

⊗ 응용논문

Robot Ergonomics의 일환으로서 로봇 작업측정에 관한 연구 -Work Measurement in Robot Ergonomics-

권 규 식*
Kwon, Kyu Sik

Abstract

The fundamental object of work measurement is to precisely establish the time standards, which are the indices of labor productivity. This study discussed the development of robot work measurement method that could establish the time standard effectively. In manufacturing industries the various robot tasks are generally classified and standardized by the unit motions. The RObot Modularization of the Unit Motion (ROMUM) was realized by the module of two steps GET and PUT unit motions. This method reduced time and effort of analysis, and could be done with ease. Therefore, ROMUM will increase the convenience of use for the unskilled worker and decrease the time required, cost and errors. And, it will contribute to reduce the unnecessary motion by robot motion analysis.

1. 서론

인간의 작업 시스템에 관련해서 효율성, 건강, 안전성, 그리고 쾌적성 등을 최적화하기 위하여 작업환경에서의 인간의 해부학적, 생리적, 심리적 측면 등을 연구하는 인간공학과 같이 산업현장에서도 단위작업 당 시간과 비용의 최소화, 조작자의 노력과 에너지의 최소화, 낭비, 재작업의 최소화, 작업량 및 안전성의 극대화를 위하여 로봇 작업을 최적화하기 위한 인간공학적인 접근이 이루어지고 있다. 작업의 요구사항이 주어지면, 이 작업을 인간이 수행해야 하는지 혹은 로봇이 수행해야 하는지의 분석과 평가가 실시된다. 만약, 로봇이 선택된다면 가장 좋은 로봇의 모델과 작업방법, 작업영역의 조합이 선정될 것이며, 인간과 로봇의 역할분담에 의한 협조상태가 선택된다면 또한 가장 좋은 결합이 설계되어야 할 것이다[1].

Nof는 작업환경에서의 이러한 로봇과 관련한 연구와 분석을 Robot Ergonomics라고 하여 로봇-인간 차트, 로봇 해부학, 로봇 선정기준 등을 다루는 작업특성의 분석, 동작연구, 직무와 숙련도 분석, 동작경제원칙, 운영적 제어 등을 다루는 작업방법계획, 분석적 모델, 시뮬레이션 기술 등을 다루는 작업장 설계, 작업측정, 시간과 동작모델, 작업수행성능 모의실험장치, 학습 등을 다루는 작업수행성능, 작업할당, 인간과 로봇의 상호작용, 사회적, 조직적 측면 등을 다루는 Integrated Human and Robot Ergonomics 등의 다섯 가지 주요 주제를 언급하였다[2]. 이러한

* 전주대학교 산업공학과

주장은 작업 시스템의 전체적인 작업수행성을 최적화하기 위한 도구를 제공하는데 사용되고 있다.

특히, 로봇 작업수행성의 측정은 작업측정, 작업수행성의 예측과 평가 등으로 구성되어 있는데, 로봇의 시간과 동작에 대한 연구는 주로 작업현장에서 직접 작업자에 의해 실시간으로 이루어졌다. 그러나 스톱 위치를 이용한 온 라인 방식에 의한 작업측정방식은 작업자에게 주관적이고 안전상의 문제뿐만 아니라 작업자의 수행도를 표준화해야 하는 부담을 가져오고 있다. 이에 반해 향후의 작업측정방식의 주류를 이룰 것으로 보이는 오프 라인 작업측정방식은 연구실내에서 미리 정해진 시간표에 따라 작업측정을 행할 수 있는 것으로서 온 라인 작업측정방식의 문제점을 해소하는 동시에 어느 누구나 일관성있는 측정을 행할 수 있다는 이점을 가지고 있다.

인간의 동작개선에서는 이미 오래 전부터 활용되고 있는 오프 라인 작업측정방식으로서 Predetermined Time Systems (PTS)법이 있다. PTS법은 인간이 행하는 작업 또는 작업방법을 기본적으로 분석하고, 각 기본동작에 대하여 그 성질과 조건에 따라 미리 정해진 기초시간치를 사용하여 알고자 하는 작업동작 또는 운동의 시간치를 구하고, 이를 집계하여 작업의 정미시간을 구하는 방법이다[3]. 지금까지 표준시간설정에 사용되어온 온 라인 작업측정방식은 간편하고 직접적이라서 앞으로 시간연구의 주역으로 활용되리라고 생각되지만, 앞에서 언급한 여러 가지 결함으로 인하여 상당히 숙련된 시간연구자라도 공정한 표준시간을 결정한다는 것이 여간 어려운 일이 아니다. 반면, PTS법은 같은 동작을 누가, 언제, 어디서 행할지라도 그 소요시간은 같을 것이라든 기본 이념에 따르고 있다. 다시 말해서, 인간의 작업에 포함되어 있는 보편적인 동작요소에 대하여 일관성있는 정확한 기본시간치를 정함으로써 객관성 있는 표준시간을 설정하려고 하는 것이다[4].

