

SPAD 인간 신뢰도 모델연구

Stochastic Model for SPAD Human Reliability

이강원[†] · 정인수^{*}

Kang-Won Lee · In-Soo Chung

Abstract Human factors still play a significant part in many railway accidents. It is well known that SPAD (Signal Passed at Danger) remains as the single most cause of railway accidents. In this study a stochastic model is developed to quantify SPAD human reliability. This model provides closed-form mathematical expressions into which multiple factors affecting the reliability of man-machine systems can be incorporated. Two basic elements are combined to form the framework for modeling: random signal occurrence and transient human performance characteristics.

Keywords : SPAD, Human Reliability, Stochastic Process

요 지 철도 시스템은 높은 수준의 안전성을 요구하고 있으며 열차속도와 교통량의 증가로 다양한 안전시스템이 도입되었다. 그러나 많은 철도 사고에서도 인간의 책임이 중요한 비중을 차지하고 있으며 철도 시스템의 안전은 여전히 신뢰성 있는 인간의 업무수행능력에 많이 좌우된다. 본 연구에서는 열차사고의 가장 중요한 원인으로 알려진 신호위반 진입(SPAD)에 대한 인간 신뢰도 모델을 제시 하였다. 그리고 신호 발생 과정과 운전자의 성능 특성을 고려하여 인간 신뢰도를 정량화할 수 있는 수학적 표현식을 유도하였다.

주 요 어 : 인간신뢰도, 추계적 모형

1. 서 론

시스템 내에서 인간의 업무수행능력(Performance) 혹은 오류(Error)가 전체 시스템의 신뢰도나 안전성에 미치는 영향을 파악하고자 하는 연구가 과거 수년간에 걸쳐 광범위하게 진행되고 있다. 위의 여러 연구에서는 시스템 내에서 인간의 참여 정도에 따라 인간의 책임이 시스템 고장의 20%-90%에 이른다고 밝히고 있다. 참고 문헌[1,2,3]에 따르면 시스템 고장 중 70%-90%가 직, 간접적으로 인간 실수에 기인하는 것으로 나타났다. 항공 분야의 70%-80%가 인간 실수로 인해 발생하고[4,5], 원자력 발전소에서 발생하는 사고의 절반이상이 인간 오류에 기인하는 것으로 알려져 있다 [6,7]. 한편 Finnegan [8]은 화력 발전소 고장의 20% 이상이 부정확한 작업순서, 작업 불량, 정비 오류, 기기 오판독 등

다양한 인간 실수의 결과인 것을 발견했다.

철도 시스템은 높은 수준의 안전성을 요구하고 있는데 여러 철도 사고에서도 인간의 책임이 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다[9]. 차량 속도와 트래픽 양의 증가로 다양한 안전 시스템들이 도입되었지만 철도 시스템의 안전은 아직 상당부분 신뢰성 있는 인간 작업에 달려 있다. 한국 철도의 경우에도 1970년 부터 2005년 사이의 열차사고 통계를 보면 인간오류 원인에 의한 것이 전체 열차사고의 45.6%를 나타내고 있는 것으로 분석되었다[10]. 다음 <표 1>은 1970-1997년 사이 영국에서 발생한 중요 철도 사고 원인의 분포를 나타낸 것이다[11,12].

<표 1>에 따르면 모든 사고의 60%는 직접적인 인간 오류에 기인하며 이중 기관사 실수에 의한 사고가 총 사고의 46%에 달한다. 그런데 기관사 실수에 의한 사고 중 67%가 신호진입위반(SPAD)에 기인하는 것으로 나타나 SPAD가 영국 의 중요 철도 사고의 가장 중요한 원인으로 나타났다. 한편 다음 <표 2>는 1970년 이후 노르웨이에서 발생한 13개의

