

▣ 연구논문

퍼지선형회귀를 이용한 상지부위의 CTDs 위험요인 평가†

An evaluation of CTDs risk factors of upper extremity using fuzzy linear regression

이 동 춘\*  
 Lee, Dong-Choon  
 부 진 후\*\*  
 Boo, Jin-Hoo

**Abstract**

It is difficult to estimate the effective factors upon Cumulative Trauma Disorders in real workplace because those are developed by combination of various risk factors for time. The purpose of this paper was to evaluate relative level of CTDs risk factors such as task-related factors, anthropometric factors, joint deviation factors and personal factors using fuzzy linear regression models. And the models are built corresponding to each category with the survey data from telephone operators. The coefficient of fuzzy models are described as the relative level of variable to present risk factors upon CTDs.

**1. 서 론**

상지의 누적외상병(CTDs : Cumulative Trauma Disorders)은 반복적인 신체적 스트레스 혹은 외상에 의해 손목, 팔 그리고 어깨에 발생하는 근골격계 장애이며, 이것은 제조현장에서 생산성을 감소시키는 중요한 원인 중의 하나이다. 상지의 CTDs는 중공업 작업현장에서부터 사무실에 이르기까지 거의 모든 유형의 작업환경에서 발생하고, 이러한 이유 때문에 CTDs는 주요 산업재해 중 하나로 꼽히는 직업병으로까지 되었으며, 미국이나 유럽의 선진국가들에서는 노사 모두가 산업현장이나 주변환경들에서 CTDs의 원인을 찾아 이를 예방하고 감소시키기 위한 인간공학적 프로그램에 많은 관심을 기울이고 있다.

CTDs는 그와 관련한 여러 가지 위험요인이 복합적으로 존재하는 작업환경 내에서 오랜 시간 반복적인 작업을 수행한 후 점진적으로 나타나며, CTDs의 발병은 작업자에게 신체적 영향을 주고 작업장 전체의 생산성을 저하시키는 중요한 원인으로 자리잡고 있다. CTDs의 원인으로 Armstrong[1,2]과 Putz-Anderson[12]은 직업적 원인과 비직업적 원인으로 분류하였다.

† 본 연구는 1998년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음.

\* 동아대학교 산업시스템공학과 교수

\*\* 동아대학교 산업공학과 박사과정

직업적 원인으로는 반복적 작업, 과도한 힘, 부자연스러운 자세, 정적인 근육부하, 기계적 스트레스, 진동과 냉기 등을 들 수 있고, 비직업적 원인으로는 나이, 성별, 심한 외상 등을 들고 있다. 또한 Ayoub과 Jasskelainen[3]은 CTDs의 원인으로 주로 특정 부위의 반복적인 사용, 무리한 힘의 사용, 부자연스러운 자세, 부적절한 휴식, 진동, 날카로운 면과의 접촉, 그리고 저온에의 노출 등의 복합적인 요인 등으로 구분하고 있다.

Rodgers[13]는 CTDs의 위험요인을 크게 개인적 요인(individual factors)과 작업 및 작업장 요인(job & workplace factors)으로 구분하였고, 또 Genaidy 등[5]은 제조산업에서 CTDs의 위험 요인이 작업자에게 노출되는 과정을 분류하고, CTDs 위험을 감소시키기 위한 작업장 개선에 노력하였으며, Karwowski[6]는 상지의 CTDs 예측에 효과를 주는 요인들을 분류하였다.

한편, Merritt와 Gopalakrishan[11]은 상지에 자주 발생하는 4가지 CTDs와 그와 관련한 요인들을 분류하였고, 그 외의 13가지 상지 CTDs와 24가지 위험요인에 대하여 주어진 작업환경에서 발생 가능한 상지 CTDs를 예측하기 위한 fuzzy 이론을 이용한 모형을 개발하였다. 그러나 각 요인이 관련 CTDs에 얼마만큼의 영향을 미치는지는 밝히지 않았다.

여러 가지 요인들이 오랜 기간 동안의 작업자에게 누적될 때 CTDs의 증세가 보이기 시작하기 때문에 CTDs가 발생한 후에 대처하기에는 너무 늦다. 따라서 CTDs가 발병하기 전에 주어진 작업 환경 내에서 CTDs의 발생 여부를 예측하는 것은 매우 중요한 과제 중의 하나라고 할 수 있다.

