■ 研究論文

Journal of the Human Engineering Society of Korea
Vol.11, No.2. 1992

ROBOT MODAPTS技法에 의한 로보트의 動作分析에 관한 硏究

(A Study on the Robot Motion Analysis by the ROBOT MODAPTS Technique)

權奎植* · 李舜堯*

ABSTRACT

This paper presents the ROBOT MODAPTS(Modular Arrangement of Predetermined Time Standards) technique which can be applied to the robot motion analysis. Robot motions are easily divided into several movement activities and terminal activities by means of the ROBOT MODAPTS technique. Each link of robot arm is numbered such that finger is 1, hand is 2, elbow is 3, and so on. The robot motion time of each link is counted by multipling its given number to some time values observed at the finger movement. We can easily estimate robot teaching task time with this technique. This technique can be applied efficiently to establishing an adaptable robot motion ergonomically.

Ⅰ. 서 론

인간의 작업능률향상에 영향을 미치는 제요인을 몇 개의 항목으로 나누어 이들의 항목을 하나하나 검토하고, 그 항목에 해당하는 실례를 들어 이들을 일반화함으로써 동작경제와 능률에 관한 제법칙, 동작경제와 피로경감의 제원칙, 그리고 최선의 작업 및 작업영역 결정을 위한 착안 등 인간에게 적합한 작업동작을 설정하고자 하는 연구가 진행되어 왔다[1].

특히, 동작경제와 피로경감의 제원칙이라고 불리우는 동작경제원칙에는 첫째, 신체의 사용에 관한 원칙, 둘째, 작업영역의 배치에 관한 원칙, 셋째, 공구류 및 설비의 설계에 관한 원칙이 있으며, 이 중에서 인간의 신체사용에 관한 동작경제원칙은 최소한의 동작범위를 가지면서도 원활한 작업이 수행가능하도록 하고 있다. 가령, 인간의 주요한 동작은 가급적이면 신속히 동작할 수 있게 간단하여야 하며, 동작하기 쉬운 순서로서는 손가락, 손목, 앞팔, 윗팔

* 高麗大學校 産業工學科

및 어깨를 포함한 동작으로서 구분하고 있다[2].

이 동작경제원칙에 입각해서 인간이 일정한 장소에서 신체 각 부위를 움직였을 경우의 범위에는 평면이거나 입체에 있어서 일정한 영역이 형성된다는 것을 알 수 있으며, 인간의 동작경제원칙에 입각한 정상작업영역내에서 형성되는 등동작시간선의 개념을 활용하여 인간의 작업동작의 표준시간을 설정할 수가 있다. 이러한 기법에는 분석이 간단하면서도 실용성에서 그 정도가 높은 간략 기정시간표준법(Predetermined Time Standards, PTS)이 있으며, 이 기법은 인간이 수행하는 작업 또는 작업방법을 기본동작으로 분석하고 각 기본동작에 대하여 그 성질과 조건에 따라 미리 정해진 표준시간치를 사용하여 알고자 하는 작업동작 또는 운동의 시간치를 구하고 이를 집계하여 작업의 정미시간을 구하는 방법이다[1].

한편, 이러한 인간의 신체에 대한 동작경제원칙에 입각하여 인간의 작업내용의 동작을 분석하고, 또한 간략 기정시간표준법을 이용하여 표준시간을 설정하고자 하는 개념은 휴먼-로보트 인터액션(Human-Robot Interaction)을 위한 로보트의 작업측정에 있어서 로보트의 표준동작시간분석에도 응용하려는 연구가 진행되어 왔다[3], [4].

휴먼-로보트 인터액션의 측면으로부터 로보트의 표준동작시간을 분석하는 방법으로서는 크게 스톱 워치를 이용한 직접시간측정법과 기정시간표준법에 의한 측정법으로 나눌 수 있다.

