

인간신뢰도 분석 Program의 개발

이광원* 성대현*

*호서대학교 산업안전공학과

제 1 장 서론

1.1 인간 신뢰도 분석 필요성

자동화를 향한 요즘의 추세(즉, 인간-기계 체계 : man-machine system)에서 인간의 기여는 기계의 운전과 보전 쪽으로 좀 더 기울어지고 있으며 자동화로 인해서 기계의 신뢰도는 갈수록 높아지고 있으나 상대적으로 인간의 신뢰도는 낮아지고 있다. 모든 인간-기계 체계에서 인간이 수행해야 하는 기능들은 존재하기 마련이고, 그렇기 때문에 인간이 작업을 수행함에 있어서 범할 수 있는 실수가 공정(process)뿐만 아니라 작업자 자신에게도 막대한 피해를 줄 수 있다. 실질적으로 모든 사고는 인간의 실수에 의해 일어난다고 해도 과언은 아닐 것이다.

1.2 인간 신뢰도 분석 기법들

인간의 실수는 공정에 미치는 영향이 크기 때문에 인간의 실수에 대한 관심이 높아졌고 인간의 실수를 분석하는 기법 또한 많아지게 되었다. 인간의 실수를 분석하는 기법들에는 인간-기계에서 여러 가지의 인간 실수와 그것에 의해서 발생할 수 있는 위험성의 예측과 개선을 위한 인간 실수율 예측 기법(Technique for Human Error Rate Prediction : THERP), 오류확률에 영향을 주는 수행성 영향 인자들을 산술적으로 등급 지워지고, 이 등급을 성공가능성지수라 불리는 지수가 주어지는 업무와 조합하는 성공가능성지수방법(The Success Likelihood Index Method : SLIM), 확률에 영향을 주는 조직적인 기타 영향들의 복잡한 network의 함수로서 인적 오류확률을 평가하는 영향 Diagram 접근법(The Influence Diagram Approach : IDA)등 여러 가지가 있다. 기법중 가장 널리 사용되고 있는 기법은 인간 실수율 예측 기법(Technique for Human Error Rate Prediction : THERP)으로서 이것을 평가하기 위해서는 이원적 나무 구조인 HRA tree를 사용하며, 여기에 인간의 행동을 일반화시키기 위해 'step'으로 나누어 세분화시킨 Swain Handbook(NUREG CR-1278)을 적용하여 정량화 시킬 수 있다. 본 논문은 HRA tree를 정량화하기 위한 Program을 작성하여 복잡한 인간 실수 확률(Human Error Probability : HEP)의 계산을 Computer에 의존하여 보다 정확하고 신속하게 계산하는데 목적을 두었으며 그 전제로 HRA의 분석과 HRA tree를 만드는 법 등을 기술하였다.

제 2 장 HRA의 절차

2.1 안전과 관련된 인간 행동의 분류

인간 행동은 여러 가지로 분류되어질 수 있다. 확률적 안전 분석에 있어 첫 번째 구별은

- i) 사고를 유발하는 행동과
- ii) 사고에 의한 행동으로 나눌 수 있을 것이다.

첫째 유형은 공정의 정상 상태 동안 나타날 수 있는 인간 실수를 포함한다. 이런 유형의 행동은 확률적 안전 분석에 있어서 하드웨어적 고장 같은 것에 비하여 상세히 고려되지는 못한다. 이런 실수들은 보통 기기 성분의 고장 확률만을 고려하는 것으로도 충분하다고 가정한다.

행동의 두 번째 유형은 사고후 plant를 안전 상태로 보내기 위해 요구되어지는 행동 유형이다. 이런 행동은 공정의 운영 절차 list나 공정 요원의 교육 등에 의하여 공정 작업자들에게 잘 알려졌다고 가정하므로 사고의 형태가 정확히 진단되어진다고 할 때 필요한 적절한 행동이 공정 작업자들에 의해 시도될 것이라고 가정한다.

또다른 분류는 인간 능력이 요구되어지는 형태의 구별이다. 이때 행동은 기술적 기반, 규정(rule)적 기반, 지식적 기반을 포함할 것이다.