그러나 CTDs를 발생시키는 인간공학적 문제와 그 원인간의 관계는 개인적 차이와 서로 다른 작업환경, 그리고 많은 요인이 존재하기 때문에 주어진 작업 환경에서 발생하는 문제의 위험을 예측하는 데는 어려움이 많다. 그러므로 위험요인간의 상호작용을 이해하고 그 노출 정도를 측정하는 방법을 개발하는 것은 CTDs를 예측하는데 중요하다 할 것이다. 그러기 위해서는 작업 환경에 존재하는 CTDs와 관련한 개별적인 위험 요인의 객관적인 정도를 파악하는 일이 무엇보다도 중요하다.

그러나 CTDs와 작업자에게 노출된 위험요인간의 관계와 그 심각성 정도를 측정하거나 예측하는데 있어 측정치 혹은 예측치의 불완전성과 비일관성에 의해 일반적인 통계학적 수리 모형은 가능하지 않다. Zimmerman[16]은 인간공학 분야와 같이 특수한 시스템과 현상을 모형화하기 위해서는 집합 이론의 2분법적인 특성에 기초한 전통적인 수학적 모형을 사용하는 데는 한계가 있다고 주장하였다. 이것은 자연적 언어의 모호함과 실험 연구의 자연적 언어가 정형화된 언어로 대신할 수 없다는 사실에 기인한다. 주관적인 인간 판단의 애매성과 모호함은 복잡하고 거대한 시스템을 모형화할 때 많은 영향을 미친다. 따라서 이러한 문제의 해결에는 퍼지집합 이론이나 Neural Network, 또는 Genetic Algorithm 등이 유효하게 사용될 수 있을 것이다. 이에 Chen[4]이나 Maiers와 Sherif[8]는 진단 문제에 있어 전문가의 의견을 정량화하는 데는 퍼지집합 이론을 사용하는 것이 유용하다는 사실을 제시한 바 있다. 또한 McKee[10]는 CTD의 발병에 기여하는 인간공학적 결함을 분류하기 위하여 전문가 시스템 방법을 사용하였다. 또 McCauley-Bell[9]은 상완(forearm) 손의 CTD의 위험을 평가하는 인공지능 모형을 개발하였다.

이에 본 연구에서는 키보드 작업 시 상지부위의 CTDs의 발생가능성을 예측하고 예방하기 위하여 주어진 작업환경 내에서 상지부위의 CTDs의 위험 요인을 분류하고, 분류된 위험요인간의 관계를 정의하여 CTDs 위험요인의 영향 정도를 퍼지선형회귀모형(fuzzy linear regression model)을 이용하여 정량적으로 파악하고 평가하고자 한다. 이러한 연구의 결과는 주어진 작업환경에서 CTDs의 위험요인을 제거함으로써 작업자의 안전과 건강에 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 작업장의 재설계(redesign)와 직무할당(job assignment)에 유용한 자료가 될 것이다.

## 2. 퍼지선형회귀모형

퍼지선형회귀(FLR : fuzzy linear regression)는 주관적 평가 점수와 회귀모형으로 얻어진 예측치 간의 차이가 입력과 출력 사이의 관계를 표현하는 시스템 구조가 모호함에 기인한다고 가정한다. 즉 퍼지 선형회귀 분석법은 회귀 모형 자체가 모호함을 가진다는 것이 전통적인 회귀 모형과 다르다. Tanaka & Ishibuchi[14,15]가 제안한 퍼지 선형회귀 모형은 다음 식 (1)과 같다.

$$Y_i = A_0 + A_1x_{i1} + \dots + A_nx_{in} = Ax_i \tag{1}$$

여기서,  $x_i$  : 독립변수의 벡터

$Y_i$  : 퍼지수로 표현되는 목적변수

$A_i$  : 대칭삼각퍼지수

여기서 모형의 계수는  $A_i = \{ \alpha_i, c_i \}_L = \{ A_i : \alpha_i - c_i \leq A_i \leq \alpha_i + c_i \}_L$ ,  $\alpha_i$ 는 중심,  $c_i$ 는  $A_i$ 의 한쪽의 범위가 된다. 범위  $c$ 가 0이면  $x$ 가  $Y$ 에 직접적으로 영향을 미치는 것을 의미하고,  $c$ 가 0이 아니면  $x$ 가  $Y$ 에 간접적으로 영향을 미치는 것을 의미한다. 다시 말해,  $x$ 와  $Y$ 의 관계는 실생활에서 많은 다른 요인들이 관계에 포함되어 있기 때문에 간단한 선형함수로 표현될 수 없다.

