

# 원자력발전소에서의 작업복잡도를 평가하기 위한 퍼지기반 작업복잡도 지수의 개발

정광태<sup>†</sup> · 정원대 · 박진균<sup>\*</sup>

한국기술교육대학교 디자인공학과 · 한국원자력연구소 ·  
(2004. 8. 19. 접수 / 2005. 1. 4. 채택)

## Fuzzy Linguistic Approach for Evaluating Task Complexity in Nuclear Power Plant

Kwang-Tae Jung<sup>†</sup> · Won-dea Jung · Jin-Kyun Park<sup>\*</sup>

Industrial Design Engineering, Korea University of Technology and Education

<sup>\*</sup>Korea Atomic Energy Research Institute

(Received August 19, 2004 / Accepted February 4, 2005)

**Abstract** : The purpose of this study is to propose a method to evaluate task complexity using CIFs(Complexity Influencing Factors). We developed a method that CIFs can be used in the evaluation of task complexity using fuzzy linguistic approach. That is, a fuzzy linguistic multi-criteria method to assess task complexity in a specific task situation was proposed. The CIFs rating was assessed in linguistic terms, which are described by fuzzy numbers with triangular and trapezoidal membership function. A fuzzy weighted average algorithm, based on the extension principle, was employed to aggregate these fuzzy numbers. Finally, the method was validated by experimental approach. In the result, it was validated that TCIM(Task Complexity Index Method) is an efficient method to evaluate task complexity because the correlation coefficient between task performance time and TCI(Task Complexity Index) was 0.699.

**Key Words** : fuzzy linguistic approach, complexity influencing factors, task complexity index

### 1. 서 론

작업수행에서의 복잡도(complexity)는 작업수행시간이나 작업오류와 같은 작업수행도(task performance)를 저해하는 주요 원인이다. 즉, 작업수행에서 원하는 수준의 수행도를 달성하는데 실패하는 것은 작업절차가 복잡하거나 어렵기 때문이다. 그 예로서, Henneman and Rouse<sup>1)</sup>는 복잡한 시스템은 고장진단에 있어 더 긴 시간을 요하고, 더 긴 반응 시간을 필요로 한다고 하였다. 이러한 이유 때문에 작업수행에서의 복잡도에 영향을 주는 요인들을 규명하고, 그러한 요인들이 작업 복잡도에 어떠한 영향을 주는지를 평가할 수 있는 방법의 개발이 필요하다. 특히, 원자력발전소와 같이 높은 수준의 작업수행도와

안전성이 요구되는 작업환경에서는 그러한 연구가 더욱 중요하다고 할 수 있다. 이러한 필요성에 의하여 본 연구에서는 원전 작업에서의 복잡도에 영향을 주는 요인(Complexity Influencing Factors; CIFs)들을 규명하고, 그러한 요인들을 통하여 작업복잡도를 평가할 수 있는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 CIFs의 적합성 정도를 평가하는데 있어서의 주관성과 모호함을 해결하기 위하여 퍼지 집합이론을 적용하였고, CIFs를 기반으로 평가를 수행하는 것은 여러 개의 평가기준이 존재하는 것이기 때문에 다기준 의사결정(multi-criteria decision making)기법을 적용하였다.

그리고 원전 작업에 대한 모의실험을 수행하였는데, 이 과정을 통하여 얻어진 작업수행도 자료와 TCIM(Task Complexity Index Method)을 통하여 구하여진 TCI(Task Complexity Index)와의 상관분석을 통하여 TCIM의 타당성을 검증하였다.

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
ktjung@kut.ac.kr

### 1.1. 복잡도의 개념

일반적으로 복잡도를 정의하기는 쉽지 않지만, 지금까지 많은 연구자들에 의하여 복잡도에 대한 연구가 수행되어 왔다. Rouse and Rouse<sup>2)</sup>는 작업을 수행하는데 있어서의 복잡도가 인간이 문제를 해결하기 위하여 사용하는 전략뿐만 아니라 문제내의 관계에 대한 인간의 이해와 관련된다고 정의하였다. 또한 Kieras & Polson<sup>3)</sup>은 작업수행에 필요한 단계의 수, 작업기억에서 유지할 정보량, 장기기억으로부터 추출할 지식의 양과 같이 복잡한 인지과정을 유발할 때 작업상황이 복잡한 것으로 설명하고 있다. 그리고 많은 다양한 종류의 상호작용하는 구성요소로 이루어져 있고, 하나의 구성요소의 특성으로부터 시스템의 결과를 알 수 없는 경우를 복잡한 것으로 정의하고 있다.