이러한 PTS법의 장점은 로봇의 작업측정에 활용되어, 로봇의 동작을 몇 개의 기본동작으로 나누는 것에 기초함으로써 로봇의 사이클 타임을 미리 예측하기 위한 Robot Time and Motion (RTM)법이 개발되었다[5]. 이 방법은 인간의 작업측정분야에서 널리 사용되고 있는 Method-Time Measurement (MTM)법과 유사한 것으로서 단순하고 직접적인 방법으로 주어진 로봇에 대한 작업방법을 상술하고자 하는 경우, 여러 작업방법의 대안이 비교될 수 있도록 작업수행시간, 단계 수, 위치 잡기의 허용공차 등에 의해 특정한 방법을 평가할 경우, 여러 로봇 모델에 대한 반복적인 평가를 할 경우에 잘 적용될 수 있다. 그리고 동일한 작업에 대해 인간조작자와 로봇의 수행 시간을 비교할 수 있도록 MOST (Maynard Operation Sequence Technique)와 같은 순서 모델을 사용하고 있는 Robot MOST법이 개발되었다[6]. 또한, 로봇의 각 관절의 기능 분석을 통해 동작을 분석하는 Robot MODAPTS (MODular Arrangement of Predetermined Time Standards)법이 고안되었다[7]. 이것은 MODAPTS의 기호와 시간치의 일치라는 개념을 이용하여 로봇 팔의 각 부위에 시간치를 부여함으로써 미리 로봇 동작을 분석하여 그 시간을 예측할 수 있도록 고안된 것이다.

지금까지 개발된 로봇 작업측정법인 RTM, Robot MOST, 그리고 Robot MODAPTS법 등은 작업을 기본동작으로 분석함으로써 관리자와 작업자에게 사용 방법의 숙련과 분석에 많은 시간과 노력이 소요되는 제약이 있었다. 따라서, 본 연구에서는 로봇의 동작 분석시 나타나는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 작업내용에 따라 일련의 기본동작으로 분석한 다음, 분석된 기본동작을 규칙성있는 단위동작으로 모듈화를 실현하여, 사용 방법의 용의성을 도모하고 분석 시간과 노력을 절감시킴으로써 효율적으로 표준시간을 설정할 수 있는 기법을 개발하고자 한다.

2. Robot Modularization of the Unit Motion (ROMUM)의 구조

일반적으로 로봇 작업에서 주류를 이루고 있는 대표적인 작업으로는 집어 옮기기 (Pick and Place), 물자이송 (Material Transfer), 조립작업 (Assembly), 용접작업 (Welding) 등이 있으며, 이들 작업영역을 대상으로 대표적인 작업의 동작조합형태를 나타내면 표 1과 같다.

특히, 이들 작업들의 동작형태를 자세히 살펴보면 기본적으로 집어 옮기기라는 일련의 연속된 동작을 바탕으로 그 동작 중에 필요로 하는 도장이나 용접 등 특정한 작업을 대상목표물에 대해 수행하고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 로봇이 목표물을 향해 접근해서 이를 잡고 대상으로 하는 작업위치에서 각종 작업을 한 후, 원래의 정해진 위치에 복귀하는 것이다. 이러한 일관된 동작형태의 정형성에 기초하여 ROMUM에서는 우선 대상 목표물에 대한 실질 작업은 그대로의 작업동작시간으로 두고, 나머지에 대한 상황에서의 동작을 접근 (Reach; R), 운반 (Move; M), 잡기 (Grasp; G), 예비 (Pre-Grasp/Release; PG/PRL), 놓기 (Release; RL)로 기본동작을 삼아 이를 단위동작의 모듈화를 위해 사용하였다. 여기서, PG/PRL는 물체를 잡거나 놓을 때 작업조건이나 상황에 따라 발생하는 예비동작이다.'

