

《연구논문》

産業用 로봇의 效率的인 動作 데이터 算出方法에 관한 研究

(A Study on the efficient calculation method of the motion data in the industrial robot)

이순요*, 권규식**, 노근래**

ABSTRACT

The robot motion control in the industrial robot is generally executed by the teach pendant. But, it requires much teaching time and workload to the operators. This study suggests the use of the robot motion control method by the computed keyboard in the industrial robot instead of the teach pendant. TES/CCS(Teaching Expert System/Cartesian Coordinate System) and TES/WCS(Teaching Expert System/World Coordinate System) that have been proposed to improve the robot motion control are applied for this concept.

This study is intended to improve the robot motion control in TES/CCS. Parameter limitation problems in getting the motion data on position and posture of the robot in macro motion control are solved by proposed geometric algorithm.

This result demonstrates reduction of the average teaching task time to the teaching position.

I. 서 론

생산현장에서의 자동화시스템이 복잡해지고, 그에 따른 인간의 기술수준이 향상됨에 따라, 산업현장에서 흔히 존재하는 단순 반복적인 작업을 로봇에게 대행시킴으로써 작업의 효율을 증대시키고자 하는 노력이 점점 증가하고 있다. 그러나 대부분의 산업용 로봇은 극히 제한된 범위내에서의 지적기능만을 가지기 때문에 작업의 구조가 잘 설계되어 있지 않으면 아주 단순한 작업도 로봇에 의한 수행이 곤란하다. 따라서 인간의 우수한 동작제

어능력의 일부를 로봇에게 부여함으로써 인간과 로봇의 역할분담을 통한 협조작업을 이루려는 시도가 제한되고 있다[1]. 그러나, 실제로 많은 산업현장에서의 로봇 장비들은 human-robot interface를 충분히 고려하지 못하여 기대만큼의 생산성을 올리지 못하고 있는 실정이다.

산업현장에서의 human-robot interface 위한 수단으로는 teach pendant와 컴퓨터 등이 있으나, 일반적으로 teach pendant가 많이 사용되고 있다[2]. Teach pendant를 통해 작업을 교시해 주기 위해서,

* 고려대학교 산업공학과

** 고려대학교 산업공학과 대학원

인간조작자는 로봇의 단순한 이동에 대해서도 로봇 각 관절의 상호관계를 생각하면서 step-by-step motion에 의해 아주 조금씩 로봇을 이동시켜 나간다. 또한 이 방법에 의해 로봇의 동작을 제어할 경우, 인간조작자는 로봇의 작업역내에서 로봇을 제어하게 되어 위험한 상황에 직면할 수 있다. 따라서 로봇의 이동상태는 극히 느린 상태에서 동작을 수행하게 되어, 인간조작자의 로봇 동작 제어에 대한 제어시간이 많이 요구된다. 더우기 작업의 내용이 더욱 복잡해지게 되면, 그에 따른 로봇에의 작업교시시간이 급증하게 되어 많은 조작에러를 유발할 수 있게 될 것이다. 이외에도, 현재 일반적으로 사용되고 있는 teach pendant의 불합리성에 대해 다음과 같은 사항들이 지적되고 있다[3][4].

- ① 크기가 너무 큰 것은 인간조작자가 한 손에 들고 작업하기 곤란하다.
- ② 무게가 지나치게 무거운 것이 있다.
- ③ Pendant의 조작모드에 따라 한 key에 대해 지나치게 많은 기능이 할당되는 것이 있다.
- ④ Key에 할당되어 있는 용어와 표시가 모델간에 일치되어 있지 않아 인간조작자가 혼동하기 쉽다.
- ⑤ 모델마다에 모양과 크기에 대한 일관성이 결여되어 있다.
- ⑥ 위험정지 버튼이 없는 것도 있다.

따라서 teach pendant에 의한 작업교시방법은 많은 교시시간을 요구하고, 그에 따른 조작에러가 발생할 뿐만 아니라, 많은 불합리한 점들을 내포하고 있어, 생산라인의 빈번한 변경이 요구되는 현재의 산업구조속에서는 작업교시방법에 대한 변화가 시급히 요구되고 있다.