로보트의 표준동작시간을 설정하는 데 있어서 직접 로보트를 조작하여 그 작업수행시간을 산출해내는 방법은 새로운 로보트작업에 따라 매 작업수행시 소요되는 로보트의 준비작업시간과 새로운 티칭 프로그램의 작성시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 또한, 시행착오적인 로보트 조작으로 인하여 과다한 노력과 시간 그에 따른 에러율의 증가가 발생한다.

반면에 기정시간표준법에 의한 작업수행시간의 산출은 요소동작에 따른 표준시간표에 의해 간단하면서도 신속한 분석기호로서 직접 로보트를 조작하지 않고서도 미리 로보트 작업을 분석하여 시간을 측정할 수가 있기 때문에 작업내용의 변화에 유연하게 적용할 수 있다. 또한, 표준시간의 산출시 동작분석에 의해 불필요한 로보트의 동작을 사전에 제거할 수가 있다.

이러한 기정시간표준법 중에서 로보트의 작업방법에 따른 동작을 분석하는 것으로서는 Method Time Measurement(MTM)법을 활용함으로써 로보트 동작의 사이클 타임을 미리 예측하기 위해 로보트의 동작을 몇 개의 기본동작으로 나눈 것에 기초하여 로보트의 작업성능을 모델화하는 Robot Time and Motion (RTM)법이 있다.

그리고 Maynard Operation Sequence Technique(MOST)과 같은 순서 모델을 사용하여 동일한 작업에 대해 인간조작자와 로보트의 수행시간을 비교할 수 있도록 개발되어 간단하면서도 신속한 분석기법을 제공할 수 있도록 개발된 컴퓨터 프로그램인 ROBOT MOST 등의 연구가 진행되어 왔다[5], [6].

특히, 동일한 대상작업에 대하여 인간의 동작분석기법인 MOST와 로보트의 동작분석기법인 ROBOT MOST의 비교에 있어서 MOST기법에서는 인간은 일단 작업을 수행하기 위해 모든 동작을 전부 사용하는데 비해 ROBOT MOST기법에서는 로보트는 실행가능한 동작만을 수행하여 불필요한 동작을 제거하기 때문에 그 작업수행시간에서 ROBOT MOST가 MOST보다 감소하는 추세가 나타났다[7].

한편, 기정시간표준법에는 기존의 MTM이나 MOST보다 정확성에서는 다소 떨어지는 점이 있으나 인간이 사용하기가 쉽고 특히 인간이 각 관절의 기능분석에 기초하여 동작을 분석하는 기법인 Modular Arrangement of Predetermined Time Standards(MODAPTS)가 있다.

따라서, 본 연구에서는 휴먼-로보트 인터액션의 관점으로부터 MTM이나 MOST보다는 정확도가 좀 떨어지지만 분석이 간단하고 실용성이 있으며, 인간의 각 관절과 로보트의 각 관절의 동작분석방법이 매우 유사한 기정시간 표준법에 의한 인간의 동작분석기법 중의 하나인 MODAPTS를 활용하여 로보트의 동작분석을 수행하기 위해 ROBOT MODAPTS를 고안하고자 한다.

II. 본 론

1. ROBOT MODAPTS 설계의 의의

인간의 작업동작의 표준시간을 설정하는데 있어서 분석이 간단하고, 실용정도가 높은 MODAPTS를 로보트 티칭작업에 활용하기 위해 ROBOT MODAPTS를 설계한다.

이 기법은 인간의 동작을 분석하는데 사용되고 있는 MODAPTS기법의 기호와 시간치의 일치라는 개념을 이용하여, 이를 로보트 팔의 각 부위에 시간치를 부여함으로써 미리 로보트의 동작을 작업내용에 따라 분석하여 그 작업시간을 예측하고자 하는 것이다. 로보트 팔의 각 부위에 따라 동작시간치의 비를 취하여 이를 이동동작(Movement Activities)과 종국동작(Terminal Activities)으로 구분한 다음 로보트의 작업내용을 동작분석함으로써 이동동작과 종국동작으로 이루어지는 한쌍의 로보트 동작방법과 시간을 사전에 분석, 검토하는 것이다.