기술은 집중적으로 되풀이되는 훈련에 의해 성취될 수 있다. 행동 전체 또는 일부분이 실제로 완벽히 교육되어지지 않는다면 정해진 규정을 기반으로 행동해야 한다. 이때 규정은 즉각적으로 요구되어지는 rule의 집합이다. 공정의 기초가 되는 물리학적, 화학적 공정의 지식이 일어난 사고 유형을 진단하는데 필요하다. 지식 기반에 대한 관점은 더 나아가서

- i) perception(지각, 일어날 수 있는 청각, 시각적인 경보를 감지하는 것)
 - ii) diagnosis(진단, 경보의 유형에 의해 실제 무엇이 일어났는지를 알아내는 것)
- 으로 분류된다.

물론 어떤 하나의 인간 행동 전부를 분류할 때 아마 이들 세 가지 주요 관점보다 더 많은 관점을 가질 것이다. 그중 Swain핸드북은 하나의 관점으로 구별시키는 방법으로 임무를 세분시키는 방법이 적혀 있다.

2.2 기본 개념

어떤 하나의 인간 행동은 step(단계)이라 불리는 기본 행동의 연속으로 볼 수 있다. 이들 단계들은 마치 공정의 작업 지침서에 나와 있는 '밸브 잠그기, 계기판 읽기, 스위치 내리기' 같은 것이다.

부가적으로 어떤 단계들은 '리스트에 적혀 있는 하여야 하는 일'에서 정확하게 시행하기 위하여 어떤 상황인가를 결정하여야 하며, 이는 그런 step에서 결정된 것을 반영하여야 하는 경우가 있다. 대부분의 경우 이들 단계들은 사고에 의하여 필요한 인간 행동에 초점이 맞춰졌을 경우 경보에 대한 반응(지각) 과 임무 분석이 된다. 드문 경우 어떤 사고에 의하여 인간의 행동이 필요한 곳에서 이들의 초기 단계는 작동 여부에 관계없이 공정 관리상 과정으로 표현된다.

만약에 하나의 완전한 인간 행동을 구성하는 모든 단계가 성공적으로 실시된다면 행동 전체는 성공일 것이다. 그러나 하나 또는 그이상의 단계들이 정확히 수

행되지 않는다 해도 이것이 반드시 행동의 실패를 의미하지는 않는다. 작업자를 중복 배치한다면 recovery의 가능성이 존재하며, system의 반응에 의해 야기되는 실수들도 정확히 자각하고 진단한다면 그 실수는 교정될 수 있다. 따라서 각 단계에서 성공 혹은 실패시에 무엇이 일어나는지 반드시 분석해야 될 것이다.

이런 이유로 HRA tree라 불리는 이원적 나무 구조의 형태가 나타난다. 각 단계는 두개의 '가지'를 갖는 HRA tree의 절점이다. 왼쪽 가지는 그 step이 정확히 수행될 경우 만들어지는 subtree들의 top이 되며 오른쪽은 수행이 틀렸거나 수행되지 않았을 경우이다. 이 tree들은 각 단계들이 명확할 때까지 계속 전개되어지며 마지막에 행동 전체의 성공(S)/실패(F)로 끝난다.

나무가 구성되면 우선 각 절점에 확률값을 할당한다. 이 값은 인간 실수 확률(human error probability)이라 하고 약자로 HEP라 한다. HEP값은 NUREG CR-1278의 확률 데이터나 더 나은 데이터를 이용해 결정된다.

다음으로 단계들 사이의 종속성(dependency)이 조사되어야 한다. 이는 대부분의 경우 HRA tree의 단계들이 독립적이지 못할 뿐 아니라, 어떤 때는 공통적 요소를 가지므로 연구되어야 한다. 어떤 사람이 여러 단계를 수행했든(이 경우 사람이 공통 요소이다), 아니면 중복 배치의 경우 사람들은 같은 환경 상태에 영향받는다. 이런 종속관계들은 5종류로 평가되어지고 분류된다. 이에 따라 분석 임무는 완성되고 HRA tree의 평가는 행동 실패확률을 계산하므로써 완성되어진다. 간단한 경우 수작업으로 확률을 계산 할 수 있으나 현대와 같이 복잡한 공정에서의 실수 확률은 통상 컴퓨터 프로그램에 의존하여야 한다.

