

대구지하철 화재사고에 대한 분석 1: 인간에러와 시스템

곽 호 완

경북대학교 심리학과

박 창 호

전북대학교 언론심리학과

2003년에 발생한 대구지하철 화재사고는 현대의 자동화된 시스템에서 인간의 사소한 에러가 얼마나 큰 재해로 귀결되는지를 잘 보여주며, 시스템 인터페이스의 설계에서 인간 실수를 신중히 고려하여야 함을 시사한다. 본 연구는 대구지하철 화재에 관련된 인간의 실수는 다양한 환경적 조건들(예: 시스템설계 결함, 작업부하)과 그에 따른 인지적 정보처리 결함에 기인한다는 것을 보여주하고자 하였다. 부가하여, 대구지하철 사고에 대한 시간대별 인간에러유형 및 시스템 결함을 분석하고, 이를 바탕으로 몇 가지 에러방지 보조시스템을 제안하였다.

주요어: 대구지하철, 화재 사고, 인간에러, 시스템, 인터페이스

본고의 내용 중 일부는 2005 한국실험심리학회 여름학술대회에서 주제발표된 것임
교신저자: 곽호완, (702-701) 대구시 북구 산격동 1370, 경북대학교 심리학과
E-mail: kwak@knu.ac.kr

재난 사고는 일반적으로 사고 상황 내에 있는 시스템 환경과 그와 관련된 구성원들의 행동 및 인지과정들과 관련되어 있고, 이들 중 한두 가지가 왜해되면서 발생한다. 예컨대, 경로나 대피신호를 적시에 보내지 못한 인지적 판단오류, 상황에 대한 필요 정보의 지각 및 관련 정보의 인출 실패, 공황(panic) 상황에서의 커뮤니케이션 기술결여 등의 인지적 정보처리 오류가 많은 재난사고의 대형화에 기여한다.

우리나라에서는 대형사고가 날 때마다 우리 사회의 '안전 불감증'이 지적되곤 하였다. 교통사고의 원인을 주로 운전자의 운전 습관에서 찾는 데에서 볼 수 있듯이 인적 책임 소재에 주로 주목하는 태도는 안전 사회의 정착에 크게 기여하지 못할 것이다. 도로교통망 설비와 교통량에 따라 교통 정체가 결정되며 그에 따라 안전 운전 경향 및 교통사고율도 영향을 받을 것이다. 마찬가지로, 안전의식 결여만이 대구 지하철 화재사고에 대한 직접적인 원인이었다고 결론짓는 대신에, 안전 문제를 효과적으로 관리하고, 이미 발생한 사고의 피해를 최소화할 수 있는 인간-기계 시스템이 제대로 장착되지도, 운용되지도 못한 데에서 더욱 심층적인 원인을 규명해 볼 필요가 있다.

아무리 성능이 좋은 안전 설비가 장착되어 있더라도, 그것을 운용하는 인간의 인지적 정보처리는 여러 측면에서 제한되어 있기 때문에, 불가피하게 일정 수준의 인간에러가 발생하기 마련이다. 예컨대, 작용기억이나 주의 폭의 제한 때문에 인간은 한꺼번에 여러 가지 대상을 감시하기 힘들며, 한꺼번에 여러 가지 행동을 수행하기 힘들다. 스트레스를 유발하는 긴급 상황이 발생하거나 작업 부하가 갑자기 증가하면 이러한 인지능력의 제한은 착오

나 실수를 저지르게 될 수 있으며, 이것은 다시 치명적인 사고나 재난의 계기가 될 수도 있다. 그러므로 안전과 관련된 인간-기계 시스템의 특성을 제대로 설계하고 평가하는 데에 인간 정보처리의 과정과 능력, 그리고 인간에러에 대해 올바른 이해가 꼭 필요하다고 할 수 있다.

인간 에러의 모형

에러는 인간의 작업수행의 모든 단계에서 발생한다. 이 분야의 여러 연구들을 살펴보면 대형사고들과 핵발전소 처리제어 및 비행과 같은 복잡한 시스템 사고에서의 주요 요인 중 60 ~ 90 퍼센트가 인간 에러에 의한 것이라 추정된다(권영국 2002; Wickens, Gordon, & Liu, 2001). 시스템 조작에서 일반적으로 범하게 되는 에러들은 인간의 부주의한 행동에 기인한다기보다는 에러를 낳게 하는 잘못된 시스템 인터페이스에 기인하는 점이 크다 (Wickens & Hollands, 2003).

