

# 건설현장 임시전력 배선의 가설직무에 대한 인간신뢰성 평가

김두현 · 이종호<sup>†</sup> · 김상철<sup>\*</sup>

충북대학교 안전공학과 · <sup>\*</sup>세명대학교 안전공학과  
(2005. 3. 4. 접수 / 2005. 6. 8. 채택)

## Human Reliability Assessment for a Installation Task of Temporary Power Cables in Construction Fields

Doo-Hyun Kim · Jong-Ho Lee<sup>†</sup> · Sang-Chul Kim<sup>\*</sup>

Department of safety Engineering, Chungbuk National University

<sup>\*</sup>Department of Safety Engineering, Semyung University

(Received March 4, 2005 / Accepted June 8, 2005)

**Abstract :** This paper presents an human reliability assessment(HRA) for a installation task of the temporary power cable in construction fields. HRA is evolved to ensure that the workers could reliably perform critical tasks such as a process of the temporary power cable. Human errors are extremely commonplace, with almost everyone committing at least some errors every day. The considerable parts of electric shock accidents in the construction field are caused by a series of human errors. Therefore it is required to analyze the human errors contained in the task causing electric shock event, the event tree analysis(ETA) is adopted in this paper, and particularly human reliability was estimated for a installation task of the temporary power cables. It was assumed that the error probabilities of the human actions may be obtained using the technique for human error rate prediction(THERP). The results show that the predominant task on reliability in the cable installation tasks is check-out task, and the probability causing electric shock by human errors was calculated as  $1.0 \times 10^{-9}$ .

**Key Words :** human error, THERP, temporary power cable installation, HRA, ETA.

### 1. 서 론

2000년 국내 전기재해통계에서 전기설비에 관련된 사고의 원인별 통계를 살펴보면 사용자의 실수 또는 조작 미숙이라는 휴먼에러와 관련된 원인이 차지하는 비율이 5%로 나타나고 있다<sup>1)</sup>. 이와 같은 높은 점유율을 고려하여 볼 때 전기설비사고의 예방을 위한 원인분석 및 대책수립 연구에 휴먼에러에 대한 비중을 간과할 수 없는 실정이다. 특히, 건설현장의 임시전력설비에서 작업하는 작업자들은 흔히 발생할 수 있는 휴먼에러로 인한 사고에 쉽게 노출된다. 임시전력설비의 특성상 일반 전력설비에 비하여 상대적으로 안전성이 낮으며 이러한 조건이 작업자로 하여금 휴먼에러로 인한 사고 발생을

더 한층 쉽게 한다. 이러한 사고는 전기적인 지식의 많고 적음과는 무관하게 발생될 수 있다. 작업자의 불안전 행동에 의해 많은 위험한 상황들이 만들어지고 결국에는 사고를 유발하게 되는데 이 원인을 제거하기 위해서는 휴먼에러에 대한 철저한 분석이 요구되며 분석결과에 따른 근원적인 대책을 제시하고, 해결방안을 모색하여야 한다.

현재 건설현장의 임시전력설비는 고신뢰성 부품으로 시스템을 구성하여 높은 신뢰성을 유지하고는 있지만 설비운용 측면에서 발생하는 사고의 많은 부분은 우연히 발생하게 된다. 특히 감전에 의한 사고는 사고현장에서 90%이상이 사망이라는 중대재해로 이어지고 있다. 작업자의 경솔한 행위로 야기되는 사소한 실수로 인해 설비사고, 감전사고로 인한 인적·물적 손실을 초래하고 있어 세심한 주의를 필요로 한다. 감전사고의 원인을 살펴보면 작업자의 불안정한 행동인 휴먼에러에 의해 발생하