2.3 HRA tree 구성

HRA tree를 작성하는데는 FT도의 작성같이 공정의 깊은 이해와 기초가 되는 기술적 지식이 필요하며 분석가는 공학적 문서, 공정manual 및 작업자와 면담등으로 지식을 수집한다.

2.4 HRA tree의 정량화 단계

평가의 준비를 위하여 HRA tree의 각 단계 하나 하나에 고장확률값 HEP를 준다. 이들 값은 NUREG CR-1278에서 수집된 데이터에 기초를 둔다.

2.4.1 진단 단계의 정량화

보통 진단 단계는 시간-상관관계에 의해 정량화 된다. 이는 시간을 많이 줄수록 지각하고 진단하는데 실수할 확률이 적어지기 때문이다.

이런 기본HEP는 stress와 교육의 영향에 의해 수정된다.

2.4.2 Rule based steps의 정량화

Rule based step은 예를 들어 '스위치들을 누르는 단계'들이다. 이들 단계는 생략적 과오와 수행적 과오의 두 가지 관점을 갖는다. 이 두관점의 확률은 각각 결정되고 그리고 합하여진다.

생략적 과오는 임무에 관해 쓰여진 절차가 있는지에 의해 영향받는다. 만약 그런 절차가 있다면 절차의 항목의 갯수에 의해 HEP값을 얻을 수 있다. 절차서가 주었을 때의 확률값과 주어지지 않을 경우의 확률값은 차이 되어진다. 예를 들어 절차서가 주었을 때 사용치 않을 확률은 $HEP=0.005$ 이고 이때 인간 실수 확률은 0.05이다. 그러나 주어진 절차서를 사용한 확률 $HEP=(1-0.005)$ 이고 이때 인간 실수 확률은 0.003 이다. 결국 생략적 과오에 대한 정량 계산은

$$HEP = (1-0.005) \times 0.003 + 0.005 \times 0.05 = 3.235e-03$$

이 된다. 이 값은 stress와 같은 수행 요소에 의해 다시 수정된다.

수행적 과오는 제어실의 장치배치와 장치종류에 의해 영향을 받는다. 제어실에 있는 공정흐름도에 존재하는 간단한 스위치의 경우는 $HEP=0.0005$ 라고 평가하고 결과는 다시 스트레스 등의 수행 형태 요소에 의해 수정된다.

2.4.3 경보 반응의 정량화

경보 반응의 정량화는 얼마나 많은 경보가 제어실에 설치되고 정확한 동작을 하기 위하여 어떤 것이 받아들여져야 하는가에 의해 구해진다.

2.5 종속 모델

어떤 HRA tree의 각각의 단계에서 실패와 성공은 독립적 사건으로 취급할 수 없다. 그래서 HEP평가는 다르게 판정하여야 하고 HEP는 조건적 HEP (CHEP)로 먼저 바꾸어야 한다.

종속관계의 평가에 있어 따라오는 종속물의 분류는 다음과 같이 정의된다.

- ◎ zd -비종속(독립적)
- ◎ ld -약간 종속
- ◎ md -중간 종속
- ◎ hd -높은 종속
- ◎ cd -완전한 종속

이 5가지 종속정도중 어떤 것을 적용하는가는 주로 주관적 관점에 의해 결정된다.

어떤 한 단계와 그의 왼쪽 성공 가지(공정적 종속)에 대한 종속과 어떤 한 단계와 그의 오른쪽 실패 가지(부정적 종속)에 대한 종속 사이에는 근본적인 차이가 있다. 긍정적 종속은 작은 결과를 야기시키는 반면 부정적 종속은 큰 결과를 야기시킨다. 이런 가정에 의하여 긍정적 종속은 보통 zd로 평가한다.