에러는 반드시 어느 한 단계에서만 발생하는 것이 아니라 행동의 여러 단계에서 동시에 혹은 연속으로 발생할 수 있다(Baars, 1992). 사람들은 자신에게 에러가 발생했다는 것에 놀라면서 자신의 의도와 수행이 반드시 일치하는 것은 아니라는 사실을 깨닫는데, 이런 불일치는 인간 정보처리의 여러 수준에서 발생할 수 있다(Norman, 1981; Reason, 1990). Norman (1996)은 인간의 오류를 크게 실수(slips)와 착오(mistakes)로 구별하였다. 실수는 주로 의식적인 통제가 부족한 가운데 자동화된 행동이 유발됨으로써 발생한다.¹⁾ 예컨대 설탕 병 뚜껑을

1) Norman(1996)이 실수로 분류한 오류들 가운데, 본고의 과오 및 양식 에러가 포함되어 있다.

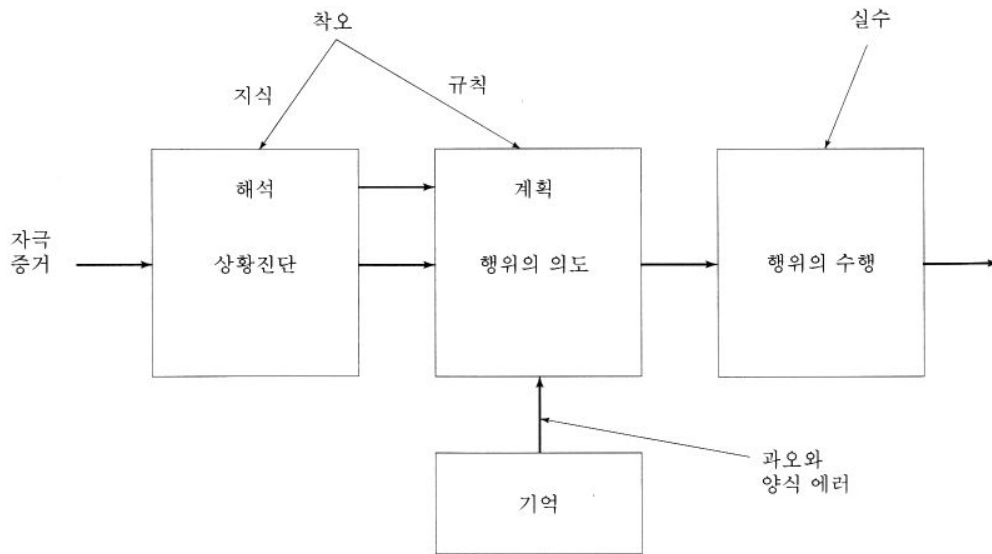


그림 1. 인간에러를 설명하는 정보처리 맥락의 도해 (Wickens & Hollands, 2003, p. 590)

집어 커피병 뚜껑을 닫으려고 하는 것이다. 반면에 착오²⁾는, 설정을 거의 끝낸 다음 최종 확인 메시지를 잘못 읽고 리셋(reset) 단추를 눌러 버리는 것과 같이, 상황에 적절하지 않은 목표를 설정할 때 발생한다. Reason(1990)은 Rasmussen (1991)이 인간 수행의 세 분석 수준으로 제안한, 기술 기반 수준, 규칙 기반 수준, 및 지식 기반 수준을 기초로 해서, 이에 대응하는 인간에러를 각각 실수와 과오(lapse), 규칙 기반 착오(rule-based mistakes), 및 지식 기반 착오(knowledge-based mistakes)로 구분하였다. Wickens와 Hollands(2003)는 Norman과 Reason의 에러 분류를 종합하여 인간에러를 규칙기반 착오, 지식기반 착오, 실수(slips), 과오(lapses), 및 양식(樣式)에러(mode errors)로 크게 다섯 범주로 분류하였다(그림 1). 인간이 과제를 수행하는 동안 직면하는 상황의 복잡성과 정보

처리과정에 개입하는 여러 심적 조작들을 고려해 볼 때, 인간에러에 대한 위의 다섯 범주는 비교적 단순화된 것으로 볼 수 있다. 예컨대 판단의 편중이나 기억 실패와 같은 여러 가지를 고려한 포괄적이고 심층적인 에러 분류는 좀 더 많은 연구 및 분석을 필요로 하며, 이를 위해서는 인간의 정보처리과정에 대한 심층적 이해가 선행되어야 할 것이다(박창호, 곽호완, 2005).