간격  $\alpha_i - c_i \leq A_i \leq \alpha_i + c_i$ 는 퍼지수(fuzzy number)의 가능한 구성함수의 분포를 나타내고,  $A_i$ 의 구성은 다음과 같이 정의한다.

$$\mu_{A_i}(\alpha) = \text{Max}\{ 1 - |\alpha - \alpha_i|/c_i, 0 \}$$

이것은 대칭적 삼각퍼지수(symmetric triangular fuzzy number)  $A_i$ 의 구성값이 중심  $\alpha_i$ 에서 1임을 의미한다. 여기서  $A_i = \alpha_i$ 는 가능성이 매우 높음을 의미하고, 범위  $(\alpha_i - c_i, \alpha_i + c_i)$ 에서 양수는 범위  $(\alpha_i - c_i, \alpha_i + c_i)$ 의 다른 점에  $A_i$ 가 속하는 것이 가능하다는 것을 의미하고  $A_i \geq \alpha_i + c_i$  혹은  $A_i \leq \alpha_i - c_i$ 에서 0이라는 것은  $A_i \geq \alpha_i + c_i$  혹은  $A_i \leq \alpha_i - c_i$ 에  $A_i$ 가 속하는 것이 불가능하다는 것을 의미한다. 확장원리(extension principle)에 따라 식 (1)은 다음과 같이 정식화될 수 있다.

$$\begin{aligned} Y_i &= A_0 + A_1x_{i1} + \dots + A_nx_{in} \\ &= (\alpha_0, c_0)_L + (\alpha_1, c_1)_L x_{i1} + \dots + (\alpha_n, c_n)_L x_{in} \\ &= (y_{ia}, y_{ic})_L \end{aligned} \tag{2}$$

여기서,  $y_{ia} = \alpha_0 + \alpha_1x_{i1} + \dots + \alpha_nx_{in}$

$y_{ic} = c_0 + c_1|x_{i1}| + \dots + c_n|x_{in}|$ .

$y_{ia}$  :  $Y_i$ 의 중심

$y_{ic}$  : 넓이

퍼지선형모형은 주어진 모든 퍼지 input-output 데이터  $y_i(i=1,2,\dots,m)$ 를 포함하여야 하는 제약조건하에서, 예측치  $Y_i$ 의 범위의 합을 최소화하는 목적을 가지는 LP 문제를 계산함으로써 산출될 수 있다. 그러므로 다음과 같은 퍼지 LP 문제가 정식화된다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimize} && y_{1c} + y_{2c} + \dots + y_{mc} \\
 &\text{subject to} && y_i \in Y_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 &&& c_j \geq 0, \quad j = 0, 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3}$$

퍼지 계수  $A_i$ 를 간단화하는 것에 의해, 위의 LP 문제는 다음과 같이 정식화될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimize} && J(c) = \sum_{i=1}^m c_0 + c_1|x_{i1}| + \dots + c_n|x_{in}| \\
 &\text{Subject to} && \alpha_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j x_{ij} - c_0 - \sum_{j=1}^n c_j |x_{ij}| < y_j \\
 &&& \alpha_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j x_{ij} + c_0 + \sum_{j=1}^n c_j |x_{ij}| > y_j \\
 &&& c_j > 0 \\
 &&& j = 0, 1, \dots, n \\
 &&& i = 0, 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{4}$$

식 (4)의 목적은 주어진 제약조건하에서 넓이의 합  $J(c)$ 를 최소화하는 것이다. 이 선형함수는  $\alpha_i$ 와  $c_i$ 의 값을 계산하는 데도 사용될 수 있다. 다시 말해 실수(non-fuzzy) 간격  $A_i = \{\alpha_i, c_i\}$ 는 위의 LP문제의 최적해가 된다. 위의 LP문제가 항상 실행가능한 해를 가지기 때문에 각 모수는 LP 문제로 얻을 수 있다.

### 3. CTDs 평가 모형의 구축

#### 3.1 모형구축을 위한 요인 분류 및 데이터 수집

본 연구에서는 키보드 작업에서 많이 발생하는 상지의 CTDs와 관련한 요인들을 분류하고 특정 CTD에 영향을 미치는 요인의 정도를 정량화하는 퍼지선형 회귀모형을 구축하기 위하여 키보드 작업장에서의 위험요인을 분류하였다.

또한 모형개발에 필요한 기초자료는 연속적인 키보드 작업으로 손목을 가장 많이 쓰며, CTDs의 발병확률이 가장 많다고 예측되는 직업군인 여성 전화교환원 14명(age:32.3±7.6)을 대상으로 하였다. 피실험자 집단에서 3명을 제외하고는 CTDs로 인하여 진단을 받은 적이 없으며, 진단을 받지 않았다고 해서 손에 통증이 없는 것은 아니다.

