

## ▣ 응용논문

# 로봇 작업측정을 위한 컴퓨터 지원 시스템의 개발 - The Development of a Computer Aided System for Robot Work Measurement -

권 규 식\*  
Kwon, Kyu Sik

## Abstract

In recent years, a number of robot work measurement systems have been developed. This study discusses CARS (Computer Aided Romum System) which is to computerize the existed manual version ROMUM (ROBOT Modularization of the Unit Motion) method as the predetermined time system for robot work measurement. The ROMUM was developed to establish the standard time of work through modularize the unit motions in robot tasks. The CARS is designed on a menu driven form by computer assist for user interface and then interacts with user effectively. Therefore, the system can provide the convenience of use and minimization of analysis time and degree of judgement for establishing standard time.

### 1. 서론

로봇 시스템에 관련된 인간의 활동에 대한 연구가 진행되어 오면서 작업의 수행성능측면에서의 인간과 로봇에 관련된 변수들이 상호작용 하는 로봇 시스템 설계가 주된 관심으로 자리잡혀 왔다. 인간과 로봇의 특성을 고려하여 각자의 역할분담을 통한 기능할당을 통해서 효과적인 통합화된 인간-로봇 시스템의 구축을 실현하고자 많은 노력들이 이루어져 왔다. 효율적인 Human-Robot Interaction을 위한 인간공학적인 접근이 산업현장에서의 단위작업당 시간과 비용의 최소화, 조작자의 노력과 에너지의 최소화, 낭비, 재 작업의 최소화, 작업량 및 안전성의 극대화를 위한 로봇 작업의 최적화에서 주로 시도되어 왔다[1]. 특히, Nof는 Robot Ergonomics라고 하여 작업환경에서의 로봇과 관련한 연구와 분석을 제안하였으며, 이는 작업특성의 분석, 작업방법계획, 작업장 설계, 작업 수행성능, Integrated Human and Robot Ergonomics 등의 다섯 가지 주요 주제를 중심으로 다루어 왔다[2]. 이러한 주장은 작업 시스템의 전체 작업수행성능을 최적화하기 위한 도구로 사용되고 있으며, 이는 작업측정, 작업수행성능의 예측과 평가 등으로 구성되어 있다.

한편, 작업측정의 근본적인 목적은 노동 생산성의 척도인 표준시간을 정확히 설정하는데 있으며, 표준시간을 설정하는데 있어서 분석자의 측면에서 분석속도, 사용의 용이성, 판단 정도의 최소화 등을 실현하기 위해 기존의 Predetermined Motion-Time Systems (PMTS) 분석방법에 컴퓨터의 기술이 활용되어 왔다[3]. 사용자와의 상호작용의 방법으로 그래픽을 이용한 MODCAD 소프트웨어는 분석의 기초로서 MODAPTS를 이용하고 있으며, 그래픽 도구로서

\* 전주대학교 기계·산업공학부

AutoCAD/AutoLisp을 사용하여 표준시간을 산출하고 있다[4]. 특히, Worrall은 Computer Aided Work Measurement (CAWM) 시스템이 수작업에서 발생하는 위험한 동작, 누적 외상, 동작자세와 대사와 관련된 문제점 등에 주의하지 않은 것에 착안하여 이의 인간공학적 고려에 집중하였다[5].

이러한 시도는 로봇 시스템의 표준시간을 설정하는 데에도 활용되어 지금까지 개발된 로봇 동작의 표준시간설정방법으로서의 Robot Time and Motion (RTM)[6], Robot Maynard Operation Sequence Technique (Robot MOST)[7], Robot MODular Arrangement of Predetermined Time Standards (Robot MODAPTS)[8], Robot Modularization of the Unit Motion (ROMUM)[9] 등 몇 가지 PMTS가 개발되었다. 이 중에서 RTM, Robot MOST, 그리고 Robot MODAPTS법 등은 작업을 기본동작으로 분석한 것에 반해, ROMUM은 작업내용에 따라 일련의 기본동작으로 분석한 다음, 분석된 기본동작을 규칙성 있는 단위동작으로 모듈화를 실현하는 것이다. 그러나 이들 방법들은 분석가의 수 작업에 의한 것으로 사용 방법의 편의성을 도모하고 분석의 시간과 노력을 절감시킬 수 있는 컴퓨터에 의한 지원을 필요로 하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 단위동작의 모듈화에 의한 기법으로 개발된 ROMUM을 컴퓨터 그래픽 기술을 이용하여 사용자 위주의 Human Interface를 실현할 수 있는 기법으로 개발하고자 한다.