부정적 종속은 만약 두단계가 완전히 다르다고 생각될 때나(즉 진단과 규칙에 의거한 step사이의 관계) 다른 시간이나 장소, 사람들이 임무를 수행할 때에만 zd로 평가한다.

다음은 종속도의 몇 가지 단계들이 어떻게 HEP에서 CHEP로 바뀌는지 보여준다.

p는 HEP를 나타내고 P는 CHEP를 나타낸다.

$$z d \quad P = p \quad (1)$$

$$l d \quad P = (1 + 19 p) / 20 \quad (2)$$

$$m d \quad P = (1 + 6 p) / 7 \quad (3)$$

$$h d \quad P = (1 + p) / 2 \quad (4)$$

$$c d \quad P = 1 \quad (5)$$

주어진 이런 식은 (확률론에서 수정될 수 없으므로) 일정한 결과를 만들어 낸다. 긍정적인 종속은 $p = 1 - HEP$, $P = 1 - CHEP$ 라고 쓸 수 있다.

2.6 HRA tree의 평가

HRA 평가의 목적은 HRA tree에 의해 모델화된 행동 전체의 실패 확률을 결정하는 것이다.

2.6.1 독립적 단계의 평가 이론

종속성이 없는 두개의 가지인 성공 가지 L과 실패 가지 R이 있는 단계A를 예로 들어보자. 대문자 A, L, R은 A, L, R step의 실수 사건을 나타낸다. 이에 반해 a, l, r은 A, L, R실수에서 시작한 서브 트리인 전체 사건들을 나타낸다.

A와A를 배반 사건으로 표시하면

$$a = \bar{A} \cap l \cup A \cap r \quad (6)$$

$$pr\{a\} = pr\{\bar{A}\} pr\{l | \bar{A}\} + pr\{A\} pr\{r | A\} \quad (7)$$

독립적이라 가정하면

$$pr\{l | \bar{A}\} = pr\{l\} \quad (8)$$

$$pr\{r | A\} = pr\{r\} \quad (9)$$

$$pr\{a\} = pr\{\bar{A}\} pr\{l\} + pr\{A\} pr\{r\} \quad (10)$$

만약 성공 가지(successor)가 마지막 절점 s와 f이면

$$pr\{ "s" \} = 0 \quad (11)$$

$$pr\{ "f" \} = 1 \quad (12)$$

식 10~12와 함께 tree는 각각의 step들이 밑에서부터 평가된다. 즉 계산 방법은 tree상에서 아직 계산되지 않은 step중에서 모든 성공 가지가 모두 마지막 절점이거나 이미 계산되어진 것을 찾아 계산하는 것으로 이 알고리즘은 톱단계가 계산됨으로서 끝난다.

2.6.2 종속적 단계의 평가 이론

단계들이 독립적이 아니면 이것은 종속적 모델로 계산한다. 이것은 한 단계와 그 앞단계사이의 종속관계를 계산하는 것이다. 이것을 계산하면 어떤 단계A의 전 단계를 V로 표시하고 A, L, R은 2.6.1절에서 정의한 것이라할 때 식(9)은 여전히 사용되어지지만 단계A의 실패 확률은 V의 성공이나 실패냐에 의존된다. 만약 A가 V의 성공 가지라면 $pr\{ a | \bar{V} \}$ 로 결정하여야 되고, A가 V의 실패 가지라면 $pr\{ a | V \}$ 로 결정해야 한다. 이들을 식으로 표현하면

$$pr\{a | V\} = pr\{\bar{A} | V\} pr\{l | \bar{A}, V\} + pr\{A | V\} pr\{r | A, V\} \quad (13)$$

$$pr\{a | \bar{V}\} = pr\{\bar{A} | \bar{V}\} pr\{l | \bar{A}, \bar{V}\} + pr\{A | \bar{V}\} pr\{r | A, \bar{V}\} \quad (14)$$