[†] 책임저자 : 비회원, 서울산업대학교, 산업정보시스템공학과
E-mail : kwlee@snut.ac.kr

TEL : (02)970-6476 FAX : (02)974-2849

* 정회원, 코레일

Table 1. The distribution of major railway accident causes in England

대분류	세부분류	사고 회수	사고 비율
기관사 오류	SPAD (ATC/AWS없음)	5	12.8
	SPAD (AWS ineffective)	7	18.0
	분기부과속 (Too fast over junctions)	2	5.1
	기타 과속 (Other excessive speed)	2	5.1
	제동취급오류 (Maloperation of brakes)	2	5.1
신호원 오류	한 폐색에 두 대의 열차 등 (Two trains in a section etc.)	0	0.0
기타 여러 작업자에 의한 오류		5	12.8
합계 : 인간 오류 원인		23	59
궤도 결함		4	10.3
궤도상 지장물		3	7.7
차량고장		6	15.4
열차화재		3	7.7
총계		39	100

Table 2. The distribution of major railway accident causes in Norway

주요 원인	사고횟수
기관사 오류(Train crew error)	5
신호원 오류(Signalman error)	1
기타 또는 복합 인적 오류(Miscellaneous or multiple human error)	2
궤도결함(Track failure)	3
차량고장(Rolling stock failure)	1
화재 (방화)	1

대형 철도 사고의 주요 원인을 나타내는 것으로서 이중 8건이 인간 오류에 기인하는 것으로 전체 사고의 약 62%에 해당 한다[13].

위의 두 나라 경우에서 볼 수 있듯이 철도 시스템에서 인간 오류로 인해 발생하는 사고가 상당한 비중을 차지하고 있다. 그러나 국내 철도 분야의 경우 인간 오류의 중요성에 대한 인식 부족 및 인간 오류 자료나 분석 기법 등의 부족으로 인해 관련 연구가 거의 이루어 지지 않고 있는 실정이다. 그래서 시스템 하드웨어의 신뢰도 분석을 위해서는 상당히 많은 모형이나 기법들이 개발되어 사용되고 있지만 인간 신뢰도 분

석을 위해 사용할 수 있는 모형이나 기법들은 거의 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 철도 시스템에서 발생하는 인간 오류의 대부분을 차지하는 SPAD 신뢰도 분석을 위해 사용할 수 있는 모형을 제시 하고자 한다. 이를 위해 2장에서는 철도 시스템에서 인간 오류 및 SPAD에 대해 논의 하였다. 그리고 SPAD를 모형화 하기 위한 2가지 시스템 구성요소에 대해 살펴 보았으며 3장에 인간 신뢰도 모델을 제시하였다. 마지막 4장에 결론 및 추후 연구 분야를 다루었다.

2. SPAD 및 인간 신뢰도(Human Reliability)

철도 기반시설(Infrastructure)나 차량의 도입, 운영 그리고 보수 등 전 수명주기 단계에 걸쳐 인간은 철도시스템에 내포 되어있다. 본 논문에서 인간 오류는 철도 기반시설나 차량의 유지 보수 뿐 아니라 운영에서 사고를 초래하거나 초래할 수 있는 인간에 의해 만들어지는 오류로 정의된다. 철도 운영 과정에서 나타나는 전형적인 인간오류는 <표 1>에서 볼 수 있듯이 SPAD, 과속(Excessive Speed), 철도 신호원과 배차원 오류 등을 들 수 있으며, 이중 가장 중요한 인간 오류인 SPAD의 특성을 검토하고자 한다.

2.1 SPAD(Signal Passed at Danger)

정지신호를 무시하고 달리는 열차나 차량은 다른 열차와 충돌할 수 있는 매우 위험한 상황이다. 열차는 하루에도 수백 개의 신호지점(Signalling Point)을 통과하여 운행해야 하기 때문에 이 과정에서 기관사자의 단 한 번의 실수에도 신호위반진입(SPAD)이 발생할 수 있으며, 만일 충돌사고가 발생한다면 대형사고로 이어질 가능성이 높다. 신호위반진입(SPAD)은 다음과 같은 여러 이유로 발생 할 수 있다[9].

