

원자력발전소 운전원의 직무요건 파악을 위한 인지적 직무분석기법의 기본체계 (A Basic Framework of Cognitive Task Analysis for Identifying Operator's Task Requirements in Nuclear Power Plants)

이용희(한국원자력연구소), 김상훈, 윤완철(한국과학기술원)

요약

원자력발전소와 같은 공정제어(process control) 체계에서 운전원의 수행도는 인터페이스에서 인간과 기계간에 이루어지는 상호작용의 신뢰도를 결정할 뿐만 아니라, 전체 체계의 효율을 좌우하는 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 체계의 설계에서는 감시제어(supervisory control) 기능의 설계요건 설정과 평가과정에서 체계의 주도자인 인간의 특성을 반영하여 직무수행의 신뢰도를 확보하는데 많은 노력을 기울고 있다. 본 연구에서는 인간-기계 체계의 설계과정에서 운전원의 직무수행도를 보장하도록 직무요건(task requirements)을 도출할 수 있는 방법론을 제시하고자 하였다. 직무요건을 파악하는 과정을 일반적으로 직무분석(task analysis)이라고 하는데, 적합한 직무분석 기법의 확보가 중요시된다. 본 연구에서는 우선, 기존의 직무분석 기법들을 조사하여 대표적인 기법들과 주요 기술 동향을 검토하였으며, 직무의 인지적인 측면 파악을 중심으로 한 새로운 기법의 방향을 설정하였다. 설정된 방향에 따라 인지적인 측면의 분석을 강화하고 원자력발전소 운전원의 직무분석에 적합한 인지적 직무분석 기법의 기본체계(basic framework)를 제안하였다.

1. 서론

인간-기계 체계(man-machine system)의 설계 과정에서 인간 작업자에게 필요한 정보를 결정하는 것은 인간과 기계간에 이루어지는 상호작용의 신뢰도를 결정할 뿐만 아니라, 전체 체계의 성능과 효율을 좌우하는 중요한 문제로 대두되고 있다. 예를들면, 원자력발전소에서는 감시제어(supervisory control) 기능을 담당하는 운전원의 오류가 전체 체계의 안전성을 위협하는 가장 심각한 문제의 하나로 인식되고 있다. 따라서, 이러한 체계를 설계할 때에는 시스템의 운영자인 운전원의 직무수행 과정에서 요구되는 요건에 따라 설계를 결정하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 운전원의 효과적인 직무 수행을 보장할 수 있도록 적절한 직무요건(task requirement)을 도출하는 방법론으로 직무분석 기법이 있다.

직무분석은 인간-기계 체계의 설계와 평가과정에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 대표적인 인간공학 기법의 하나이다. 19세기말에서 시작된 시간-동작 연구(time and motion study)로부터 수많은 기법들이 다양한 목적을 가진 직무분석을 위해 변형되어 제시되었다. 인간-기계 체계가 물리적인 특성이 강조되는 시기에는 행동중심의 직무분석이 효과적이었으나, 컴퓨터의 발전으로 인간과 기계의 상호작용이 정보적인 측면에 집중되는 최근에는 이를 파악할 수 있는 새로운 직무분석 기법이 요구되고 있다.

새로운 직무분석 기법에서는 비가시적이지만 직무수행에 결정적인 영향을 미치는 직무의 인지적인 요소들의 파악, 표현, 평가에 집중하는 특징을 가져야할 것이다.

본 연구에서는 인지적인 직무요건을 분석할 수 있는 새로운 직무분석 기법을 개발하기 위하여, 기존의 직무분석 기법을 검토하고 개선방향을 설정하였으며, 새로운 분석 기법의 기본체계(basic framework)를 제안하였다. 먼저, 2절에서는 기존의 일반화된 기법에 대한 고찰로써, HTA와 TAKD의 장단점을 검토하였다. 3절에서는 제안된 기본체계의 핵심인 직무template과 요건규칙에 대하여 중점적으로 논의하였으며, 결론에서는 추후에 계속되어야 할 연구항목들을 제시하였다.

2. 기술현황분석

2.1 기존 직무분석 기법의 비교분석

직무분석은 인간공학분야의 기본적인 기술에 해당하므로, 매우 다양한 분야에서 기법과 응용사례를 발견할 수 있다(1987, Salvendy). 직무분석기법의 형태는 응용분야에 따라 매우 다양하지만, 수행단계는 공통적으로 직무의 파악(identification), 서술(description), 평가(evaluation) 등 세가지 단계로 이루어지는 것이 보통이다. 직무분석에서는 응용분야와 응용목적에 따라 이러한 기본적인 세

단계에서 일정한 단계를 강조하거나 특정 단계의 기법을 강화하는 방식으로 기법을 변형하여 활용하는 것이 일반적이다. 이러한 기법변형의 추이는 응용분야의 변화에 대한 역사적인 추이에 따라, 수동체계에 대한 직무분석이 중심이 되는 작업관리시대 (Work Study Period), 기계적 체계의 직무분석을 중심으로한 인간공학 시대 (Human Factors Period), 컴퓨터의 도입이후에 나타난 자동화체계의 직무에 대한 인지적 분석 시대 (Cognitive Analysis Period) 등으로 추적해볼 수 있다(1995, 윤완철외).

시간-동작 연구와 같은 고전적인 직무분석 이후에 제시된 기법으로는 TEA(Task-Equipment Analysis, 1956 Miller)가 대표적이며, 최근에 이르기까지 TEA와 유사한 기법들이 응용분야에 따라 개발되어 활용되어 왔다. 그중에서 최근까지 활용되고 있는 대표적인 기법에는 HTA(Hierarchical Task Analysis), FAST(Function Analysis System Technique), TKS(Task Knowledge System), TAKD(Task Analysis for Knowledge Description) 등을 들 수 있으며, 새로이 제시된 사례로는 MOHAWC(Models of Human Activities in Work Context), GMTA(Goal-Means Task Analysis)가 있다. 그중에서 HTA와 FAST는 top-down approach의 특성을 가지고 있으며, TKS나 TAKD는 bottom-up approach의 특성을 가지고 있다. GMTA와 MOHAWC는 아직 실제적인 방법론이 불확실하다. 반면에 HTA와 TAKD는 접근방식면에서 top-down과 bottom-up의 서로 다른 방향을 가지고 있으면서도 이미 많은 활용사례가 있으므로 상호보완적으로 모색 가능한 기법으로 보인다.