이때 종속성들은 단지 그 단계와 바로 전에 있는 단계 사이에서 고려된다. 그러므로 l과r은 V에 종속되지 않으며 마지막 절점의 조건과 식 (11), (12) 그리고

식(13), (14)에 의해 간단한 치환후 결과는

$$\text{pr}\{a | V\} = (1 - \text{pr}\{A | V\})\text{pr}\{I | \bar{A}\} + \text{pr}\{A | V\}\text{pr}\{r | A\} \quad (15)$$

$$\text{pr}\{a | \bar{V}\} = \text{pr}\{\bar{A} | \bar{V}\} \text{pr}\{I | \bar{A}\} + (1 - \text{pr}\{\bar{A} | \bar{V}\}) \text{pr}\{r | A\} \quad (16)$$

과 같이 된다.

HRA tree의 모든 sub tree에 대한 계산은 바닥으로부터 시작할 수 있다.

만약 단계 A의 HEP값을 알고 A의 전 단계의 값을 알거나 마지막 절점이어서 (11), (12)식에 의거 계산될 수 있다면 A의 모든 전 단계 V에 해당하는 확률값 $\text{pr}\{A | V\}$ 나 $\text{pr}\{\bar{A} | \bar{V}\}$ 을 (1)~(5)식과 A와 V의 관계에 의해 결정되는 종속 정도에 의하여 찾을 수 있다. 그리고 식(15)와 (16)은 a 밑에 있는 모든 subtree의 조건 확률을 결정하는데 사용되어진다.

2.6.3 예

HRA tree의 구성과 분석에 대해 간단한 예를 들겠다. 어떠한 공정에서 수집된 정보는 다음과 같다.

- 제어실의 작업팀은 2명이다. (A)
- 작업자가 행동의 필요성을 진단하는데(사고의 시작으로 부터) 30분이 주어진다. (B)
- 정확히 진단하였다면 필요한 행동은 제어실안의 두 전기 스위치를 누르는 행동이다. (C)
- 이 두단계는 작업자들이 사용한다고 여겨지는 운전 지침서에 하나의 list로 주어졌다 (D)
- 제어실의 배치는 현대적이다. 즉 제어실에는 공정 흐름 그림이 있으며 그림에는 영향받는 곳에 표시기가 설치되어 있다. (E)
- 두 작업자의 임무는 plant를 안전 상태로 보내는 것이다; 만약 첫 번째 작업자가 이런 작업에 실패하면 두 번째 작업자가 이것을 수정하여 plant를 안전 상태로 보낼 것이라고 기대한다. (F)
- 작업자는 공장 체계상 동등한 입장이다. 즉 그 공장의 조직에서 같은 직급이며 보스는 없다. (G)
- 사건은 작업자의 생명에 아무 위험도 없다고 추측되었고 내려지는 두 스위치에는 과도한 임무 부하가 걸리지 않는다; 즉 stress수준은 적정하다. (H)
- 작업자의 교육 수준은 보통이다. 그들은 교육받았고 경험이 있다. (I)
- 그들 모두 스위치1을 누르는데 실패한다면 이를 지적하는 경보가 울릴 것이다. 현장엔 여러 사고에 대하여 작동하는 5개의 알람이 있다. 본상황에서 그들이 단지 3번째 알람을 감지한다면 요구되어지는 행동은 명백하다. ; 즉 스위치1을 눌러야 된다는 것에는 추가적인 진단 행동이 필요치 않다. (J)
- 스위치2에는 위와 같은 recovery장치가 없으므로 두 작업자 모두가 누르는데 실패한다면 행동은 실패하는 것이다. (K)

이와 같이 수집된 정보로부터 나온 결과인 HRA tree는 Fig.1에 주어졌다.