본 연구실에서는 산업용 로봇에게 작업을 교시하는데 있어서 기존의 teach pendant에 의한 방법이 아니라, 인간조작자가 컴퓨터 키보드를 통해 원하는 교시지점을 한번만 입력하면 이에 따라 필요한 동작데이터를 산출하고, 입력된 교시지점까지 정확하게 로봇을 이동시키기 위한 TES/CCS(Teaching Expert System/Cartesian Coordinate System)와 TES/WCS(Teaching Expert System/World Coordinate System) 등에 대한 연구가

진행되어 왔다[5]. 본 연구에서는 이중 TES/CCS를 통해 로봇의 동작데이터를 효율적으로 산출하기 위한 방법에 대해 연구하고자 한다. TES/WCS에 대한 연구는 기존에 많이 진행되었기에 본 연구에서는 언급하지 않기로 한다[6][7].

TES/CCS에서는 직교좌표계에 의해 입력자료(x, y, z, pitch, roll)가 주어지면, 이에 따른 로봇의 관절값을 Geometric Inverse Kinematics(GIK)에 의해 계산하여 로봇의 동작을 제어하였다. 그러나 이때 GIK에 의해 관절값을 계산할 경우, 로봇의 하드웨어 특징상 각 관절에 주어질 수 있는 관절제한범위를 고려하지 못하여 에러가 발생하는 경우가 많았다[7]. 따라서 본 연구에서는 관절제한범위 문제를 해결하기 위하여 기존의 heuristic rules에 의한 방법이 아니라, 입력자료(x, y, z, pitch, roll)와 로봇 각 관절과의 관계를 기하학적으로 분석하고, 이를 알고리즘화 함으로써 로봇의 불필요한 동작을 제거하고자 한다. 또한 이것을 singularity 문제해결 알고리즘, 관절값 산출 알고리즘과 함께 구성하여 GIK/CCS를 구축하고자 한다[8]. 이를 통하여 로봇의 동작데이터를 구하는데 있어서 좀더 정확하고 효율적인 방법을 도출할 수 있게 될 것이다.

II. 본 론

2.1. 동작데이터 산출을 위한 알고리즘의 의의

그림 1은 TES/CCS의 전체적 흐름도를 나타내며, 이중선으로 표시된 부분이 본 연구에 다루고자 하는 내용이다.

본 연구에서의 로봇의 동작데이터를 산출해내는 GIK/CCS는 singularity 알고리즘, 관절제한범위 문제를 해결하는 알고리즘, 그리고 로봇 각 관절의 관절값을 구하는 알고리즘 등 크게 세부분으로 나누어진다. 본 연구에서는 GIK/CCS를 구성하기 위해 singularity 알고리즘과 관절값 산출 알고리즘은 기존 연구의 것을 활용하고자 한다[8]. 기존 연구에서는 관절제한범위 문제를 해결하기 위하여 heuristic rules를 사용하였으나, 일반적으로 많은 산업용 로봇은 그 제원이 각각 다르기 때문에 heuristic rules에 의해 관절제한범위 문제를 해결하고자 할 경우, 특정 로봇마다 rules를 구성