1. 나쁜 시야로 인해 신호를 볼 수 없다.
2. 신호를 지나쳐 버리거나 무시한다.
3. 기관사가 의식이 없거나 졸음운전을 한다.
4. 신호의 의미를 잘못 해석한다.
5. 다른 열차나 차량에 적용되는 신호를 자기 신호로 오인한다.
6. 특정 환경(눈 혹은 비 등)하에서 제동장치의 효율성을 잘못 판단한다.
7. 과속으로 인해 경고 신호거리 내에서 적절한 제동이 이루어 지지 않는다.
8. 운전 미숙이나 적절한 운전 절차를 따르지 않아 요구시간 내에 적절한 조치를 취하지 못한다

현재 철도시스템은 여러 가지 다양한 하드웨어적인 안전 시스템을 도입, 운영하면서 사고발생 가능성과 이로 인한 사고피해를 줄여가고 있지만, 신호위반진입(SPAD)과 같이 인간 오류에 기인하는 철도 사고가 아직도 전체 사고에서 많은 비중을 차지하고 있다.

1996-1997 영국 철도의 SPAD 발생 빈도를 살펴보면 다음과 같다[12].

SPAD 발생 건수 : 653
 총 열차 운행거리 : 528×10^6 train km
 백만 train-km 당 SPAD 발생 빈도 : 1.2

만일 열차가 매 3km 마다 설치된 신호기를 통과하고 이들 신뢰기준 10%가 정지 신호를 나타낸다고 가정하면 상기 조건에서 정지 신호당 SPAD 발생확률은 1/40,000 이다.

2.2 SPAD 인간 신뢰도

SPAD 인간 신뢰도는 주어진 운행 길이(train km) 동안 SPAD 발생 없이 운행을 끝마칠 확률로 정의된다. 본 연구에서는 SPAD 인간 신뢰도를 나타내 주는 추계적 모델(Stochastic Model)을 구축하고자 한다. 문제의 복잡성으로 인해 매우 제한된 조건 하에서만 수리적 표현이 가능하다. 그럼에도 불구하고 이 수리적 모델은 복잡한 현실 시스템을 근사적으로 나타내고 원하는 결과를 비교적 간단하게 얻을 수 있는 장점이 있다. 아울러 시뮬레이션(Simulation) 모델을 평가하는데 유용하게 사용 될 수 있다. 먼저 이 모델의 바탕이 되는 중요 구성 요소들을 살펴보면 다음과 같다.

1) 임의의 신호 발생(Random Signal Occurrence)

열차는 주어진 운행 거리동안 k 개의 신호기를 지나가고 이 신호기가 정지나 서행 등 특정 신호를 나타낼 확률이 p 로 주어진다고 가정하자. 따라서 기관사는 평균 $k \cdot p$ 개의 신호를 성공적으로 처리해야 한다. 본 연구에서는 기관사가 성공적으로 처리해야 하는 신호의 발생 개수를 평균 $k \cdot p$ 를 갖는 Poisson 분포로 가정하였다. 예를 들어 열차 주행거리를 1,000 train km 라하고 평균 매 10 train km 마다 신호기가 나타나면 $k = 100$ 이다. 이때 신호기가 정지등 특정 신호를 나타낼 확률을 $p = 0.2$ 라고 하면 열차의 주행 도중 신호 발생개수는 평균 20인 Poisson 분포를 따른다.

2) 기관사 업무수행 특성

열차 운행 도중 기관사는 임의로 발생하는 신호를 성공적으로 처리해야만 하는데 항상 오류를 범할 가능성이 있다. 2.1에서 언급한 SPAD 관련 기관사 오류의 원인은 크게 다음 3

가지로 분류할 수 있다.

