문제를 개선하기 위해서는 인간-로봇 상호작용을 도모할 수 있는 인지적 특성을 규명이 필요하다. 이를 위하여 3장의 실험에 참여할 피실험자를 대상으로 프로토콜 분석(protocol analysis)을 행하였는 데, 이를 토대로 운동제어작업의 특성을 기술하면 다음과 같다.

① 목표의 위치를 파악하고 이를 현재의 위치와 비교하여 로봇팔의 이동에 대한 작업목표를 설정한다.

② 좌표시스템, 운동모드, 티치펜던트 등에 대한 지식을 활용하여 작업목표를 달성할 수 있는 가장 효율적이고 손쉬운 이동경로를 계획한다.

③ 이동경로 계획에 따라 구체적인 제어절차를 형성하게 되는데, 먼저 목표의 위치로 이동하기 위해 필요한 관절(또는 축)의 순서를 결정하고, 이의 각 관절(또는 축)에 대한 운동모드, 속도, 운동방향을 고려하여 해당 버튼과 운동량을 결정하는 내적 활동이 이루어진다.

④ 조작자는 ③의 제어절차에 따라 선택된 버튼으로 로봇팔을 실제로 움직인다.

⑤ ④의 결과를 관찰하여 ③의 제어절차와 비교하고, 오류가 발생하면 수정을 행한다. 이때, 필요하다면 ③의 제어절차를 변경한다. 그리고 목표의 위치와 비교하여 여전히 편차가 존재하거나 작업목표나 계획된 이동경로를 변경할 필요가 있으면 ① 또는 ②의 단계로 간다. 그렇지 않으면 작업을 종료한다.

Rahimi와 Karwowski(1990)는 이러한

운동제어작업의 특성을 Rasmussen(1986)의 3가지 인간행위범주인 기술, 규칙, 지식에 기초한 행위(skill-, rule-, knowledge-based behavior)로 설명하였다. 첫째, 기술에 기초한 행위는 단순한 감각-운동 활동이며, 사전에 학습된 작업수행의 서브루틴을 기초로한 재빠른 자동적 제어행위(automatic control action)의 특성을 가진다. 이러한 예는 위의 ③과 ④의 단계에서 발생하는 단순히 해당 버튼을 누르는 행위이다. 둘째, 규칙에 기초한 행위는 사전에 계획되고 학습된 절차가 저장되어 자동적으로 수행되는 것으로서, 예를 들면 3차원 공간상의 특정한 좌표로 로봇팔을 이동시키고자 한다면, 필요한 + 또는 - 방향의 해당 관절(또는 축) 버튼을 선택하여 누르는 절차수행과 같은 것이다. 셋째, 지식에 기초한 행위는 익숙하지 못한 환경 하에서 목표지향적이며, 시스템의 내부 작동 메카니즘에 대한 지식을 근거로 시스템의 결과를 예측하여 작업을 수행하는 특성을 가진다. 예를 들면, 작업대상물의 주위로 로봇팔을 선회하도록 한다면, 목표와 현재 위치간의 오차가 티치펜던트상에 좌표값으로 나타날 것이고 조작자는 이 오차가 '0'가 될 때까지 일련의 시행착오를 거쳐 원하는 새로운 위치점을 교시하는 경우이다.

피실험자들은 위의 모든 작업의 단계에서 특정 좌표시스템에 대한 로봇팔의 위치와 방향, 깊이 지각이 기본적으로 매우 중요한 요인으로 제안하였다. 그리고 ③과 ④의 단계에서 다수의 운동방향과 운동량에 대한 오류가 있어, 이를 수정하는 시행착오를 가졌고, 또한 여기서 계획된 제어절차가 수시로 변경되는 것을 관찰할 수 있었다. 이것의 주된 원인은 작업의 특성상 조작자-로봇간의 상대적 위치, 즉 정위(定位)가 자주 변경되어 주어진 좌표시스템의 각 축과 방향에 대한 지각의 일관성을 유지할 수 없었기 때문이다. 또한 부분적으로 공간깊이의 착각에 의하여 운동량의 과부족이 발생하기도 하였다.

