

단위 동작 모형에 따른 로봇 작업시간 측정법의 개발

Development of Robot Work Measurement by the Unit Motion Model

°권 규 식°

*전주대학교 산업공학과 (Tel: 0652-220-2630; Fax: 0652-224-9920; E-mail: kwon@jeondrs.jeonju.ac.kr)

Abstracts This study deals with the motion modeling by the unit motion of robots and the work measurement through classification of robot motions and standardization. The proposed approach is to scrutinize the Predetermined Time Standards(PTS) methods for measurement of manual tasks performed by people and the basic motions for accomplishing that tasks. And then, it constructs the unit motion models as subsets composed with the basic motions. It apply together with movements distance as a time variable, too. These results are used for the work measurements of robots by the unit motion models.

Keywords Robot work measurement, Unit motion, Predetermined time standards, Basic motion, Movements distance

1. 서론

로봇의 특정한 작업을 수행하는데 필요한 표준 동작 시간을 설정하거나, 로봇을 생산 현장에 도입하기 전에 로봇의 작업 시간을 산출하여 현재 수작업에 의한 작업 시간과 비교하기 위해 로봇의 작업 측정이 필요하다. 로봇의 표준 동작 시간을 설정하는데 있어서 직접 로봇을 조작하여 그 작업 수행 시간을 산출해 내는 방법은 매 작업수행시 소요되는 로봇의 준비 작업과 새로운 프로그램의 작성 시간 및 시행착오적인 로봇 조작으로 인하여 과다한 노력과 시간, 이에 따른 여러 옴의 증가가 발생한다.

한편, 인간이 행하는 작업 또는 작업 방법을 기본적으로 분석하고, 각 기본동작에 대하여 그 성질과 조건에 따라 미리 정해진 기초 시간 치를 사용하여 알고자 하는 작업 동작 또는 운동의 시간 치를 구하고, 이를 집계하여 작업의 정미시간을 구하는 방법에 PTS(Predetermined time standards)법이 있다[1, 2]. 이 방법에 의한 로봇 작업 수행 시간의 산출은 간단하면서도 신속한 분석 기호로서 직접 로봇을 조작하지 않고서도 미리 수행할 수 있기 때문에 작업 내용의 변화에 유연하게 적용할 수 있으며, 또한 동작 분석에 의해 불필요한 로봇의 동작을 사전에 제거할 수가 있다.

이러한 장점을 가진 오프 라인 작업 측정방식의 PTS법에는 로봇의 동작을 몇 개의 기본 동작으로 나눈 것에 기초함으로써 로봇의 사이클 타임을 미리 예측하기 위한 RTM(Robot Time and Motion)법이 있다[3, 5]. 또한, 인간의 작업 동작을 분석하기 위해 개발된 MOST(Maynard Operation Sequence Technique)와 같은 순서모델[6]을 사용하여, 동일한 작업에 대해 인간조작자와 로봇의 수행 시간을 비교할 수 있도록 ROBOT MOST법이 개발되었다[4]. 그리고 인간이 수행하는 작업 동작의 표준시간을 설정하는데 있어서 분석이 간단하고, 실용 정도가 높은 MODAPTS(MODular Arrangement of Predetermined Time Standards)[8]를 활용하여 로봇의 각 관절의 기능 분석을 통해 동작을 분석하는 ROBOT MODAPTS법이 고안되었다[7].

이들 측정방식의 기본동작을 살펴보면 RTM법은 이동요소인 REACH, MOVE, ORIENT와 감지요소인 STOP-ON-ERROR, STOP-ON-FORCE/TOUCH, VISION과 잡거나 놓는 요소인

GRASP, RELEASE, 그리고 지연요소인 PROCESS-TIME-DELAY, TIME-DELAY로 구성된다. ROBOT MOST법은 A(action distance), B(body motion), G(gain control), P(place), M(move controlled), X(process time), I(align)를 사용하였다. ROBOT MODAPTS법은 M1(손가락), M2(손), M3(앞팔), M4(뒷팔), M5(어깨)의 이동동작과 G0(간단한 접촉), G1(손가락으로 쥐기), P0(간단히 놓기), P2(주의해서 놓기)의 중구동작으로 구분하여 적용하였다.

이와 같이 RTM, ROBOT MOST, 그리고 ROBOT MODAPTS법 등은 MTM(Methods Time Measurement)법과 같이 작업을 기본동작으로 분석함으로써 관리자와 작업자에게 사용 방법의 숙련에 많은 훈련이 필요하고, 분석 시에 많은 시간과 노력이 필요하였다.