##### 3.1.1 위험 요인의 분류

기존의 문헌조사의 결과와 전문가에 대한 설문조사를 토대로 작업과 관련하여 발생하는 상지의 CTDs를 분류하고 그에 따른 위험요인을 추출하였다. 또한 작업에 대한 직무분석(task analysis)을 하여 CTDs의 속성과 특성을 특정한 카테고리로 분류하였다. 이렇게 해서 추출된 요인의 전부가 CTDs를 유발하는 특정 작업에 나타나지는 않을지라도 이들 요인의 존재는 CTDs를 유발하는 가능성을 가지고 있는 것이 될 것이다.

본 연구에서는 기본 문헌 분석의 결과 표 1과 같이 작업관련 요인 6개, 인체측정학적 요인 8개, 관절변위 요인 6개, 개인적인 요인 6개 등 4가지의 카테고리가 각 해당 요인으로 분류되었다. 분류되어진 각 요인은 퍼지선형 회귀모형에서 독립변수로 입력된다.

표 1. 키보드 사용자의 CTDs 위험요인 분류

작업관련 요인	인체측정학적 요인	관절변위 요인	개인적 요인
① 총작업시간 ② 타자속도 ③ 연속타자시간 ④ keying force ⑤ 휴식시간 ⑥ 손피부온	① 몸무게 ② 키 ③ 손가락 둘레 ④ 최대 손가락 힘 ⑤ 손길이 ⑥ 손둘레 ⑦ 손두께 ⑧ 손목 둘레	① 손목척골 변위 ② 손목요골 변위 ③ 손목굴곡 변위 ④ 손목신전 변위 ⑤ 손과팔의 지지여부 ⑥ 전완굴곡	① 나이 ② 흡연량 ③ 음주량 ④ CTDs 경험 여부 ⑤ 치료경력 ⑥ 근무기간

### 3.1.2 입력 데이터 수집

6개의 작업관련 요인에서 총작업시간과 타이핑속도, 연속타이핑시간, 휴식시간 및 손피부온(손등과 손목부위)의 측정은 실험 전 피실험자와의 면담과 설문조사를 통하여 산출하였고, keying force 요인은 실험 중간에 Borg의 10점 척도를 이용하여 답하게 하였다. 인체측정학적 요인 8가지는 마틴식 인체측정기를 이용하여 측정하였고, 관절변위 요인은 3D 동작분석기를 사용하여 최대 변위를 구하였다. 그리고 개인적인 요인은 실험 전 피실험자와의 면담을 통하여 구하였다.

### 3.1.3 CTDs 진단

CTDs 정도를 측정하는 데는 여러 가지 방법이 있다. Crumpton & Congleton는 CTS 평가에 대한 정확성과 유용성의 관점에서 Carpal Compression Test, Subjective Questionnaire, Phalen's Test, Hand Comfort Survey 등을 추천하였다.

일반적으로 CTDs의 진단에는 병의 증상, 지속시간 및 손상정도에 따라 달리 나타나기 때문에 본 연구에서는 CTDs의 위험수준을 표 2와 같이 분류하였고, 각 피실험자의 CTDs 수준 정도에 대한 진단은 일반적인 설문지와 Phalens's Test를 사용하여 측정하였으며, Karwowski 등[7]의 심물리학적 척도법을 사용하여 각 수준의 값을 퍼지언어로 재표현하였다.

표 2. CTDs 위험 수준의 분류와 내용

위험수준	내 용
Nonexistent	아무것도 느끼지 못함
Very slight	매우 짧은 시간동안의 경미한 피로 및 고통
Slight	작업 후에는 나타나지 않으나, 작업동안에 나타나는 피로 및 고통
Moderate	밤에는 나타나지 않으나 작업 중에 나타나는 고통
Moderate severe	밤에는 나타나지 않으나 작업 초기에 나타나는 고통
Severe	휴식동안에도 지속적이며, 잠을 방해할 정도로 비반복적으로 나타나는 고통
Very severe	어떤 시간대에도 항상 나타나는 고통

### 3.1.4 데이터의 표준화

측정된 각 요인의 데이터는 각기 다른 단위로 측정되기 때문에 CTDs의 위험 수준에 대해 각 요인의 상대적 기여도를 구하고 비교하기 위해서는, 각 요인의 측정 데이터를 표준화하여 입력시킬 필요가 있다.