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
yjho@korea.com

는 경우가 대부분을 차지한다. 작업자의 기술미숙, 부주의와 오인, 전기적 지식결여 등으로 인한 절차상 결함 등 휴먼 에러에 의해 발생하고 있다. 이러한 휴먼에러 이외에도 구별되지 않는 휴먼에러로 인한 사고의 위험성이 항상 존재하며 실제 다양한 형태로 사고가 발생되고 있다. 휴먼에러의 특성상 책임의 추궁과 한계과약 등 관리의 한계가 있으므로 작업자의 휴먼에러를 체계적으로 관리하기가 힘든 실정이다. 또한 이에 대한 대책은 단시간 내에 이루어지는 것이 아니기 때문에 우선 지속적인 현장의 작업자 관리 및 교육으로 해결해야 할 것이다. 이러한 측면에서 임시전력설비에서의 휴먼에러에 의한 많은 사고는 열악한 건설현장 환경의 특수성 때문이라고 취부하기에는 그 피해가 심각하기 때문에 지속적이고 체계적인 관리가 필요하다<sup>2,4)</sup>.

본 연구에서는 임시전력설비의 설비운용상의 신뢰성을 개선하기 위해서 휴먼에러로 인해 발생하는 사고나 재해를 분석하고자 한다. 특히 현장 작업자들이 임시 배선을 가설할 때 노출된 충전부 접촉으로 발생하는 감전재해의 휴먼에러율을 인간신뢰성분석 중 가장 널리 사용하고 있는 THERP(Technique for Human Error Rate Prediction)를 이용하여 위험한 작업요소를 분석하고자 한다. 그리고 ETA(Event Tree Analysis)를 이용하여 감전재해에 대하여 분석을 하고자 한다.

## 2. 인간신뢰성 분석기법

건설현장의 전력설비를 평가하는 많은 신뢰성 평가 기법이 있지만 본 연구에서는 휴먼에러가 시스템에 미치는 영향을 정량적으로, 특히 확률적으로 평가하기 위하여 신뢰성공학의 기법을 이용한 인간신뢰성분석(Human Reliability Analysis) 평가기법을 도입하였다. 인간신뢰성 분석은 휴먼에러가 부품이나 시스템에 미치는 영향을 평가하기 위해 많은 분야에서 사용되고 있다. 휴먼에러는 인간이 명시되어 있는 정확도, 순서 혹은 시간 한계 내에서 지정된 행위를 하지 못하거나 혹은 금지된 행위를 하는 것으로 그 결과 재해발생, 장비나 재산의 파손 또는 예정된 작업의 중단을 초래할 수 있다. 휴먼에러는 인간의 신뢰성 문제로서 취급되고 있으나, 인간-기계체계 전체의 신뢰성에 관계가 있기 때문에 이를 어떠한 방법으로 대처할 것인가에 중요한 의미를 가지고 있다<sup>4)</sup>. 휴먼에러는 Omission Error, Commission Error, Sequential Error, Extran-

eous Act, Time Error로 분류되어 적용되고 있다.

인간신뢰성분석 방법에는 여러 가지 기법이 있지만, 대체로 Fig. 1과 같은 순서에 의해 분석작업이 이루어지는 것이 일반적이다. 처음에는 작업자의 직무분석(Task analysis)으로부터 접근하여 분석하고자 하는 작업을 직무나 작업요소들의 연속으로 이해하고, 전체적인 작업수행의 성공, 실패에 영향을 미치는 작업요소의 특성을 파악하는 휴먼에러 규명(Human error identification)을 거친 후, 마지막으로 작업을 성공적으로 수행할 수 있는 확률을 계산하는 인간 신뢰성 정량화(Human reliability quantification)라는 부분으로 구성된다<sup>5)</sup>.

인간이 어떤 하나의 작업을 수행해 나갈 때 실제로 직무들간에는 서로 관련된 작업이 많다. 이러한 작업은 선행작업의 성공·실패여부에 따라 크게 달라질 수 있다. 본 연구에서는 위험한 직무의 휴먼에러의 작업의존도 평가방법을 Swain과 Guttman에 의해 제시한 종속성 모형(Dependence Model)으로 선정하였다.

단위작업간의 의존도를 평가하여 선행작업과의 의존도에 따라 후행작업의 성공확률을 다르게 추정해가는 방법이다. 이 모형은 특정업무를 수행하기 위한 일련의 작업수행에 있어서 각 작업의 성공확률과 실패확률을 수학적으로 모형화하여 작업 전체의 성공적 수행확률을 계산한다.