결론적으로, 운동제어작업에서는 그림 1의 시각적 피드백(feedback)에 "조작자-로봇 정위의 변화에 따른 좌표시스템의 위치와 방향에 대한 단서 또는 참조(이하 '정위변화 정보'라 함)"를 제공하는 것이 제어-운동 양립성의 중요한 요소임을 알 수 있다.

3. '정위변화 정보'의 실험 및 평가

본 장에서는 제시된 '정위변화 정보', 기존 연구(Gray,1991)의 시각단서 등의 유효성을 검증하고, 공간지각능력차이에 관련하여 남녀간의 수행도 결과를 비교하기 위하여 실험을 행하였다.

3.1 실험대상 및 작업의 설계

실험의 대상으로는 그림 2와 같이 PUMA 560을 선정하였다. 이를 선정한 이유는 다른 모델보다 운동모드, 운동축에 따라 로봇팔의 제어가 다소 난해하기 때문이다.

실제로 로봇은 물류취급 작업에 많이 응용

된다. 그래서 이러한 작업의 기초단위인 'pick-and-place' 작업을 고려하여, 그림 3과 같이 2개의 물체(1, 2)를 옮기는(a→b) 것으로 실험의 작업을 구성하였다.

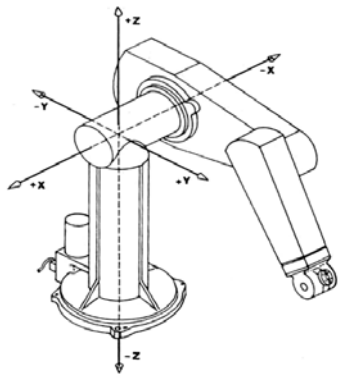

그림 2. Puma 560과 실좌표계

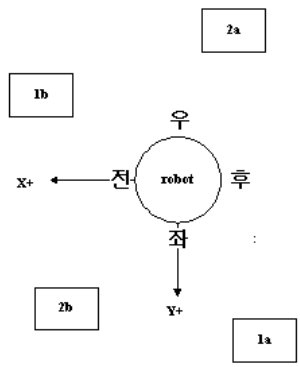

그림 3. 실험의 작업

PUMA 560은 6자유도를 가지지만 본 실험에서는 위치설정과 관련이 없는 3개의 손목관절을 제외한 base, shoulder, elbow축의 3자유도 운동으로 제한하였고, 관절 및 공구좌표계를 제외한 실좌표계 만을 고려하였다. 실험은 Workspace4.0(Robot Simulations Ltd.) 시뮬레이터 상에서 행하였다. 이러한 이유는 실제로 로봇 프로그래밍이 off-line 상에서 거의 이루어지고 있으며, 또한 실제보다 가상의 로봇시스템에서 위치와 방향에 대한 지각이 더욱 난해하여 본 연구의 주제에 부합되기 때문이다. 그리고 티치펜던트 조작은 그림 4의 pendant창 상에서 마우스로 이루어졌다. 이러한 이유는 본 연구가 인지적 요인을 고려하는 것으로서, 실제 티치펜던트의 물리적인 특성을 배제할 수 있기 때문이다.

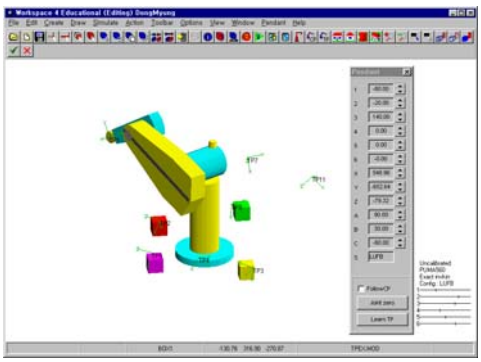

그림 4. 실험화면 예

3.2 실험의 설계

피실험자로는 로봇의 제어경험이 없는 대학생 및 대학원생으로 구성된 8명(남-4명, 여-4명)을 선발하였다. 남자의 평균 나이는 27.5세이고 여자의 평균 나이는 24.5세이다.