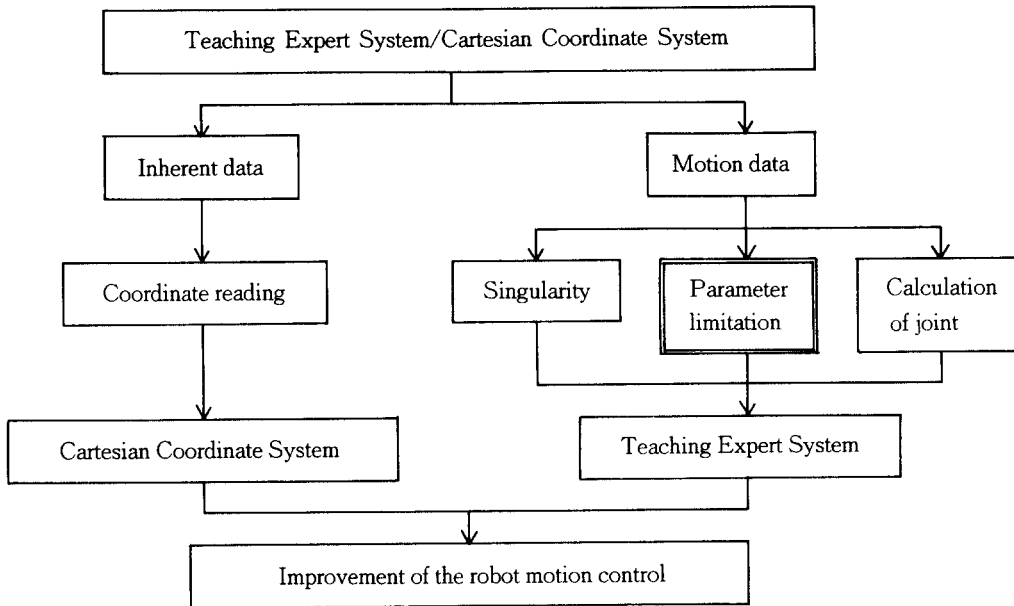


Figure 1. Overall flowchart of this study

하는데 따른 시간이 많이 소요된다. 또한, rules를 구성하는 사람마다 각각의 주관에 의하기 때문에 얼마나 세분하여 rules를 구성하는냐에 따라 그 정확도가 서로 다르게 나타난다.

본 연구에서는 이러한 불합리성을 해소하기 위해 관절제한범위 문제를 알고리즘화하여, 보다 효율적으로 로봇의 동작데이터를 산출할 뿐만 아니라, 서로 다른 로봇에 대해서도 그 로봇의 제원만 알 수 있다면 손쉽게 관절제한범위 문제의 해결에 대한 알고리즘을 구성할 수 있도록 하고자 한다.

2.2. 관절제한범위 문제해결을 위한 알고리즘

CCS에서는 관절제한범위 문제는 입력자료를 통해 각 관절값을 구하는 식과 각 관절제한범위의 상, 하한치와의 관계를 고려함으로써 해결할 수 있다. 그림 2는 관절제한범위 문제를 기하학적인 방법에 의해 해결하기 위해 사용되는 변수들 및 각 관절을 직교좌표계상에 표현한 것이다.

2.2.1 θ_1 의 관절제한범위 문제해결을 위한 알고리즘

θ_1 의 관절제한범위는 $-150^\circ \leq \theta_1 \leq 150^\circ$ 이며, 관절제한범위를 벗어나는 경우는 두 가지의 경우를 생각할 수 있다. 즉, $(x \geq 0, y < 0)$ 인 경우와 $(x$

$< 0, y < 0)$ 인 경우에서 θ_1 의 값이 관절제한범위를 벗어날 수 있다. 먼저, $(x \geq 0, y < 0)$ 인 경우에 있어서 $\theta_1 = 90^\circ + \tan^{-1}(|y|/x) \leq 150^\circ$ 이어야 하는데, 여기서 $\tan^{-1}(|y|/x) \leq 60^\circ$ 이어야 하고, 따라서 $|y|/x \leq \tan 60^\circ = 1.7321$ 을 만족해야 한다. 또한, $(x < 0, y < 0)$ 인 경우에 있어서는 $\theta_1 = -90^\circ - \tan^{-1}(y/x) \geq -150^\circ$ 이고, 이때 $\tan^{-1}(y/x) \leq 60^\circ$ 를 만족해야 한다. 즉, $y/x \leq \tan 60^\circ = 1.7321$ 를 만족해야 한다.