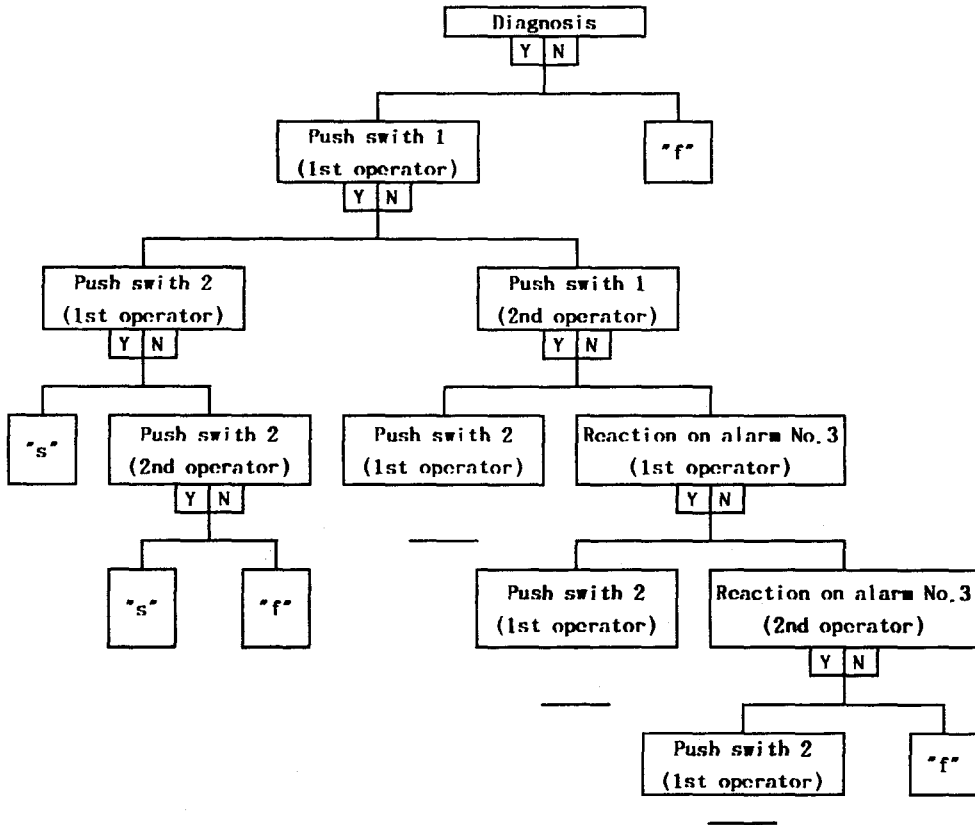


Fig.1 HRA tree

HRA tree의 첫째 단계는 진단 단계이다. 보통 현장에서 가정하듯 사건 발생 시 작시 발생하는 경보의 종류가 숫자적으로 작고 충분히 잘 알려져 있으므로 오직 진단만이 요구된다. HRA tree의 왼쪽 가지 모두는 (진단-스위치1-스위치2-"S"의 열) B와 C항에서 주어졌다.

F항에서 두 번째 작업자는 중복 배치 작업자이다. 이 의미는 첫 번째 작업자가 스위치1을 누르는데 실패하면 두 번째 작업자가 이를 시도한다는 것이다. 이런 이중구조는 모든 단계에서 일어나나 진단 단계는 제외됐다. 이는 진단 단계의 경우 성질상 team으로 수행된다고 가정하기 때문이다.

J항에 의해 부가적인 수정하려는 행동이 경보의 반응에 의해 유도된다. 두 번째의 경보에 대한 반응 두 번째는 중복 배치 작업자에 의해 행하여진다.

올바른 경보반응후에 스위치2의 작동 가치를 보면 여기에서 경보는 작업자를 보다더 주의 깊게 만들어서, 스위치1을 누르는 행동이 이 경우에는 실패하지 않는다고 추정되었다.

Fig.1의 각 사건에 대한 HEP값은 Fig.2에 주어졌다.