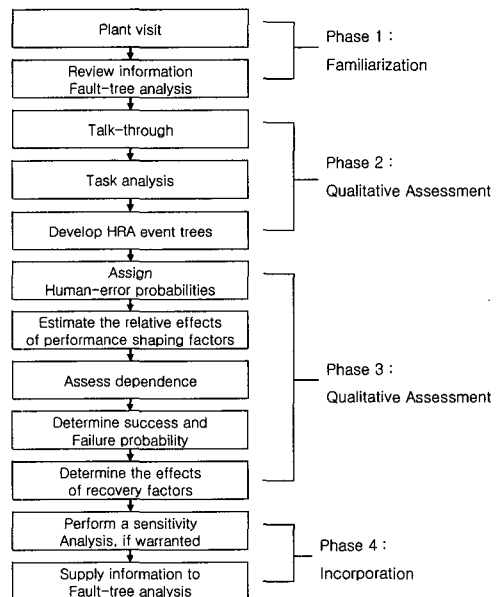


Fig. 1. Human reliability analysis procedure

Table 1. Dependence model classification and conditional probability

| Dependence              | Pr(success  success)            | Pr(failure  failure)            |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ZD(Zero Dependence)     | BHSP                            | BHFP                            |
| LD(Low Dependence)      | $\frac{1 + 19 \times BHSP}{20}$ | $\frac{1 + 19 \times BHFP}{20}$ |
| MD(Moderate Dependence) | $\frac{1 + 6 \times BHSP}{7}$   | $\frac{1 + 6 \times BHFP}{7}$   |
| HD(High Dependence)     | $\frac{1 + BHSP}{2}$            | $\frac{1 + BHFP}{2}$            |
| CD(Complete Dependence) | 1                               | 1                               |

두 작업요소간 의존관계는 Table 1의 의존도 모형에서와 같이 선행작업과 후행작업이라는 두 작업간의 의존관계를 5단계로 구분한다. 이것은 인간이 수행하는 작업요소간의 종속도를 근거로 후행작업 수행의 성공확률과 실패확률을 수학적으로 추정한다. BHSP는 Basic Human Success Probability, BHFP는 Basic Human Failure Probability를 나타내고 있다<sup>6,7)</sup>.

총래의 ETA의 장점을 더욱 개발하고 FTA(Fault Tree Analysis)의 유용성을 극대화하여 시스템 내에서의 휴먼에러율을 정량적으로 평가하기 위해서는 1963년에 개발한 휴먼에러율 예측기법(Technique for Human Error Rate Prediction ; THERP)을 사용하는데 이것은 휴먼에러에 대한 정량적 분석 및 평가기법의 주류를 이루게 되었다.

따라서 임시전력설비의 인간신뢰성분석을 하기 위해 현재 가장 기본적이면서 널리 활용되는 기법인 THERP를 이용하였다. 이 분석은 ETA에서 이용되는 나무모양과 비슷하며, 각각의 절점(node)에서 분지되는 왼쪽 가지가 성공적 작업수행을 오른쪽 가지가 실패를 나타내고 있다. 또한 오른쪽 가지로 진입된 작업진행이라 할지라도 작업진행 중의 자기점검이나 반성에 의해 다시 왼쪽으로 회귀할 수 있다는 현실성이 반영되고 있다는 점이다. THERP는 복잡하고 연쇄적인 직무를 분석하는데 효과적이다<sup>8)</sup>.

### 3. 전력설비의 인간신뢰성 분석

본 연구에서 분석대상으로 선택한 건설현장의 임시전력설비를 Fig. 2에서 보여주고 있다. 대상 시스템을 구성하고 있는 주요 부품기기에 대한 사양은 ASS(25.8 kV 3P 200A), MOF(13.2kV/110V, 30/5A), PF(24 kV 200A), Transformer(P 3φ4W

22.9kV, 380/220V, C 3φ 400kVA), MC CB(4P, 3P 다수) 등이다. 건설현장에서 사용되고 있는 주요 장치는 단로기(Dis connecting Switch; DS), 피뢰기(Lightning Arrester ; LA), 차단기(Circuit Breaker ; CB), 콘덴서(Condenser), 전력 퓨즈(Power Fuse ; PF), 계기용 변압 변류기(Metering Out-Fit ; MOF)와 적산 전력량계(Wh), 계기류 등이 있다.