위의 두가지 경우 모두에 있어서, $|y/x| > 1.7321$ 인 경우에 θ_1 의 값은 관절제한범위를 벗어나게 된다. 만약 θ_1 이 관절제한범위를 벗어날 때에는 입력된 위치에 가장 근사하게 로봇을 이동시키도록 하는 새로운 입력데이터 값을 산출하게 된다. 방법은 x 를 새로운 값으로 취하거나, y 를 새로운 값으로 취하는 경우가 있다.

2.2.2 θ_3 의 관절제한범위 문제해결을 위한 알고리즘

θ_3 에 대한 관절값 계산식은 $\theta_3 = \cos^{-1} |(AC^2 - a_2^2 - a_3^2)/2a_2a_3|$ 인데, 여기서 a_2, a_3 는 상수이므로 θ_3 에 영향을 미치는 변수는 AC뿐이다. θ_3 에 대한 관절제한범위의 해결은 singularity 문제의 해결과 거의 유사하다. 즉, θ_3 의 제한범위는 $0^\circ \leq \theta_3$

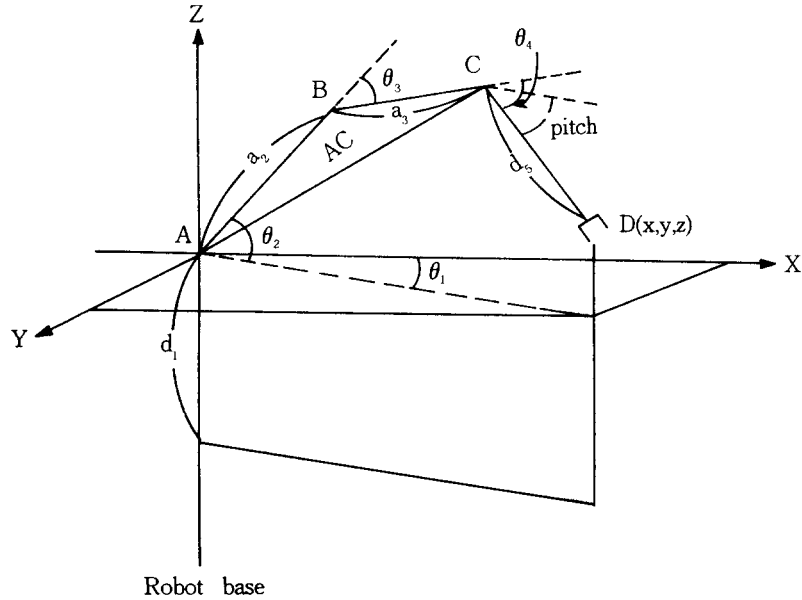


Figure 2. Variables and each joint in CCS

-90° 이다. 이때, $\theta_3=0^\circ$ 이면 $AC = a_2 + a_3$ 가 되고, $\theta_3=90^\circ$ 이면 세 변 AC, a_2, a_3 가 직각삼각형이 되어 $AC = (a_2^2 + a_3^2)^{1/2}$ 이 된다.

즉, θ_3 가 관절제한범위를 벗어나지 않기 위해서는 $(a_2^2 + a_3^2)^{1/2} \leq AC \leq a_2 + a_3$ 을 만족해야 한다. 그런데, 이때 $AC \leq a_2 + a_3$ 는 singularity 문제도 포함되므로, 여기서는 $(a_2^2 + a_3^2)^{1/2} \leq AC$ 의 경우만 고려하면 된다.

즉,

$$(a_2^2 + a_3^2)^{1/2} > AC = [\{ (x^2 + y^2)^{1/2} - d_3 \cos \theta_3 \}^2 + (z - d_3 \sin \theta_3 - d_1)^2]^{1/2}$$

일때는 θ_3 는 관절제한범위를 벗어나는데, 이때 singularity 문제와 같은 방법으로 θ_3 에 대한 관절제한범위 문제가 발생하지 않는 x', y', z' 의 상한치와 하한치를 구할 수 있다. 이를 통해 θ_3 에 대해 관절제한범위를 벗어나지 않으면서 원하는 지점까지 가장 근사하게 이동할 수 있는 지점을 구할 수 있다. 이 지점을 (x', y', z') 라 하면,

$$\begin{aligned} x' &= (2 \times x + x')/3 \\ y' &= (2 \times y + y')/3 \\ z' &= (2 \times z + z')/3 \end{aligned}$$

와 같다.