복잡도는 그 대상에 따라 여러 가지 측면에서 정의되고 분류될 수 있다. 감시 제어 작업에서 복잡도는 크게 객관적 복잡도와 주관적 복잡도(지각 복잡도)로 복잡도를 구분할 수 있는데, 객관적 복잡도는 작업을 수행하는 사람에 관계없이 수행될 작업의 특성으로부터 고려되는 것이고, 주관적 복잡도는 작업자체의 본질적 특성보다는 작업을 수행하는 작업자에 의하여 지각되는 복잡도이다. 여기에서, 객관적 복잡도는 작업의 특성으로부터 발생하는 작업 복잡도와 인간-기계 인터페이스에 의하여 유발되어지는 HMI(Human-Machine Interface) 복잡도로 정의될 수 있으며, HMI 복잡도는 다시 인간과 기계간의 상호작용과 관련된 공정 복잡도와 제어시스템의 특성과 관련된 제어시스템 복잡도로 나뉘어진다.

또한 경우에 따라 복잡도를 시스템의 구조와 관련된 구조적 복잡도(structural complexity), 시스템에서 수행되는 기능과 관련된 기능적 복잡도(functional complexity), 시스템의 인터페이스와 관련된 인터페이스 복잡도(interface complexity)의 세가지로 구분하고 있다<sup>4)</sup>. 그리고, Henneman & Rouse<sup>1)</sup>는 복잡도를 비행태적 복잡도와 행태적 복잡도로 구분하였는데, 비행태적 복잡도는 계산상의 복잡성을 나타내는 복잡도 (computational complexity), 소프트웨어적 측면에서의 복잡성을 나타내는 복잡도(software complexity), 그리고 시스템의 물리적 측면에서의 복잡성을 나타내는 복잡도(physical system complexity)를 포함하고 있고, 행태적 복잡도는 작업자가 느끼게 되는 지각 복잡도 (perceptual complexity)와 문제 해결 과정에서의 복잡도(problem solving complexity)

를 포함하고 있다. 이상의 이전 연구결과들로부터, 원전에서의 작업수행도에 영향을 주는 복잡도를 크게 4개의 범주; 시스템 복잡도, 작업복잡도, 인터페이스 복잡도, 주관적 복잡도로 나눌 수 있고, 이 중에서 원전에서 수행되는 작업에서의 복잡도는 작업 복잡도에 가장 많은 초점이 맞추어져 왔다.

따라서, 본 연구에서는 작업복잡도에 초점을 맞추어 작업복잡도에 영향을 주는 요인으로부터 작업 복잡도를 평가할 수 있는 방법을 제안하였는데, 퍼지이론에 근거한 주관적 방법에 의하여 구할 수 있는 방법을 제안하였다. 그리고 마지막으로 작업복잡도 평가방법을 통하여 얻어진 작업복잡도 지수와 실제 실험과정을 통하여 얻어진 작업수행시간과의 상관 분석을 통하여 본 연구에서 제안한 방법의 타당성을 검증하였다.

### 1.2. 원전 작업에 대한 CIFs

작업복잡도를 평가하기 위한 CIFs들은 Table 1과 같은데, 이 요인들은 다음과 같은 절차에 의하여 결정되었다<sup>4)</sup>. 일차적으로는 기존의 문헌들에 대한 조사를 통하여 작업복잡도에 영향을 주는 요인들을 도출하였고, 각 요인들의 의미를 파악하여 중복되거나 중요하지 않은 요인들을 삭제하는 방식으로 총 59개의 요인들이 도출되었다. 물론, 이 단계에서는 특정한 작업에 국한하지 않고 일반적인 측면에서의 작업수행에 영향을 주는 요인들이 선정되었다. 선정된 59개의 CIFs에 대해서는 전문가 3인의 평가를 통하여 원전에서의 작업수행에 영향을 주는 정도를 파악하였고, 그 결과를 토대로 군집분석(cluster analysis)을 수행하여 16개의 대표 요인을 선정하였다. 최종적으로, 비상운전에서의 진단(Diagnosis) 및 절차수행(Procedure Execution) 작업에 대한 CIFs를 결정하기 위하여 비상운전 절차에 대한 분석 및 현장에서의 작업수행 과정을 관찰을 통하여 분석하였고, 그 결과로부터 전문가 검토를 통하여 각각 7개의 CIFs를 결정하였다. Table 1은 그 결과를 나타낸다.