건설현장의 전력설비를 사용하는 작업자에 의해 발생하는 휴먼에러를 분석하기 위해서는 우선 설비에서 발생하는 사고사례들을 수집 분석하여 사고유형을 파악하고, 사고유형에 따른 휴먼에러를 파악하고 이들의 원인을 분석하는 것이 필요하다. 설비에서 발생하는 감전사고 및 아차사고중 특히 빈도가 높은 사고는 정기점검 중 절연저항 측정시, 기기의 개·보수시, 스위치 개폐 조작시, 퓨즈 교체시, 임시배선 가설시 등 발생하는 사고이며 이외에도 여러 가지 형태의 사고가 발생되고 있었다.

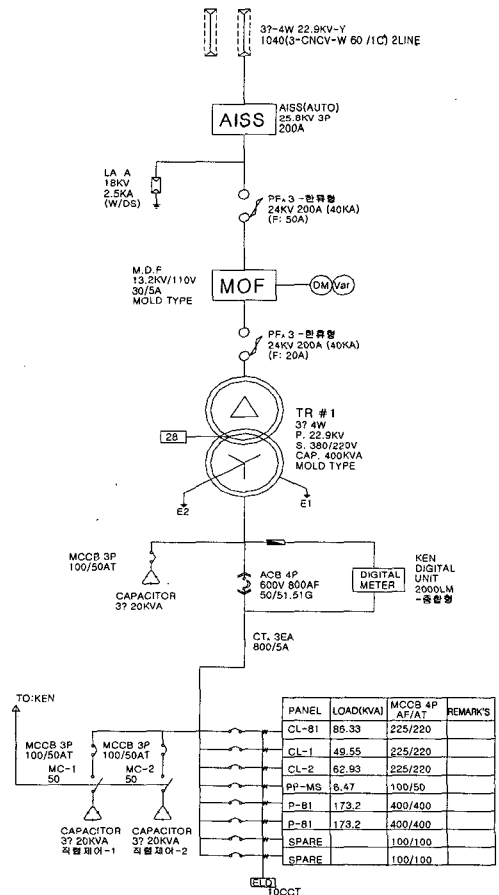


Fig. 2. Skeleton diagram

임시전력설비에서 다양하게 발생하는 사고 중에서 본 연구에서는 임시배선의 가설작업시에 발생하는 사고에서 나타날 수 있는 휴먼에러에 대한 인간신뢰성 분석을 수행한다. 임시전력설비에서 임시배선을 가설하는 작업의 경우에 짧은 공사기간과 현장의 다양한 업무, 그리고 공기단축을 위한 무리한 작업수행등이 많은 공사현장의 특성으로 인해 안전수칙을 이행하지 않고 진행되는 경우가 일반적이다. 공사현장의 전력설비는 수변전설비의 배전반에서 분기하여 작업장에 근접한 장소에 설치된 분전반으로 이어지는 것이 일반적이다. 분전반에 분기회로 만들고 이를 통하여 임시배선을 가설하는 작업의 경우에 직무별로 분류하면 단순하지 않은 여러 단계의 직무로 구성되어 임시배선 가설작업이라는 하나의 작업을 수행하게 된다. 즉 여러 단계의 직무들로 구성되어 휴먼에러가 나타날 가능성이 높음에도 불구하고 대체적으로 현장에서는 이러한 사실들을 인지하지 못한 채 무시된다. 이에 따라 작업 절차에 대한 안이한 생각으로 사고의 가능성이나 작업자의 안전에 대한 대책을 확보하지 않고 작업을 시작하고 종료하는 실정이다.