'정위변화 정보'는 그림 3상의 조작자 위치에 따라 축과 방향을 표 1과 같이 화면상에 표시하였다. 기존연구의 시각단서는 로봇 실좌표계의 X, Y축선과 함께 그 기호를 단순히 로봇팔에 고정적으로 표시하였다.

표 1. '정위변화 정보'의 표현

로봇에 대한 조작자 위치 / 로봇팔의 운동방향	전	후	좌	우
앞쪽	Y-	Y+	X+	X-
뒷쪽	Y+	Y-	X-	X+
왼쪽	X+	X-	Y+	Y-
오른쪽	X-	X+	Y-	Y+

따라서 실험의 독립변수로서 시각단서의 유·무(유:A1, 무:A2), '정위변화 정보'의 유·무(무:B1, 유: B2), 성별(남:C1, 여:C2) 등 3인자에 대한 실험계획을 구성하였으며, 작업수행시간과 오류 수를 종속변수로 하였다. 작업수행시간은 그림 3과 같이 2개의 위치 교시와 대상물의 위치를 옮기는데 소요되는 시간으로 정의하였고, 작업오류는 조작방향의 오류로 정하였다. 예를 들어, 작업의 올바른 절차상 바로 Z+방향으로 움직여야 하나 실수로 Z-방향으로 움직인 후 곧바로 다시 Z+방향으로 수정하여 움직이는 것은 관절(또는 축)과 방향선택이 잘못된 작업오류에 속한다.

각 피실험자는 시각단서의 유·무와 '정위변화 정보'의 유·무에 대한 4가지 실험조건에서 2번의 반복을 시행하였다. 이때 전이효과와 학습효과 등으로 인한 영향을 최소화하기 위하여 라틴방격법을 이용하여 실험순서를 임의로 결정하였다.

3.3 실험방법 및 절차

실험은 예비단계, 본 실험단계, 사후 실험단계로 이루어졌다. 먼저 예비단계는 준비과정과 도입과정으로 구성된다. 준비과정에서는 각 피실험자에게 티치팬던트의 사용방법과 로봇의 운동축, 운동방향, 운동범위 및 이동방법을 설명한 실험지침서를 제공하고, 실험의 목적 및 진행상황을 설명하여 실험작업을 이해할 수 있도록 하였다. 도입과정에서는 시뮬레이터를 연습하였고 실험작업에 익숙해질 수 있도록 예제작업을 행하였다.

본 실험단계에서는 예시 작업을 통해 대상물의 물류취급방법 및 작업순서를 설명한 후, 각 실험조건에서 실제의 실험을 행하였다.

마지막으로, 사후 실험단계에서는 모든 실험작업이 끝난 후, 티치팬던트 종류에 대한 선호도를 설문조사하였고, 또한 로봇의 작업도면상에 로봇의 운동 축과 운동 방향을 표시하도록 하여 로봇의 운동유형을 정확하게 이해하는지를 확인하였다.

3.4 실험 결과 및 고찰

3.4.1. 작업수행시간

표 2는 실험의 3가지 인자에 대한 작업수행시간의 분산분석표이다. 여기서 작업수행시간은 주 효과에서만 유의차가 있고 교호작용에서는 유의차가 없었다.

시각단서 유·무에 의한 작업수행시간의 차이는 그림 5와 같다. 여기서 시각단서가 있을 때, 작업수행시간이 19.0% 단축되어 기존 연구의 시각단서가 효용성이 있다는 것을 다시 검증할 수 있었다.