따라서, 본 연구에서는 로봇의 동작 분석시 나타나는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 단위 동작의 모듈화를 통해 사용 방법이 용이하고 분석의 시간과 노력을 절감시킴으로써 표준시간을 효율적으로 설정할 수 있는 기법을 개발하고자 한다.

2. 단위 동작 모듈화의 설계

2.1 단위 동작 모듈화의 의의

실제 산업 현장에서 사용되는 로봇의 작업 동작은 작업의 종류와 특성 및 공정 작업의 설계에 따라 극히 제한되고, 대부분 중복 또는 반복되어 사용된다. 그러므로 작업 동작을 유형별로 분류하고 표준화하여 단위 동작별로 동작 모듈과 표준시간을 설정한다면, 작업 측정의 대상 작업에 해당되는 동작 모듈을 선택함으로써 표준시간을 설정할 수 있으며, 이러한 방법은 분석의 시간과 노력을 감소시킬 수 있을 것이다.

일반적으로 생산 활동은 그림 1과 같이 공정, 단위작업, 요소작업, 단위 동작, 기본동작으로 분할된다[9].

단위 동작 모듈화에 의한 작업측정은 단위 동작 수준을 동작 단위로 하여 시간 치를 설정하고 작업에 필요한 단위 동작을 선택함으로써 표준시간을 구하는 방법이다. 따라서, 이 방법은 단위 동작별로 여러 형태의 동작 모듈을 선정하고, 동작 모듈에 포

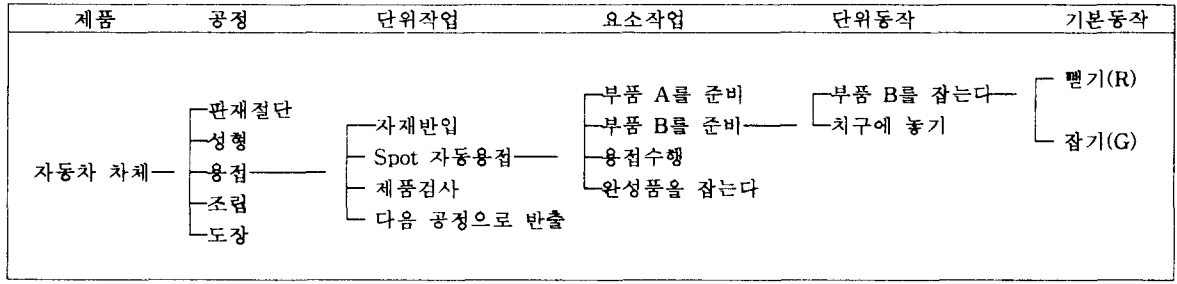


그림 1. 생산 활동의 분류
Fig. 1. Classification of productive activities.

함되는 기본동작별 동작부위와 작업의 곤란도를 설정하여 단위 동작의 동작 모듈별로 시간 치를 설정할 수 있도록 한 시스템이다.

생산 현장에서 대부분의 로봇 작업은 GET, PUT 즉, 본 시스템의 단위 동작 조합으로 구성되고, 이들 단위 동작은 항상 GET, PUT의 동작순으로 발생한다.

따라서, 본 시스템은 단위 동작(GET, PUT)의 동작형태를 작업의 목적과 특성에 따라 표준화하여 단위 동작별로 동작 모듈을 설정하고, 동작 모듈과 동작거리별로 설정한 시간 치로 구성된다.

단위 동작 모듈화에 의한 작업측정에서는 기존 오프 라인 작업 측정방식과는 달리, 대상작업을 기본동작으로 분석하지 않고 본 시스템의 시간 변수인 동작 모듈과 동작거리를 선택함으로써 표준시간을 결정하는 선택적 방법을 사용한다.

2.2 단위 동작 모듈화의 구조

일반적으로 로봇 작업은 취급하는 물건은 달라도, 기본적으로 GET 기본동작의 조합, PUT 기본동작의 조합의 형태를 유지한다. 생산 현장의 작업동작은 기본동작의 불규칙적인 조합이 아니라 어떤 일정한 형태로 조합되어 있음을 알 수 있으며, 대표적인 요소작업의 동작조합 형태는 표 1과 같다. 여기서, PP는 작업조건이나 상황에 따라 발생한다. 요소작업은 R, R-M, R~RL의 3가지 형태를 가지고 발생하고 이 순서가 바뀌는 일은 없다.

표 1. 요소작업의 동작조합 형태

Table 1. Combination of the basic motions in elements.