건설현장의 고유한 속성으로 인해 발생하는 재해 중 가장 치명적인 재해가 전격재해임을 고려하여 불 때 이에 대한 인간신뢰성 분석이 필요하며 전격재해의 위험성이 비교적 높은 임시배선의 가설작업을 선정하여 인간신뢰성을 평가하였다.

### 3.1. 직무분석

건설현장의 임시배선 가설작업 중 발생하는 감전사고에 대한 인간신뢰성을 분석하기 위해서는 먼저 가설작업의 직무분석을 수행하여야 한다. 가설작업이 안전하게 이루어지기 위해 필요한 일반적인 직무의 절차를 Fig. 3에 제시하였다. 각 직무에 대한 성공과 실패확률 데이터는 Table 2에 제시하였다. 가설작업이 안전하게 이루어지기 위해서는 당해 작업선로 및 작업자의 행동반경 내에 정전이 확보되는 것이 필요하다. 이러한 정전이 확보되어 정전작업을 안전하게 할 수 있는 경우를 상정한다. 즉, 각 직무에 관련된 확률을 적용하고 휴먼에러를 고려한 경우에 정전작업이 성공적으로 수행될 확률을 구한다.

각 직무에 대한 입력자료는 휴먼에러율에 대한 데이터가 전무한 상태여서 Swain과 Guttman의 보고서<sup>6)</sup> 인용된 인간신뢰성 자료표를 이용하여 가장

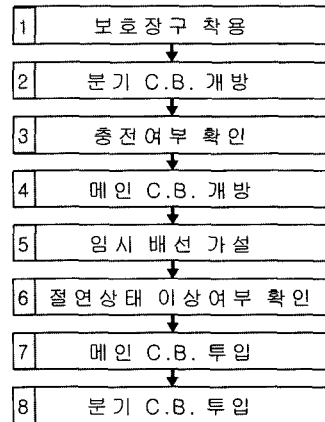


Fig. 3. Task flow for the installations of temporary power cables

Table 2. Human Error Probability of each tasks

| Task         | HEP    |
|--------------|--------|
| 보호장구 착용      | 0.003  |
| 분기 C.B. 개방   | 0.0005 |
| 충전여부 확인      | 0.001  |
| 메인 C.B. 개방   | 0.0005 |
| 임시배선 가설      | 0.001  |
| 절연상태 이상여부 확인 | 0.05   |
| 메인 C.B. 투입   | 0.0005 |
| 분기 C.B. 투입   | 0.0005 |

유사한 직무에 대한 확률값을 이용하였다. 자료표에서 각각 세분화된 직무의 실패확률(불신뢰도)은 대수 정규분포를 따른다고 가정하고 있다. 이러한 자료는 원자력발전소의 휴먼에러를 규명하면서 축적한 것으로 전력설비에서의 휴먼에러의 경우와는 다소 차이가 있다는 사실을 배제할 수 없다. 그러나 다양한 분야의 많은 문헌이나 논문 등에서 관련 분야의 휴먼에러확률의 데이터 적용이 어려운 경우에 이 자료를 기준으로 사용하여 합리적 결과를 얻고 있다.

건설현장에서 임시 배선의 가설작업에서 각 직무순서에 따른 종속성은 건설현장에서 전기안전 관련업무를 담당하고 있는 안전관리자의 전문적 지식을 이용하였으며 이를 통해 작업요소간의 상호 연관관계를 파악하였다. 각 직무에서 작업을 성공적으로 수행할 때 전체작업의 성공 확률은 각 직무간의 종속성을 고려하여 Table 1의 식에 의해 계산하였으며, 이를 기초로 하여 최종적으로 식 (1)에 의해 직무의 성공확률 R(t)를 계산하였다.