다시 말해서, 로봇 작업을 로봇이 목표물에 접근해서 대상 작업위치로의 이동까지 이루어지는 물체를 얻기 위한 GET 기본동작의 조합과 도장, 용접 등 각종 작업이 끝난 후 물체를 원래의 위치에 옮겨 놓기 위한 PUT 기본동작의 조합으로 2단계의 동작형태로 설정하였다. 따라서, ROMUM은 단위동작 GET과 PUT의 동작형태를 작업의 목적과 특성에 따라 표준화하여 단위동작별로 동작모듈을 설정하고, 이 동작모듈과 동작거리별로 시간 치를 구성하였다.

이러한 여러 형태의 작업을 분류하고 표준화하여 얻은 단위동작의 모듈화 구조는 그림 1과 같다.

표 1. 기본동작의 조합

No.	작업	기본동작의 조합	
		GET	PUT
1	대기 위치로 팔을 가져감	R	
2	이동하며 아크 용접, 도장 작업	R (PG/PRL)	M
3	자동 나사 체결 작업	R (PG/PRL)	RL2
4	스폿 용접, 스위치를 누름	R (PG/PRL) G0	RL0
5	손가락을 갖다대고 밀거나 끌어올 때, 마킹작업	R (PG/PRL) G0	M RL0
6	부품을 집어와 슈트에 던짐	R (PG/PRL) G1	M RL0
7	부품을 다른 곳에 놓기, (디)팔레타이징 작업	R (PG/PRL) G1	M (PG/PRL) RL1
8	삽입작업	R (PG/PRL) G1	M (PG/PRL) RL2
9	복잡한 상태에 있는 부품을 다른 곳에 놓기	R (PG/PRL) G2	M (PG/PRL) RL1
10	복잡한 상태에 있는 부품을 다른 곳에 삽입	R (PG/PRL) G2	M (PG/PRL) RL2

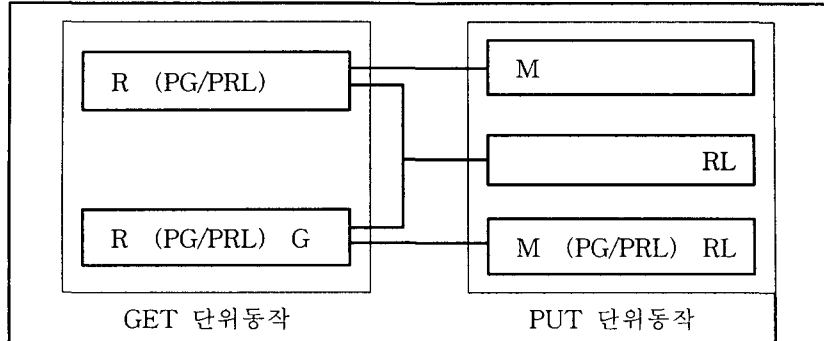


그림 1. 모듈화의 구조

3. ROMUM의 기본동작

3.1 Transport (R/M)

End effector (손가락, 용접총...)의 위치를 바꾸기 위해서 실시되는 이동을 Reach (R)라고 한다. 이동이 물체의 위치를 변경하기 위해서 또는 이동 중에 필요한 작업을 하는 것을 본래의 목적으로 해서 실시될 경우 이것을 Move (M)라고 한다. ROMUM에서의 시간설정은 연구용 로봇 SCORBOT-ER V를 대상으로 출발점과 종점의 접촉을 감지하는 2대의 전자식 타이머를 사용하여 각 기본동작별로 제 조건을 주어 시간자료를 설정하고, 이 시간자료를 단위동작별로 합성하여 설정하는 방법을 사용한다.

이동 동작에 대한 표준시간은 10단계의 구간을 정해 각 구간에서의 시간을 표 2에 나타냈다. 여기서, 이동한 거리까지의 간격은 (-)로 표시하였으며, 또한 알파벳으로 암호화하였다. ROMUM의 시간단위로 사용되는 1TUM (Time of Unit Motion)은 10^{-2} sec이다.

표 2. 이동동작의 시간

이동거리(cm)	-2(A)	-5(B)	-10(C)	-20(D)	-30(E)	-40(F)	-50(G)	-60(H)	-70(I)	-80(J)
이동시간(TUM)	25	30	51	119	195	233	270	389	447	502

3.2 Grasp

1개 또는 복수의 물체에 접촉하고 이것을 로봇의 통제하에 두는 동작으로서 시간치에 미치는 주요한 변동요인은 붙잡기의 형태이다.