다시 말해서, MODAPTS는 간이 PTS법의 일종으로서 인간은 하나의 생체시스템이며, 동작시간은 사용 부위에 따라 간단한 정수비로 나타나고, 이 정수비는 엄밀한 정수비가 아니더라도 단위작업으로 종합하면, 개개의 차는 상쇄된다라고 하는 생각을 기초로 하여 만들어진 작업시간측정법으로서 그 동작에 사용되는 신체부위에 의해 시간치를 구별하고 있다[8].

이 단위로서는 MODAPTS의 명칭 MODular로부터 따온 MOD로서, 본 연구에서는 이러한 MODAPTS의 기호와 시간치의 일치라는 개념을 이용하여 로보트 팔의 각 부위에 시간치를 부여함으로써 미리 로보트 동작을 분석하여, 그 시간을 예측할 수 있는 ROBOT MODAPTS를 고안하고자 하는 것이다.

2. ROBOT MODAPTS의 설계

ROBOT MODAPTS의 기본동작은 이동동작인 REACH, MOVE와 종국동작인 GRASP, RELEASE로 구분되며 이에 따른 구성요소로는 이동동작에서는 손동작에 해당하는 pitch, roll, yaw과 팔동작에 해당하는 elbow, shoulder 그리고 허리동작에 해당하는 waist이다. 종국동작에서는 쥐기동작에 해당하는 contact grasp, simple grasp와 놓기동작에 해당하는 simple release, release with feedback 등이 있다. 그림 1에 ROBOT MODAPTS의 개념도를 나타내며 다음에 이들 동작에 대해 고찰해 본다.

이동동작은 물건에 손을 펴기도 하고 물건을 운반하기도 하는 경우 손을 움직이고 있을 때의 동작이다.

첫째, 손가락의 동작(M1) : 로보트 팔의 손가락만을 행하는 동작으로서 한번 움직일 때마다 1 MOD를 가산한다. 1 MOD의 단위는 기본동작 또는 작업 하나의 단위이며, 이에 따라 작업분석에서 작업의 복잡성을 평가하기도 하고 표준시간을 설정하기도 하며 작업개선의 시간치 비교에도 사용되는 시간단위이기도 하다.

둘째, 손의 동작(M2) : 로보트 팔의 pitch, roll 및 yaw에 해당하는 것으로서 손목에서 이루어지는 x, y, z축 방향의 동작을 의미한다. 앞팔을 사용하지 않고 손목에서만의 동작으로서 각 동작마다에 한번 행해질 때마다 2 MOD가 가산되므로 M2로 표시한다.