HTA는 1970년대초에 Annett와 Duncan에 의해 개발된 기법으로, 주어진 직무를 복수의 operation들과 이들의 작용조건을 나타내는 plan에 의하여 계층적으로 표현하는 방식을 가지고 있다. HTA는 근본적으로 주어진 직무의 goal을 기준으로 서로 연관된 sub-goal들을 계층적으로 구성하는 goal-tree 구성 방식의 일종으로 해석될 수 있다. 체계의 기능중에서 인간에게 주어지는 기능을 goal로 상세한 sub-goal들을 계층적으로 정의하는 top-down approach의 특성을 가지고 있어서, 설계의 진행과정에서 필요한 수준만큼 상세하게 분석할 수 있다(HTA기법중 이러한 기능할당 시기의 분석을 강조한 기법으로 FAST가 있다). 따라서, 매우 폭넓은 범위에서 활용할 만큼 기법의 일반성을 가지고 있으며, 설계의 진행과정에서 활용하기에도

용이하다.

TAKD는 1980년대 후반에 Diaper등이 제안한 방법론으로, 정보기술 교육과정(syllabus)의 요건을 정의하기 위해 개발되어 점진적으로 그 응용범위를 넓혀가고 있는 기법이다. 가장 하위의 세부 직무행위로부터 출발하여 이들을 일반화(generalization)하는 bottom-up의 과정이 핵심이다. 일반화를 위해서 KRG (Knowledge Representation Grammar)라고하는 일종의 직무지식의 표현문법을 구성하고, 이를 기준으로 다시 주어진 직무들을 재기술(re-description)한다. 우선, 몇가지 주요 직무를 선정하고 이를 수행하는 대표적인 세부직무들에 대한 정보를 수집한다. 직무에 대한 서술자료에서 주로 동사와 목적어들을 수집하는데, 그 결과로 얻은 동사와 목적어들을 Specific Action과 Specific Object라고 한다. Specific Action과 Specific Object들은 당연히 분야 특유의 방식과 함께 인터페이스의 특성 등이 결합된 내용을 보인다. 이들을 반복적인 검토과정을 통하여 인터페이스와 독립적이며 세부직무의 모든 항목을 대표할 수 있는 동사와 목적어를 도출하는데, 그 결과를 Generic Action과 Generic Object라고 한다. 최종적으로 Generic Action과 Generic Object를 기준으로 최초로 파악된 직무들을 다시 표현하면, 일반화된 직무를 얻을 수 있다.

TAKD에서는 특별한 방식이 없이 세부직무들에 대한 서술자료를 수집하므로 직무분석의 첫 단계인 자료수집의 부담이 줄어들며, 목적하는 수준에 따라 유연하게 일반화된 요건을 도출할 수 있다. TAKD의 근본적인 약점은 분석의 핵심이 되는 세부직무들을 일반화하는 방식에 대하여 구체적인 방법론이 제시되지 않고 있어서 전적으로 분석자의 판단에 의존한다는 점이다. 또한, TAKD에는 직무에 대한 정보중에서 직무의 빈도, 위급도, 예상 문제점 등과 같이 중요한 정보를 누락하고 있으며, 직무의 상관관계와 같이 context에 대한 정보를 표현하지 못하고 있다.

2.2 기술현황 검토

원전의 운전작업에 대한 가장 유명한 직무분석은 1980년대 초반에 NRC의 주관으로 이루어진 대규모의 Crew Task Analysis를 들 수 있다(1983 Burgy 등). 미국내 대표적인 원전 노형을 망라하여 약 50 여개의 운전작업 시나리오에 대해 직무의 내용과 요건을 시뮬레이터 또는 mockup을 이용하여 상세히 분석하고, 분석결과를 방대한

database로 구성하였다. 그러나, 적용된 기법은 행동중심의 관점에서 Berliner의 직무분류체계(task taxonomy)를 수정보완하여 직무동사와 목적어에 대한 파악 및 분류를 핵심으로한 전통적인 기법이다(1985, Rasmussen).

최근에는 직무분석과 관련하여 기존의 기법을 확장하려는 노력과 기존기법과는 전혀 새로운 방향에서의 접근하는 방법이 모색되고 있다. 기존의 기법을 확장하려는 노력으로 비교적 최근에 이루어진 연구로 정보요건 분석을 위한 HTA 기법의 확장 제안(1993, Shepherd)이 있으며, 직무분석의 근본 목적에 대한 검토와 직무상황 모형화(1991, Rasmussen) 또는 추상화 계층(abstraction hierarchy)에 의한 접근방식의 제안(1993, Vicente & Tanabe)이 있었다. 본 연구의 개발방향을 설정하기 위하여 이러한 대표적인 두가지 연구동향을 검토해 볼 필요가 있다.

Shepherd는 정보요건 분석을 위하여 HTA기법에 직무의 정보요건 정의를 유도하는 SGT(Sub-Goal Template)라는 template을 결합한 확장된 직무분석 기법을 제안하였다. HTA에 의하여 주어진 직무를 sub-goal들의 계층으로 표현한 다음, 설계자로 하여금 각 직무에 대한 SGT를 정의하고 정보요건을 제시하도록한 것이다. Shepherd의 방법은 SGT를 정의하여 직무에 관련된 standard set of information을 촉발시켜 직무의 정보요건분석에 활용하는 방식이다. SGT의 세부항목으로 제안된 element들로는 sub-goal의 순서를 나타내는 sequence element(S), operator들이 취하는 control action를 표현하는 action element(A), 직무수행중 타인과의 대화나 정보를 기록하는 communication element(C), operator가 대상체계의 상태를 관찰하고 정보를 수집하는 monitoring element(M), 그리고 적절한 조치의 선택과 관련 의사결정에 필요한 thinking process들을 나타내는 decision making element(D) 등 다섯가지 항목이 있다.

Shepherd가 제안한 SGT의 구성항목을 살펴보면, 크게 sub-goal들의 구성 순서를 나타내는 sequence elements와 직무의 operation 내용을 기술하는 나머지 네항목으로 구분된다. operation 내용을 기술하는 항목의 구성은 '감지-처리-행위'라는 매우 단순한 구조와 별도의 의사소통에 의하여 정의하므로, 기존의 인간공학적 SOR-paradigm을 따라 operation의 분석방식이 제안되어 있음을 알 수 있다. Shepherd는 각 항목의 세부경우에 따라 필요한 정보요건의 입력을 유도하는데 필요한 기준을 도표로 제시하고 있으나, 매우 간략한 내용만

을 담고 있어서 아직 제안에 불과하다.