(1) Contact Grasp (G0)

End effector를 접촉시키는 것만으로 대상물을 완전히 통제하에 둘 수가 있을 경우의 붙잡는 동작이다. End effector에 목적물이 접촉되었을 때부터 목적물이 움직일 때, 또는 End effector에서 떨어질 때까지의 접촉 잡기 시간은 8TUM으로 설정한다.

(2) Simple Grasp (G1)

단일 목적물로서 손가락을 한 번 합치는 동작으로 잡을 수 있는 경우의 동작으로서 목적물의 두께에 따라 시간이 결정된다. 목적물의 두께가 3cm일 때를 기준으로 설정하여 두께가 그

이상일 때 단순 잡기의 시간치를 실험 데이터의 평균 시간인 35TUM으로 설정하고 미만인 경우 15TUM을 추가한다.

(3) Complex Grasp (G2)

단순히 손가락을 한 번 합치는 것만으로써 행할 수 없는 동작으로 여러 부품사이에 있는 목적물을 1차 잡기한 후 이동시켜 상황을 고쳐 다시 2차 잡는 동작이다. 복잡 잡기의 시간치는 목적물의 이동거리와 두께에 따라 결정되므로 목적물의 이동거리가 5cm 이하에서 발생한다고 가정하고, 목적물의 두께가 3cm 이상일 때 실험데이터의 평균 시간인 237TUM으로 설정한다. 목적물의 두께가 3cm 미만인 경우 15TUM을 추가한다.

3.3 Pre-Grasp/Release (PG/PRL)

Grasp 동작 전에 End effector의 위치를 변경하거나, Release 동작 전에 물건의 방향을 바꾸어 Grasp, Release 동작에 편리하도록 하는 경우에 발생한다. 이동동작(Reach/Move)의 이동거리가 30cm 이상일 때는 예비동작의 시간은 이동동작(Reach/Move)의 시간에 포함되어 발생하지 않는다. 표 3은 예비동작의 시간을 나타낸다.

표 3. 예비동작시간

이동거리(cm)	-2	-5	-10	-20
PG/PRL 시간(TUM)	48	46	33	2

3.4 Release

제어 하에 있던 물건을 목적의 장소에 놓을 때 발생하는 동작으로서 놓기의 시간치에 미치는 주요한 변동요인은 놓는 형태이다.

(1) Contact Release (RL0)

접촉형 놓기는 접촉 잡기의 반대로써 물건을 내던지거나 밀어내는 동작으로 시간은 접촉 잡기와 같다.

(2) Simple Release (RL1)

단순형 놓기는 단순 잡기와 반대 동작으로서 손가락을 벌려서 목적물을 지정한 장소에 놓는 동작으로 시간은 단순 잡기와 같다.

(3) Insert Release (RL2)

어떤 구멍에 물체를 삽입할 때 발생하는 동작으로 주로 삽입, 놓기 동작으로 이루어지며, 경우에 따라서는 미끄러짐이 발생할 때도 있다. 시간변수는 삽입거리이다.

(a) Simple Insert Release (RL2A)

삽입, 놓기 동작으로 이루어지며 비교적 단순한 동작에 의한 삽입작업일 때 발생한다. 삽입거리가 5cm 미만일 때 단순 삽입형 놓기 동작의 시간치를 49TUM으로 설정하고, 5cm 이상에서의 삽입거리에는 13TUM을 추가한다.

(b) Complex Insert Release (RL2B)

주로 목적물이 내·외부의 센서 또는 Remote Center Compliance (RCC) 등의 도움으로 옆으

로 미끄러지면서 목표물에 삽입될 때 발생하고 미끄러짐, 삽입, 놓기 동작으로 구성된다. 삽입 거리가 5cm 미만일 때 복잡 삽입형 놓기 동작의 시간치를 95TUM으로 설정하고, 5cm 이상일 때 9TUM을 추가한다.