2.2.3 θ_2 의 관절제한범위의 문제해결을 위한 알고리즘

θ_2 에 대한 관절제한범위 문제의 해결은 θ_3 가 below arm 과 above arm 의 두 자세를 가질 수 있음을 이용하여 쉽게 해결할 수 있다. θ_2 의 계산식은 below arm 과 above arm 에 대해 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_2 = \beta + \Phi, \text{ if } \theta_3 < 0 \\ \beta - \Phi, \text{ if } \theta_3 \geq 0 \text{이다.}$$

$$\text{이때, } \Phi = \cos^{-1} \{ (AC^2 + a_3^2 - a_2^2) / 2ACa_3 \}$$

$$\beta = \tan^{-1} (Z_e / X_e)$$

$$\text{단, } AC = (X_e^2 + Z_e^2)^{1/2}$$

$$X_e = (x^2 + y^2)^{1/2} - d_3 \cos \theta_3$$

$$Z_e = z - d_3 \sin \theta_3 - d_1 \text{이다.}$$

θ_2 의 제한범위는 $-120^\circ \leq \theta_2 \leq 10^\circ$ 인데, 만약 입력값 $(x, y, z, \text{pitch}, \text{roll})$ 에 의해 θ_2 의 값이 관절제한범위를 벗어날 경우에는 $\theta_3 = -\theta_3$ 로 대치시킴으로써 θ_2 에 대한 관절제한범위 문제를 해결할 수 있다.

2.2.4 θ_4 의 관절제한범위 문제해결을 위한 알고리즘

$\theta_4 = \text{pitch} - \theta_2 + \theta_3$ 이고 제한범위는 $-90^\circ \leq \theta_4 < 90^\circ$ 이다. 이때, θ_4 의 제한범위는 pitch 값을 변

화시킴으로써 해결할 수 있다.

θ_3 의 관절제한범위는 roll로서 그 허용범위가 360° 이므로 고려하지 않는다. 각 관절에 대한 관절 제한범위 문제해결 알고리즘을 나타내면 표 1~4와 같다.

2.3 동작데이터 산출을 위한 기하학적 해석에 의한 알고리즘

기존의 TES/CCS에서 singularity 문제는 기하학적으로 해결하여 알고리즘화하였으나, 관절제한범위에 대한 문제를 기하학적이 아닌 heuristic rules에 의해 근사한 관절값을 구하게 됨으로써 로봇을 원하는 지점까지 이동시키는데 부정확하게 이동하는 단점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 관절제한범위 문제를 해결하기 위하여 heuristic rules에 의한 것이 아니라, 앞절에서 언급한 바와 같이 각 관절의 동작데이터를 기하학적 해석에 의한 알고리

즘으로 분석함으로써, 로봇의 동작데이터를 효율적으로 산출하여 로봇의 동작제어 개선이 가능하도록 하였다. 또한, 이것을 기존의 관절제한범위 문제를 heuristic rules에 의해 해결하였던 GIK/CCS에 보완하여 보다 정확한 로봇의 관절값을 산출할 수 있도록 하였다. 아래의 표 5와 표 6은 GIK/CCS에서의 singularity 알고리즘과 관절값 계산 수식들을 나타낸다[8].

III. 실험

3.1 실험방법 및 절차

본 연구에서 대상으로 하는 실험작업은 램프 점화작업으로서 스탠드에 있는 성냥개비를 잡아 성냥통으로 가져가서 불을 붙이고, 알콜램프로 이동하여 심지에 불을 붙인 후에 재떨이에 성냥을 버리는 일련의 연속된 작업이다. 실험을 위한 실험장치로

Table 1. Solving algorithm of parameter limitation about θ_1 .