셋째, 앞팔의 동작(M3) : 앞팔을 사용하는 손가락, 손의 동작이며 원칙적으로 팔꿈치가

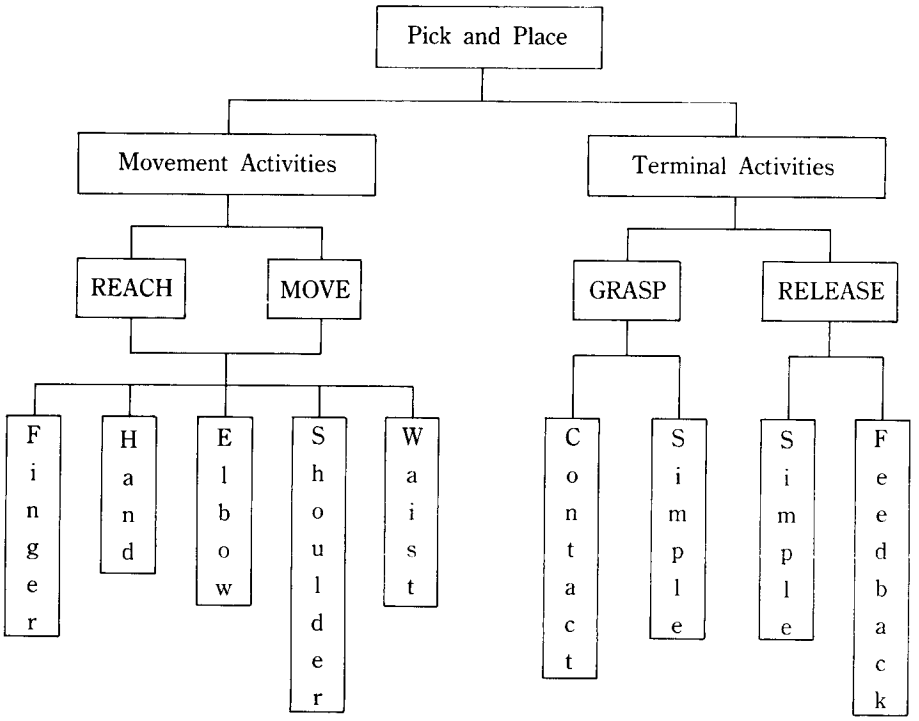


Fig.1 Conceptual diagram of ROBOT MODAPTS

이동되어서는 안되지만 손의 움직이는 방향에 따라서는 다소의 팔꿈치의 이동이 있어도 한번 행해질 때마다 3 MOD가 필요하므로 M3으로 표시한다.

넷째, 윗팔의 동작(M4) : 윗팔을 주로 해서 어깨로부터 팔굽 전체로 행해지는 동작이며 팔의 최대작업영역을 설정하는데 필요한 동작이다. 통상 몸통의 보조동작이 없는 경우에만 적용하며 4 MOD 이하의 동작에서 행해질 수 없는 경우에 발생한다.

다섯째, 허리의 동작(M5) : 로보트의 베이스를 중심으로 좌우 방향전환을 할 때 필요한 동작으로서 손과 팔의 동작만으로 이동할 수 없는 수평동작에 해당한다. 소요시간에서 보면 5 MOD의 시간치가 필요하기 때문에 M5를 적용한다.

종국동작은 손을 펴고나서 물건을 잡기도 하고 물건을 운반하고 나서 놓기도 하는 경우, 잡기도 하고 놓기도 하는 동작을 말한다.

첫째, 쥐기의 동작(G)

(1) 간단한 접촉(G0) : 쥐기동작 중에서 가장 간단한 동작으로 손가락 끝이 목적물에 닿는 동작이다. 이 동작에서는 목적물을 잡는다고 하는 의도는 없으며 단지 닿는 것만의 경우이므로 동작으로서의 시간치를 갖지 않는다. 따라서, 0 MOD로 취급한다.

(2) 손가락으로 쥐기(G1) : 손가락을 합치는 것만의 간단한 쥐기동작으로서 1 MOD로 나타낸다.

둘째, 놓기의 동작(P)

(1) 간단히 놓기(P0) : 놓기동작 중에서 제일 간단한 동작이며 특히 주변의 장애물을 의식하지 않고 목적물을 목적지에 놓을 수가 있을 때의 놓기 동작이다. 대략의 위치까지 운반하여 놓는 동작으로서 시간치는 0 MOD가 되어 P0로 나타낸다.

(2) 요주시(P2) : 한번의 수정동작을 통하여 물건을 놓는 동작이 P2이고 시간치는 2 MOD 이다.

따라서, 이러한 이동동작과 종국동작은 손가락, 손, 팔 및 허리 등의 어떤 동작에서도 하나의 쌍으로서 발생하여 이동동작과 종국동작의 결합에 의하여 하나의 로보트 작업이 형성된다. 가령, 손잡이를 손가락으로 돌리는 동작에 있어서는 이에 필요한 동작요소는 M1 G0 M1 G0가 되어 시간치는 1+0+1+0=2 MOD가 되어 이를 보통의 시간으로 환산하게 된다.

여기서 로보트의 관절별 동작시간을 인체동작과 같이 M1, M2, M3, M4, M5로 설정한 것은 본 연구에서 예비실험을 실시한 결과 그 동작시간이 평균적으로 선형 비례적인 관계로 인해 모듈의 값으로 설정했기 때문이다. 그러나 실지 로보트의 동작시간을 산출할 때에는 로보트의 동작시간으로 환산한 인체동작과는 다른 시간치를 사용하여 적용하였다.