요소 작업	기본동작의 조합	
	GET	PUT
1 대기 위치로 팔을 가져감	R	
2 이동하며 arc 용접, 도장 작업	R (PP)	M
3 자동 나사 체결 작업	R (PP)	RL2
4 spot 용접, 스위치를 누름	R (PP)	G0 RL0
5 손가락을 갖다 대고 밀거나 끌어올 때, 마킹작업	R (PP)	G0 M RL0
6 부품을 집어와 슈트에 던짐	R (PP)	G1 M RL0
7 부품을 다른 곳에 놓기, (다)팔레타이징 작업	R (PP)	G1 M (PP) RL1
8 부품의 삽입작업	R (PP)	G1 M (PP) RL2
9 복잡한 부품을 다른 곳에 놓기	R (PP)	G2 M (PP) RL1
10 복잡한 부품을 다른 곳에 삽입하기	R (PP)	G2 M (PP) RL2

따라서, 표 1의 작업을 분류하고 표준화하여 얻은 단위 동작 모듈화의 구조는 그림 2와 같다.

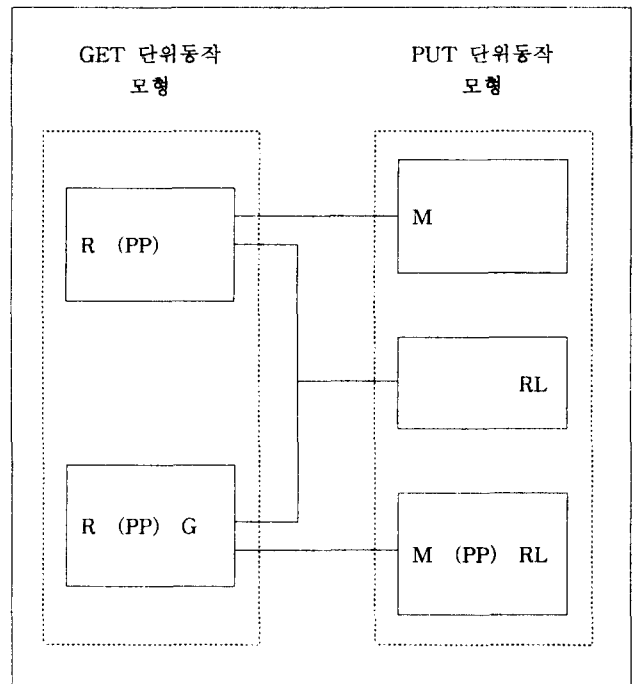


그림 2. 단위 동작 모듈화의 구조
Fig. 2. Structure of modularization of unit motions.

2.3 시간 변동 요인

본 시스템에 있어서 로봇에 의하여 작업이 이루어질 경우, 그림 3에서와 같이 동작 모듈과 동작거리에 의하여 표준시간이 측정된다. 따라서, 이들은 시간 치의 결정에 영향을 미치게 된다.

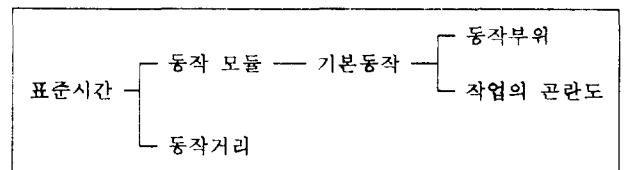


그림 3. 표준시간의 구성 요소
Fig. 3. Components of standards time

1. 동작 모듈

동작 모듈은 표 2의 동작부위와 작업의 곤란도를 적용한 기본 동작의 조합으로 설정된다. 작업의 곤란도는 중량(Weight)·방향 조절(Steering)·방향의 변경(Change of direction)·일정한 정지(Definite) 등이 동작시간에 미치는 영향을 표시하는 지표이다. 정밀한 작업이나 가반중량을 초과하는 작업을 수행할 때는 그만큼 동작에 필요한 제어의 양이 증대되며, 따라서 시간이 많이 소요된다. 곤란도가 없는 경우는 단순히 동작 신체부위와 동작거리에 의해서만 동작시간이 결정된다.

표 2. 동작부위와 작업의 곤란도
Table 2. Body members and Task difficulties

동작부위	작업의 곤란도
팔(Arm)	중량 또는 저항 - 로봇 사양의 허용가반중량을 초과하는 중량이나 저항이 가해질 때의 상황
손목(Wrist)	방향조절 - 작은 목표물로 동작을 유도할 때의 상황
손가락(Finger)	방향의 변경 - 동작경로가 장애물로 인하여 급격한 커브형태로 될 때의 상황 일정한 정지 - 의도적으로 운동을 정지시키는 상황

2. 동작거리

거리의 측정은 동작이 시작되는 점과 끝나는 점 사이의 직선 거리를 cm으로 표시한다. 이 때, 각 동작부위별로 측정기준점이 다르며, 표 3은 각 동작부위별로 거리측정 기준점을 나타낸다.