데이터를 표준화하는 데는 여러 가지 방법이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 식 (5)와 같은 근사적인 방법을 사용하였다.

$$x_i^* = (x_i - \bar{x}_i) / d_i \quad (5)$$

여기서,

$d_i$  :  $x_i$ 의 최대 범위

## 3.2 평가모형의 개발 및 고찰

앞에서 분류된 상지 CTDs 위험 요인의 각 카테고리별로 퍼지선형회귀모형은 측정된 데이터를 표준화하여 식 (3)과 (4)와 같이 정식화하여 LINDO를 이용하여 산출하였다. 모형의 적합도인  $h$ 의 값은 가장 보편적인 0.5로 하였다. LINDO의 결과에 따라 각 모형의 계수가 산출되었고, 중심값이 0인 변수는 관련 종속변수에 아무런 영향을 미치지 않는 관계로 모형에서 제외되었다. 그리고 산출된 모형의 결과를 기존의 CTDs 관련 연구 문헌의 결과와 일치정도를 고찰하였다. 또한 모형에서 중요한 것은 실제의 CTDs 위험수준의 관측값이 모형에서 예측된 CTDs 위험수준의 퍼지 모수의 중심값에 어느 정도 근접하는가가 모형을 평가하는 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구에서는 실험에서 관측된 14명의 CTDs 위험수준 값과 각 모형에서 예측된 예측치의 범위와 비교하여 모형을 평가하였다.

### 3.2.1 작업관련요인 모형

분류된 6개 요인의 변수가 모형에서 고려되었다. 모형의 독립변수와 종속변수는 다음과 같다.  $x_1$ :총작업시간(분당),  $x_2$ :타자속도,  $x_3$ :연속타자시간,  $x_4$ :keying force,  $x_5$ :휴식시간,  $x_6$ :손피부온, 종속변수  $y_0$ 는 CTDs의 위험수준 정도이며 작업관련 요인의 퍼지선형회귀 모형은 다음과 같다.

$$y_0 = (0.221, 0.002) + (0.112, 0.0001)x_1 + (-0.045, 0.0)x_2 + (0.028, 0.210)x_3 + (-0.015, 0.0003)x_5 + (-0.125, 0.056)x_6 \quad (6)$$

모형에서 6개의 작업관련요인 중 총작업시간( $x_1$ )과 손피부온( $x_6$ )이 가장 중요한 요인으로 나타났다. 특히 손피부온은 CTDs의 위험수준과 음의 관계를 가지는 것으로 나타났는데 이것은 손이 차가울수록 더 심각한 위험수준을 준다는 것을 의미한다. 이 결과는 CTD 증상의 하나인 "cold hand"와 일치한다. 타자속도( $x_2$ )와 연속타자시간( $x_3$ )은 CTDs에 최소의 영향을 보이고, 휴식시간( $x_5$ )의 효과는 너무 적어 무시해도 좋을 정도이며, keying force( $x_4$ )는 계수가 (0.0, 0.0)으로 전혀 효과가 없는 것으로 나타났다. 이 모형에서 특히 유의할 결과는 타자속도( $x_2$ )는 CTDs와 음의 관계를 가지는 것으로 나타났는데, 이것은 타자율이 증가하는 것은 근육 피로를 가속화시킨다고 알려져 있기 때문에 기존의 연구문헌과의 결과와 일치하지 않는다.

또한, 실제 실험에 나타난 각 피실험자의 CTDs 위험수준의 관측치와 식 (6)에 의한 예측치 및 예측치의 상한과 하한은 그림 1과 같다. 그림 1에서 14명의 피실험자의 위험수준의 관측치는 예측치의 범위에 모두 포함되고 예측치의 중심에 모두 근접하는 것으로 나타났다.