Vicente등은 예상치 못한 사건(unanticipated events)에서의 정보요건 분석에 전통적인 직무분석 기법의 적용이 근본적인 문제를 내포하고 있다고 주장하고, 새로운 시각에서의 요건 도출방식을 가진 직무분석을 제안한 바 있다(1990, Rasmussen, 1993, Vicente & Tanabe). 전통적인 직무분석에서는 미리 설정된 사건을 전제로한 분석이 이루어지는데, 원자력발전소와 같은 대규모 체계에서 모든 범위의 사건을 분석의 대상으로 정의하기는 논리적으로 불가능하다. 따라서, 예상치 못한 사건에서 운전원 직무수행에 필요한 요건 분석에는 추상화 계층(abstraction hierarchy)에 의한 방법이나, 직무환경전반에 대한 모형화로 직무분석의 개념을 바꾸어야 한다는 것이다. 이러한 개념과 함께 몇가지 사고사례를 제시하기도 하였다(1993, Vicente & Tanabe).

직무분석 기법이 가지는 근본적인 결함을 해결하기 위해 추상화 계층이나 모형화에 의한 분석은 그 타당성은 물론 가능성도 개념적으로는 인정되나, 아직 대규모의 체계에 대하여 충분한 수준의 상세성을 가질 만큼 구체적이고 명시적인 추상화 계층이나 모형을 도출하기가 곤란하다(1994, Bisantz & Vicente). 따라서, 새로운 개념에 의한 직무분석은 기존의 기법에 의해 파악되는 직무요건의 상위요건들을 보완하거나 검토하는데 활용하거나, 개념적으로 기존의 직무분석 기법을 개선하는데 반영되어야 할 것으로 보인다.

2.3 개선방향

직무의 수행을 위한 요건을 파악하는 방법론으로 직무분석을 고려할 경우, 직무분석 과정에서 직무의 세부적인 서술로부터 직무의 동사와 목적어를 구분하는 분할(decomposition) 과정이 포함된다. 직무를 파악하고 서술하는 과정에서 직무의 요건을 파악하기 위해서는 직무의 대상이 되는 목적어들에 대한 파악과 표현을 우선적으로 생각한다. 기존의 직무분석에서 얻을 수 있는 분석의 결과는 직무의 대상인 목적어들에 대한 최소집합(minimal set)이며, 이를 직무수행에 필요한 기본 요건(MTR:minimal task requirement)으로 제시한다.

기존의 전통적인 직무분석에서는 직무의 요건을 분석하는 과정에서 직무의 목적어를 제외한 다른 특성들을 다루는 방법론이 부족했다. 그 결과, 직무의 분할과 그에 따른 직무 대상 목적어에 의한 요건의 정의는 필연적으로 직무요건의 필요조

건만 만족되며 충분조건이 파악되지 않는 문제점을 보인다. 이러한 문제를 단편화(fragmentation) 문제라고 하는데, 기존의 직무분석 기법들에서는 이 문제를 해결하는 방법론이 부족하다. 직무의 요건이 단순히 목적어에 집중되어 있다고 보기에는 직무서술에는 다른 많은 사항들이 손쉽게 파악될 수 있다. 예를들면, 직무수행 동사는 직무의 다른 핵심적인 부분이므로 동사의 특성에 따라 직무수행에 필요한 요건을 파악할 수 있다. Shepherd의 제안은 바로 이 동사에 대한 정보를 활용하려는 것으로 볼 수 있다. 따라서, 직무의 특성을 드러내주는 항목들을 직무요건의 기준으로 삼아 분석의 심도를 높여가야 한다.

직무분석을 통하여 파악할 수 있는 직무요건에는 상당한 넓은 범위가 있다. 대표적으로 가시적인 행위요건과 비가시적인 인지요건으로 구분할 수 있는데, 인지요건은 다시 외부적인 정보요건과 내부적인 지식기술 요건으로 구분할 수 있다. 분석의 목적에 따라 핵심적으로 다루는 요건의 항목이 다르며 분석과정에서도 달리 취급된다. 정보요건은 직무수행을 위하여 외부적으로 제공되도록 요구되는 것이며, 지식요건은 교육훈련의 과정에서 수행자 자신이 습득하여 직무수행시에 활용해야 할 내용들을 의미한다. 본 연구에서는 운전원이 직무수행에 필요한 소요지식을 도출하기 위해서는 분석 기법에서 사용자 지식의 도출에 집중하여 항목을 정의하고 분석과정을 설정해야 한다. 또한, 정보요건은 인터페이스 설계과정에서나 운전원의 자발적인 노력으로 단편화를 극복할 수 있는 여지가 있으나, 직무 소요 지식 요건은 처음부터 단편화의 문제가 최소화되도록 분석되어야 한다.

원자력발전소와 같은 대규모의 고집적 체계에서는 절차서를 기반으로한 운전이 일반화되어 있다. 특히, 직무의 위급도나 위험도가 높은 비상운전상황에서는 대부분 절차서 기반의 운전을 채택하여 밀착형(tight-coupled) 작업형태를 보이고 있다. 그러므로, 운전원의 상호작용을 결정하는 interface나 훈련 프로그램 등을 설계하는 과정에서 절차서가 매우 중요한 기준정보로 활용되고 있다. 절차서는 일정한 상황에서 정의되는 목표를 달성하기 위하여 필요한 조치들을 순차적으로 열거한 것으로, 대부분 계층적인 구조를 가지고 있다. 새로운 직무분석 기법은 이러한 직무의 특성과 기준이 되는 주요정보로 절차서의 활용에 집중할 수 있도록 구성되어야 한다.