- 문서검토를 통하여 작업 복잡도(Task Complexity)에 영향을 주는 59개의 기여요인(CIFs) 도출
- 군집분석을 통하여 16개의 요인으로 그룹핑
- 전문가 검토를 통하여 비상운전절차의 Diagnosis 및 Procedure Execution에 대한 각각 7개의 CIFs 선정

Table 1. 비상운전에 대하여 결정된 CIFs

Task	CIFs
Procedure Execution	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Time pressure</li> <li>· Engineering decisions</li> <li>· Number of operator's actions</li> <li>· Relationships among operator's actions</li> <li>· Task arrival</li> <li>· Information load</li> <li>· Abstraction level</li> </ul>
Diagnosis	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Time pressure</li> <li>· Symptoms masking</li> <li>· Relationships among symptoms</li> <li>· Number of symptoms</li> <li>· Number of decisions</li> <li>· Information load</li> <li>· Goal-path multiplicity</li> </ul>

## 2. 퍼지언어를 사용한 작업복잡도 지수(Task Complexity Index; TCI)

인간은 정량적 추정보다는 정성적 예측에 훨씬 익숙하고, 수치추정을 강요받으면 더 많은 편기의 경향을 갖는 것으로 알려져 있다. 이것은 수치추정을 요구함으로써 인간에게 더 많은 정신적 노력을 요하기 때문이다<sup>5)</sup>. 따라서 복잡도의 평가에서도 정량적 평가보다는 정성적 평가를 활용하고, 이를 위하여 퍼지개념의 평가척도를 활용하였다. 또한 작업복잡도의 평가는 복잡도에 영향을 주는 여러개의 요인들에 의하여 평가될 수 있기 때문에, 본 연구에서는 여러 개의 평가기준을 갖는 퍼지기반 평가방법(Fuzzy-linguistic approach with multi-criteria)을 활용하였다. 다기준 퍼지기반 평가방법은 평가항목들의 중요성에 대한 정규가중치를 구하는 단계와 평가항목들에 대한 평점을 부여하고 이를 통하여 작업복잡도 지수(Task Complexity Index; TCI)를 구하는 단계의 2단계로 구성되어 있다.

### 2.1. 작업복잡도에 대한 CIFs의 상대적 중요도 결정

CIFs의 중요성에 대한 가중치는 대부분 정확히 알려지지 않기 때문에, 보통 전문가의 판단에 의존하여 얻는다<sup>5)</sup>. 본 연구에서는 CIFs의 가중치를 분석계층과정(AHP; Analytic Hierarchy Process)<sup>6)</sup>을 적용하여 구하였다. 전문가의 주관적 평가에서 사용되는 척도는 1에서 9까지의 정수와 그 역수들이다(Table 2). 전문가의 평가를 통하여 구하여진 상대적 중요도 가중치의 비교행렬로부터 CIFs의 상대적 가중치를 구하기 위하여 가중최소자승법을 사용하였다. 최

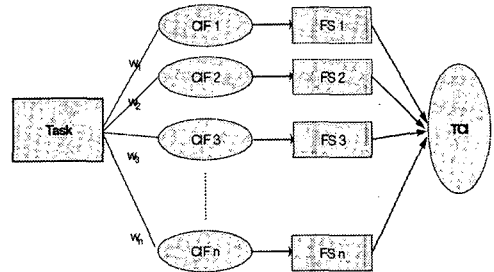


Fig. 1. Concept of TCI

Table 2. Scale to evaluate the relative importance CIFs for task complexity

중요도	정의
1	기준 i와 기준 j의 중요성이 같다.
3	기준 i가 기준 j보다 조금 더 중요하다.
5	기준 i가 기준 j보다 훨씬 더 중요하다.
7	기준 i가 기준 j보다 아주 훨씬 더 중요하다.
9	기준 i가 기준 j보다 절대적으로 더 중요하다.
2,4,6,8	두 인접한 판단치의 중간값
역수	기준 i가 기준 j와 비교될 때 앞의 수치중의 하나를 갖는다면 기준 j는 i와 비교할 때 역수를 갖는다