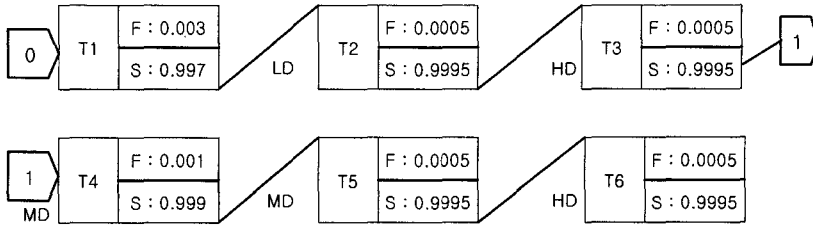


Fig. 4. DeBDA for the cable installation task (without confirmation)

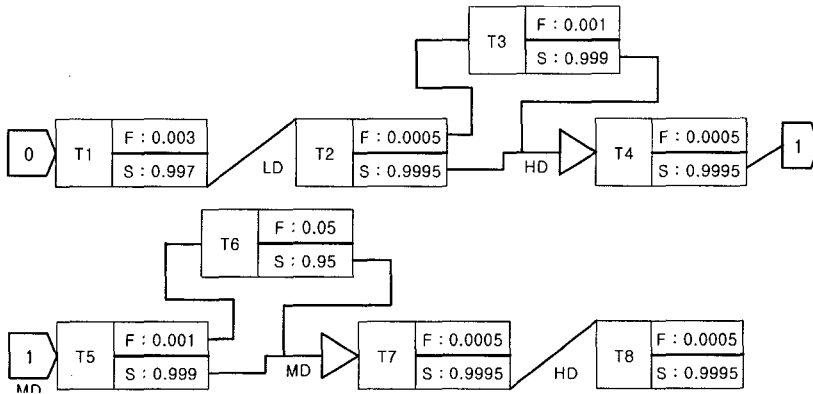


Fig. 5. DeBDA for the cable installation task (with confirmation)

$$R(t) = \prod_{i=0}^n R_i(t) \quad (1)$$

위해서는 작업자의 교육이나 훈련, 상호연락 체계의 명확화 등이 이루어져야 한다.

여기서,  $i$ 는 각 직무순번을 나타내며,  $R_i(t)$ 는  $i$ 번째 직무의 성공확률을 나타낸다. 작업의 성공적 수행확률은 각 직무의 개별적 성공확률을 축차적으로 곱하여 얻을 수 있는데 이 과정에서 직무에서의 종속성이 영향을 미치게 된다. 이러한 과정을 거쳐서 임시배선 가설작업시의 DeBDA(Detailed Block Diagram Analysis)를 이용하여 구성된 종속성 모형(9)을 Fig. 4 및 Fig. 5에서 보여주고 있다. Fig. 5는 직무들 사이에 선행직무를 확인하는 직무 T3, T7을 삽입한 경우의 종속성 모형을 보여주고 있다. 여기서, F는 사상의 실패이고, S는 사상의 성공이며, 첨자는 절차상의 직무번호를 나타낸다.

기본 휴먼에러 확률값을 근거로 하여 이동용 임시배선 가설작업의 성공 및 실패확률을 계산한 결과, 확인작업이 없는 경우 성공확률은 0.9947이고, 확인작업이 있는 경우의 성공확률은 0.9975이다. 직무수행의 과정에 확인작업으로 인해 성공확률이 더 높게 평가되었다. 이는 확인작업의 유무가 직무작업의 성공여부에 큰 영향을 줄 수 있다는 것을 나타내고 있다. 따라서 작업자의 안전을 확보하기

### 3.2. ETA 분석

임시배선의 가설작업 중 발생할 수 있는 치명적인 재해형태인 감전이라는 사상에 대한 휴먼에러 확률을 구하기 위해 ETA기법을 도입하였다. 직무 중 감전재해를 일으킬 수 있는 중요한 직무들을 이용하여 ETA 분석에 이용하였는데 직무에 대한 각 사상의 발생에 있어서 직전의 사상 발생여부가 직후의 사상 발생여부에 영향을 줄 수 있다고 가정하였다. 감전이 발생할 수 있는 상황에 대한 ETA를 Fig. 6에서 보여주고 있다.

감전 사상을 일으키는 일련의 작업은 보호구를 착용하지 않고, 분기 CB를 개방하지 않고, 충전여부를 확인하지 않는 경우에 감전재해가 발생하고 있다. 이 경우에 휴먼에러를

포함한 일련의 사상들이 연속적으로 발생하여 감전사고로 이어지며, 휴먼에러 확률은 Table 3과 같다.