- 신호 발생을 감지하지 못 한다; 이에 관련한 SPAD 발생 예는 다음과 같다.
 - 신호를 나쁜 시야로 인해 볼 수 없다.
 - 신호를 지나쳐 버리거나 무시한다.
 - 운전자가 의식이 없거나 졸음운전을 한다.
- 신호의 의미를 잘못 판단 한다; 이에 관련한 SPAD 발생 예는 다음과 같다.
 - 신호의 의미를 잘못 해석한다.
 - 다른 차량에 적용되는 신호를 자기 차량의 신호로 오인한다.
- 신호의 의미를 정확하게 파악 했지만 거기에 맞는 적절한 행동을 취하지 못 한다 ; 관련 SPAD 발생 예는 다음과 같다.
 - 특정 환경(눈 혹은 비 등) 하에서 제동 장치의 효율성을 잘못 판단한다.
 - 과속으로 인해 경고 신호거리 내에서 적절한 제동이 이루어지지 않는다.
 - 운전 미숙 및 적절한 운전 순서를 따르지 않아 요구되는 시간 내에 적절한 조치를 취하지 못한다.

따라서 운행 중 발생하는 임의의 신호를 성공적으로 처리하기 위해서는 먼저 1) 신호를 감지해야 되며, 2) 감지된 신호에 대한 정확한 판단을 내리고, 3) 신호가 요구하는 행동을 정해진 요구 시간 내에 적절히 수행해야 한다.

3. 모델 설정

일반적으로 인간 신뢰도 예측 모델을 선정하는 경우에는 수학적 용이성(Tractability)과 모델의 복잡성(Complexity) 사이에 균형을 맞추어야 한다. 수학적 용이성에 초점을 맞춘 수학적 표현 모델은 실 시스템의 대략적 본질을 근사화 하기 위해 다수의 가정을 사용한다. 반면에 시뮬레이션이나 수치적(Numerical) 방법은 보다 현실적인 조건으로 모델을 구축할 수 있지만 모델의 복잡도가 급격히 증가하고 인간 신뢰도의 여러 구성인자들 사이의 상호 관계를 파악 하는데 편리한 수학적 표현식을 제공하지 못한다. 본 연구에서는 수학적 용이성에 초점을 맞춘 다음과 같은 SPAD에 대한 인간 신뢰도 추산 모델을 제시하고자 한다.

3.1 가정

- 신호 발생은 평균 λ 인 Poisson 분포를 따른다.
- 열차 총 주행거리는 X 로 일정하게 주어진다.
- 주행 도중 임의로 발생하는 신호들을 성공적으로 처리할 확률은 서로 독립적이다.

3.2 Notation

- λ 신호 발생 개수를 나타내는 Poisson 과정의 평균
- $N(X)$ 주행도중 발생한 총 신호개수
- $R_H(X)$ SPAD 인간 신뢰도
- $S(x)$ 주행거리 x 에서 발생한 신호를 성공적으로 처리할 확률
- X 차량 총 주행거리
- x_i i 번째 신호발생시 주행거리, $i=1, 2, \dots, n$

3.3 인간 신뢰도 모델

3.3.1 신호처리 성공확률 $S(x)$ 유도

운행거리 x ($0 < x < X$, X 는 주어진 총 주행거리)에서 발생한 신호를 성공적으로 처리할 확률을 $S(x)$ 라 하자. $S(x)$ 는 운전자의 피로도, 스트레스, 그리고 숙련도 등으로 인해 주행거리 x 에 따라 변하는데 실험적으로 혹은 이론적으로 구할 수 있다. $S(x)$ 를 구하는 몇 가지 방법을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 총 주행 거리 1,000 train km 를 반복적으로 운행하는 경우를 생각해 보자. 만약 매 주행 마다 신호가 발생한 주행거리 x 와 그때 신호처리의 성공 혹은 실패를 계속해서 기록해 나간다면 주행거리의 함수로서 신호 처리를 성공적으로 수행할 확률인 $S(x)$ 를 적절한 ‘curve fitting’ 방법을 이용하여 유도 할 수 있다.

또 다른 방법은 2.2에서 조사한 성공적인 신호 처리에 영향을 미치는 요인들을 고려함으로써 다소 이론적으로 유도하는 것이다. 주행 거리 x 에 도착한 신호를 성공적으로 처리할 확률은 다음 세 확률의 곱으로 표현 될 수 있다.