표 3. 동작부위별 이동거리 측정 기준점
Table 3. Measurements points in body members

동작부위	측정 기준점
팔(Arm)	Wrist
손목(Wrist)	TCP(Tool Center Point)
손가락(Finger)	Finger-tips

2.4 기본동작

본 시스템에서 동작 모듈을 설정하기 위하여 사용되는 기본동작은 이동(Reach/Move), 잡기(Grasp), 전치(Preposition), 놓기(Release)로 구성된다.

1. 이동(Reach/Move)

End effector가 그 위치를 변경시키기 위해서 또는 물체를 이동시킨다던가, 이동 중에 필요한 작업을 하기 위해서 실시하는 동작이다. 이동은 접근과 운반으로 구분된다. End effector의 위치를 바꾸기 위해서 실시되는 이동을 Reach(접근)-R이라고 한다. 이동이 물체의 위치를 변경하기 위해서 또는 이동 중에 필요한 작업을 하는 것을 본래의 목적으로 해서 실시될 경우 이것을 Move(운반)-M이라고 한다.

동작의 곤란도의 기준은 다음과 같다.

(1) 곤란도 0

- ① 이동 중에 물체를 놓아 버리듯이 던지는 동작, 또는 이동 중에 일이 완료되는 동작
- ② 막연한 위치로 움직이는 동작

(2) 곤란도 1

- ① 목적물을 잡기 위한 이동 동작
- ② 목적물을 일정한 위치에 놓기 위한 동작

(3) 곤란도 2

- ① 목표에 대한 여유 공간이 매우 적은 경우의 이동 동작

② 삼입 동작

2. 잡기(Grasp)

Grasp(불잡기)-G의 동작은 1개 또는 복수의 물체에 접촉하고 이것을 그 로봇의 통제하에 두는 동작이다

(1) 접촉 잡기(G0)

접촉 잡기란 end effector(손가락, 용접총 등)를 접촉시키는 것으로 대상으로 물체를 완전히 통제하에 둘 수가 있을 경우의 불잡는 동작이다.

(2) 단순 잡기(G1)

단일 목적물로서 손가락을 합치는 동작으로 잡을 수 있는 경우의 동작이다.

(3) 복잡 잡기(G2)

손가락을 합치는 것만으로써 행할 수 없는 복잡 잡기는 목적물이 복잡하게 놓여 있어 여러 번의 잡는 동작을 필요로 하는 경우에 발생한다.

3. 전치(Preposition)

전치 동작은 그 후에 계속되는 동작(특히 grasp, release)에 알맞게 end effector의 위치를 변경하거나 물건의 방향을 바꾸는 경우에 발생한다.

4. 놓기(Release)

제어하에 있던 물건을 목적의 장소에 놓을 때 발생한다.

(1) 접촉 놓기(RL0)

접촉형 놓기는 접촉 잡기의 반대로써 물건을 내던지거나 밀어 내는 동작을 포함한다.

(2) 단순 놓기(RL1)

단순형 놓기는 단순 잡기와 반대 동작으로써 손가락을 벌려서 목적물을 지정한 장소에 놓는 동작이다.

(3) 삼입형 놓기(RL2)

정밀도를 요구하는 삼입형 놓기는 어떤 구멍에 물체를 삼입할 때 발생하는 동작으로 주로 삼입, 놓기 동작으로 이루어지며, 경우에 따라서는 Slide가 발생할 때도 있다

① 단순 삼입형 놓기(RL2_1)

삼입, 놓기 동작으로 이루어지며 비교적 단순한 동작에 의한 삼입작업일 때 발생한다.

② 복잡 삼입형 놓기(RL2_2)

주로 목적물을 옆으로 기울여 미끄러지면서 목표물에 삼입할 때 발생하고 Slide, 삼입, 놓기 동작으로 구성된다.

2.5 단위 동작의 모형

1. GET

GET=(R, PP, G)이므로 작업 조건에 따라 4가지의 동작 모듈을 설정한다

여기서, PP동작은 조건적 추가 시간으로 설정한다.

(1) GET1 = R

대기 위치로 end effector를 뺀 동작이거나 arc 용접이나 도장 작업을 위해 작업점까지 뺀 동작일 때 발생한다.