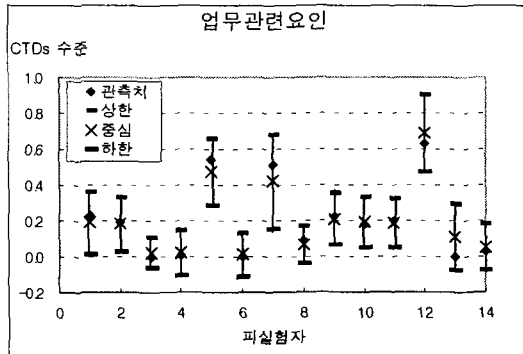


그림 1. 업무관련요인에서의 관측치와 예측치의 비교

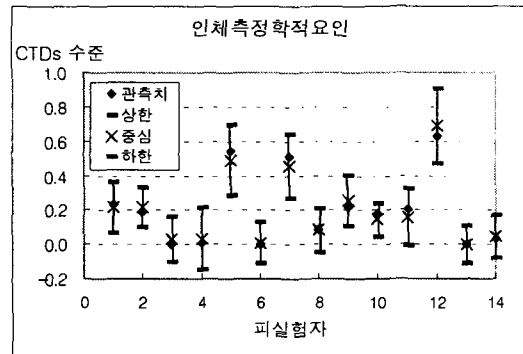


그림 2. 인체측정학적요인에서의 관측치와 예측치의 비교

### 3.2.2 인체측정학적 요인의 모형

8개의 인체측정학적 요인에 대한 각 변수로  $x_1$ :몸무게,  $x_2$ :키,  $x_3$ :손가락둘레,  $x_4$ :최대손가락힘,  $x_5$ :손길이,  $x_6$ :손둘레,  $x_7$ :손두께,  $x_8$ :손목둘레이며,  $y_a$ : CTDs의 위험수준이다. 위의 변수에 의한 퍼지선형모형은 다음과 같이 구해졌다.

$$y_a = (0.372, 0.575) + (-0.011, 0.0)x_3 + (-0.107, 0.0)x_4 + (-0.087, 0.0)x_5 + (0.032, 0.0)x_6 + (-0.094, 0.0)x_7 + (0.024, 0.0)x_8 \quad (7)$$

결과는 최대 손가락힘( $x_4$ ), 손두께( $x_7$ ), 손길이( $x_5$ )는 CTDs에 유의한 영향을 가지며 모두 음의 효과를 가진다. 최대 손가락힘은 CTDs 진단의 한 방법으로 사용되기 때문에 가장 중요한 요인이 될 수 있으며, 손두께와 손길이가 음의 관계를 가진다는 것은 작은 손이 CTDs 발병에 더 민감하다는 것을 의미한다. 손둘레( $x_6$ )와 손목둘레( $x_8$ )는 CTDs와 양의 관계를 가지지만 유의할만한 영향은 아닌 것으로 나타났다. 손가락둘레( $x_3$ )는 CTDs에 음의 관계를 가진다. 그러나 몸무게( $x_1$ )와 키( $x_2$ )는 CTDs 발병에 직접적으로 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

또한, 실제 실험에 나타난 각 피실험자의 CTDs 위험수준의 관측치와 식 (7)에 의한 예측치와의 관계는 그림 2와 같다. 이 모형에서도 업무관련 요인에서와 같이 실제 관측치가 중심에 모두 근접하는 것으로 나타났다.

### 3.2.3 관절변위 요인의 모형

6개의 관절변위 요인에 대한 각 변수로서  $x_1$ :손목척골변위,  $x_2$ :손목요골변위,  $x_3$ :손목골곡변위,  $x_4$ :손목신전변위,  $x_5$ :손과 팔의 지지여부,  $x_6$ :전완골곡 등이며,  $y_j$ 는 CTD 위험수준이다. 관절변위 요인에 대한 추정된 퍼지 선형모형은 식(8)과 같다.

$$y_j = (0.353, 0.098) + (0.096, 0.22)x_1 + (0.112, 0.167)x_3 + (0.084, 0.132)x_4 + (-0.004, 0.0)x_5 + (0.037, 0.012)x_6 \quad (8)$$

관절변위 요인에 있어서는 손목골곡( $x_3$ ), 손목척골변위( $x_1$ ), 손목신전( $x_4$ ) 등의 순으로 영향이 컸다. 그들은 CTDs 발병에 모두 양의 관계를 보이고 있으나 손과 팔의 지지여부( $x_5$ )는 CTD와 음의 관계를 가지며 무시할 만 하다. 손목 요골변위( $x_2$ )는 CTDs에 거의 무관한 것으로

로 나타났기 때문에 모형에서 제외되었다. 상완굴곡( $x_6$ ) 또한 양의 관계를 가지나 무시할 만하다.

손목의 과도한 신전과 굴곡은 정중앙신경의 압력을 증가시키고 반복적인 손목의 신전과 굴곡은 손목 건(tendon) 조직에서 퇴행적인 변화를 부분적으로 일으킬 수 있다는 Armstrong 등 [2]의 연구와 동일하다.

또한, 실제 실험에 나타난 각 피실험자의 CTDs 위험수준의 관측치와 식 (8)에 의한 예측치와의 관계는 그림 3과 같다. 그림 3에서 14명의 피실험자의 위험수준의 관측치는 예측치의 범위에 모두 포함되고 중심에 근접하고 있다.