소자승법은 추정치의 오차제곱합을 최소화하는 해를 구함으로써 최적의 가중치를 구할 수 있다는 개념에 의한 것으로 다음과 같은 제한식을 갖는 최적화 문제로 귀결된다<sup>5)</sup>.

$$\min \sum_i \sum_j (a_{ij} w_j - w_i)^2$$

$$s.t. \sum_i w_i = 1$$

where,  $a_{ij}$  = 쌍대비교행렬의 (i,j)번째 요소  
 $w_i$  = 요인 i의 정규가중치

### 2.2. 작업복잡도 지수의 계산

#### 2.2.1. CIFs의 평점 부여

TCI를 구하기 위하여 먼저 분석하고자 하는 작업에 대한 CIFs의 점수를 구하여야 한다. CIFs의 점수는 평가자의 주관적 평가에 의하여 구하여 지는데, 이때 평가척도로 퍼지 언어점수를 사용하였다 (Table 3).

#### 2.2.2. TCI 계산

평가작업에 대한 CIFs의 평점으로 언어점수를 이용하면, TCI도 퍼지 집합으로 표현된다. 퍼지 합성점수의 계산은 사다리꼴 퍼지숫자의 근사적인 연산에 의하여 쉽게 계산할 수 있기 때문에, TCI는 다음

Table 3. Evaluation Scaling of CIFs

언어 평점	의미	소속 함수	소속함수 형태
아주 좋다	· CIFs가 작업수행에 아주 부적합하게 설계되었다.	[5,6,6,6]	삼각형
어느정도좋다	· CIFs가 작업수행에 어느 정도 부적합하게 설계되었다.	[4,5,5,6]	삼각형
조금 좋다	· CIFs가 작업수행에 조금 부적합하게 설계되었다.	[3,4,4,5]	삼각형
중간	· 보통이다.	[2,3,3,4]	삼각형
조금나쁘다	· CIFs가 작업수행에 조금 적합하게 설계되었다	[1,2,2,3]	삼각형
어느정도나쁘다	· CIFs가 작업수행에 어느 정도 적합하게 설계되었다.	[0,1,1,2]	삼각형
아주나쁘다	· CIFs가 작업수행에 아주 적합하게 설계되었다.	[0,0,0,1]	삼각형

의 수식에 의하여 계산된다.

$$TCI = \sum_{i=1}^n CIF_i \text{의 가중치} \cdot CIF_i \text{의 점수}$$

(단, n은 CIFs의 수)

CIFs의 평가에서 사용된 척도가 사다리꼴 모양의 소속함수를 갖기 때문에 위의 식에 의하여 계산된 TCI도 사다리꼴 모양의 소속함수를 갖게 된다<sup>7)</sup>. 이때, 사다리꼴 모양의 소속함수를 결정짓는 네개의 점은 다음 식에 의해 구한다<sup>9)</sup>.

$$a = \sum w_i a_i, \quad b = \sum w_i b_i, \quad c = \sum w_i c_i, \quad d = \sum w_i d_i$$

여기서,  $w_i$ 는 i번째 평가기준의 가중치를 나타내고,  $[a_i, b_i, c_i, d_i]$ 는 i번째 평가기준에 대한 소속함수를 나타낸다. 그리고, 소속함수로 표현된 퍼지합성 점수를 언어평점으로 변환하여 평가 작업의 복잡도를 해석할 수 있다.

### 3. 실험 및 분석

본 연구에서 제시한 작업복잡도를 평가하기 위한 방법론인 TCIM을 적용하여 원전에서의 비상운전에 대한 작업복잡도를 평가하였다. 네 가지 수준의 경보대응 절차에 따라 작업을 수행한 후에, 실험에 참여한 피실험자를 대상으로 CIFs가 해당 작업의 수행에서 얼마나 적합하게 설계되었는지를 평가하고, 이를 기본데이터로 하여 TCI가 계산되었다. 실험에 사용한 네 가지 수준의 경보대응절차는 Engineering Decision과 Abstraction Hierarchy의 각각 두개의 수준을 선정하여 그 수준 변화에 따라 원전의 운전절차 시나리오 전문가에 의하여 설계되었다<sup>2)</sup>.