새로운 직무분석기법에서 제안해야 할 주된 내용은 분야-특유(domain-specific)의 내용과 구성을

가진 직무에 대한 정보들을 분야-독립적인(domain-independent)이고 분석에 적합한 내용과 구성으로 재서술(re-description)하는 방식이다. 이러한 재서술의 기준은 직무요건을 정의하기 위해서 집중되어야 할 것이다. 새로운 직무분석 기법 개발의 목적과 원자력발전소의 직무 특성으로 보아 기존의 기법들은 서로 장단점을 가지고 출발점으로 활용할 수 있는 내용을 상당히 제공하고 있다. 활용가능한 직무자료가 운전절차서로 직무가 계층적인 구조로 서술되어 있다는 측면에서는 Annett와 Duncan에 의해 개발된 HTA가 상당히 근접된 기법을 보이고 있다. 직무수행에 필요한 소요지식에 대한 분석에 집중하여 bottom-up과정으로 개발된 TAKD기법이 근본적인 목적과 분석방향에서 일부 부합되는 점을 가지고 있다. 또한, 새로운 기법에서는 Shepherd의 실무적인 제안을 활용하고 추상화 계층 개념을 도입해야 한다. 직무의 정보요건 분석을 위한 방법으로 HTA를 확장하고자 한 Shepherd의 제안은 실용적인 면을 확보하는데 좋은 제안이며, 추상화 계층의 개념을 도입하는 것은 직무분석을 통하여 인지적인 요건을 정의하기 위한 핵심적인 개선이 될 것이다.

3. 인지적 직무분석의 방법론

3.1 분석구조 개요

운전절차의 수행에 필요한 소요지식을 파악하기 위해서는 설계자 또는 운전 경험자로부터 이들을 명시적으로 표현하도록 유도하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 직무분석의 일반적인 세단계를 따라 분석구조가 설정되었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 직무의 파악(identification) 및 서술(description) 단계에서 직무의 특성에 대한 정보를 평가(evaluation) 단계에서 수행되는 요건도출의 기준으로 활용하는 방식이다.

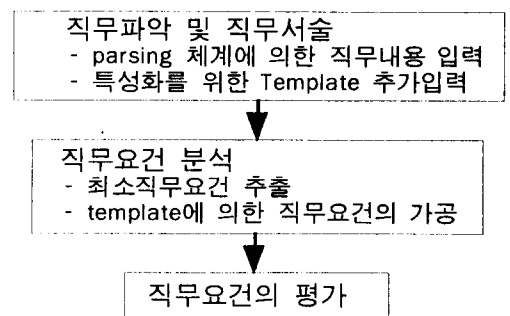


그림 1 제안된 분석구조의 개요

각 직무가 서술되는 과정에서 그 특성을 표시할 수 있는 직무 template을 정의하는 과정이 핵심이다. 직무 template은 직무의 내용 및 계층적인 구조와 인지적 특성을 반영하는 항목들로 구성되는데, 이들의 대부분은 운전절차서에서 추출하거나 분야 전문가(설계자 또는 운전원 등)가 쉽게 기술할 수 있는 항목들로 구성되었다.

직무 template은 직무의 성격을 규정짓는 직무 특성의 분류체계를 기반으로 한다. 직무수행에 필요한 조건들의 유형을 종합하는 일종의 유형분류체계(classification taxonomy)를 직무의 서술과정에서 직무특성을 규정(characterization)하는데 활용한다고 할 수 있다. 인지적인 측면에서 직무의 특성을 구분할 수 있는 유형분류체계에는 각 직무의 추상화 계층상에서의 특성, 의사결정단계에서의 차이, 세부직무의 구조적인 특성 등이 활용되고 있다.

직무 template의 항목과 구성에 따라 직무의 조건정의에 필요한 정보를 도출하는 규칙들이 연결되어 있다. 조건의 기본 정보는 이미 서술과정에서 입력된 직무의 목적어들이지만, 직무의 특성에 따라 몇몇 항목에 대하여 분야 전문가에게 추가적인 조건을 정의하도록 유도한다.

다음에는 본 연구에서 원자력발전소 운전에 대한 직무분석을 위해 제안하는 직무 template의 구성과 직무 template에 따른 조건규칙에 대하여 간략히 설명하였다.

3.2 직무 template의 구성

직무 template은 직무의 특성을 결정하는 잣대라고 할 수 있다. 주어진 직무의 template은 인지적인 조건 등 다른 조건들을 추가로 파악하는데 기준으로 활용된다. 주어진 직무에 대하여 다음 표 1과 같은 범위에서 특성화 요소들의 유형을 결정함으로써 결정된다.

표 1 직무 template의 구성항목

특성분류	template 항목	유형의 갯수
직무요소 의 특성	. 동사유형	4(9)
	. 목적어 유형	3
	. 속성 유형	8
추상화 계층 에서의 특성	. 직무목표의 유형	5
	. 목표/수단 상관관계 유형	4
구조적 특성	. 전후직무 상관관계 유형	3
	. 하부직무의 구성유형	9

template의 구성항목에 대한 결정 결과와 같은 구조로 정리된다.

```

직무서술= ( 목적어(),
template   속성(연속,정성,직간접),속성값
           동사(), 수식어
           목표,수단,
           구조)
    
```

각 구성요소에 대하여 직무의 유형이 결정되면, 어느 특정한 유형의 직무요건을 요구하거나 이미 입력된 조건의 타당성을 검토하는 기준으로 활용된다. 전통적인 직무요건 분석에서 도출되는 목적어 중심의 최소직무요건(MTR)으로부터 출발하여, 요건을 가공하는 기준으로 활용되는 것이다.

(1) 직무요소의 특성

동사, 목적어, 속성 등 직무서술의 구성요소들은 직무요건의 직접적인 항목들이며, 직무요건의 최소단위인 최소직무요건(MTR)을 구성한다. 직무의 유형을 결정하는 가장 기본적인 요소이기도 하다. 그중에서 동사와 목적어의 유형은 운전원의 직무수행 내용을 결정하는 것이며, 각 구성요소간의 상관관계를 통하여 다양한 조합의 유형을 정의할 수 있다.

1) 동사의 유형

동사의 유형은 의사결정모형의 단계별 분류를 채택하였다. 단계별 분류는 감지, 관측, 파악, 평가, 해석, 목표, 계획, 실행 등 Rasmussen의 Step Ladder Model의 8가지 process를 모두 적용할 수 있으나, 현실적으로 직무에 대한 인지적 세부 단계를 세분하는 것이 거의 불가능하므로 일단 '감지-관측-파악'/'평가-해석-목표'/'계획-실행'으로 단순화하여 구분하고 별도로 '궤환'을 추가하였다. 그러나, 세부적인 단계 구분이 필요하면 보다 세부 단계를 추가로 구분할 수 있다.