Condition	Solution
if $\{(x \geq 0 \text{ and } y < 0)$ or $(x < 0 \text{ and } y < 0)\}$ and $(y/x > 1.7321)$	$\{(x = y /1.7321) \text{ or } (y = x \times (-1.7321))\}$ or $\{(x = y/1.7321) \text{ or } (y = x \times 1.7321)\}$

Table 2. Solving algorithm of parameter limitation about θ_3 .

Condition	Solution
$(a_2^2 + a_3^2)^{1/2} > AC =$ $[\{(x^2 + y^2)^{1/2} - d_5 \cos \phi\}^2$ $+ (z - d_5 \sin \phi - d_1)^2]^{1/2}$	$x'' = (2 \times x + x') / 3$ $y'' = (2 \times y + y') / 3$ $z'' = (2 \times z + z') / 3$

Table 3. Solving algorithm of parameter limitation about θ_2 .

Case	Condition	Solution
1	if $(\theta_3 \geq 0)$ and $\{(Xe'' < 0) \text{ or } (Ze'' < 0)\}$ $Xe'' = Xe \cos(\beta + \Phi)$ $Ze'' = Ze \sin(\beta + \Phi)$	$\theta_3 = -\theta_3$
2	if $(\theta_3 < 0)$ and $\{(Xe' < 0) \text{ or } (Ze' < 0)\}$ $Xe' = Xe \cos(\beta - \Phi)$ $Ze' = Ze \sin(\beta - \Phi)$	

Table 4. Solving algorithm of parameter limitation about θ_4 .

Case	Condition	Solution
1	if $\{(\theta_3 \geq 0) \text{ and } (\text{pitch} < -90 + \beta - \Phi - \theta_3)\}$	$\text{pitch} = -90 + \beta - \Phi - \theta_3$
	if $\{(\theta_3 \geq 0) \text{ and } (\text{pitch} > -90 + \beta - \Phi - \theta_3)\}$	$\text{pitch} = 90 + \beta - \Phi - \theta_3$
2	if $\{(\theta_3 < 0) \text{ and } (\text{pitch} < -90 + \beta + \Phi - \theta_3)\}$	$\text{pitch} = -90 + \beta + \Phi - \theta_3$
	if $\{(\theta_3 < 0) \text{ and } (\text{pitch} > 90 + \beta + \Phi - \theta_3)\}$	$\text{pitch} = 90 + \beta + \Phi - \theta_3$

Table 5. Singularity algorithm on GIK/CCS.

Condition	Solution
$(a_2 + a_3)^2 > AC =$ $[(x^2 + y^2)^{1/2} - d_5 \cos \phi ^2$ $+ (z - d_5 \sin \phi - d_1)^2]^{1/2}$	$x'' = (2 \times x + x') / 3$ $y'' = (2 \times y + y') / 3$ $z'' = (2 \times z + z') / 3$

Table 6. Joint calculation of GIK/CCS.

Joint Calculation	$AC = (Xe^2 + Ze^2)^{1/2}$ $Xe = (x^2 + y^2)^{1/2} - d_5 \cos \phi$ $Ze = z - d_5 \cos \phi - d_1$ $\Phi = \cos^{-1} \{ (AC^2 + a_2^2 - a_3^2) / 2ACa_2 \}$ $\beta = \tan^{-1} (Ze / Xe)$ $\theta_1 = \tan^{-1} (y / x)$ $\theta_2 = \beta + \Phi, \text{ if } \theta_3 < 0$ $\beta - \Phi, \text{ if } \theta_3 \geq 0$ $\theta_3 = \cos^{-1} \{ (AC^2 + a_2^2 - a_3^2) / 2a_3 \}$ $\theta_4 = \text{pitch} \times 13.3$ $\theta_5 = \text{roll} \times 13.3$
-------------------	--

는 기존연구의 것을 그대로 사용한다[9].