### 3.1. Abstraction Hierarchy와 Engineering Decision의 개념

Abstraction Hierarchy와 Engineering Decision은 다음과 같은 개념을 갖고 있다. 먼저 지식에 대한 Abstraction Hierarchy는 지정된 행위를 수행하기 위하여 요구되는 문제공간(problem space)을 파악하기 위한 지식의 양을 나타낸다. 이것은 운전원이 공정이나 시스템에 대한 높은 지식수준을 요하는 규정된 행위를 수행해야 할 때, 인지부하를 얼마나 느끼는지를 의미한다. 지식 표현에 대한 Abstraction 패러다임에 의하면, EOPs에 관한 작업에 대해 지식수준의 Abstraction Hierarchy를 네 개의 수준으로 규정하고 있는데, 그것은 component function (CF) level, system function (SF) level, process function (PF) level, 마지막으로 abstraction function (AF) level로 구분하고 있다<sup>4)</sup>.

그리고 Engineering Decision은 의사결정을 위해 요구되는 여러 가지 정보와 관련되는데 적당한 의사결정 기준을 이끌어 내는데 있어서의 어려움에 비례한다. 운전원은 운전경험, 훈련 및 교육 등과 같은 여러 가지 경로를 통한 공학적 지식에 의하여 적당한 의사결정 기준을 설정하고자 하는데, 따라서 높은 수준의 공학적 의사결정을 요하는 상황에서의 작업수행도는 낮아질 것이고 낮은 수준의 공학적 의사결정을 요하는 상황에서의 작업수행도는 높아질 것이다. 일반적으로 EOPs에 대한 절차수행 작업에 대해 다음의 네 가지로 Engineering Decision의 수준을 정의할 수 있다. 첫 번째 수준은 명확한 의사결정 기준에 근거하여 단순한 의사결정이 이루어지는 경우이고, 두 번째 수준은 참조 정보를 비교하거나 통합하여 주어진 의사결정기준을 만족하는지를 결정하는 경우이다. 그리고 세 번째 수준은 연관된 지식이나 정보에 근거하여 발전소 상태나 조건을 규명함으로써 설정된 의사결정 기준에 의하여 의사결정을 하는 경우이고, 네 번째 수준은 어떠한 의사결정 기준도 없이 두개 이상의 대안중에서 하나를 선택하는 경우이다. 따라서 첫 번째 수준에서의 작업수행이 가장 용이하고 작업수행도도 가장 높으며, 네 번째 수준으로 갈수록 작업수행도는 낮아질 것이다.

### 3.2. 실험계획

본 실험에 참여한 사람은 대학생 8명이었고, 각 피실험자는 정상적인 시력을 가진 남성이었다. 그리고 실험은 원자력발전소의 2차계통을 모델링한 시뮬레이터를 사용하여 실험을 수행하였다. 실험 시뮬

레이터는 Fig. 2와 같다. 이 시뮬레이터는 Ham과 Yoon<sup>8)</sup>의 논문에서 사용되었던 것을 본 실험에 맞게 수정한 것이다. 시뮬레이터에서는 기기/밸브의 on/off control 및 특정 밸브의 연속적 제어(continuous control)가 가능하고 공정변수들 간의 정성적 관계들을 기초로 공정변수들의 변화를 나타내고 있다. 시뮬레이터에서는 8개 공정변수들에 대한 Min/Max 경보를 생성하고, 경보가 발생되었을 때 피실험자의 조치사항들 및 경보들에 대한 기록이 가능하도록 설계되었다.

실험에 사용된 작업은 모두 경보가 발생하였을 때의 대응절차로, Engineering Decision의 2수준과 Abstraction Level의 2수준에 따라 작성된 절차에 따라 작업을 수행하는 것이다.

본 연구에서는 Abstraction Hierarchy(AH)에 대한 각각 두개의 수준; '기기(component) 수준 vs. 시스템(system) 수준', Engineering Decision(ED)에 대해서는 '단순조치(step-by-step) vs. 참조정보가 없는 상태판단(IS level 2)'에 대한 작업절차를 작성하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 네 가지 수준의 경보대응절차의 일부분은 다음 Table 4와 같다.