4. 단위동작의 모듈화

4.1 GET 단위동작의 Type

GET=(R, PG/PRL, G)이므로 작업 조건에 따라 4가지의 동작모듈의 Type을 설정하고, 표 4와 같이 동작시간을 산출한다. 예비동작은 이동거리가 30cm 미만인 이동 동작에서만 발생할 수 있으므로 예비동작이 발생하는 이동동작의 시간은 ()으로 표시하여 산출한다. GET3과 GET4에서 G1과 G2는 대상물의 크기가 3cm 이상일 때의 시간을 산출하고, 3cm 미만일 경우 시간을 추가하기로 한다. 설정된 4가지 동작 모듈은 다음과 같다.

표 4. GET 동작시간

이동거리 (cm)	-2	-5	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80
GET1	[A]= 25 [A]+[PG/PRL]=(73)	[B]=30 [B]+[PG/PRL]=(76)	51 (84)	119 (121)	195	233	270	389	447	502
GET2	[A]+8= 33 [A]+[PG/PRL]+8=(81)	[B]+8=38 [B]+[PG/PRL]+8=(84)	59 (92)	127 (129)	203	241	278	497	455	510
GET3	[A]+35= 60 [A]+[PG/PRL]+35=(108)	[B]+35=65 [B]+[PG/PRL]+35=(111)	86 (119)	154 (156)	230	268	305	424	482	537
GET4	[A]+237= 262 [A]+[PG/PRL]+237=(310)	[B]+237=267 [B]+[PG/PRL]+237=(313)	288 (321)	356 (358)	432	470	507	626	684	739

(1) GET1 = R

대기 위치로 End effector를 뺀 동작이거나 아크 용접이나 도장 작업을 위해 작업점까지 뺀 동작의 경우에 발생한다.

(2) GET2 = R + G0

End effector를 갖다 대는 동작이나 스폿 용접 작업할 때 발생한다.

(3) GET3 = R + G1

하나의 목적물을 잡는 경우에 발생한다.

(4) GET4 = R + G2

목적물이 복잡하게 놓여 있어 한 번에 잡기 어려운 경우에 발생한다.

4.2 PUT 단위동작의 Type

PUT=(M, PG/PRL, RL)이므로 작업 조건에 따라 8가지의 동작모듈의 TYPE을 설정하고, 표 5와 같이 동작시간을 산출한다. 예비동작이 발생하는 이동동작의 시간은 ()으로 표시하여 산출한다. PUT3, PUT4, PUT7, PUT8에서 발생한 RL2는 삽입거리가 5cm 미만일 때의 시간을 산출하고, 5cm 이상일 때는 시간을 추가하기로 한다. 설정된 8가지의 동작모듈은 다음과 같다.

표 5. PUT 동작시간

이동거리 (cm)	-2	-5	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80
PUT1	[A]=25	[B]=30	51	119	195	233	270	389	447	502
PUT2	[RL0]=8									
PUT3	[RL2A]=14									
PUT4	[RL2B]=60									
PUT5	[A]+8=33 [A]+[PG/PRL]+8=(81)	[B]+8=38 [B]+[PG/PRL]+8=(84)	59 (92)	127 (129)	203	241	278	397	455	510
PUT6	[A]+35=60 [A]+[PG/PRL]+35=(108)	[B]+35=65 [B]+[PG/PRL]+35=(111)	86 (119)	154 (156)	230	268	305	424	482	537
PUT7	[A]+49=74 [A]+[PG/PRL]+49=(122)	[B]+49=79 [B]+[PG/PRL]+49=(125)	100 (133)	168 (170)	244	282	319	438	496	551
PUT8	[A]+95=120 [A]+[PG/PRL]+95=(168)	[B]+95=125 [B]+[PG/PRL]+95=(171)	146 (179)	214 (219)	290	328	365	484	542	597

(1) PUT1 = M

End effector가 이동하며 아크 용접, 도장 작업을 행하는 경우에 발생한다.

(2) PUT2 = RL0

스폿 용접과 같이 순간적으로 접촉 후 떼는 작업일 때 발생한다.

(3) PUT3 = RL2A

호스를 통한 자동 나사 공급기와 같은 주변장치의 도움으로 비교적 간단한 삽입 작업을 할 때 발생한다.

(4) PUT4 = RL2B

호스로 연결된 자동 부품 공급기와 같은 주변장치의 도움으로 복잡한 삽입작업을 할 때 발생한다.

(5) PUT5 = M + RL0

물건을 떨어내거나 던지는 경우에 발생한다.

(6) PUT6 = M + RL1

목적물을 다른 장소에 갖다 놓는 경우, 즉 자재 운반 작업 등에 발생한다.