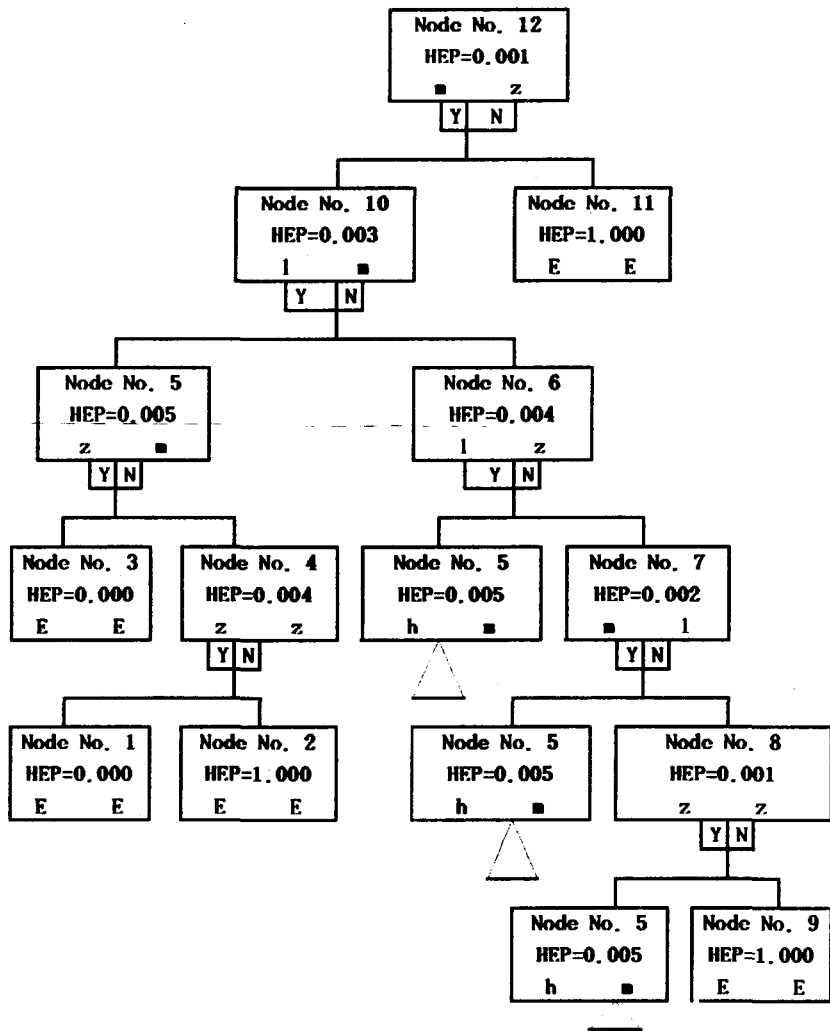


Fig.2 적용 예

제 3 장 작업 각 단계에서 상황에 따른 인간실수를 계산 Program

3.1 Program의 설명

Program은 이런 많은 각 작업 단계에 대한 최종적인 인간 실수율이 얼마나 되는지 알아보고, 나아가 각 단계에 대한 인간 실수율을 보다 정확하고 빠르게 계산하여 작업 각 단계에서 인간 실수를 줄이기 위한 기초 연구에 도움을 주고자 하는데 그 목적을 두었다.

본 Program의 특징으로는,

- (1) 사용 언어로는 C언어를 사용하였다.
- (2) 최종적인 결과는 화면상에 출력을 하고, 각 단계에 대한 계산값은 “혼글”에서 읽어 들일 수 있도록 파일로 저장하였다(*.HWP).

Program의 사용 방법은 우선 한글 프로그램을 실행시킨 후, 다음과 같이 입력하면 된다.

C:\>HUERROR [file name]

여기서 file name은 다음과 같은 형식으로 이 프로그램 사용자가 작성한 파일명을 말한다.

[번호] [좌우번호] [상위 node] [하위 node] [HEP] [좌측하위 종속성] [우측하위 종속성] [좌/우]

[번호] : node 번호. 최하위부터 1번부터 순서대로 입력

[좌우 번호] : 현 node를 중심으로 좌나 우의 node 번호. 없으면 0을 입력

[상위 node] : 상위 node 번호. 없으면 0을 입력

[하위 node] : 좌측 하위 node 번호. 없으면 0을 입력

단, 좌측 하위 node가 전이된 것일 경우 우측 node 번호를 입력

[H E P] : 각 node의 실수율의 값. node가 f(ail)이면 1을, s(uccess)면 0입력

[좌측하위 종속성] : 좌측 하위 node와의 종속 정도.

z - 비종속, l - 낮은 종속, m - 중간 종속, h - 높은 종속, c - 완전 종속

[우측하위 종속성] : 우측 하위 node와의 종속 정도.