- 감지-관측-파악(M:D-O-I)
- 평가-해석-목표(C:E-U-G)
- 계획-실행(A:P-A)
- 궤환(F:feedback)

2) 목적어 및 속성의 유형

- 목적어 : 단수/동질복수/이질복수
- 속성 : 연속/이산, 정성/정량, 직접/간접

(2) 추상화 계층에서의 특성

직무의 특성중에서 추상화 계층상의 관계는 인지적인 의미가 크며, 인지적인 요건을 정의하는 중요한 기준으로 활용된다. 직무의 추상화 계층상의 의미를 규정하기 위해서는 why-what-how의 상관관계를 정의하는 과정이 필요하다. 주어진 직무를 what에 해당한다고 가정하면, 상위의 직무중 why에 해당하는 직무를 지정하고 어느 성격의 상관관계를 가지는지 what->why 관계를 지정한다. 또한, 이러한 관계가 역으로 하위직무와의 관계에 적용될 때에는 what->how 관계를 정의하는 과정이 되며, 이것을 입력된 특성화 정보와 최종적으로 추출된 직무 요건을 추상화 계층상의 정의를 따라 확인하는데 활용한다.

1) 직무목표의 유형

직무목표의 유형은 직무가 대상 시스템에 대하여 기능적으로 미치는 영향의 종류를 말한다. 시스템의 기능적인 측면에서 보면 직무는 특정한 기능을 다루는 방식을 정의한 것인데, 다음과 같이 5가지 유형으로 구분하였다.

- 도입/시작(S:start)
- 조절/변경(C:control & change)
- 유지/관리(M:maintain)
- 준비/확보(P:prepare)
- 종료/중단(Q:quit)

2) 목표/수단 상관관계의 유형

직무목표와 수단과의 상관관계는 주어진 직무를 수단으로 생각할 때, 관련되는 목표와 목표를 달성하는 수단과의 mapping이 얼마나 밀접한 관계를 가지는지를 표현하는 것으로, 그 유형을 다음과 같이 4가지로 구분하였다.

- 일대일 배타적 관계(E:exclusive)
- 다대일 다목적 관계(M:multi-purposive)
- 일대다 선택적 관계(S:selective)
- 다대다 임의적 관계(I:indifferent)

(3) 구조적 특성과 요건

직무의 구조적 특성에는 전후관계와 상하관계 직무들의 특성이 포함된다. 다른 직무와의 상관관계는 절차적인 직무에서 매우 중요시되는 것으로 상하위 관계를 가지는 경우와 동일한 수준을 가지

는 경우로 구분하여 고려할 수 있다. 상하관계는 입력된 항목을 기준으로 추후에 분석하며, 전후상관관계는 template의 한 항목으로 입력한다. 상하위관계일 경우에는 수단과 목적간의 상관관계를 해석하며, 동일한 수준의 직무에 대한 상관관계를 구분하여 다음과 같이 유형을 구분하였다.

- 순차적 관계(S:sequential)
- 병행적 관계(P:parallel)
- 선택적 관계(B:branching)
- 무순(N:non)

3.3 직무 template에 의한 직무요건

직무의 요건에는 직무 template의 항목에 따라 독립적으로 요구되는 항목별 요건과 각 항목들의 조합에 의하여 요구되는 요건들이 있다. 이들은 요건도출을 위한 일종의 규칙으로 작용하여, 특정한 조합의 직무에 대하여 분야 전문가로 하여금 추가적인 요건을 입력하도록 한다.

(1) 항목별 요건

Rasmussen의 의사결정 사다리 모형에 따르면, 동사의 인지적 단계에 따라 필요한 정보요건과 지식과 처리 방식에 차이가 있음을 명시하고 있다. 특히, 인지적 단계에 따라 발생가능한 인적 오류(1993, Yoon등)를 방지할 수 있는 직무요건을 파악하기 위해서 인지적 의사결정 단계에 따른 특성을 반영한 요건규칙이 설정되었다.

직무의 목적이 어떠한 기기 또는 부품의 작동을 통하여 기능을 도입/시작하거나 종료/중단되도록 하는 것이면, 도입 또는 종료의 이전과 이후에 대한 차이를 명확히하는 것이 직무요건의 핵심이 된다. 여기에는 도입 또는 종료를 위한 조건과 수행후에 대한 확인 기준에 대한 요건이 포함된다. 기능의 변경/조절 또는 유지/관리를 목적으로하는 직무의 경우 해당 기능에 대한 세부적이고 직접적인 정보가 중요시된다. 기능의 준비/확보는 가용성 목적을 의미하는 것으로 이러한 목적을 달성하는 방식으로 정보와 세부 수단들이 구성되어야 한다. 그런데, 이들 요건의 조합은 인지적 제어수준에 따라 상당히 다른 내용으로 구성된다.

목표/수단 상관관계의 유형에 따른 요건은 대략 다음과 같이 차별화할 수 있다. 일대일의 배타

적인 관계에서는 직무의 의도와 실행 내용간의 연관관계에 대한 확인이 불필요하며, 수행자는 자신의 지식이나 외부정보로부터 이러한 배타적인 연관관계에 대한 인식만 명확하면 된다. 다대일 관계는 동일한 유형의 수단으로 여러가지 목적을 달성할 수 있을 경우를 말한다. 이때는 활용되는 수단이 주어진 목표를 추구하기 위해서 가져야하는 구별된 특성이 명확하게 인식되고 만족되어야 한다. 따라서, 다목적 관계에서는 수단으로 정의된 직무의 내용에 대한 구분이 중요한 요건으로 부각된다. 반대로, 일대다 관계는 하나의 목적을 달성하기 위해 활용가능한 수단이 복수로 존재하는 경우를 말한다. 이러한 관계에서는 특정한 수단을 선택하는 기준과 원인에 대하여 명확히 인식되도록 하거나 여러가지 가능한 수단들의 대안 제공이 필요하다.