## 2. ROMUM의 구조

ROMUM은 일반적인 로봇 작업을 분석하여 이들의 동작형태를 정형화된 형태로 정의하여, 접근 (Reach; R), 운반 (Move; M), 잡기 (Grasp; G), 예비 (Pre-Grasp/Release; PG/PRL), 놓기 (Release; RL) 동작 등을 기본동작을 삼아 이를 단위동작의 모듈화로 사용하는 방법이다. 여기서, PG/PRL는 물체를 잡거나 놓을 때 작업조건이나 상황에 따라 발생하는 예비동작이다. 더욱이 로봇 작업을 로봇이 목표물에 접근해서 대상 작업위치로의 이동까지 이루어지는 물체를 얻기 위한 GET 기본동작의 조합과 작업이 끝난 후 물체를 원래의 위치에 옮겨 놓기 위한 PUT 기본동작의 조합으로 2단계의 동작형태로 설정되어 있다.

따라서, ROMUM은 단위동작 GET과 PUT의 동작형태를 작업의 목적과 특성에 따라 표준화하여 단위동작별로 동작모듈을 설정하고, 이 동작모듈과 동작거리별로 시간 치를 구성한다. 단위동작의 모듈화 구조는 그림 1과 같다[9].

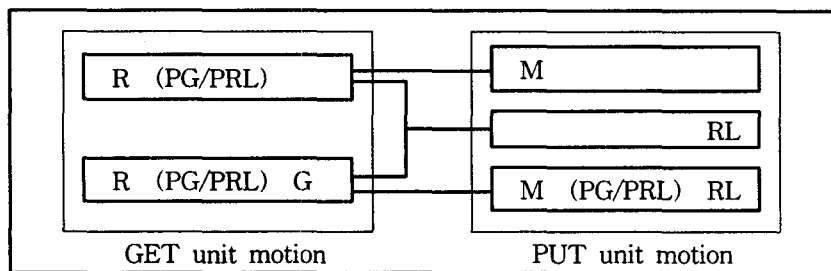


Figure 1. Modular Structure

### 3. 컴퓨터지원 작업측정법의 개발

최근에 컴퓨터의 발전에 따라 인간의 작업측정관련 수작업의 PMTS 기법이 컴퓨터화 되어져 왔다. 대표적인 것으로는 MTM 계열의 컴퓨터 버전인 4M 및 ADAM, MOST 계열의 Computer MOST, Work Factor 시스템 계열의 WOCOM, MODAPTS PLUS의 컴퓨터 버전인 MODAPTS PLUS PROFESSIONAL 등이 있다[3]. 이들 시스템의 주된 목적은 수동적인 작업 측정의 시간과 노력을 줄이는 것이다. 한편, 지금까지 개발된 로봇의 작업측정관련 수작업의 PMTS 기법인 RTM, Robot MOST, Robot MODAPTS법 등은 작업을 기본동작으로 분석함으로써 관리자와 작업자에게 사용 방법의 숙련과 분석에 많은 시간과 노력이 소요되는 제약이 있었다. 따라서, 본 연구에서는 로봇의 작업내용에 따라 일련의 기본동작으로 분석한 다음, 분석된 기본동작을 규칙성있는 단위동작으로 모듈화를 통하여 효율적으로 표준시간을 설정하는 수작업의 작업측정법인 ROMUM을 컴퓨터화한 작업측정 시스템 CARS를 개발하고자 한다.

#### 3.1 Computer Aided ROMUM System (CARS)의 개요

본 연구는 산업현장에서 로봇에 의해 수행되어지는 작업을 측정하는데 있어서 기존의 로봇의 각 관절의 운동단위에 의한 기본 동작으로 분석하여 실시하지 않고, 대상작업을 단위 동작 모형과 동작거리로 선택하여 시간을 산출하는 방법을 사용자 위주의 시스템으로 구성하기 위해 컴퓨터 지원에 의한 menu-driven 형태로 구축하는 것을 다루고 있다. 개발된 CARS 프로그램의 흐름도를 살펴보면 그림 2와 같다.