현 시점에서 볼 때, 그림 1에서 제시된 다섯 가지의 인간에러 분류가 비교적 단순하고, 정보처리적 관점에서의 구체성이 약하지만, 실용적 측면에서는 비교적 널리 인정을 받고 있다고 생각된다³⁾. 그러므로 본고는 대구지하철 화재사고에 개입한 인간에러를 분석하는데 이를 적용하고자 한다.

2) 김정오(2005)는 mistake을 실책으로, lapse를 착오로 번역하였다.

3) 대구지하철 화재사고에서 관련자(기관사, 운전사령, 승객 등)들의 행동 및 인지심리학적 분석에 관해서는 박창호와 곽호완(2005)을 참고.

지식기반 착오 착오는 지각, 기억, 그리고 인지의 취약성에 기인한다. 지식기반 착오는 상황을 제대로 이해하지 못하였기 때문에 부정확한 행위계획을 수립하게 되는 의사결정상의 어려움과 같은 것들이다. 그러한 실패는 예를 들어 작업자들이 의사소통과정에서 혼동을 일으키거나(잘못 이해하거나), 작용기억의 한계를 초과하게 되거나, 모든 대안들을 다 고려하지 못하거나, 어느 한쪽으로 치우친 편견에 집착하게 되는 경우가 이에 포함된다. 요약하자면, 작업자가 주로 정보의 복잡성에 압도당하거나 그 정보들을 올바르게 해석하기 위한 지식이 결여되었을 때 나타나는 오류이다. 상황이 복잡하거나 스트레스를 받게 되면, 인간은 중요한 고려 사항(요인)을 간과하기 쉽고 여러 유관 요인에 적절하게 주의를 배분하기가 어렵게 된다. 특히 지식기반 수행의 결과는 즉시 나타나는 것이 아니라 시간적으로 지연되어 피드백 되는 경우가 많다. 그러므로 지식기반 착오에 대한 재빠른 교정은 쉽지 않다.

규칙기반 착오 규칙기반착오는 작업자가 자신이 처한 상황에 대한 확신이 있거나, 상황 대처법이 정형화 혹은 고착화되어 있을 때 발생한다. 즉 작업자는 상황에 대처하기 위한 규칙을 인출하는데, 규칙은 대체로 "if-then"의 형식으로 분석될 수 있다. 즉, 환경적 상황에 대한 이해(진단)가 규칙의 "if" 부분과 일치하거나 혹은 그 규칙이 이전에 성공적으로 사용된 적이 있다면 "then" 부분이 활성화될 것이다. Reason(1990)에 따르면 규칙이 성공적으로 적용되지 못하는 세 가지 경우가 있다. 첫째, 좋은 규칙이라 할지라도 만일 "if" 부분이 환경과 충분히 부합되지 못하여 잘못 적용될 수 있다.

즉 지금까지 잘 적용되던 규칙도 만일 상황이 나 환경의 어떤 요소가 변하게 되면 그 규칙이 적절하지 못한 것이 될 수 있다. 예를 들어, 자동차 앞유리창에 먼지가 끼어 더럽다면 워셔 단추를 눌러 청소하는 것이 옳지만, 바깥 날씨가 매우 추울 경우 워셔액은 얼어붙어 전방을 식별하기가 더 어려워질 것이다. 둘째로 "if" 부분을 단순히 잘못 해석하거나 환경의 증거들이 적절히 약호화되지 못하여, "잘못된 규칙"이 적용될 때 발생한다. 예컨대 '+' 기호와 'x'가 기호가 섞인 수식에서 연산 규칙을 무시하고 왼쪽에서 오른쪽 순으로 계산하는 것이다. 셋째는 규칙의 "then" 부분이 부정확하게 실행되거나 엉뚱한 것이 실행되는 경우이다.