다음 표 1은 로보트에 의한 직접 작업수행과 ROBOT MOST 및 본 연구에서 설계한 ROBOT MODAPTS의 특징을 비교한 것이다.

Table 1. Comparison of ROBOT OPERATION, ROBOT MOST, and ROBOT MODAPTS

Classification	ROBOT OPERATION	ROBOT MOST	ROBOT MODAPTS
Method of time measurement	stop watch	PTS	PTS
Related method	N.A	MOST	MODAPTS
Motion analysis	by task	by work method	by link analysis
Degree of difficulty	complicate	simple	very simple
Accuracy	most	more	a little
Characteristics	* eye measurements * programming * need to set—up	* flexibly applicable to various environments * reducing unnecessary motion previously	

III. 실 험

1. 실험방법

본 연구에서 다루는 실험대상은 로보트의 티칭작업 중에서 성냥개비 홀더로부터 성냥을 가져다가 성냥통에서 불을 붙여 테이블 위에 놓여 있는 램프에 불을 붙인 다음 재떨이에 버리는 일련의 램프점화작업을 선정하였다.

램프점화작업을 수행하기 위한 로보트의 동작은 구분동작으로서 각 관절의 움직임으로 표현할 수가 있으며, 이는 램프점화작업이라는 단위작업을 티칭작업이라는 단위동작에 대해 ROBOT MODAPTS기법의 기본동작과 그 구성요소로 이루어진 동작요소로서 나타낼 수가 있다.

이 동작요소에 대해 ROBOT MOST기법 및 ROBOT MODAPTS기법과 실제로 로보트가 수행한 평균티칭작업시간을 수행도척도로 사용하여 본 연구에 사전지식이 있는 대학원생 3명에 대해 각 티칭지점별로 10회의 실험을 실시하였다. 실험장치는 기존에 사용하던 로보트 티칭작업 실험장치를 그대로 활용하였다 [4].

2. 실험결과

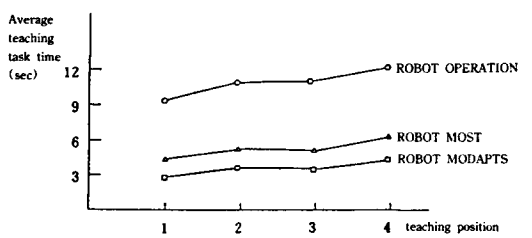
로보트의 동작방법에 따른 실지의 로보트와 ROBOT MOST기법 사용에 의한 작업시간과 본 연구에서 고안한 ROBOT MODAPTS기법

에 의한 작업시간과의 비교를 통해 기정시간 표준법으로서의 ROBOT MODAPTS기법에 대한 적용 타당성을 검증하고자 한다.

그림 2는 세가지 방법에 의한 평균작업시간을 나타낸 것으로서 실제 로보트를 사용한 작업수행시간보다 PTS법인 ROBOT MOST와 ROBOT MODAPTS의 방법에 의한 작업수행시간이 적게 걸림을 알 수 있었다. 이는 실제의 로보트를 사용한 경우 로보트의 직접조작시 시행착오적인 방법의 에러율 발생에 따라 수행시간이 많이 걸렸지만 PTS방법에 의한 경우는 표준화된 동작방법에 따라 작성되어진 간단한 분석기호로 표현된 표준시간치로서 이를 표현했기 때문에 시간이 적게 걸리게 되었다.

또한, ROBOT MOST와 ROBOT MODAPTS의 비교에서는 ROBOT MODAPTS가 ROBOT MOST보다 작업수행시간이 적게 걸렸는데, 이는 ROBOT MOST에서는 작업방법에 따른 로보트의 동작분석시 로보트 동작의 순서모델을 이용하여 표현하기 때문에 분석이 복잡하고 그에 따라 동작시간의 산출도 많이 소요되는 문제점이 있었다.