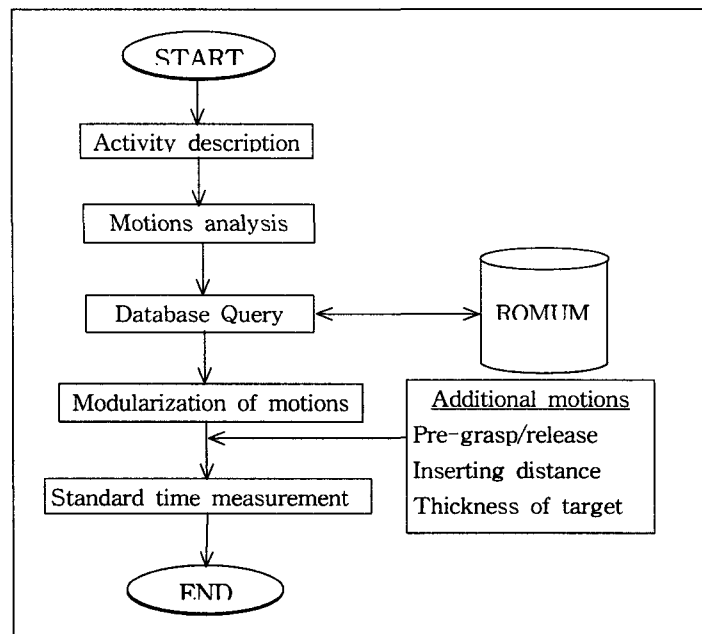


Figure 2. Flowchart of CARS

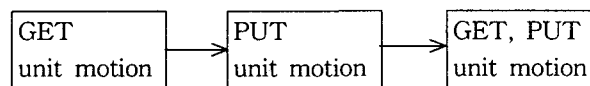


Figure 3. Motions Analysis Process

먼저, 로봇이 수행하고자 하는 대상작업에 대한 작업내용이 기술된다. 작업내용은 GET 단위 동작에 의해 수행될 수 있는 부분이 분석되고, 이어 PUT 단위동작에 의해 수행될 수 있는 부분이 분석되어 GET, PUT 단위동작으로 동작분석이 이루어진다(그림 3). 다음으로 분류된 GET과 PUT 단위동작을 미리 설정된 ROMUM 시간표 데이터 베이스에서 TYPE별 이동거리와 CASE별 동작형태를 선택하는 동작의 모듈화과정이 이어진다(그림 4). 그리고 예비동작, 삽입거리, 목표물의 두께, 무게 등의 조건적 추가동작을 선택하게 된다. 마지막으로 작업내용의 반복 수를 기입하면 작업내용에 따른 표준시간이 산출되는 것이다.

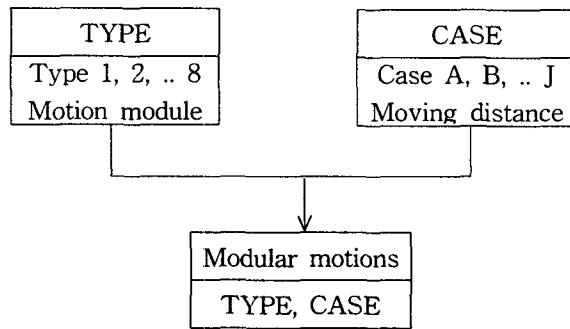


Figure 4. Modularization of Motions

### 3.2 CARS의 적용례

그림 5에 peg holder로부터 peg를 작업위치에 있는 base에 삽입하는 peg 삽입작업을 대상으로 본 연구에서 개발된 CARS를 적용시킨 사례를 다루고자 한다. 연구용 로봇 SCORBOT-ER V를 이용한 로봇의 삽입작업은 다음의 3단계의 절차로 이루어진다. 먼저, start position으로부터 5cm 떨어진 base를 집어서(①), table의 점선으로 표시된 작업위치로 30cm 만큼 이동하여 놓는다(②). 다음으로, 작업위치에서 20cm 떨어진 peg를 집어(③) base에 삽입한다(④). 끝으로, 최초의 지점으로 돌아오는(⑤) 일련의 연속된 작업이다.