표 2. 작업수행시간의 분산분석표

S	SS	df	MS	F	sig.
A	72361	1	72361	6.61	.014
B	202050	1	202050	18.16	.000
C	131951	1	131951	11.86	.001
A×B	1702	1	1702	0.15	.697
A×C	5256	1	5256	0.47	.495
B×C	12432	1	12432	1.12	.295
A×B×C	689	1	689	0.06	.804
E	622972	56	11125		
T	1049413	63	16657		

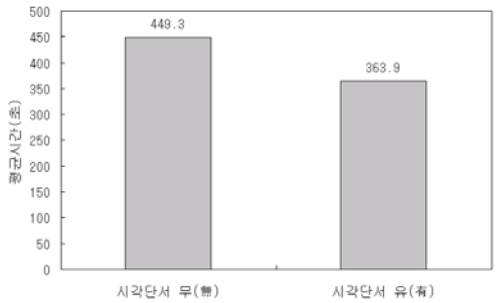

그림 5. 시각단서 유·무에 따른 평균 작업수행시간

'정위변화 정보'의 유·무에서, 그림 6과 같이 '정위변화 정보'가 있을 경우 그렇지 못한 경우에 비해 작업수행시간이 26.9% 단축되었다.

그림 6. '정위변화 정보'의 유·무에 따른 평균 작업수행시간

그림 5와 그림 6에서 시각단서에 의한 작업수행시간의 단축율 19.0% 보다 '정위변화 정보'에 의한 단축율 26.9%가 더 크게 나타나, 기존 연구의 시각단서보다 본 연구의 '정위변화 정보'가 더 우수한 것을 입증할 수 있었다.

표 3은 시각단서 유·무와 '정위변화 정보'유·무의 조합조건에 대한 작업수행시간이다. 여기서 시각단서와 '정위변화 정보'를 동시에 사용할 때, 그렇지 않는 경우보다 작업수행시간이 48.2% 단축되는 현저한 작업수행의 개선이 있었다.

표 3. 시각단서 유·무와 '정위변화 정보'의 유·무의 조합조건에 대한 작업수행시간

시각단서/ '정위변화 정보'	무/무	유/무	무/유	유/유
평균 작업수행시간(초)	551.0	442.5	387.6	285.4

성별에 의한 작업 수행시간의 차이는 그림 7과 같다. 남자의 경우, 여자에 비해 작업수행시간이 22% 짧다. 앞에서 언급하였듯이 로봇팔의 운동제어는 공간에 대한 위치, 방향, 깊이의 판단능력에 크게 좌우되는데, 이러한 결과는 심리학의 연구에서 일반적으로 남녀간의 공각지각능력 차이에 기인하는 것으로 해석할 수 있다.

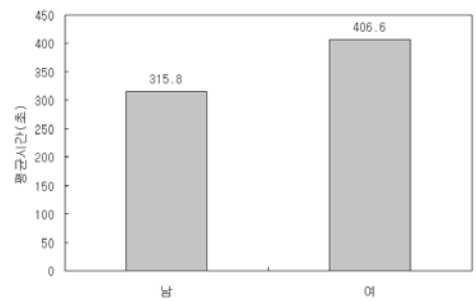

그림 7. 성별에 따른 평균 작업수행시간

3.4.2. 작업오류 수

표 4과 같이 작업오류 수도 주 효과에서만 유의차가 있었고 교호작용에서는 유의차가 없었다.

표 4. 작업오류 수에 대한 분산분석표

S	SS	df	MS	F	sig.
A	105	1	105	16.94	.0001
B	240	1	240	38.74	.0000
C	49	1	49	7.90	.0068
A×B	18	1	18	2.97	.1310
A×C	16	1	16	2.58	.1138
B×C	19	1	19	3.14	.1318
A×B×C	11	1	11	1.70	.1972
E	347	56	6		
T	805	63	13		

그림 8, 그림 9, 그림 10은 각각 시각단서의 유·무, '정위변화 정보'의 유·무, 성별에 대한 작업오류 수의 차이이다.