[좌 / 우] : 현 node의 위치. 좌이면 l, 우이면 r.

3.2 알고리즘

§ 주 Program

Begin

<단계 1> 데이터가 입력된 파일로부터 자료를 입력받는다.

<단계 2> 결과값을 저장할 파일명을 묻고 파일을 만든다.

<단계 3> 구조체 배열(node[])에 입력 데이터 저장.

<단계 4> 초기값 부여 pm = &node

<단계 5> 현 node에 대해서 하위 node가 있는지 검색한다.

하위 node가 있으면 하위 좌측(success)으로 이동해서 이 단계를 다시 실행한다.

하위 node가 없으면 다음 단계를 실행한다.

<단계 6> 현 node의 옆에 있는 node가 하위 node를 가지고 있는지 검색한다.

하위 node가 있으면 하위 node 좌측으로 이동해서 <단계 5>를 실행한다.

하위 node가 없으면 다음 단계를 실행한다.

<단계 7> 앞에서 설명한 바와 같이 종속성 정도를 가려 계산식에 의해 계산한다.

<단계 8> 각 node 분기의 계산값을 출력 파일에 저장한다.

<단계 9> 상위 node가 있는지 검색한다.

상위 node가 있으면 <단계 6>을 실행한다.

상위 node가 없으면 다음 단계를 실행한다.

<단계 10> 최종결과값을 화면상에 출력한다.

end

제 4 장 결론

인간 행동은 System의 안전에 중대한 영향을 준다. 비록 현대적 System이 자동화되어 인간의 손길을 적게 요구한다 하더라도 완전히 이를 배제할 수는 없기 때문이다. 일반적으로 나타낼 수 있는 기술적 어려에 비해 인간 행동은 상황에 따른 조건과 복잡성으로 인해 크게 변화될 수 있으므로 이를 표현하는데 많은 어려움이 따른다.

인간 행동은 기본 행동인 'step'들로 나눌 수 있다. 이를 단계별로 나누어 각각의 실패 혹은 성공으로 표현한 HRA tree를 만든 후 각 'step'에 확률값(HEP)을 준다. 이 HEP값은 'NUREG CR - 1278'같은 Handbook에서 구해지고 이 HEP값은 독립적, 종속적 모델에 의해 계산되어진다.

이를 수작업으로 계산하면 많은 시간과 경제적 손실이 따르므로 본 프로그램은 계산을 위한 시간과 노력을 줄일 뿐만 아니라 각 결과치를 HWP에서 볼 수 있게 하여 어느 부분의 인간 실수 확률이 높은가를 진단하게 함으로써 신뢰도를 높인데 보다 효과적인 방법을 찾는데 도움을 줄 것이다.

본 연구에서 고려하지 않은 불확실성의 문제는 보다 정확한 신뢰도를 계산하는데 필요한 사항이다. NUREG CR-1278에 수록된 인간 신뢰성 data들을 한국의 현실에 맞게 검증하고, database화 하는 것, 불확실성의 문제고려등이 향후 연구 과제라 하겠다.

제 5 장 참고 문헌

1. A.D. Swain and H.E. Guttan, Handbook of Human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. Technical Report NUREG/CR-1278, Sandia National Laboratory, N.M., 1983.
2. 朴景洙, 人間工學 - 작업 경제학 - , 英志文化社, 1995년
3. 황희웅, C언어 기초+ α , 교학사, 1992년
4. 이면섭, 예제 중심의 C 언어 이론과 활용, 웅보 출판사, 1991년
5. 산업 안전 보건 연구원, 재해 사례집, 1991년
6. 橋本邦衛, 안전 인간공학, 중앙 노동 재해 방지 협회, 1988년