실험을 위한 피실험자의 선정은 피실험자간의 변동을 최소화하기 위하여 예비실험을 거친 후, 본 연구에 대한 사전지식이 있는 대학원생 3명으로 선정한다. 각 피실험자의 실험횟수는 10회씩으로 한다. 실험을 위한 수행도 척도로는 각 단계에서의 로봇에 대한 평균교시작업시간으로 한다.

3.2 실험결과

본 실험에서는 첫째, 산업용 로봇의 동작제어시 teach pendant에 의한 입력방법과 컴퓨터 키보드에 의한 입력방법인 TES/CCS (1), TES/CCS (2), TES/WCS 등을 비교하고자 한다. 둘째, 기존의 관절제한범위 문제를 heuristic rules에 의해 해결하였던 TES/CCS (1), 본 연구의 관절제한범위 문제를 알고리즘화하여 해결한 TES/CCS (2), 그리고 TES/WCS 등에 대한 로봇의 평균교시작업시간을 측정, 비교함으로써 각 시스템간의 교시시간에 대한 차이를 입증하고자 한다.

그림 3을 통해 알 수 있듯이 기존의 teach pendant에 의한 방법보다 본 연구의 TES/CCS와 TES/WCS의 로봇 평균교시작업시간이 훨씬 적게 걸린 것을 알 수 있다. 이것은 teach pendant에 의한 로봇의 동작제어는 로봇 각 관절의 상호

관계를 고려하면서 조금씩 로봇을 움직일 수 밖에 없었지만, 본 연구의 TES/CCS나 TES/WCS에서는 인간조작자가 원하는 지점을 한번만 입력하면 그에 따른 로봇의 동작데이터를 산출하고, 원하는 지점까지 정확히 로봇을 이동시켰기 때문이라고 분석할 수 있다.

또한 TES/CCS (1)의 평균교시작업시간에 비해 TES/CCS (2)의 평균교시작업시간에 적게 걸린 것을 알 수 있다. 이것은 기존의 heuristic rules에 의해 부정확하고 인간조작자의 주관에 따라 해결하였던 관절제한범위 문제를 기하학적인 분석에 의해 해결하고, 이를 알고리즘화했기 때문이라고 분석할 수 있다. TES/CCS (1)과 TES/CCS (2)의 실험 결과에 대한 유의성 검증을 위해 t-test를 실시한 결과 표 7과 같이 유의수준 5%에서 그 유의성이 인정되었다.

TES/WCS에서의 평균교시작업시간은 나머지 세가지의 평균교시작업시간보다 훨씬 적음을 알 수 있는데, 이것은 로봇의 관절기능분석에 의해 설계된 좌표계인 WCS에 의해 로봇의 동작을 제어할 경우 좌표판독에서 뿐만 아니라, 기하학적 해석에 있어서도 쉽게 해결할 수 있는 기준들을 제공하기 때문인 것으로 분석할 수 있다.

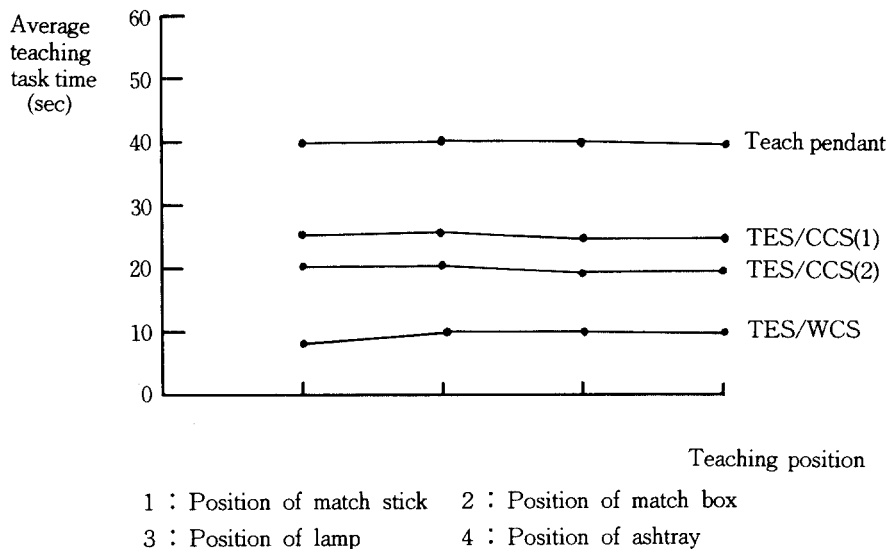


Figure 3. Comparison of the average teaching task time to the teaching position

Table 7. Results of t-test.