(7) PUT7 = M + RL2A

목적물을 다른 장소에 삽입하는 경우로서, 비교적 단순한 삽입작업 등에 발생한다.

(8) PUT8 = M + RL2B

내·외부의 센서의 도움으로 물체의 위치를 수정하며 한 번에 삽입 작업을 할 수 없을 때 발생한다.

5. ROMUM에 의한 작업측정

이상에서 설정한 단위동작 모듈과 표준시간을 이용해 ROMUM의 시간표를 작성하면 표 6과 같이 구성된다. ROMUM에 의한 작업시간의 측정은 다음 단계로 구성된다.

- 단계 1. 대상으로 하는 로봇 작업을 GET, PUT의 단위동작으로 분류한다.
- 단계 2. 분류된 단위동작에서 발생하는 이동거리의 Case를 선택한다.
- 단계 3. 작업의 목적과 특성에 맞는 동작모듈의 Type을 선택한다.
- 단계 4. 단위동작별로 작업상황에 따라 발생하는 조건적 추가동작을 합하여 표준 시간을 결정한다.

표 6. ROMUM의 시간표

ROMUM 시스템 시간표															
단위동작	Type	Case 동작모듈	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	추가시간		
			-2	-5	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	ID >5cm	T <3cm	W >3Kg
GET	1	R	25 (73)	30 (76)	51 (84)	119 (121)	195	233	270	389	447	502			
	2	R, G0	33 (81)	38 (84)	59 (92)	127 (129)	203	241	278	397	455	510			
	3	R, G1	60 (108)	65 (111)	86 (119)	154 (156)	230	268	305	424	482	537	15		
	4	R, G2	262 (310)	267 (313)	288 (321)	356 (358)	432	470	507	626	684	739	15		
PUT	1	M	25	30	51	119	195	233	270	389	447	502			
	2	RL0	8												
	3	RL2A	14										13		
	4	RL2B	60										9		
	5	M, RL0	33 (81)	38 (84)	58 (92)	127 (129)	203	241	278	397	455	510			10
	6	M, RL1	60 (108)	65 (111)	86 (119)	154 (156)	230	268	305	424	482	537			10
	7	M, RL2A	74 (122)	79 (125)	100 (133)	168 (170)	244	282	319	438	496	551	13		10
	8	M, RL2B	120 (168)	125 (171)	146 (179)	214 (216)	290	328	365	484	542	597	9		10
비고	시간단위 : 1TUM = 10 ⁻² sec () : 예비동작이 포함된 시간치 ID : 삽입거리, T : 목적물의 두께, W : 중량														

6. ROMUM의 적용예

연구용 로봇 SCORBOT-ER V를 이용하여 그림 2와 같은 삽입작업의 배치에서 ROMUM을 적용시킨 사례를 다룬다. 최초의 작업상황은 peg가 peg holder에 있으며, base는 table의 우측 상단에 놓여져 있다. 로봇의 작업은 연속된 3단계의 절차로 이루어진다. 먼저 start position으로부터 5cm 떨어진 base를 집어서(①), table의 점선으로 표시된 작업위치로 30cm 만큼 이동하여 놓는다(②). 그 다음, 작업위치에서 20cm 떨어진 peg를 집어(③) base에 삽입한 후(④), 최초의 지점으로 돌아오는 일련의 연속작업이다(⑤).