- 1) 신호를 감지($D(x) = 1$) 할 확률, $d(x)$
- 2) 신호가 감지되었을 때 신호의 의미에 대한 정확한 판단 ($J(x) = 1$)을 내릴 확률, $j(x)$
- 3) 신호가 감지되고 또 이에 대한 정확한 판단이 내려졌을 때 요구 시간 내에 적절한 조치 ($P(x) = 1$)를 취할 확률, $p(x)$

즉,

$$S(x) = P_r[D(x) = 1, J(x) = 1, P(x) = 1]$$

$$= P_r[D(x) = 1] \cdot P_r[J(x) = 1 | D(x) = 1] \cdot P_r[P(x) = 1 | D(x) = 1, J(x) = 1]$$

$$= d(x) \cdot j(x) \cdot p(x) \tag{1}$$

물론 위 식의 $d(x)$, $j(x)$ 그리고 $p(x)$ 를 구하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 하지만 각 확률 값들은 기존에 발표된 인간 공학 자료들을 이용하거나 비교적 간단한 실험을 통해 유도할 수 있기 때문에 $S(x)$ 자체를 유도 하는 것 보다 비교적 쉽게 구할 수 있다.

위에서 언급한 두 가지 방법 이외에도 $S(x)$ 를 유도 하는 다양한 방법들이 존재할 수 있다. 하지만 일반적으로 받아들일 수 있는 함수 $S(x)$ 를 제시 하는 것은 거의 불가능해 보인다. 본 연구에서 제안하는 SPAD 인간 신뢰도 모델에서는 $S(x)$ 를 유도하는 방법에 어떤 제한도 두고 있지 않다. 본 모델의 사용자는 자기에게 가장 적합한 그리고 유도 과정이 간단한 방법을 이용하여 $S(x)$ 를 구해나가면 된다.

3.3.2 인간 신뢰도 $R_H(X)$ 수식화

운행도중 발생한 신호개수 $N(X) = n$ 과 신호가 발생한 운행 거리 $x_1, x_2, \dots, x_{N(X)}$ 가 주어졌을 때 발생한 모든 신호를 성공적으로 처리 할 확률은 각각의 신호를 성공적으로 처리 할 확률의 곱으로 표시된다. 즉,

$$R_H(x_1, x_2, \dots, x_{N(X)}) = \prod_{i=1}^{N(X)} S(x_i) \tag{2}$$

이제 SPAD 인간 신뢰도는 먼저 $N(X) = n$ 이 주어졌을 때 신호 발생 운행거리들의 분포에 관하여 $R_H(x_1, x_2, \dots, x_{N(X)})$ 의 기대치를 구한 다음에 $N(X)$ 의 분포에 관하여 기대치를 구함으로써 유도할 수 있다. 운행 도중 신호 발생이 없을 경우 ($N(X) = 0$)는 성공적으로 신호처리가 이루어진 것으로 가정하면 SPAD 인간 신뢰도 $R_H(X)$ 는 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$R_H(X) = E[E[R_H(x_1, x_2, \dots, x_{N(X)}) | N(X)]]$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} E[R_H(x_1, x_2, \dots, x_{N(X)}) | N(X) = n] \cdot P_r[N(X) = n] + P_r[N(X) = 0]$$

위 식에서

$$E[R_H(x_1, x_2, \dots, x_{N(X)}) | N(X) = n]$$

$$= \int \int \dots \int R_H(x_1, x_2, \dots, x_n) \cdot f(x_1, x_2, \dots, x_{N(X)} | N(X) = n) dt_1, dt_2, \dots, dt_n$$

$(0 < x_1 < x_2 < \dots < x_n < X)$

(4)

한편 위 식에서 $f(x_1, x_2, \dots, x_{M(X)} | N(X) = n)$ 은 $N(X) = n$ 이 주어졌을 때 신호발생 주행거리 $x_1, x_2, \dots, x_{M(X)}$ 의 joint pdf 로 다음 식으로 주어진다.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_{M(X)} | N(X) = n) = n! \prod_{i=1}^n x_i / X^n, \quad 0 \leq x_1 < x_2 < \dots < x_n \leq X \quad (5)$$

만약 최소 하나 이상의 신호 발생이 있을 경우에만 인간 신뢰도를 정의 하면 $R_H(X)$ 는 식 (3)에서 $P_r[N(X) = 0]$ 를 뺀 후 이를 다시 $(1 - P_r[N(X) = 0])$ 로 나누어 구할 수 있다.