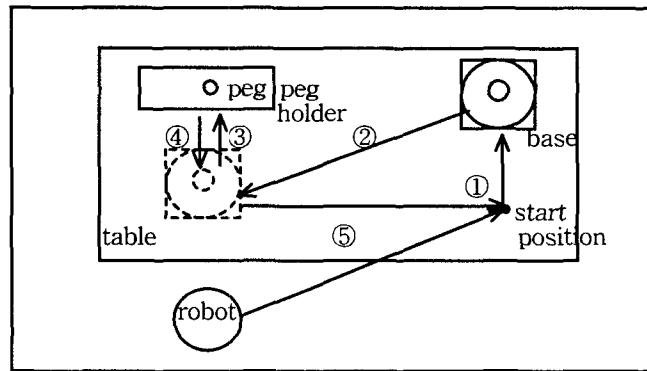


Figure 5. Layout of Insertion Task

CARS 프로그램에 의해 수행되는 로봇의 peg 삽입작업에 대한 초기화면과 분석단계를 그림 6-11에 연속으로 제시하였다. 전체적으로 그림 7에서는 작업내용을 기입하고 GET 단위동작의 동작형태에 맞는 동작모듈을 선택하고, 이동거리, 예비동작의 발생유무, 잡기 형태, 목적물의 무게를 설정한다. 그림 8에서는 마찬가지로 PUT 단위동작에서 발생하는 동작모듈을 선택하고, 동작의 이동거리, 예비동작의 발생유무, 놓기 형태, 목적물의 무게, 목적물의 무게를 설정한다. 그림 9에서는 작업내용의 반복 수를 기입한다. 이러한 과정을 거친 작업내용 1번에 대한 결과가 그림 10에 나타나 있다. 그림 11에 삽입작업이 모두 끝난 후의 전체작업에 대한 결과를 제시하였다.

최초에 CARS를 실행시키게 되면, 그림 6과 같은 초기화면이 생성된다. CARS의 초기화면은 크게 세 부분으로 구성되어 있다. 상층부는 작업내용에 따른 GET과 PUT의 단위동작에 의한 동작모듈별 TYPE과 이동거리별 CASE 그리고 예비동작을 입력하는 창, 가운데 부분은 작업내용을 입력할 수 있는 Activity description 창, 하층부는 작업내용과 동작형태별로 GET 단위동작과 PUT 단위동작을 선택할 수 있는 창 등 모듈화 구조로 구성되어 있다.

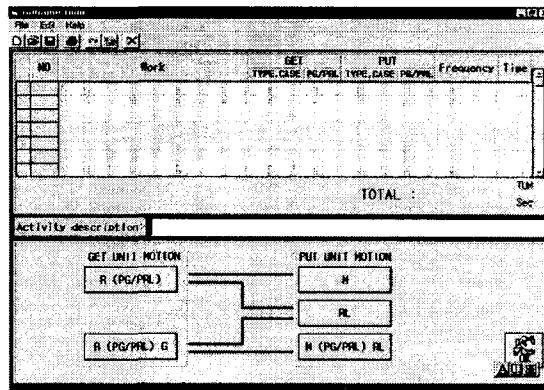


Figure 6. Initial Screen of CARS

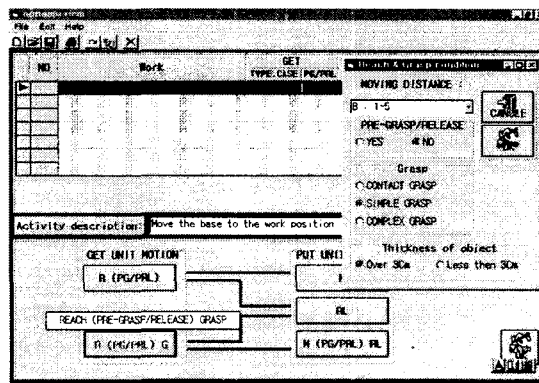


Figure 7. Description Operation and Selection of Reach & Grasp Condition

화면에 나타나 있는 Activity description 창에 작업내용을 입력하고, 이에 따라 GET 단위동작의 해당 버튼을 선택하게 된다. 첫 번째 작업내용에 따라 [R (PG/PRL) G]을 선택하면 그

림 7과 같은 화면으로 전환된다. 작업내용에 따른 이동거리, 예비동작이 존재하는지의 유무, 잡기 동작의 형태와 목적물의 무게 등을 선택하면 GET 단위동작에 관련된 작업의 입력이 모두 완료된다. 완료한 후 OK 버튼을 누르면 그림 8과 같은 PUT 단위 동작을 입력할 수 있는 화면이 나타나면서 선택 가능한 PUT 단위동작으로의 이동 가능한 경로가 굵은 선(청색)으로 표시된다. 그렇지 않은 경우는 가는 선(적색)으로 표시된다. 이 제시되는 경로에 따라 GET 단위 동작과 연결해서 수행 가능한 PUT 단위동작을 자동적으로 선택할 수가 있는 것이다.