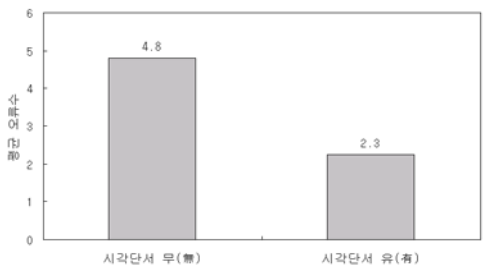

그림 8. 시각단서 유·무에 따른 평균 작업오류 수

그림 9. '정위변화 정보'의 유·무에 따른 평균 작업오류 수

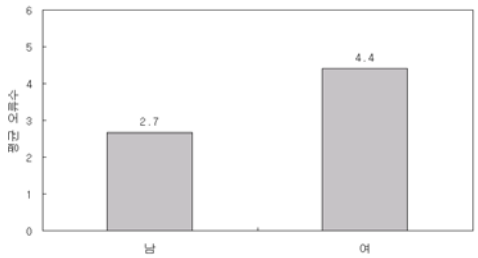

그림 10. 성별에 따른 평균 작업오류 수

작업오류의 측면에서도 시각단서가 존재함으로서 52.1%, 그리고 '정위변화 정보'가 있을 때 70.9%의 작업수행의 향상을 각각 보였다. 성별의 차이에서는 남자의 작업오류 수가 여자에 비해 38.6% 낮았다.

여기서 시각단서에 의한 작업오류 수의 단축율 52.1%에 비해 '정위변화 정보'에 의한 단축율 70.9%가 높아, 작업오류의 감소효과에서도 기존 연구의 시각단서보다 '정위변화 정보'가 우수함을 다시 한번 확인할 수 있었다. 그리고 작업오류의 측면에서도 일관되게 남자가 여자보다 수행도가 좋다는 결론을 얻었다.

표 5는 시각단서 유·무와 '정위변화 정보' 유·무의 조합조건에 대한 작업오류 수이다. 작업수행시간과 마찬가지로 시각단서와 '정위변화 정보'를 동시에 사용할 경우, 그렇지 못한 경우보다 오류율이 86.5%로 현저히 감소하였다. 이러한 결과는 시각단서가 로봇팔의 측면에서 고정된 좌표축의 위치, '정위변화 정보'는 조작자 측면에서 위치변화에 따른 축의 위치와 방향을 동시에 제공되어 조작자–로봇의 위치변화의 양상과 정도도 파악하여 보다

일관성있는 공간지각을 가질 수 있기 때문이다.

표 5. 시각단서 유·무와 '정위변화 정보'의 유·무의 조합조건에 대한 작업오류 수

시각단서/'정위변화 정보'	무/무	유/무	무/유	유/유
평균 작업오류 수	7.4	3.5	2.9	1.0

4. 결 론

본 연구는 로봇팔의 운동제어의 효율성을 개선하기 위하여 티치펜던트의 물리적 요소보다는 제어-운동 양립성의 인지적 특성을 고려하고자하였다. 조작자 행위를 분석한 결과, "조작자-로봇 정위의 변화에 따른 좌표시스템의 위치와 방향에 대한 시각적 단서 또는 참조(정위변화 정보)"를 제어-운동 양립성의 중요한 요소로 제안하였고, 실험을 통하여 이의 요소와 기존연구의 시각단서를 비교하고 그 유효성을 검정하였다. 그리고 심리학 연구의 공간지각능력 남녀간 차이는 로봇팔의 운동제어에 관련이 있으므로 남녀간의 수행도도 비교하였다. 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 시각단서 또는 '정위변화 정보'를 각각 제공할 경우 작업수행도가 향상되었다. 두가지 모두 작업수행시간보다 작업오류 수의 감소율이 더 높았다.