3.4 수치예제

차량의 총 주행거리는 100 train km이고 평균 매 10 train km마다 신호가 나타난다고 가정하자. 이 신호기 중 평균 20%가 특정 신호를 나타낸다고 하면 차량 주행 도중 신호발생 개수는 평균 $\lambda=2$ 인 Poisson 분포를 따른다. 본 예제에서는 $S(x)$ 를 $d(x)$, $j(x)$ 그리고 $p(x)$ 의 곱으로 나타낼 수 있고 각각은 다음 식으로 주어진다고 가정하자. 즉,

- 신호 발생 감지 확률; $d(x) = 0.98$
- 신호가 감지되었을 때 신호에 대한 정확한 판단을 내릴 확률; $j(x) = 0.99$
- 신호가 감지되고 또 이에 대한 정확한 판단이 내려졌을 때 요구시간 내에 적절한 조치를 취할 확률; $p(x) = \exp(0.00035x)$, $0 < x < 100$

따라서 $S(x) = 0.90 \cdot 0.95 \cdot \exp(-0.00035x)$ 로 주어진다. 이제 식 (3)을 토대로 SPAD 인간 신뢰도를 구하면 $R_H(100) = 0.702$ 이다. 다음 <그림1>은 평균 신호발생 개수의 함수로 $R_H(100)$ 을 나타냈다.

<그림 1>에서 (I)은 차량 운행 도중 신호발생이 없을 경우 이를 성공적인 신호처리로 가정했을 때의 결과이고 (II)는

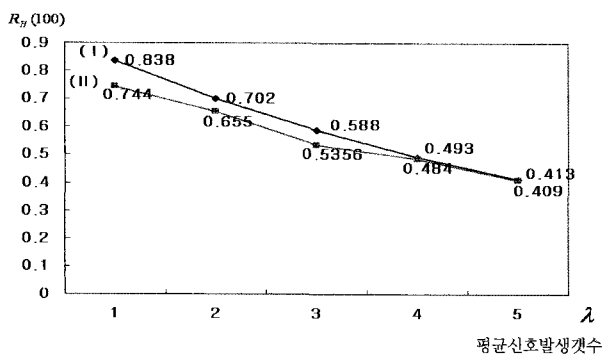


Fig. 1. The number of average signal occurrence and $R_H(100)$

최소 하나 이상의 신호가 발생한 경우에만 인간 신뢰도를 정의 했을 때의 결과이다.

4. 결론

본 연구에서는 열차 사고의 가장 중요한 원인으로 알려진 SPAD에 대한 인간 신뢰도 추산모델을 제시 하였다. 신호 발생 과정과 기관사의 성능 특성을 고려하여 수학적으로 인간 신뢰도를 나타냈다. 수학적 표현식을 유도하기 위해 몇 가지 가정을 사용했지만 인간 신뢰도를 추산하는 본 모델은 다음의 측면에서 그 의의를 찾을 수 있다.