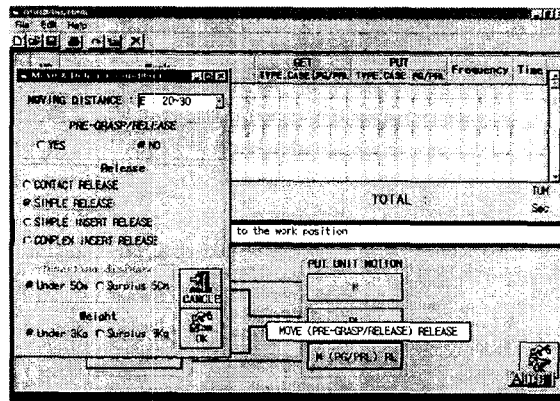


Figure 8. Selection of Move & Release Condition

굵은 선(청색)으로 연결된 선택 가능한 PUT 단위동작의 작업내용에 따라 해당 버튼을 선택한다. PUT 단위동작의 내용은 GET 단위동작의 내용과 반대의 개념이 적용되게 된다. 따라서, [M (PG/PRL) RL]가 선택되는데, GET 단위동작의 선택에서와 마찬가지로 작업내용과 형태별로 이동거리, 예비동작의 유무, 놓기 동작의 형태와 놓을 때의 삽입동작이 존재하면 삽입의 깊이, 목적물의 무게 등을 선택하면 된다. 이 후에 OK 버튼을 누르게 되면 그림 9와 같은 화면이 나타나게 된다.

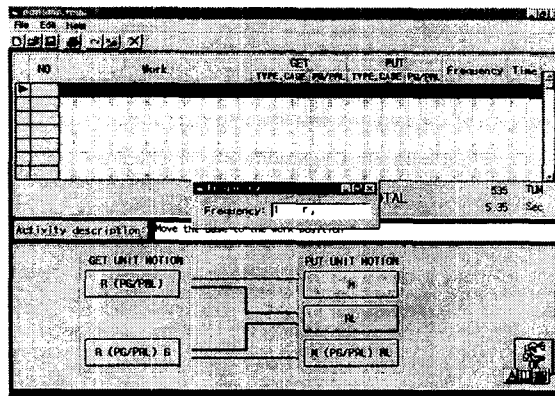


Figure 9. Record of Frequency

이러한 GET 단위동작과 PUT 단위동작의 작업이 계속해서 얼마나 반복되는지에 대한 작업의 반복 횟수 등을 입력할 수 있는 창이 나타나게 된다. 이 창에 작업의 반복 횟수를 입력하고

Enter 버튼을 누르면 그림 10과 같은 화면이 나타난다. 이러한 반복횟수는 작업내용에 따라 독립적으로 발생할 수도 있으며, 반복횟수의 수에 따라 작업의 표준시간의 산출에 큰 영향을 미치게 된다.

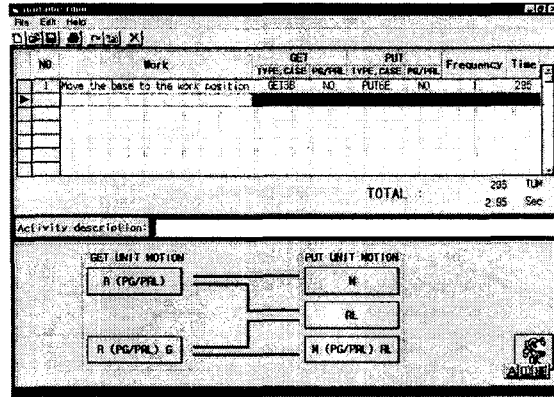


Figure 10. Analysis Results for Work Content of Step 1

그림 10은 첫 번째 작업내용에 따른 작업수행시간을 나타내고 있다. 이 작업은 로봇의 peg 삽입작업 중에서 최초의 작업 시작지점에서 peg을 잡아서 작업영역으로 base를 이동하는 작업까지의 수행시간을 보여주고 있다.