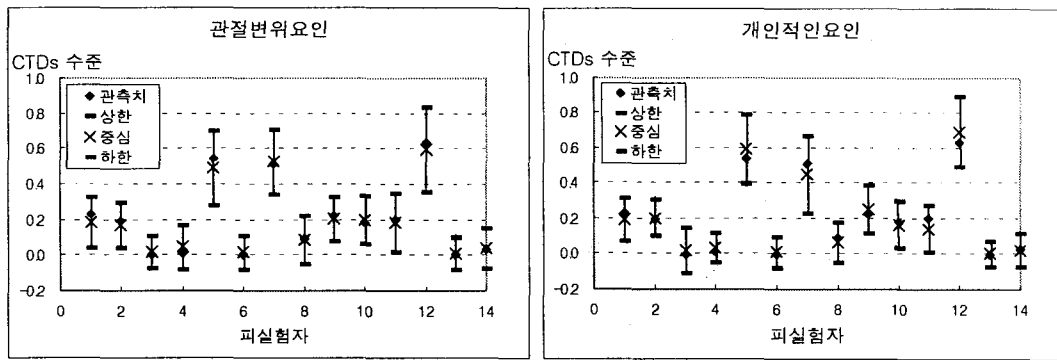


그림 3. 관절변위요인에서의 관측치와 예측치의 비교 그림 4. 개인적인요인에서의 관측치와 예측치의 비교

### 3.2.4 개인적인 요인의 모형

6개의 개인적인 요인에 대한 모형의 변수로  $x_1$ :나이,  $x_2$ :흡연량,  $x_3$ :음주량,  $x_4$ :CTDs 경험여부,  $x_5$ :치료여부,  $x_6$ :근무기간 등이며,  $y_p$ 는 CTDs 위험수준이다. 위의 변수에 의한 개인적 요인의 퍼지 선형모형 추정식은 다음과 같다.

$$y_p = (0.213, 0.098) + (-0.028, 0.001)x_1 + (-0.007, 0.002)x_2 + (-0.0204, 0.0)x_3 + (0.172, 0.001)x_4 + (0.014, 0.0)x_5 + (0.028, 0.004)x_6 \quad (9)$$

결과는 CTDs 경험여부( $x_4$ )가 가장 유의한 요인이다. 나이( $x_1$ )와 흡연량( $x_2$ )과 음주량( $x_3$ )은 CTD 발병과 음의 관계를 가지지만 무시할만한 요인이다. 이 결과는 나이에 따라 CTDs 위험수준을 범주화하여 나이가 많을수록 위험수준이 작다고 한 McCauley-Bell[9]의 연구와 일치한다. 그리고 과거치료여부( $x_5$ )와 근무기간( $x_6$ )은 양의 관계를 가지나 무시할만한 요인이다.

또한, 실제 실험에 나타난 각 피실험자의 CTDs 위험수준의 관측치와 식 (9)에 의한 예측치와의 관계는 그림 4와 같다. 그림 4에서 14명의 피실험자의 위험수준의 관측치는 예측치의 범위에 모두 포함되고 중심에 근접하는 것으로 나타났다.

## 5. 결론

작업장내에서의 상지의 CTDs는 여러 가지 요인이 관련되고 작업자에게 오랜기간 동안 누적되어 발생하기 때문에, 각 위험요인간의 상호관계를 이해하고 그 노출 정도를 예측하며, CTDs



와 관련한 개별적인 위험요인의 상대적 중요도를 파악하는 것은 CTDs의 예방을 위해서 무엇보다도 중요한 일이다. 그러나 위험요인의 다양성과 위험요인간의 상호작용으로 하여 전통적 통계학적 기법을 사용하여 CTDs의 발생에 대한 위험 요인의 상대적 기여도를 결정하는 것은 어렵다. 따라서 애매성에 기인한 모호함과 불확실성의 체계적 처리를 위한 개념적인 토대를 구축하는 데는 퍼지집합이론이 유용하게 사용될 수 있다.

이에 본 연구에서는 키보드 작업시 상지부위의 CTDs를 예측하고 영향인자의 기여도를 파악하기 위하여 상지부위의 CTDs의 위험 요인을 작업관련 요인, 인체측정학적 요인, 관절변위 요인, 개인적인 요인 등 4가지 범주로 분류하였고, 각 범주 내에서 위험요인간의 관계를 정의하여, 퍼지선형회귀모형을 추정하였다.

결과적으로 6개의 작업관련 요인 중 총작업시간과 손피부온이 가장 중요한 요인으로 나타났으며, 손피부온은 CTDs에 음의 효과를 가지는 것으로 나타났다. 또한 8개의 인체측정학적 요인에서는 최대 손가락힘, 손두께, 손길이는 CTDs에 유의한 영향을 가지며 모두 음의 효과를 가지는 것으로 나타났다.

6개의 관절변위 요인에서는 손목굴곡, 손목척골변위, 손목신전이 가장 큰 요인으로 나타났다. 그리고 6개의 개인적인 요인에서는 CTDs 여부가 가장 유의한 요인으로 나타났고, 나이와 흡연량과 음주량은 CTDs 발병과 음의 관계를 가지지만 무시할만한 요인으로 나타났다.