반면에 ROBOT MODAPTS에서는 인간의 각 관절의 움직임에서 기능에 따른 동작분석과 같이 로보트의 각 관절의 움직임을 기능분석을 통하여 동작을 분석하기 때문에 로보트 동작의 분석을 간단하게 각 관절의 기능에 따른 움직임과 관절의 연결관계에 따라 실시할 수가 있으며, 또한 분석시 각 관절의 움직임에 따라



1 : position of match stick 2 : position of match box
3 : position of lamp 4 : position of ashtray

Fig.2 Comparison of the average teaching task time to the teaching position

불필요한 동작을 미리 제거하여 동작을 분석할 수가 있기 때문이다.

표 2는 ROBOT MOST방법과 ROBOT MODAPTS방법에 의한 평균작업수행시간의 차이가 유의한가를 검증하기 위해 5%의 유의수준하에서 t-test 검증결과를 나타낸 것으로 ROBOT MOST와의 비교에서 ROBOT MODAPTS에 의한 작업수행 시간의 절감의 유의하다는 것이 검증되었다.

Table 2. Results of t-test

t-test	
Significance level	5%
Criterion region	$(-\infty, 1.74)$
t-value of average teaching task time	−5.91
H_0	reject

(where, null hypothesis $H_0 : \mu \geq \mu_0$
alternative hypothesis $H_1 : \mu < \mu_0$
μ_0 : average teching task time in ROBOT MOST
μ : average teaching task time in ROBOT MODAPTS

IV. 결 론

본 연구는 로보트 티칭작업에 있어서 기정시간표준법의 일종인 ROBOT MODAPTS기법에 의한 로보트 동작분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 로보트의 표준동작시간의 산출은 실제의 로보트의 조작에 의하는 것보다는 사전에 PTS법에 의한 동작분석을 통해 작업시간의 예측을 할 수 있으며, 또한 이 PTS법은 불필요한 로보트 동작의 제거에도 기여할 수 있다는 것이다.

둘째, 작업방법에 의한 로보트의 동작분석방법이 ROBOT MOST보다는 로보트의 각 관절의 기능분석을 통한 동작분석방법인 ROBOT

MODAPTS가 그 작업수행시간이 적게 걸림을 알 수 있었다. 이는 ROBOT MODAPTS가 ROBOT MOST보다 분석이 간단하고, 특히 인간의 팔의 관절기능의 동작분석과 같은 방식을 로보트의 관절기능의 동작분석에 그대로 활용함으로써 불필요한 로보트의 동작을 감소할 수 있었기 때문이다.

따라서, ROBOT MODAPTS기법은 주어진 작업내용에 따라 로보트의 동작시간분석을 미리 예측함으로써 로보트의 작업수행능력과 그 동작요소들을 체크하여 불필요한 동작을 제거할 수가 있을 것이다.

그리고 인간공학적으로 로보트에 적합한 동작과 그에 따른 작업영역설정에 유익하게 적용될 것이며, 또한 향후의 오프 라인 티칭방식에 의한 산업용 로보트의 티칭작업에서도 로보트 동작분석에 유용하게 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] 이순요, 작업관리, 박영사, 1992.

[2] Barnes, R.M., *Motion and Time Study,* Wiley & Sons, 1968.

[3] Rahimi, M. and Karwowski, W., "A Research Paradigm in Human-Robot Interaction," *Internation Journal of Industrial Ergonomics,* 5, pp.59－71, 1990.

[4] Lee, S.Y. and Nagamachi, M., *Ergonomics of human-robot motion control,* Human-Robot Interaction, Taylor & Francis Ltd., 1992.

[5] Nof. S.Y., *Robot ergonomics : Optimizing robot work,* Handbook of industrial robotics, 1985.

[6] Zandin, K.B., *MOST Work Measurement Systems,* MARCEL DEKKER INC., 1980.

[7] Wygant, R.W., *Ergonomics, Robot selection,* International Encyclopedia of Robotics, 1988.

[8] 한국 MODAPTS협회, 현대경영기술연구소, 1986.