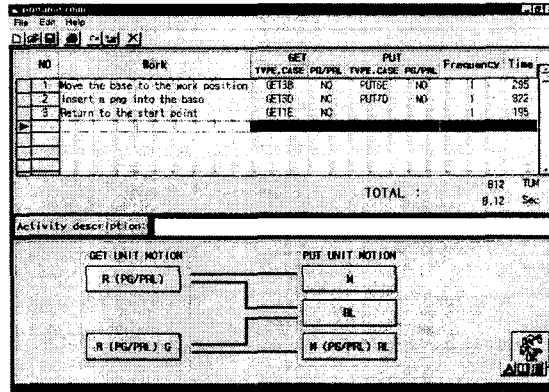


Figure 11. CARS Analysis Results for Robot Work

이러한 일련의 과정을 반복하여 peg을 삽입하는 두 번째 작업, 최초 작업 시작지점으로 되 돌아오는 세 번째 작업을 위에 제시한 과정에 따라 수행하게 되면 전체작업에 대한 작업시간을 그림 11과 같이 얻을 수 있게 된다. 즉, GET 단위동작 및 PUT 단위동작에 의해 수행된 작업내용에 대한 전체적인 작업시간을 ROMUM의 시간 단위인 TUM (Time of Unit Motion) 단위로 표시하여 준다. 1 TUM 은 1/100초로 구성되어 있으며, 이를 통해 환산된 초 단위의 최종 시간이 산출되게 된다. 따라서, 상층부에 작업의 일련 번호, 수행된 작업내용, 동작모듈과 이동거리, 예비동작의 유무에 따른 GET 단위동작과 PUT 단위동작의 형태, 반복횟수, 그리고 이에 따른 각 작업별 수행시간과 전체적인 작업수행시간이 얻어지게 된다.

### 3.3 CARS와 기존 수작업에 의한 로봇 작업측정 시스템의 비교

본 연구에서 개발한 컴퓨터에 의한 로봇의 작업측정 시스템 CARS와 기존의 수작업에 의한 로봇의 작업측정 시스템 ROMUM을 비교하기 위해 실험을 실시하였다. 본 실험에 참여한 피실험자는 20대의 대학생으로 모두 4명(남-2, 여-2)이었다. 이들 중 한 명만이 평소 컴퓨터를 자주 접하고 있었다. 또한, 실험 전 모든 피험자들에게 실험의 개요 및 목적을 충분히 주지시켰고, 실험내용을 충분히 숙지할 수 있을 때까지 예비실험을 실시한 후, 본 실험을 실시하였다. 평가를 위한 지표로는 분석시간, 정확성 그리고 사용의 편의성으로 정하고, 본 논문에서 제시한 작업 이외에 난이도에 따른 2가지의 작업을 추가로 실험하였다.

로봇작업의 일반적인 형태인 Pick and Place 작업에 있어서의 그림 5의 삼입작업에 대해 Peg의 크기와 놓는 위치의 특정화에 따른 난이도를 다양하게 하여 실험을 실시하였다. 다시 말해서, 3cm 이상이 되는 일반적인 대상물을 집어 임의의 장소에 이동하는 난이도 0의 작업과 3cm 이하의 대상물을 집어 특정한 장소에 위치시키는 난이도 1의 작업, 그리고 3cm 이하의 대상물을 특정한 위치에 삼입을 시키는 난이도 2의 작업을 제시하였다.

실험결과 전반적으로 난이도가 높아질수록 컴퓨터작업(CARS)과 수작업(ROMUM)간의 작업 분석시간, 에러율 등의 차이가 커짐을 알 수 있었지만, 이들의 관계가 항상 일정한 선형관계를 갖지는 않았다.

각 작업에 대한 분석시간의 경우 그림 12와 같이 난이도에 따른 세 작업 모두 CARS에 의한 분석시간이 ROMUM에 의한 분석시간보다 적게는 6초에서 많게는 14초까지 빠르게 나타났다. 난이도 0의 작업의 경우 CARS와 ROMUM간의 분석시간의 차이가 약 6초를 보였고, 난이도 2의 작업의 경우 약 11초의 차이를 보였다. 즉, 간단한 작업에서는 ROMUM과 CARS간에 큰 차이를 볼 수 없었지만, 작업의 난이도가 높아지고, 복잡한 작업일수록 CARS의 필요성 내지는 그 효율성이 커짐을 알 수 있었다.