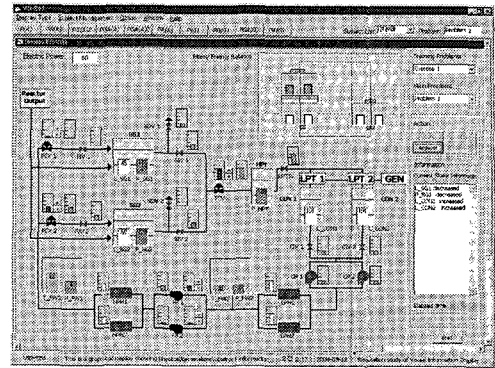


Fig. 2. Experimental simulator

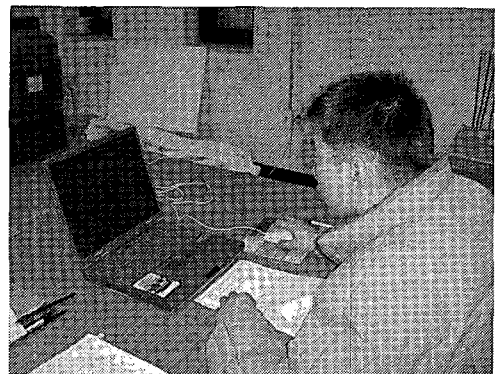


Fig. 3. A scene of experiment

Table 4. A part of alarm response procedure for the experiment

조치사항 (Component, Step-by-step)
1. SIVI을 닫는다. 2. SDVI을 닫는다. 3. FVI을 연다. 4. FCV1의 개도를 80%가 되도록 조절한다. 5. FPI의 유량을 60%가 되도록 조절한다. 6. TCV의 개도를 현재 값보다 20% 감소시킨다. 7. CPI을 정지시킨다.
조치사항 (System, Step-by-step)
1. SG1에서의 유출유량을 완전히 차단한다. 2. SG1으로의 유입유량이 80%가 되도록 조절한다. 3. FPI의 유량을 60%가 되도록 조절한다. 4. TCV의 개도를 현재 값보다 20% 감소시킨다. 5. CPI을 정지시킨다.
조치사항(Component, IS Level 2)
1. SIVI을 닫는다. 2. SDVI을 닫는다. 3. FVI을 연다. 4. FCV1의 개도를 적절히 조절한다. 5. FPI의 유량을 적절히 조절한다. 6. TCV의 개도를 적절히 감소시킨다. 7. CPI을 정지시킨다.
조치사항(System, IS Level 2)
1. SG1에서의 유출유량을 완전히 차단한다. 2. SG1으로의 유입유량을 적절히 조절한다. 3. FPI의 유량을 적절히 조절한다. 4. TCV의 개도를 적절히 감소시킨다. 5. CPI을 정지시킨다.

피실험자는 시뮬레이터에서 경보가 발생하였을 때 지정된 경보대응절차에 따라 조치를 취함으로써 최대한으로 가능한 시간동안 공정변수들이 Min/Max한계를 넘지 않는 상태를 계속 유지하도록 하였다. 이때, 한 개의 공정변수라도 Min/Max 한계를 초과하는 경우 실험을 종료하도록 하였다. 경보대응절차의 복잡도 수준은 4개로 계층화하여 표현되었다. Fig. 3은 실험을 수행하고 있는 장면이다.

### 3.3. CIFs의 가중치 결정

원자력 안전성 인지 및 인간공학 전문가 3인의 평가에 의하여 CIFs의 가중치가 결정되었다. 전문가들은 쌍대비교 방법에 의하여 AHP 평가행렬(Analysis Hierarchy Process)을 구성하도록 하였다. 다음 Table 5는 첫 번째 전문가의 쌍대비교 평가행렬을 나타낸 것이다.

세 전문가의 CIFs의 상대적 중요도에 대한 쌍대비교행렬을 통합하여 기중최소방법에 의하여 각 요인들의 상대적 중요도 가중치를 구한 결과는 다음 Table 6과 같다.