(2) 직무 template의 구성에 따른 요건

상위직무에서 보면 여러가지 하위 직무들의 조합으로 상위직무가 만족되므로, 직무의 상하 또는 전후관계의 특성에 따라 요건들이 달라진다. 절차서에서 기술하고 있는 세부직무의 인지적인 성격을 구분하면 동사와 목적어의 특성에 따라 성격이 구분된다. 특정한 단위직무에 대한 하부직무들의 구성을 보면, 이 두가지 성격의 직무들이 여러가지 형태로 조합되어 직무의 논리적 구성을 제공하고 있다.

비상운전절차서에서 직무서술은 운전원 조치들의 연쇄로 구성되는데, 각 기능적 조치들은 규칙의 형태를 띠고 있다. 다음과 같은 규칙을 가장 전형적인 직무유형의 예로 들 수 있다.

```

직무 = 세부조치사항 + 불만족시 (RNO) 조치사항1
      IF (sequence in default)
      THEN Task Statement
      ELSE Task Statement
  
```

하나의 직무에는 반드시 하나 이상의 세부조치사항과 불만족시 조치 사항이 있는데, 세부 조치사항의 유형은 동사와 목적어 등 직무의 내용에 드러나는 반면, 불만족시 조치사항은 연관되는 세부조치사항과의 상관관계에 의하여 특성이 결정되는 경우가 많다.

단위직무에는 복수의 세부직무들이 포함되는데, 비상운전절차를 검토하여 다음과 같은 9 가지 유형을 기본유형으로 분류하였다. 이러한 논리적 구성의 유형은 목적어간의 조합을 결정하는 기준이 되며, 처리방식을 지정하는 의미를 가지므로 요건분석의 기준으로 활용하였다.

- Simple Monitoring(SM)
- Monitoring with Branch(M&B)
- Monitoring with Backup Execution(M&BE)
- Monitoring with Backup & Branch(M&BB)
- Simple Execution(SE)
- Execution with Conditional skip(E&CS)
- Repetative Homogeneous Execution(REH)
- Repetative Heterogeneous Execution(REX)
- other Compound M&E Structure (C-M&E)

(3) 직무의 상황 가정에 따른 요건

운전원의 직무수행 특성은 동일한 직무에 대해서도 직무 상황의 차이에 따라 상당히 다른 특성을 보인다. 그러므로 직무의 특성이 동일하더라도 직무상황에 대한 가정을 달리함으로써 서로 다른 직무요건을 정의할 수 있다. 그중에 가장 두드러진 특성을 보이는 직무상황의 요인은 자발성과 시간적인 제약이다(1994, 이용희 외).

연구에서는 직무의 자발성에 따른 직무상황을 다음 세가지로 구분하여 요건을 정의하는데 활용하도록 하였다.

- Confirmative
- Responsive
- Directive

Confirmative는 이미 예상되는 상황의 확인을 위해 수행하는 것이며, Responsive와 Directive는 피동적인 직무상황을 가정하는 것이다. Responsive는 체계의 상황에 의해 요청되는 것이며, Directive는 다른 사람으로부터 요청되는 상황을 가정하는 것이다. Confirmative가 되기 위해서는 충분한 확신도를 가진 직무지식과 정보가 제공되어야 하는 반면, Responsive와 Directive는 외부정보와 내부지식간의 일치가 중요시된다.

(4) 인지적 제어수준 가정에 따른 요건

직무요건은 요구되는 직무의 특성에 의해서만 결정되는 것이 아니라, 직무수행자의 능력과 지식수준에 의하여 영향을 받는다. 이러한 측면을 반영하기 위하여 해당 직무를 수행하는 수행자의 인지적인 제어수준을 가정한 직무요건을 차별화하는 방식으로 반영하였다. 본 연구에서는 초심자적 제어수준, 규칙적 제어수준, 숙련자적 제어수준, 전문

가적 제어수준 등 4 가지 이산적인 인지적 제어수준 가설을 도입하여 각각의 제어수준에 따라 직무수행에 필요한 지식, 기술, 정보 요건들이 차이를 구분하도록 한다.

초심자는 직무에 대한 경험이 거의 없어서 직무의 논리적인 연계성은 물론 실제 직무대상의 물리적인 특성에 대한 친숙도가 부족한 경우의 수행자를 말한다. 원자력발전소의 운전원들이 이러한 초심자인 경우는 없으나, 완전히 경험되지 않은 새로운 이상사태의 상황에 대해서는 초심자와 같은 특성을 보이는 인지적 제어수준을 가질 수 있다. 초심자적 제어수준에서는 필요한 직무요건의 대부분이 외부적으로 만족되어야 한다. 특히, 직무의 전후관계와 상하관계 등 논리적인 연계성에 대한 이유를 제공하지 않을 경우에는 기계적인 반응 이상을 기대할 수 없다. 규칙적 제어수준에서는 운전원은 직무를 선택하거나 의미를 평가할 수 없으므로, 각 절차단계의 진행에 대한 논리와 분기점을 명확하게 제시하거나 선택과 평가를 대신하는 기능 또는 정보를 제공해야 한다. 반면에 숙련자는 직무의 선택과 의미평가가 가능하므로 가능한 여러가지의 대안을 상기할 수 있도록 기억을 지원하거나 각 대안의 선택 결과를 검토할 수 있는 지원이 필요하다. 전문가적 제어수준이란 상황의 연속적인 논리에 주의를 할당하지 않더라도 어느 한 시점에서 필요한 직무의 범위를 적절하게 좁혀갈 수 있는 상태를 말한다. 이 경우에 요구되는 직무요건의 특징은 정보와 수단의 신뢰도에 대한 정확성이다. 전문가적 수준에서는 매우 지엽적인 정보나 미묘한 차이를 의사결정에 활용하거나 종합적인 측면을 활용하므로 가능한 사실적이고 가공되지 않은 원래 그대로의 정보와 직접적인 인터페이스를 요건으로 한다.

운전원의 인지적 제어수준에 따라 직무수행의 종합적인 요건은 변화하지 않으나, 세부 요건에는 차이가 있다. 요건의 항목이 교육훈련을 통한 지식 또는 기술수준의 요건으로 작용하는지, 아니면 인터페이스나 절차서에서 제공되어야 할 외부적인 정보표시의 요건으로 작용하는지 그 조합에는 인지적 제어수준의 차이가 상당한 영향을 미친다. 제어수준을 직무 template의 요건규칙에 반영하여, 분석자가 선택한 가정에 따른 직무요건을 도출할 수 있다. 직무수행자에 대한 인지적 제어수준을 검토해야 할 경우에는 이러한 직무요건의 민감도 분석을 통하여 직무요건의 변화를 검토할 수 있다.