또한 이는 대부분의 피실험자가 컴퓨터에 친숙하지 않다는 것을 감안한다면 상당히 큰 차이라고 할 수 있을 것이다.

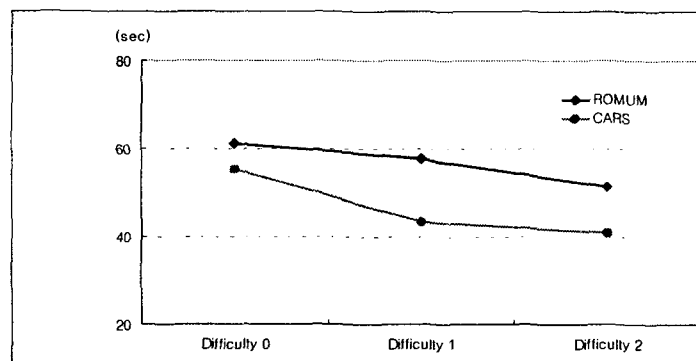


Figure 12. Task Analyzing Time according to Difficulties

다음은 에러율에 대한 분석으로 주어진 작업에 대한 분석을 수행함에 있어 분석자의 실수에 의해 발생하는 시간적 오차율을 본 논문에서는 에러율이라 정의하였다. 예를 들어, 어떠한 작업에 대해 정확한 분석이 이루어졌을 경우 해당 작업시간이 500 TUM이라 하자. 만약 A라는 분석자가 위의 작업에 대한 분석결과 해당 작업시간이 1000 TUM이 나왔을 경우의 오차율은  $\left| \frac{(1000\text{TUM}-500\text{TUM})}{500\text{TUM}} \right| \times 100(\%) = 100(\%)$  즉 100%가 되는 것이다. 오차율의 계산시 절대값을 취하



는 이유는 각 피험자별 오차율에 대한 평균을 낼 경우 음의 값과 양의 값이 서로 상쇄되어 평균오차율을 구할 경우 오차율이 실제보다 줄어들 수 있기 때문이다.

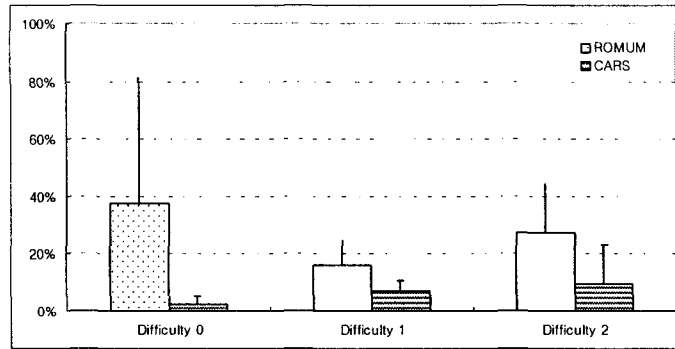


Figure 13. Average Error Rate according to Difficulties

각 작업별 에러율은 그림 13과 같이 ROMUM이 CARS에 비해 훨씬 높음을 알 수 있었다. 난이도 0의 경우 ROMUM에 의한 분석시 오차(38%)와 각 작업자간의 편차(44%)가 크게 나타났는데, 이는 간단한 작업의 경우 분석자의 분석결과에 따른 해당 작업시간이 짧기 때문에 작업분석시의 작은 실수가 결과에 미치는 영향이 크게 작용된 것으로 판단된다. 그리고 일반적으로 난이도가 점점 높아지고 작업내용이 복잡해지는 난이도 1, 난이도 2의 평균 에러율에서도 에러의 증가폭은 ROMUM에 비해 CARS가 적음을 알 수 있다.

사용의 편의성에 대한 피험자들의 주관적 평가결과는 그림 14와 같이 나타났다. 작업을 지속적으로 수행함에 따라 오게되는 눈의 피로도의 경우 복잡한 표를 보고 계산을 해야하는 ROMUM이 훨씬 더 한 것으로 나타났다. 또한, 작업을 수행하는 동안 작업 분석자의 실수에 의한 에러를 방지할 수 있는 대책의 적절성 내지는 그 실효성에 대한 의견은 CARS가 ROMUM에 비해 훨씬 더 효과적인 것으로 나타났다. 작업분석에 대한 편의성의 경우 선행작업에 따라 가능한 후속작업을 지시해주는 CARS가 ROMUM에 비해 매우 편리한 것으로 나타났다. 이 외에 두 작업의 전체적인 만족도에 대한 비교 결과 또한 CARS가 더 만족스러운 것을 알 수 있었으며, 작업의 반복수행에 따른 학습효과 또한 CARS가 뛰어난 것으로 나타났다.