감전사고의 발생에 다소 영향을 줄 수 있는 일련의 직무들을 분석하기 위해 THERP의 기본 이론에 따라 각 직무에서 발생 가능한 휴먼에러 확률을 이

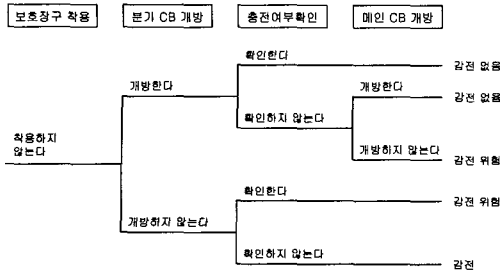


Fig. 6. ETA of Electric shock

Table 3. Probability causing Electric shock at the installations of temporary power cables

| Event             |                | Probability            |
|-------------------|----------------|------------------------|
| $P_{\text{감전}}$   | $F_1F_2F_3$    | $0.1 \times 10^{-8}$   |
| $P_{\text{감전위험}}$ | $F_1F_2S_3$    | $0.142 \times 10^{-6}$ |
|                   | $F_1S_2F_3F_4$ | $0.75 \times 10^{-9}$  |

용하였으며, 각 직무의 실패 여부가 다음 직무의 실패에 영향을 미치지 때문에 종속성 모델을 이용하였다. 이것은 각 사상이 독립이라는 가정을 했을 경우 지나치게 단순화된 작업분석이 되어 현실적인 상황을 도외시한 결론이 도출될 수 있는 가능성을 배제하기 위해 도입한 개념이다.

#### 4. 결론

본 논문은 건설현장 임시전력설비에서 다양한 작업직무에 노출되어 있는 작업자의 인간신뢰성을 평가하기 위한 것이다. 특히 임시배선의 가설작업 중 발생할 수 있는 작업자의 휴먼에러를 분석하고자 하였으며 이를 위해 인간신뢰성 해석기법인 THERP 기법을 적용하였으며, 감전재해에 대한 휴먼에러확률을 구하기 위해 ETA를 도입하였다.

1) 임시배선의 가설작업에서 휴먼에러 분석을 위한 작업절차상의 직무분석시 직무와 직무사이에 “확인” 작업절차가 도입되는 경우의 직무 성공확률

휴먼은 0.9975이고, 확인직무가 없는 경우는 0.9947로 평가되었다. 직무사이에 작업자간의 확인을 적절한 수단의 도입이 필요함을 정량적으로 평가하였다.

2) 임시배선의 가설작업시 휴먼에러에 의한 감전 확률은  $1.0 \times 10^{-9}$ 이고, 감전 위험이 있는 확률은  $1.42 \times 10^{-6}$ 과  $0.75 \times 10^{-9}$ 로 계산되었다. 특히 “충전여부확인” 직무가 감전위험에 크게 작용을 하는 것으로 평가되어 각별한 주의가 필요한 것으로 평가되었다.

감사의 글 : 이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

#### 참고문헌

- 1) 행정자치부, 화재통계연보, 2000.
- 2) 한국산업안전공단, 건설현장의 전기안전, 2001.
- 3) 大浜庄司 著, 박한중 譯, 전기관리기술자실무입문, 성안당, 1997.
- 4) 井上紘一, 幸田武久, ヒューマン・エラー 解析とリスク評価, 電氣評論, 1992.
- 5) Meister, D., Human Factors-Theory and Practices, John Wiley & Sons, 1971.
- 6) Swain, A.D., Guttman, H.E., “Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications”, NUREG/CR-1278, US Nuclear Regulatory Commission, 1983.
- 7) Swain, A.D., “Comparative Evaluation of Methods for Human Reliability Analysis”, Gesellschaft für Reaktorsicherheit, 1989.
- 8) 한국표준협회, “제품안전을 위한 리스크 평가기법 및 소프트웨어 활용지침”, 2001.
- 9) 行特武生, プラント異常時における過誤率 modifier の試算, 人間工学, Vol. 23, No. 1, pp. 15~23, 1987.