- SPAD 관련 인간 신뢰도를 간단한 수학적 표현으로 나타내기 때문에 비교적 손쉽게 정량적인 인간 신뢰도 값을 구할 수 있다.
- 신호 발생 과정과 기관사의 성능 특성을 복합적으로 고려한 SPAD 인간 신뢰도 추산 모델이다. 수학적 표현식을 유도하기 위해 문제를 다소 단순화 했지만 추후 운전자의 성능 특성을 나타내는 함수 $S(x)$ 를 보다 정확히 예측할 수 있으면 보다 정확한 인간 신뢰도 값을 구할 수 있다.
- 일반적으로 인간 신뢰도 예측을 위한 모델을 선정하는데 수학적 용이성(Tractability)과 모델의 복잡성(Complexity) 사이에 균형을 맞추어야 한다. 수학적 용이성에 초점을 맞춘 모델은 실 시스템의 대략적 본질을 근사 화 하기위해 다수의 가정을 사용한다. 반면에 시뮬레이션이나 수치적(Numerical) 방법은 보다 현실적인 조건하에서 모델을 구축 한다. 따라서 모델의 복잡도가 급격히 증가 하게 되고 인간 신뢰도의 여러 구성인자들 사이의 상호 관계를 파악 하는데 편리한 수학적 표현식을 제공하지 못한다. 본 연구에서는 수학적 용이성에 초점을 맞춘 모델을 구축 하였다.

본 연구에서 제시한 모델은 정량적인 인간 신뢰도 값 산출을 위한 초기 모델로서 다음의 여러 부분에 걸쳐 추후 연구가 필요하다.

- 철도에서 SPAD 발생이 바로 사고로 이어지는 것은 아니다. SPAD 발생이 실제 사고로 이어지는 확률은 발생한 신호 종류에 따라 다를 수 있다. 향후 이 변수를 제안된 모델에 적당히 포함할 수 있다면 보다 유용한 모델을 구축할 있을 것이다.
- 본 연구에서 제안한 인간 신뢰도 모델은 SPAD 에 국한된다. 철도 시스템 전반에 걸친 인간 신뢰도 모델을 구축하기 위해서는 다양한 위험사건에 대응할 수 있는 인간 오류도 고려할 필요가 있다.

- 본 연구에서는 $S(x)$ 를 유도하기 위해서 간단한 두 가지 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 인간 신뢰도 모델의 정확도는 얼마나 정확히 업무수행능력(신호처리 성공확률) $S(x)$ 를 예측 하느냐에 달려 있기 때문에 보다 현실적이고 철도 시스템의 SPAD 특성을 잘 나타 낼 수 있는 $S(x)$ 에 대한 연구는 계속 되어야 한다.

참고문헌

1. Billings, C. E. and Reynard, W. D. (1981), "Dimensions of the Information Transfer Problems in the Aviation Systems," NASA-TP-1875, pp.9-14.
2. Danaher, J. W. (1980), "Human Error in ATC System Operations," Human Factors, Vol.22, pp.535-545.
3. Rubinstein, E. (1979), "Special Issue: Three Miles Island and the Future of Nuclear Power," IEEE Spectrum, Vol.16, pp.30-111.
4. Wiegmann, D. A. (2003), "A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System," Aldershot, UK, Ashgate Publishing Company.
5. Thomas, M. J. W., Petrilli, R. M. and Dawson, D. (2004), "An Exploratory Study of Error Detection Processes during Normal Line Operations," Proceedings of 26th Conference of the European Association for Aviation Psychology.
6. Reason, J. (1990), "Human Error," New York: Cambridge University Press.
7. 이정운, 이용희, 박근옥(1996), 국내 원자력 발전소의 인적 오류 사례의 추이 분석, 대한 인간 공학회지, 제 15권, 제 1호, pp.27-38.
8. Finnegan, J., et. al (1980), "Personnel Errors and Power Plant reliability," Proceedings Annual Reliability and Baintainability Symposium, pp.290-297.
9. Andersen, T., "Human Reliability and Railway Safety," 16th ESRedA Seminar, Safety and Reliability in Transport.
10. 철도청, 철도사고사례집, 1975-2006
11. Hall, S. (1997), "Railway Accidents," Ian Allan Publishing.
12. Jernbaneverket (1998), "Oversikt over Driftsulykker og Sikringstiltak i," JDMS Mars.
13. Health and Safety Executive (1997), "Railway Safety," HSE Books.

(2007년 10월 1일 논문접수, 2008년 1월 10일 심사완료)