실수 전술한 착오들은 (진단이 잘못이건 아니면 행동선택의 규칙이 부정확했던 간에) 의도한 행위가 올바르게 않은 경우를 의미하는 반면, 실수 또는 슬립은 올바른 의도가 잘못 실행된 경우를 의미한다. 실수는 세 가지 이유로 인해 발생한다. 첫째, 의도된 행위(혹은 일련의 행위들)가 일상적으로 빈번히 행해지는 행동에서 조금 일탈될 때이다. 둘째, 자극 환경이나 행위계열 자체의 어떤 특징들이 부적합한 (그러나 더욱 빈번한) 행동과 관련되어 있을 때이다. 셋째, 행위계열이 비교적 자동화되어 있고 따라서 주의 깊게 모니터 되지 않고 있을 때이다. 흥얼거리는 노래의 시작 부분이 어느덧 다른 노래로 (연결되어) 바뀌어져 있는 것과 같은 경우이다.

과오 슬립이 행동의 부정확한 수행을 의미한다면 과오 또는 랩스는 행동의 불이행 (omission) 을 의미한다. 과오는 일상용어로는 건망증

(forgetfulness)으로 표현할 수 있다. 예를 들면, 우리가 방으로 들어가는 순간 다른 어떤 일로 방해받아서 그 방에 들어간 이유를 잊어버리는 경우이다. 여러 과정이 연계적으로 이루어져 있는 절차의 수행에서도 그 과정 중 어떤 부분을 빼먹는 경우가 있는데 이것 역시 이러한 에러의 유형에 속한다. 디트로이트시의 공항 외곽에서 발생한 Northwest 항공사 소속 MD-80기의 추락 사고를 분석한 결과 일상적인 착륙점검 과정을 거치는 도중 조종사들은 항공관제사의 활주로 변경명령으로 인해 일시적으로 그들의 행동을 중단하게 되었다. 다시 그 과정을 속개하였을 때, 양 날개의 플랩각도를 조정하는 절차를 망각하고 생략하게 되었는데 이것이 바로 비행사고의 주된 원인이었다(Wickens & Hollands, 2003).

양식에러 양식에러는 순간적 기억실패(과오)와는 다른 종류의 기억실패로 인해 발생한다. 이는 작업자가 그 상황(맥락)을 제대로 파악하지 못하였기 때문에 부적합한 조작을 수행하는 것이다. 예컨대, 글자판에서 한글 단어를 입력하고자 했는데, 영문 모드에 있었기 때문에, ‘양식’을 ‘didtr’으로 치게 되는 것과 같은 것이다. 현대의 여러 IT 제품들은 소형에다가 적은 수의 조작 단추로 많은 기능을 수행하고, 여러 기능들은 상이한 양식(mode)에서 조절된다. 그런데, 양식을 잘못 선택하면 낭패를 겪게 된다. 같은 문제가 복잡한 제어 시스템이나, 첨단 장치들에서 발생할 수 있다.

인간에러와 관련된 시스템 결함의 측면

시스템이란 말 자체가 ‘조직화된 전체’를 의미하지만(Meister, 1991), 전체 시스템에서 비교

적 자율적인 어떤 부분 혹은 측면을 가리켜 시스템이라고 하기도 한다(예, 운용 시스템). 이런 어법을 빌린다면, 복합 시스템은 일차 기능을 담당하는 시스템과 이를 운용하는 시스템, 지원 시스템, 및 기타 보조 시스템의 조직체로 이해될 수 있다. 인간에러는 인간-기계 시스템에서 주로 인터페이스 문제와 관련하여 언급되어 왔다(박창호, 1998). 인터페이스란 시스템과 인간의 상호작용을 지원하는 위한 하위 시스템이다. 앞에서 보았듯이 인간에러가 발생할 수 있는 다양한 조건들을 고려해 볼 때, 인간에러를 전적으로 인터페이스(시스템) 문제로만 파악하는 것은 곤란하다고 생각된다. 많은 경우 시스템은 주어진 것으로 간주되지만, 특히 사용자가 시스템의 일부가 되는 경우에는 사용자의 요구에 의해 시스템이 설계되고 발전할 수 있는 것이다. 그러므로, 시스템과 관련하여 인간에러를 고찰할 때 인간 시스템의 상호작용 국면만이 아니라, 전체적인 조직에도 주목할 필요가 있다고 생각된다.