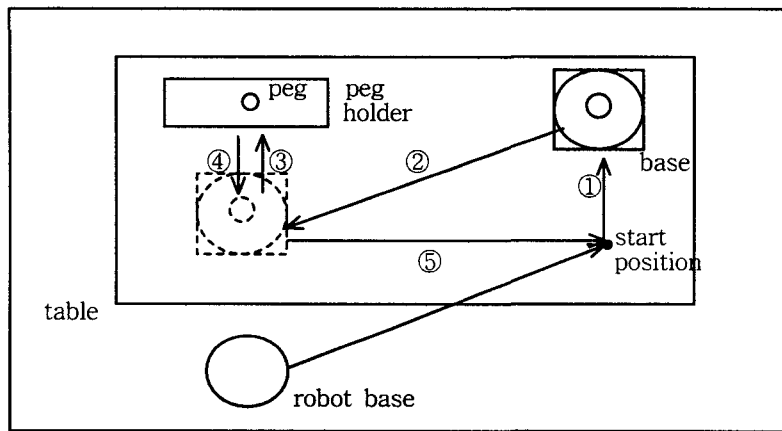


그림 2. 삽입작업의 배치도

삽입작업에 대한 ROMUM의 분석결과는 표 7과 같다. 예를 들면, 작업내용 1번의 경우, GET 단위동작의 Type과 Case는 5cm를 이동하여 (Case B) 하나의 목적물을 잡는 동작(R, G1 → Type GET3)이므로 GET3B로 표시한다. 그리고 PUT 단위동작의 Type과 Case는 30cm를 이동하여(Case E) 목적물을 다른 장소에 놓는 동작(M, RL1 → Type PUT6)이므로 PUT6E로 표시한다. 이 작업에서는 각 단위동작에서 작업상황에 따라 발생하는 삽입거리, 목적물의 두께 및 중량 등과 같은 추가동작은 발생되지 않았다. 이상의 단계를 작업내용 2, 3에 대해서도 반복하여 실시하고 ROMUM의 시간표로부터 시간치를 찾아 각 시간을 합산하면 8.12 초의 표준 시간을 얻을 수 있다.

표 7. ROMUM에 의한 분석결과

순서	작업 내용	GET 단위동작		PUT 단위동작		반복 횟수	시간
		Type, Case	추가 동작	Type, Case	추가 동작		
1	base를 작업위치로 이동	GET3B		PUT6E			295
2	삽입물을 base에 삽입	GET3D		PUT7D			322
3	시작점으로 이동	GET1E					195
합 계							812 TUM
							8.12 sec

반면, 스톱 위치법에 의한 실제적인 시간을 측정해 보면 8.78 초로 ROMUM에 의한 방법이 전체적으로 분석시간을 절감시키는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 2번 작업내용에서 더 크게 나타났는데, 이는 base에 peg를 제대로 삽입하기 위해 시행착오적인 불필요한 동작을 범하면서 시간이 많이 소요되었기 때문이다. 만일 이를 해소하려면 어느 정도의 숙련성을 필요로 하게 될 것이고, 이는 분석훈련에 따른 소요경비도 함께 고려해야 할 것이다. 특히, 여기에서 다루어진 사례는 간단한 삽입작업에 불과하지만 실제로 도장이나 용접 혹은 좀더 복잡한 작업에서는 이러한 차이는 더욱 더 크게 나타날 것이며, 직접 현장에서 시간을 측정하는 관계로 안전 관리상에도 심각한 문제가 발생할 소지도 있게 된다.

또한, 기존의 다른 로봇 작업측정관련 PTS법 중에서 가장 그 활용성이 뛰어난 RTM법으로 측정된 결과를 표 8에 제시하였다.

표 8. RTM에 의한 분석결과

순서	RTM 요소	거리 (cm)	속도 (cm/sec)	요소시간 (sec)	동작내용
1	R1	5	60	0.30	base에 접근
2	GR1			0.50	잡기
3	M1	5	60	0.30	위로 올리기
4	M1	20	60	1.19	이동
5	M1	5	60	0.25	놓는위치로 내림
6	RE			0.50	놓기
7	R1	5	60	0.30	위로 접근
8	R1	10	60	0.50	삽입물로 접근
9	R1	5	60	0.30	잡는위치로 내림
10	GR1			0.50	잡기
11	M1	5	60	0.30	올리기
12	M1	10	60	0.50	이동
13	M1	2.5	30	1.07	삽입
14	RE			0.50	놓기
15	R1	2.5	60	0.26	위로 접근
16	R1	20	60	0.19	시작점에 접근
합 계				8.01	

위의 실험결과에서 같은 PTS법 계통의 RTM법에 의한 분석방법은 8.01초로 소요시간은 8.78초의 스톱 위치법에 비해 0.77초 짧았고, 이는 스톱 위치에 의한 측정방법으로부터 8.8%의 감소를 보이고 있었다. 반면에 ROMUM법에서는 RTM법과 비교해서 소요시간은 비슷하나 (8.01~8.12초), 스톱 위치에 의한 측정방법으로부터 상대적으로 적은 7.5%의 감소를 나타냄으로써 전체적으로 좋은 예측력을 나타내고 있었다. 또한, RTM법은 16단계에 걸친 분석단계를 밟고 있으나, ROMUM에서는 3단계로 RTM법의 1/5에 해당하는 간편한 분석효과를 이루었다. 이는 ROMUM에서는 기존 작업측정법에서의 기본 동작에 근거한 방법과 달리 단위 동작의 모듈화에 의한 선택적인 분석방법을 실시하고 있기 때문이다.