Table 5. Evaluation matrix by an expert

CIFs	Time p.	Eng. d.	Number of op.	Rel. among op.	Task a.	Inf. load	Abs. level
Time pressure	-	1/2	3	5	1/2	2	1
Eng. decisions	-	-	3	2	2	2	1
N. of op. actions	-	-	-	2	1	1/2	1/3
Rel. among op.	-	-	-	-	1/3	1/3	1/4
Task arrival	-	-	-	-	-	1	1/2
Inf. load	-	-	-	-	-	-	1/3
Abs. level	-	-	-	-	-	-	-

Table 6. Relative importance weights of CIFs

CIFs	가중치
Time pressure	0.10288
Engineering decisions	0.27769
Number of operator's actions	0.08219
Relationships among operator's actions	0.05718
Task arrival	0.12115
Information load	0.10947
Abstraction level	0.24944

### 3.4. TCI의 계산

네개의 실험조건에 대해 각 CIFs의 점수를 언어로 부여하도록 하여, 각 CIFs의 상대적 중요도에 대한 가중치를 사용하여 가중평균함으로써 네 개 작업의 TCI를 계산하였다. 물론 품질점수가 퍼지점수이기 때문에 TCI도 퍼지점수이다. TCI는 작업복잡도에 대한 품질 점수로부터 계산된 것이기 때문에 TCI가 클수록 작업을 수행하기에 적합하게 설계된(복잡도가 낮은) 것을 의미하고, 작을수록 작업을 수행하기에 부적합하게 설계된(복잡도가 높은) 것을 의미한다.

합성점수의 계산에 활용된 평가점수는 Table 3에서 제시된 각 언어평점의 소속함수이기 때문에 합성점수도 소속함수의 형태로 나타나게 된다. 따라서, 계산된 결과를 언어로 표현하기 위해서는 언어근사가 이루어져야 한다. TCI를 계산하는 전체의 과정은 Quick Basic으로 작성된 프로그램에 의하여 수행되었다.

Table 7. Task complexity index

Task	Fuzzy Score	Median Rank	Approx.
<Task 1 >	[3.3389, 4.3389, 4.3389, 4.8118]	4.2071	4 fair
<Task 2 >	[1.2905, 2.2905, 2.2905, 3.2905]	2.2905	2 poor
<Task 3 >	[1.8362, 2.8362, 2.8362, 3.8362]	2.8362	3 medium
<Task 4 >	[0.9642, 1.4370, 1.4370, 2.4370]	1.5688	1 poor

Most Complex Task = Task 4

따라서 네 개 작업의 TCI는 다음과 같다.

첫 번째 작업 :  $TCI_1 = \text{fair}$  (중앙값 = 4.21)

두 번째 작업 :  $TCI_2 = \text{poor}$  (중앙값 = 2.29)

세 번째 작업 :  $TCI_3 = \text{medium}$  (중앙값 = 2.84)

네 번째 작업 :  $TCI_4 = \text{poor}$  (중앙값 = 1.57)

### 3.5. TCIM의 검증

작업의 복잡도가 증가할수록 시스템의 공정을 정상적으로 유지하는 시간은 감소한다는 것이 일반적인 사실이다. 본 연구에서는 이러한 사실에 기반하여, 피실험자의 주관적 평가에 의하여 구하여진 TCI와 실제 실험을 통하여 얻어진 공정 유지시간과의 상관성 분석을 통하여 본 연구의 방법론 TCIM이 타당함을 입증하였다. 상관분석을 위하여 작업복잡도 지수는 중앙값(median)이 사용되었다. 분석결과를 나타내는 Table 8을 보면 유지시간과 TCI 사이의 상관계수가 0.699로 상관성이 있다고 볼 수 있다. 즉 수치로 환산한 TCI가 커질수록(작업복잡도는 낮아질수록) 시스템 공정을 정상으로 유지하는 시간은 증가함을 보이고 있다. 따라서 TCI가 작업의 복잡도를 효과적으로 평가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 사실은 TCI를 수평축으로, 유지시간을 수직축으로 하여 데이터를 플로팅한 Fig. 4에서도 알 수 있다.