3.4 분석의 절차의 예시

본 연구에서 제안하고 있는 기본 체계를 따르면, 분석절차는 기존의 분석과 거의 동일하게 직무파악, 직무서술, 직무평가등 세단계를 포함하지만, 직무서술 단계에서 많은 정보를 다루고 평가단계에서 이를 활용하는 특성을 가지고 있다. 특히, 직무서술 단계에서 많은 정보를 다루어야 한다.

직무서술 단계에서는 직무서술의 parsing과 template정의 등 크게 두가지의 핵심적인 절차를 거친다. 이 과정은 모두 직무의 특성에 대한 파악 및 특성화 과정이라고 할 수 있다. 직무의 내용을 서술하는데 정해진 항목들의 조합으로 일종의 parsing을 수행한다. parsing에서는 원자력발전소의 운전절차서를 기반으로 직무서술에 활용되는 동사와 목적어 및 다른 수식어들의 어휘를 메뉴구조로 포함하고 있다.

직무서술 이후에 수행되는 평가단계에서 직무요건의 규칙에 따른 요건도출과 민감도 분석등 약간의 검토절차가 수행된다. 요건도출은 최소직무요건의 도출과 요건규칙에 의해 대화형으로 분야 전문가의 요건 보안을 유도하는 절차로 구성되었다. 입력된 요건들은 자체적인 일관성과 분석의 배경이 되는 가정을 따라 검토하는 과정을 거쳐 최종적인 직무요건으로 도출된다.

분석의 절차를 요약하면 다음과 같다.

1. 직무 파악
 - . 가장 상세한 수준의 직무내용을 파악한다.
 - . 응용분야 자체의 직무 서술을 작성한다.
2. 직무서술
 - . 직무의 구문구조를 분석한다.
 - . 직무template의 내용을 결정한다.
3. 직무 평가
 - . 최소직무요건을 도출한다.
 - . 요건규칙에 의하여 요건을 보완한다.
 - . 요건의 타당성을 검토한다.
 - . 분석결과를 출력한다.

예를들면, ‘안전주입 신호를 원상복귀(reset)하라’ 라는 직무에 대하여 parsing단계에서는 안전주입신호를 목적어로 원상복귀를 동사로한 구문구조가 분석된다. 그러나, 직무template의 내용을 결정하는 단계에서 동사의 인지적 단계는 실행단계(A), 목적어와 속성은 (단수, 이산, 정성, 직접)으로 규정된다. 이 직무의 목적은 안전주입의 작동이 다시 필요해지는 상황에 대비하려는 원상복귀가 아니라, 안전주입신호에 의해 차단되어 있는 여러

가지 기기조작을 가능하게 하기 위한 준비단계(P)에 속하며, 다른 대안이 없는 배타적인 관계(E)임을 파악하게 된다. 하위의 세부직무는 없다. 이러한 template의 결정 결과는 다음과 같이 정리된다.

ECA2.1:1 = (안전주입신호(단수), template 상태(이신,정성,직접),속성값 원상복귀(A), 수식어 P,E, SE)

이 직무에 대한 요건의 규칙은 목적어인 안전주입신호에 대한 것으로, 최소직무요건에는 다음과 같은 질문에 대하여 답하는 방식으로 안전주입신호 항목만 추가하면 된다.

- 본 직무의 수행을 위해 (안전주입신호)의 표시기가 필요합니까?
- 본 직무의 수행을 위해 (안전주입신호)의 제어기가 필요합니까?

직무의 특성에 따른 요건분석의 규칙이 예들들어 다음과 같은 질문들이 대화형으로 제시되어 요건을 보강한다.

- 본 직무수행의 필요성/가능성 검토가 필요합니까?
- (위 질문에 대한 답이 예 인 경우) 필요성/가능성 검토에 필요한 정보요건은 무엇입니까?
- 본 직무의 목적 달성에 다른 방법이 없음을 확인하는 정보요건은 무엇입니까?
- 본 직무의 실행 결과에 대한 확인이 필요합니까?
- (위 질문에 대한 답이 예 인 경우) 실행 결과에 대한 확인에 필요한 정보요건은 무엇입니까?
- (위 질문중 하나 이상에 대한 답이 예 인 경우)세부 직무의 구성방식은 무엇입니까?

우선, 준비/확보의 성격이므로 그 필요성과 가능성에 대하여 검토가 필요할 수 있다. 또한 배타적인 관계(E)이므로 정확한 지식을 요구하며, 실행(A)성격이므로 실행의 결과에 대한 확인을 위한 요건이 추가되어야 할 가능성이 검토된다. 또한 이러한 보완적인 직무가 인정될때에는 단순실행(SE)직무가 아니므로 세부직무의 구성도 검토하고 이에 따른 요건도 확인한다. 이러한 요건의 입력결정은 분야 전문가에 의하여 대화형으로 추가될 수 있다. 그러므로, 전통적인 직무요건 분석에서 도출되는 목적어 중심의 최소직무요건에 비하여 방대한 범위의 요건이 검토되는 것이다.

4. 결론 및 추후 연구 과제

인지적인 측면을 보강할 수 있는 직무분석 기법의 기본체계를 제안하였다. 제안된 기본체계는

인지적인 측면에서 직무요건을 분석할 수 있는 기법의 기반을 제공하고 있다. 그러나, 제안된 직무 template에 따라 세부적인 요건규칙의 개발이 필요하다. 특히, 인지적 제어수준에 따른 요건의 차별화가 가능한 규칙의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 원자력발전소의 운전원 직무에 대한 기법을 개발중으므로, 상당히 많은 정보를 수집하여 요건을 분석하는 보수적인 방식으로 구성되어 있다. 그러므로 실무에 필요한 수준으로 축약이 필요하다. 또한, 제안된 방식의 실무를 지원할 수 있는 전산 지원도구 및 원자력 분야 사용자들을 위한 대화방식의 개발이 필요하다.