시스템에 대한 최상층의 이해 수준은 시스템의 임무(mission)와 목적에 대한 이해라고 생각된다. 예컨대 지하철 시스템을 무엇을 목적으로 하는가에 대한 이해가 시스템의 조직과 운영을 지배하는 원리가 되어야 할 것이다. 다음으로 조작자를 포함하여, 시스템은 어떤 자원(resource)과 정보를 가지고 있으며, 이것은 어떻게 통제(control)되는가에 대한 이해가 필요하다. 이런 관계에서 인간 조작자들 및 시스템 성분들이 커뮤니케이션하고, 과제와 자원과 정보가 교환되는 동적 과정에 대한 이해가 전개될 필요가 있다. 이를 바탕으로 할 때 인간에러에 대한 심층적 이해와 적절한 대책의 수립이 가능할 것이다.

앞에서 검토한 인간에러들 중, 지식기반 착

오와 관련해서 보면, 상황에 대한 판단은 시스템 수준에서 내릴 경우도 있지만, 시스템 이상의 수준(예, 인명 보호 측면)도 고려할 필요가 있다. 나머지 네 오류들이 관련되는 측면은 더 세분될 수도 있겠지만, 주로 조작자가 시스템과 만나는 인터페이스 공간과 관련된다. 이처럼 서로 다른 정보처리과정의 실패에 따라 인간에러의 유형이 달라질 수 있으므로 (Reason, 1990; Wickens & Hollands, 2003), 에러의 종류에 따라 그 대책도 달라야 할 것이다. 각각의 에러(및 그 예방에 대하여 시스템의 어떤 측면이 관련되는가를 살펴보자.

지식기반 착오는 상황의 진단과 판단 단계에 주로 발생하므로, 이런 착오를 줄이기 위해서는 이 단계의 수행을 보조하는 지원 시스템이 필요하다. 즉 지식기반 착오를 낫기 쉬운 시스템은 시스템의 현재 또는 조작후의 상황에 대한 정보를 제대로 제공하지 않을 경우이다. 이를테면 원자력 발전소와 같이, 현대의 대형 시스템에는 수많은 제어 장치들이 장착되어 있으므로, 조작자가 이들 간의 관련성을 한 눈에 파악하는 것은 매우 힘들 뿐만 아니라 선부른 오판은 매우 치명적인 결과를 초래할 수 있다. 이 경우에, 상황의 핵심 요소와 상호관련성을 효과적으로 보여 주고, 가능한 결과를 예측할 수 있도록 도와주고, 적절한 대응 행동을 안내 하는 디스플레이는 조작자로 하여금 올바른(상황) 정신모형을 구성하여 적절한 조치를 취할 수 있도록 도와줄 것이다. 예컨대, 조작명령의 결과에 대한 예측디스플레이를 제공하거나, 음성 확인 보조장치를 중요한 조작버튼에 병행 설치한다면 치명적인 지식기반착오를 사전에 방지할 수 있다.

규칙기반 착오는 대체로 이미 숙달한 규칙을 잘못 적용하는 문제인데, 이는 조건(if)을

충분히 식별하지 못하였거나, 틀린 규칙이 인출되거나, 행위('then)의 실행 혹은 조건과 행위의 연결에 충분한 주의를 주지 못하였을 때 발생한다. 규칙기반 착오를 일으키기 쉬운 시스템은 조작버튼의 실행방법이 복잡하거나, 다양한 상황에 대한 규칙실행을 미리 조연해주는 기능이 결핍된 경우이다. 이런 착오를 줄이기 위해서는, 환경의 중요한 단서들이 지각적으로 현저하게, 중요한 정보를 잘 반영하도록 표시되어야 하고, 규칙들은 잘 간명하고 잘 조직되어 있을 필요가 있다. 복잡한 규칙은 제대로 이해하거나 지키기가 어렵고, 특히 작업 부하가 높아지거나 인지적 붕괴가 일어날 경우, 조작자는 임의적 편법(heuristic)에 의존하기 쉽다. 또한 조작자의 수행을 모니터하고 에러가 탐지되거나 그 밖의 필요가 있으면, 경고하거나 자동화된 효과적 조치를 취할 수 있는 지원 시스템이 필요하다. 부가하여, 규칙기반 착오를 줄이기 위해서는 매우 다양한 상황에 대한 대처요령을 충분히 훈련하여, 다양한 조작규칙을 습득할 필요가 있다.