Table 8. Correlation analysis between task completion time and TCI

		유지시간	TCI
유지시간	Pearson Correlation	1	.699
	Sig. (2-tailed)	.	.054
	N	8	8
TCI	Pearson Correlation	.699	1
	Sig. (2-tailed)	.054	.
	N	8	8

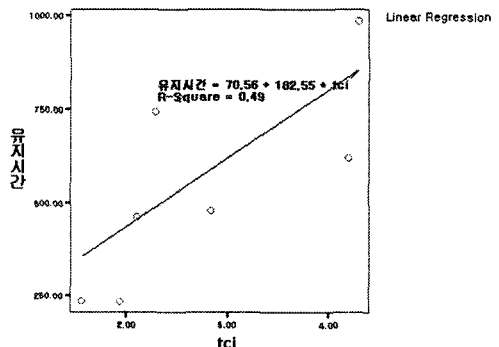


Fig. 4. Plotting between retention time and TCI

따라서 본 연구에서 개발한 TCIM은 작업의 수행도에 영향을 주는 작업복잡도를 효과적으로 측정할 수 있는 방법임을 알 수 있고, 앞으로 작업에서의 복잡도를 평가할 수 있는 효과적인 방법으로 사용될 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

원자력발전소 제어실에서의 작업에서와 같이 작업을 복잡하게 만드는 기여요인들이 작업수행도를 결정하는 중요요인들이라는 연구결과에 따라, 원전에서 복잡도 기여요인들의 영향을 평가하고 심각한 영향을 주는 요인들을 제어하는 것은 원전의 안전성을 위하여 상당히 중요하다고 할 수 있다. 그러한 측면에서 원전 작업을 수행하는 운전원들이 수행작업에 대하여 느끼는 복잡도를 평가하는 것은 원전에서의 작업복잡도를 해결하기 위한 첫 단계라고 할 수 있다.

본 연구에서는 원전에서의 복잡도 기여요인들에 의하여 작업복잡도를 평가할 수 있는 방법을 퍼지 기반 접근법에 의하여 제안하였다. 퍼지기반 기법을 적용함으로써 우리는 작업 복잡도 평가에서의 문제점으로 대두되는 복잡도의 주관성과 모호함을 효과적으로 해결할 수 있음을 확인할 수 있었다.

또한 본 연구에서는 제안된 방법론을 원전의 작업수행 절차에 대한 작업을 실험실에서 수행한 후, 평가를 통하여 제안된 방법이 원전 작업의 복잡도 평가에 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였다. 이상의 연구결과로부터 TCIM은 원전에서의 작업복잡도를 평가하는데 효과적으로 활용될 수 있고, 그것은 결국 원전의 안전성을 향상시키는 데 기여할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- 1) R.L. Henneman, W. B. Rouse, "On measuring the complexity of monitoring and controlling large-scale systems", IEEE Trans. on SMC, Vol. 16, pp. 193~207, 1986.
- 2) W. B. Rouse and S. H. Rouse, "Measures of complexity of fault diagnosis tasks", IEEE Trans. on SMC, Vol. 9, pp. 720~727, 1979.
- 3) D. E. Kieras and P. G. Polson, "An approach to the formal analysis of user complexity", International J. of Man-Machine Studies, Vol. 22, pp. 365~394, 1985.
- 4) 정광태, 원전 비상직무의 인지부하 평가 기술 개발, 한국원자력연구소, KAERI/CM-722/2003, 2004.2.
- 5) K. Park and J. Kim, "Fuzzy Weighted-Checklist with Linguistic Variables", IEEE Trans. on Reliability, Vol. 39, No. 3, pp. 1~5, 1990.
- 6) J. Aczel and T. Satty, "Procedures for synthesizing Ratio Judgements", J. of Mathematical Psychology, Vol. 27, pp. 93~112, 1983.
- 7) L. Zadeh, "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning", Information Science(Part 1), Vol. 8, pp. 199~249, 1975.
- 8) D. Ham, W. Yoon, "The effects of presenting functionally abstracted information in fault diagnosis tasks", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 73, pp. 103~119, 2001.
- 9) J. Park, W. Jung, J. Ha, "Development of the step complexity measure for emergency operating procedures using entropy concepts", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 71, pp. 115~130, 2001.
- 10) R. Jain, "A procedure for multiple-aspect decision making using fuzzy sets", Int. J. Systems Sci., Vol. 8, No. 1, pp. 1~7, 1977.

1) R.L. Henneman, W. B. Rouse, "On measuring the