② 시각단서에 비하여 '정위변화 정보'는 작업수행시간이 7.9%, 작업오류 수는 18.8% 더 감소한 것으로 나타나, 기존 연구의 시각단서보다 본 연구에서 제시한 '정위변화 정보'가 작업수행도의 향상에 더 우수하였다.

③ 한편, 시각단서와 '정위변화 정보'를 동시에 제공할 경우, 작업의 수행도는 현저히 향상되었다. 이것은 두 가지를 사용하지 않을 때와 비교하면 작업수행시간은 48.2%, 작업오류 수는 86.5%로 감소되었다.

④ 성별에 따른 작업수행도는 전반적으로 남자가 우수하였는 데, 여자에 비하여 작업수행시간은 22.0%, 작업오류 수는 38.6% 좋은 것으로 나타났다.

참고 문헌

임정빈, 정혜정, 성역할과 여성, 학지사, 1997.

Brantmark, H., Lindquist, A., and Norefoss, V., "Man-Machine Communications in ASEA's new Robot Controller", ASEA Journal, 55(6), 145~150, 1982.

Edwards, M., "Robots in industry:an overview", Applied Ergonomics, 15(1), 45~53, 1984.

Ghosh, K., and Lemay, C., "Man-Machine Interaction in Robotics and their Effect on the Safety at the Workspace", Proceedings Robot Current Issues, Future Concerns, 2, 19.1~19.8, 1985.

Gray, S. V., Morley, E. C., Wilson, J. R., and Syan, C. S., "Problems Associated with Standardization

on Robot Teach Pendants", In Lovesey, E. J.(Ed), Contemporary Ergonomics, 481~486, 1991.

Gray, S. V., Syan, C. S., and Wilson, J. R., "Task Difficulties in Robot Motion Control", In Karwowski, W., and Rahimi, M.(Ed), Ergonomics of Hybrid Automated System II, Elsevier, 825~832, 1990.

Helander, M. G., and Karwan, M. H., "Methods for field evaluation of safety in a robotics workplace", In Karwowski, W., Parsaei, H. R., and Wilhelm, M. R. (Ed), Ergonomics of Hybrid Automated System I, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 400~410, 1988.

Michael, J.M., and Sheridan, T.B., "Teleoperator Performance with Varying Forces and Visual Feedback," Human Factors, 36(1), 145~157, 1994.

Parsons, H. M., "Remote-Control Units for Industrial Robots", In Rahimi, M., and Karwowski, W.(Ed.), Handbook of Human-Robot, Taylor & Francis, New York, 26 6~283, 1992.

Podgorski, D., and Boleslawski, S., "Ergonomics in the Design of Robot Teach Pendants", In Rahimi, M., and Karwowski, W.(Ed.), Ergonomics of Hybrid Automated System Ⅱ, Elsevier Science, New York, 811~818, 1990.

Rahimi, M., and Karwowski, W., "A Research Paradiam in Human-Robot Interaction," Int. j. of Industrial Ergonomics, Elsevier, 59~71, 1990.

Rasmussen, J., Information Processing and Human-Machine Interaction, Elsiver Science, Amsterdam, 53, 1986.

저자 소개

◈ 손일문

동아대학교 산업공학과에서 학사(86년), 석사, 박사학위를 취득하였으며, 현재 동명대학 산업경영과에 재직중. 관심분야는 인지공학, 인터페이스설계, 산업용 로봇응용 등이다.

◈ 곽효연

동아대학교 산업공학과에서 학사(91년), 석사, 박사학위를 취득하고, 한국원자력연구소 MMIS Lab.에서 박사후 과정을 이수하였으며, 현재 수원과학대학 산업시스템경영과에 재직중, 관심분야는 인지공학, HCI, Web site 설계 등이다.

논문접수일 (Date Received): 2002/3/2
논문게재승인일(Date Accepted): 2002/11/14