특히, 전산지원도구에는 직무파악 및 서술의 단계로부터 편집기능(editor) 및 출력기능 등 기본적인 정보처리 기능과 함께, parsing 지원기능(parser), 직무 template vocabulary data base, 요건규칙의 database, 대화기능(interactive dialogue) 등 요건도출을 위한 분야 전문가와의 상호작용기능과 민감도분석 기능이 필요하다

제안된 기본체계를 기반으로 기법의 실용적인 측면을 확보하고 타분야에서 응용가능하도록 일반화하기 위해서는 몇가지 측면이 추가로 검토되어야 할 것이다. 직무 template에서 유형분류를 용분야별로 필요한 직무요건과 요건의 규칙을 조정하여 분석의 목적과 사례에 따라 보강해야 할 필요가 있다. 이를 위해서는 직무 template과 직무요건규칙의 타당성 확보를 위한 반복적인 확인 및 보완과정이 필요하다. 또한, 직무분석의 결과로 얻어진 직무요건을 설계요건과 직접 연결할 수 있도록 적절한 요건의 정리방식 개발이 필요하다.

참고문헌

1. 비상운전지침개요(I),(II), 주제어실-24-가, 한국전력공사 고리연수원, 1987.
2. 영광1,2호기 비상운전절차서, 한국전력공사, 1988
3. 원자로운전원, 한국전력공사, 고리연수원, 1987.
4. 윤완철 외, 원자력발전소 운전원 직무분석 기법 개발, 한국과학기술원, 1995.
5. 이용희 외, 원자력발전소 운전원 직무분석기법 기술현황분석 보고서, KAERI/AR-402/94, 한국원자력연구소, 1994.
6. 이용희, 운전작업 시뮬레이션 분석기 개발을 위한 직무분석 기법의 기술현황, 한국원자력학회 '95 춘계 학술대회 논문집, 1994.
7. 이용희 외, 시뮬레이터를 이용한 비상운전작업의 작업특성 조사, 대한인간공학회 '95 춘계학회 논문집, 1995
8. Bainbridge, L., Types of Hierachy Imply Types of Model, Ergonomics, vol. 36, pp.

- 1399-1412, 1993.
9. Bisantz, A.M. and Vicent, K.J., Making abstraction hierarchy concrete, *Int. J. Human-Computer Studies*, 40, pp.83-117, 1994.
 10. Burgy, D. et al., Task Analysis of Nuclear Power Plant control Room Crews, NUREG/CR-3371, USNRC, 1983.
 11. Carey, M. et al., Cognitive Task Analysis Techniques in the Design and Evaluation of Complex Technological Systems, Proc. 11-th Conf. on Reliability Technology Symposium, 1989.
 12. Dankaeck, B., Task Analysis Guidelines for Computer-generated Display System, from Improving NPP Safety through Operator Aids, IAEA-TECDOC-444, pp. 43-53, 1987.
 13. Diaper, D. and Johnson, P., Task analysis for knowledge description : theory and application in training, from *Cognitive Ergonomics and Human-Computer Interaction*, (Eds.) J. Long, A. Whitefield, Cambridge University Press : London, 1989.
 14. Dorner, D. & Pfeifer, E., Strategic thinking and stress, *Ergonomics*, vol. 36, pp. 1345-1360, 1993.
 15. Fleishman, E.A., et al., Taxonomies of Human Performance : the Description of Human Tasks, London : Academic Press, Inc. Ltd., 1984
 16. Grant, S. and Mayes, T., Cognitive Task Analysis, from *HCI and Complex Systems*, Academic Press, pp.147-167, 1991.
 17. Hollnagel, E., *Human Reliability Analysis : Context and control*, Academic Press, London, 1993.
 18. Johnson, H. and Johnson, P., Integrating Task Analysis into System Design : Surveying Designers' Needs, *Ergonomics*, vol. 32, pp.1451-1467, 1989.
 19. Kirwan, B., Ainsworth, L.K., *A Guide to Task Analysis*, Taylor & Francis, London, 1992.
 20. Lenorovitz, D.R. and Phillips, M.D., Human Factors Requirements Engineering for Air Traffic Control Systems, from G. Salvendy Ed. *Handbook of Human Factors*, pp.1771-1789, 1988.
 21. Rasmussen, J., A Framework for Cognitive Task Analysis in Systems Design, RISO-M-2519, Roskilde, Denmark, 1985.
 22. Rasmussen, J., and Goodstein, L.P., Information Technology and Work, from M. Helander Ed. *Handbook of Human-Computer Interaction*, pp. 175-201, Elsevier Science Pub., 1988.
 23. Rasmussen, J., Simulation of Operators' Response in Emergencies, RISO-M-2616, 1986.
 24. Rasmussen, J. et al., Taxonomy for Cognitive Work Analysis, RISO M-2871, Denmark, 1990.
 25. Rasmussen, J. and Pejtersen, A., Mohawk Taxonomy : Implications for Design and Evaluation, RISO-R-673, 1992.
 26. Rauterberg, M., AMME : an Automatic Mental Model Evaluation to Analysis User Behavior Traced in a Finite, Discrete State Space, *Ergonomics*, vol. 36, pp. 1369-1380, 1993.
 27. Roth, E.M. and Woods, D.D., Cognitive Simulation as a Tool for Cognitive Task Analysis, *Ergonomics*, vol. 35, pp. 1163-1198, 1992.
 28. Shepherd, A., An approach to information requirements specification for process control tasks, *Ergonomics* 36(11), pp.1425-1437, 1993.
 29. Stammer, R.B. et al. Task analysis, from *Evaluation of human work*, Eds by J.R. Wilson and E.N. Corlett, pp. 134-160, London: Taylor & Francis, 1990
 30. Sundstrom, G.A., Towards Models of Tasks and Task Complexity in Supervisory Control Applications, *Ergonomics*, vol. 36, pp. 1413-1423, 1993.
 31. Vicente, K.J. and F. Tanabe, Event-independent Assessment of Operator Information Requirements : providing support for unanticipated events, Proc. Top. Mtg. Nuclear Plant I&C and MMI Technologies, pp.389-393, Oak Ridge, Tennessee, April 18-21, 1993.
 32. Westinghouse Owner's Group, Emergency Response Guidelines, HP-Rev.1A, Jul. 1987.
 33. Yoon, W.C., Lee, Y. H. and Kim, Y.S., A New Description Scheme and a Computer Support for the Analysis of Human Errors in Nuclear Power Plants, Proceedings of 12-nd European Annual Conf. on Human Decision Making and Manual Control, June, 1993