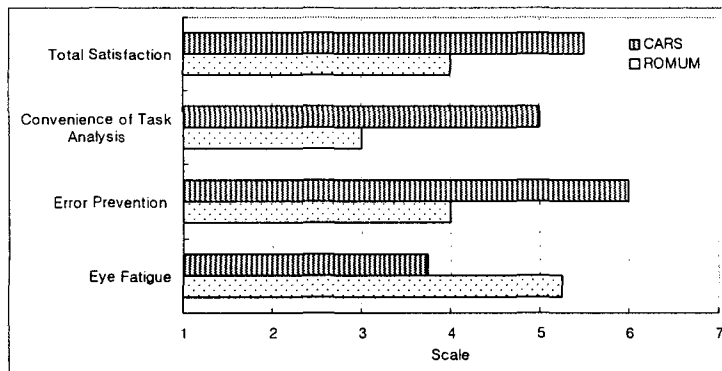


Figure 14. Subjective Evaluation Results

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 로봇에 의한 작업수행시간을 단순히 PMTS 방식에 의한 수 작업에 의해 작업측정을 하던 방법을 Human Interface 차원에서의 접근을 시도하여 이를 컴퓨터 지원의 측정 시스템으로 개발한 CARS를 다루었다. Robot Ergonomics의 일환으로서 개발된 ROMUM은 로봇에 의해 수행되는 작업을 로봇의 기본 동작에 기초하여 표준화된 단위 동작으로 모듈화 한 단위동작 모형과 시간 변동요인인 동작모듈과 동작거리를 선택하여 표준시간을 산출할 수 있도록 한 것이었다. CARS는 이러한 ROMUM기법을 이용하여 컴퓨터 지원에 의한 사용자 위주의 menu-driven 형태로 구축한 것이다. 따라서, 이는 사용자에게 사용의 편의성을 도모하고 분석노력의 최소화와 오류를 방지할 수 있는 작업측정시스템으로서 효과적일 수 있을 것이다. 또한, 이러한 작업내용에 따른 분석방식을 추구함으로써 로봇이 불필요한 동작을 수행하는 것을 사전에 인지, 예방할 수도 있을 것이다.

앞으로 이러한 연구를 로봇 작업수행시간측정을 위한 전문가 시스템으로 확장함으로써 작업내용에 따라서는 자신이 해야 할 동작이 무엇인지를 스스로 추론하여 평가할 수 있는 기능을 확보하여 불필요한 동작을 수행하지 않게 하는 연구도 고려해볼 만 할 것이다. 또한, 이를 지식 베이스 구축차원에서의 이에 관계된 지식의 획득이나, 표현 등에 관한 점도 주의해야 할 것이다. 더욱이 퍼지 이론이나 신경 망 이론과 같은 방식으로의 접목도 생각해 볼 만하다.

#### 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] Genaidy, A.M., Agrawal, A., and Mital, A., "Computerized Predetermined Motion-Time Systems in Manufacturing Industries", Computers ind. Engng., Vo.19, Nos,1-4, pp.571-584, 1990.
- [4] Wygant, R. and Dawood, R., "MODCAD", Computers ind. Engng., Vo.19, Nos,1-4, pp.336-340, 1990.
- [5] Worrall, B.M., "Computer Aided Work Measurement and Ergonomics", Advanced in Industrial Ergonomics and Safety VII, pp.1003-1010, Taylor & Francis, 1995.
- [6] 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.
- [7] Wygant, R.M., Ergonomics: Robot selection, In: R.C. Dorf(Ed.), International Encyclopedia of Robotics, pp.462-477, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [8] 권규식, 이순요, "ROBOT MODAPTS 기법에 의한 로봇의 동작분석에 관한 연구", 대한인간공학회지, 제11권, 제2호, pp.15-21, 1992.
- [9] 권규식, "Robot Ergonomics의 일환으로서 로봇 작업측정에 관한 연구", 공업경영학회지, 제21권, 제48호, pp.201-211, 1998.