또한 실험에 참여한 피실험자와의 실제 CTDs 위험 수준의 관측치와 각 모형에서 예측된 예측치와 범위(상한, 하한)와의 관계를 본 결과 모든 관측치가 예측치의 범위에 포함되었고, 관측치가 예측치의 중심에 근접하는 것으로 나타났다. 그리고 실제 관측된 CTDs 위험수준이 낮을수록 모형은 예측치의 중심에 근접하는 것으로 나타났는데, 이것은 CTDs 위험 수준이 높을수록 관측치와 예측치 간의 편차가 커지는 것으로 그 원인으로서는 모형에서 고려되지 못한 다른 요인이 포함되어 CTDs가 발생한다는 것을 의미한다. 이러한 결과에 따라 퍼지선형회귀 분석은 CTDs 위험 수준을 예측하는데 유용한 모형이 될 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 퍼지선형회귀 모형을 개발하는데 중점을 두었으나, 산출된 모형을 실제 상황에 적용하기 위해서는 모형의 적합성 및 타당성을 보다 더 충실히 검토하여야 할 필요가 있다. 또한 4개의 카데고리별로 구한 모형을 통합하여야 할 필요도 있다. 그리고 종속변수인 피실험자의 CTDs 수준을 보다 분명하게 측정할 수 있는 방법론을 개발하여야 하며, 모형의 정확성을 위하여 더 많은 피실험자를 통한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Armstrong, T.J., An ergonomic guide to carpal tunnel syndrome, American Industrial Hygiene Association Journal, 43(2), pp.103-116, 1983.
- [2] Armstrong, T.J., Radwin, R.G., and Hansen D.J., Repetitive trauma disorders: job evaluation and design, Human Factors, 28(3), pp.325-336, 1986.
- [3] Ayoub and Jaaskelainen, CTDs prevalence in the general population ; the 500 survey, 1983.
- [4] Chen, S.M., A new approach to handling fuzzy decision making problems, IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, SMC-18, pp.1012-1016, 1988.
- [5] Genaidy, A.M., Bafna, K.M., Delgado, E, and Mhidze, A., An ergonomic study for the control of upper extremity cumulative trauma disorders in a manufacturing industry, Advance in Industrial Ergonomics and Safety II, Biman Das(Ed), Taylor and Francis,

- pp.245-250, 1990.
- [6] Karwowski, W., Mital, A., Fuzzy concepts in human factors/ergonomics research, Application of Fuzzy Sets Theory in Human Factors, Elsevier, Amsterdam, pp.232-237, 1986.
  - [7] Karwowski, W., Marek, T., Noworol, C., and Ostaszewski, K., Fuzzy modeling of risk factors for industrial accident prevention: some empirical results, Applications of Fuzzy Sets Methodologies in Industrial Engineering, Elsevier, New York, pp.141-154, 1989.
  - [8] Maiers, J. and Sherif, Y.S., Application of fuzzy set theory, IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, SMC-15, pp.175-188, 1985.
  - [9] McCauley-Bell, P., A fuzzy linguistic artificial intelligence model for assessing risks of cumulative trauma disorders of the forearm and hand, Published Doctoral Dissertation, The University of Oklahoma, 1993.
  - [10] McKee, C.G., Design and development of an expert system for identifying the ergonomic deficiencies that contribute to the development of cumulative trauma disorders, Master's Thesis, Depart. of Industrial Engineering, North Carolina State University, 1989.
  - [11] Merritt, T.W. and Gopalakrishnan, S., An application of fuzzy set theory to the prediction of cumulative trauma disorders of the upper extremity, International J. of Industrial Ergonomics, 13, pp.95-105, 1994.
  - [12] Putz-Anderson, V., Cumulative trauma disorders: A manual for musculoskeletal disease of the upper limbs, Taylor and Francis, London, pp.1-70, 1988.
  - [13] Rodgers, S.H., (Ed.), Ergonomic Design for People at Work, Vol. 1, New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.
  - [14] Tanaka, H., Fuzzy data analysis by possibilistic linear models, Fuzzy Sets and Systems, 24, pp.363-375, 1987.
  - [15] Tanaka, H., Ishibuchi, H., Possibilistic regression analysis based on linear programming, Fuzzy Regression Analysis, Omnitech Press, Warsaw and Physica-Verlag, Heidelberg, pp.47-60. 1992.
  - [16] Zimmermann, H.S., Mathematical modeling, pp.123-139. 1990.