7. 결론

본 연구는 인간의 작업측정을 효과적으로 실시하고자 개발되었던 오프 라인 작업방식의 PTS법에 근거하여 로봇의 작업측정에 대해 다루었다. 인간에 대한 작업수행성능을 향상시키기

위해 동작의 효율성을 추구하는 것과 같이 로봇의 불필요한 동작을 감소시키기 위해 동작분석을 효과적으로 실시한 결과, 작업내용에 따른 기본동작에 대한 일련의 규칙성을 규명할 수 있었다. 즉, Robot Ergonomics을 추구하기 위한 하나의 방안으로서 로봇의 작업을 분석하여 로봇의 기본 동작을 표준화된 단위 동작으로 모듈화하였으며, 또한 시간 변동요인인 동작모듈과 동작거리를 선택하여 표준시간을 산출할 수 있도록 하였다. 이는 기존의 기본 동작의 세분화된 분석적인 방법에 비해서 작업내용에 따른 동작 단위의 모듈을 선택함으로써 불필요한 동작을 수행하는 것을 사전에 예방할 수 있는 이점을 갖고 있다. 뿐만 아니라 작업측정의 비숙련자에게 사용의 편의성을 향상시켜 분석시간과 비용 및 오류 등을 감소시킬 수 있는 것이다.

개발된 ROMUM은 앞으로의 오프 라인 작업측정방식으로서의 로봇 작업측정방식에 새로운 접근방법으로서 신 지평을 이루었다고 볼 수 있다. 다만, 이러한 연구결과가 지금 당장 모든 산업일반의 작업상황을 반영하였다고는 볼 수 없으며, 또한 이의 결과가 실제로 작업현장에서 표준시간을 산출한 결과와 정확하게 동일하다고는 말 할 수는 없을 것이다. 그러나 작업현장이 아닌 실험실에서도 얼마든지 작업시간을 산출할 수가 있게 되었으며, 더욱이 단위동작의 모듈화를 통함으로써 작업내용에 따른 작업시간의 산출을 경제적으로 실현할 수 있는 방안을 강구할 수 있다는데 그 의의가 있을 것이다.

따라서, 앞으로 대상작업을 좀 더 확대하여 많은 적용사례를 다루어 보는 것이 좋을 것이며, 이의 실험적 결과가 실제로 작업현장에서의 작업측정과 어느 정도의 오차를 나타내는지에 대해서도 검토를 해보는 것이 나을 것이다. 그리고 이러한 연구를 발전시켜 표준시간을 설정하는데 있어서 분석시간, 사용의 편의성 및 판단의 최소화 등을 실현하기 위한 사용자 중심의 컴퓨터 지원 로봇 작업측정방법의 개발도 생각해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Rahimi, M. and Karwowski, W., "A Research Paradigm in Human-Robot Interaction", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 5, pp.59-71, 1990.
- [2] Nof, S.Y., Ergonomics, In: R.C. Dorf(Ed.), *International Encyclopedia of Robotics*, pp.443-451, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [3] Barnes, R.M., *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*, pp.361-389, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- [4] Niebel, B.W., *Motion and Time Study*, pp.508-586, Irwin, Homewood, Illinois, 1982.
- [5] Paul, R.L. and Nof, S.Y., "Work Methods Measurement - A Comparison between Robot and Human Task Performance," *International Journal of Production Research*, Vol.17, No.3, pp.277-303, 1979.
- [6] Nof, S.Y. and Lechtman, H., "Robot Time and Motion System Provides Means of Evaluating Alternate Robot Work Methods," *Industrial Engineering*, April, pp.38-48, 1982.
- [7] Zandin, K.B., *MOST Work Measurement Systems*, pp.1-14, Marcel Dekker Inc., 1980.
- [8] Wygant, R.M., Ergonomics: Robot selection, In: R.C. Dorf(Ed.), *International Encyclopedia of Robotics*, pp.462-477, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [9] 한국 MODAPTS 협회, MODAPTS, 1986.
- [10] 권규식, 이순요, "ROBOT MODAPTS 기법에 의한 로봇의 동작분석에 관한 연구", 대한인간공학회지, 제11권, 제2호, pp.15-21, 1992.