(2) GET2 = R + G0

End effector를 갖다 대는 동작이나 spot 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.

2. PUT

$PUT=(M, PP, RL)$ 이므로 작업 조건에 따라 8가지의 동작 모듈을 설정한다.

여기서, PP동작은 조건적 추가 시간으로 설정한다.

(1) $PUT1 = M$

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

(2) $PUT2 = RL0$

Spot 용접과 같이 순간적으로 접촉 후 떼는 작업일 때 발생한다.

(3) $PUT3 = RL2_1$

호스를 통한 자동 나사 공급기와 같은 주변장치의 도움으로 비교적 간단한 삽입작업할 때 발생한다.

(4) $PUT4 = RL2_2$

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

(5) $PUT5 = M + RL0$

물건을 밀어내거나 던지는 경우에 발생한다.

(6) $PUT6 = M + RL1$

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

(7) $PUT7 = M + RL2_1$

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

(8) $PUT8 = M + RL2_2$

물체를 옆으로 기울여 미끄러지면서 삽입할 때와 같이 한 번에 삽입작업을 할 수 없을 때 발생한다.

3. 단위 동작 모듈화에 의한 시간 치의 결정

단위 동작 모듈화에 의한 작업시간의 측정은 생산 현장에서 발생하는 로봇 작업을 GET, PUT의 단위 동작 모형으로 분류하여 GET, PUT의 동작별로 작업의 목적과 특성에 맞는 동작모형을 선택하고, 또한 표준시간의 구성요소인 동작거리를 선택하여 표준시간을 구하는 것이다. 그리하여 작업 조건에 따라 발생 여부가 결정되어지거나 주변장치의 성능에 의하여 좌우되는 시간을 조건적 추가시간으로 동작모형별로 설정하여 동작모형과 동시에 선택하도록 하여 시간 치를 결정한다.

4. 결론

기존의 RTM, ROBOT MOST, 그리고 ROBOT MODAPTS

법 등의 오프 라인 작업 측정방식은 MTM법과 같이 작업을 기본동작으로 분석함으로써 그 기법의 적용은 분석, 측정, 판단, 합성 등과 같은 전문적인 지식과 경험을 필요로 하기 때문에 전문적인 교육과 오랜 기간의 경험을 갖춘 전문 요원에 의해서만 수행이 가능하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 개발된 단위 동작의 모듈화를 통한 작업 측정 방법은 관리자나 작업자의 요구에 크게 부응할 수 있을 것이다.

즉 본 연구의 결과, 로봇의 다양한 작업 방법을 표준화된 유형의 단위 동작으로 모듈화할 수 있다. 또한, 단위 동작 모듈은 기본동작에 의해서 구성되어지므로 각 모듈별 시간은 동작 부위 · 동작 거리 · 작업의 곤란도 등의 구성요소 시간의 합산으로 쉽게 구할 수 있다. 이는 기존의 분석적인 방법에 비해서 동작 단위의 모듈을 선택함으로써 비숙련자에게 사용의 편의성을 향상시키며 분석 시간과 비용 및 오류 등을 감소시킬 수 있을 것이다.

특히 본 연구는 자재 처리, 가공 작업, 조립 작업 등을 주대상 작업으로 구체적인 동작 모듈을 설계하여 시스템의 일반 모형을 제시함으로써 타작업에의 확대 적용의 가능성을 실현할 수 있는 기틀을 마련하였다.

참고문헌

- [1] R. M. Barnes, *Motion and Time Study Design and Measurement of Work*, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- [2] B. W. Niebel, *Motion and Time Study*, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, 1982.
- [3] S. Y. Nof and H. Lechtman, "Robot Time and Motion System Provides Means of Evaluating Alternate Robot Work Methods," *Industrial Engineering*, April, pp. 38-48, 1982.
- [4] R. M. Wygant, *Ergonomics*, Wiley, New York, 1988.
- [5] R. L. Paul and S. Y. Nof, "Work Methods Measurement - A Comparison between Robot and Human Task Performance," *International Journal of Production Research*, Vol. 17, pp. 277-303, 1979.
- [6] K. B. Zandin, *Most Work Measurement Systems*, Marcel Dekker Inc., New York, 1980.
- [7] 권규식, 이순요, "ROBOT MODAPTS 기법에 의한 로봇의 동작 분석에 관한 연구", *대한인간공학회지*, Vol.11, pp. 15-21, 1992.
- [8] 한국 MODAPTS 협회, *MODAPTS*, 현대기술연구소, 서울, 1986.
- [9] 황학, *작업관리론*, 영지문화사, 서울, 1994.