t-test	
Significance level	5%
Criterion region	$(-\infty, 1.74)$
t-value of average teaching task time	-3.44
H_0	reject

(Where, null hypothesis $H_0: \mu \geq \mu_0$
 alternative hypothesis $H_1: \mu < \mu_0$
 μ_0 : Average teaching task time in TES/CCS (1)
 μ : Average teaching task time in TES/CCS (2)

IV. 결 론

현재 산업현장에서는 대부분의 로봇의 동작을 teach pendant에 의해 교시를 해 주고 있는데, 이 방법은 많은 교시작업시간과 이에 따른 인간조작자의 작업부담의 증가로 인하여 불필요한 동작을 유발하는 단점이 있었다. 본 연구에서는 TES/CCS를 이용하여 기존의 teach pendant에 의하던 산업용 로봇의 작업교시방법의 개선을 위해서 효율적인 동작데이터의 산출방법에 관해 연구를 진행하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 관절제한범위를 고려하지 않은데 기인하는 로봇의 불필요한 동작을

해소하기 위하여 각 관절의 기하학적 해석에 따른 관절제한범위 문제를 해결하고 이를 알고리즘화하였다. 그리고 실험을 통해 TES/CCS와 TES/WCS가 로봇의 동작을 제어하는데 있어 기존의 teach pendant에 의한 방법보다 우수함을 입증할 수 있었다.

앞으로 이러한 연구는 키보드를 통한 로봇 동작제어의 방법을 자동음성인식(Automatic Speech Recognition)을 통해 직접 로봇을 제어함으로써 인간의 정신적 부담과 정보의 입력시간을 감소시켜 줄 수 있는 연구로 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Rahimi M. and Karwowski W., "A Research Paradigm in Human-Robot Interaction", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier, pp.59-71, 1990.
- [2] Helander, M.G., "Ergonomics, Workplace Design", *International Encyclopedia of Robotics*, Wiley, New York, pp.477-487, 1988.
- [3] Steven A.C., "Development of a Human Engineering Design Standard for Robot Teach Pendants", *Ergonomics of Hybrid Automated Systems*, Elsevier Science Publishers, pp.429-436, 1988.
- [4] Parsons, M.H., *Robot Programming, Handbook of Human-Computer Interaction*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.737-754, 1988.
- [5] Lee, S.Y., Nagamachi, M., and Ito, K., "A Study on a Teaching and Operating Expert System and Error Recovery Expert System using a World Coordinate System in the Advanced Teleoperator System", *Proceedings of the tenth Congress of the International Ergonomics Association*, pp.645-647, 1988.
- [6] Lee S.Y., Nagamachi, M., and Ito, K., "A Study on a teaching and Operating expert System in the Advanced Teleoperator System", *Proceedings of Symposium for International Co-operation on Industrial Robots '87*, pp.275-282, 1987.
- [7] Lee, S.Y., "A Study on the Improvement of Robot Motion Control System as a Part of an Integrated Human and Robot Ergonomics", *22nd International congress of Applied Psychology*, pp.179, 1990.
- [8] Lee, S.Y., Nagamachi, M., and Ito, K., "A Study on a Comparison between the ERES/WCS and the ERES/CCS in the Advanced Teleoperator System", *Proceedings of Workshop on Artificial Intelligence for Industrial Application*, pp.335-340, 1988.
- [9] Lee, S.Y., Kwon, K.S., and Nagamachi, M., "A Study on the Robot Motion Control System as a mPart of Integrated Human and Robot Ergonomics", pp.803-910, 1990.