실수는 주의 혹은 의식적 통제가 충분히 주어지지 않은 상황에서 발생하기 쉽다. 실수를 낫기 쉬운 시스템은 조작 후 적절한 피드백을 제공하지 않거나, 실수 조작시 음성보조 경보를 제공하지 않는 경우이다. 실수를 줄이기 위해서는 과제를 단순하게 함으로써 과도한 주의가 필요하지 않도록 할 수 있는데, 예컨대 자극 - 반응 부합성을 높이거나 자극 - 통제의 유사성을 높이는 것이 도움이 될 것이다. 그리고 조작기들이 서로 잘 변별될 수 있도록 (공간적으로) 배치하고 (형태나 색깔) 디자인하는 것도 중요하다.

과오는 필요한 행동이 잘 표상되지 않거나 활성화되지 못해 수행하지 않게 되는 오류이

다. 과오는 생략오류이므로, 과오를 낳게 한 기억실패를 방지해주지 못하면 시스템 결함으로 볼 수 있다. 이를 위해서는 예컨대 점검목록(checklist)에서 볼 수 있듯이, 필요한 조작 행동을 외적으로 표시하는 것이 필요하다. 인간은 부재(absence)를 심적으로 표상하는 하는 것이 힘들므로, 수행해야 할 행동은 언제나 긍정적 형태로 제시하는 것이 필요하다(예, 'Off'를 확인하는 데에는 'On'이 꺼진 것보다 'Off'가 켜진 것이 더 좋다). 그리고, 차명적인 과오를 방지하려면, 특정 조작행동의 계열(sequence)에서 생략된 조작에 대한 음성경보를 제공하는 것이 필요하다. 또는 반복적인 훈련을 통해서 복잡한 계열적 조작행동을 숙지하는 것도 필요하다.

양식에러는 그 발생빈도와 중요성이 점점 더 높아질 것으로 보인다. 이는 자신의 행동이 수행되는 상황 혹은 맥락을 시스템의 맥락(mode)과 일치시키지 못한 데에서 발생한다. 양식에러를 낳기 쉬운 시스템은 특정 키가 여러 가지 기능상태를 세팅하는 데 사용되는 상황에서 그 세팅에 대한 상태정보에 대한 표상을 조작자가 지속적으로 유지하기 곤란한 경우이다. 특히 한 가지 디스플레이로 혹은 몇 개의 조작기로 여러 기능을 수행하는 시스템에서는, 맥락을 식별할 수 있는 단서들이 부족하다는 문제점이 있다. 맥락의 탐지는 중심부의 시각 혹은 초점 주의보다는 주변부의 시각 혹은 분산된 주의가 더 효과적이다. 색, 결, 조명, 음향 등은 맥락을 신호하는 데에 효과적으로 사용될 수 있다. 이와 더불어 생태적으로 자연스러운 요소를 활용하는 방안도 적극 고려하여야 할 것이다. 키보드의 Caps Lock 키 또는 한/영 전환키 등의 경우처럼 현재 상태를 시각적으로 잘 보여주는 상태디스플레이

의 제공이 중요하다.

인간에러는 시스템의 제 국면에 대응하여, 다양한 수준에서 다양한 유형으로 발생할 수 있다. 현대에는 컴퓨터로 제어되는 자동화 시스템이 점차 증가하고 있다. 이런 시스템의 배후에 있는 기계적인 작동 방식이나 프로그래밍 언어의 논리는 보통 사람들이 일상적으로 사용하는 논리와 상이한 점이 많다. 따라서 자동화된 제어 시스템에 인간이 개입하고자 할 때, 예상치 않았던 결과가 초래되는 경우가 많다. 이런 일은 시스템의 논리와 이에 대한 인간의 정신모형이 부합하지 않기 때문에 발생한다(Norman, 1996). 이런 불일치는, 수많은 시스템이 우리 주변에 포진하고 있고 시스템 사용이 일상화되어 있는 현대에 와서는 더욱 다반사가 되고 또한 심각한 문제가 되고 있다. 가전제품과 달리, 대규모의 복합 시스템의 경우에는 한두 개의 에러도 치명적 결과를 가져 올 수 있기 때문이다. 그러므로, 시스템의 개발에는 인간에러를 예측하고 이에 대한 체계적인 분석과 인간에러를 감소시킬 수 있는 디자인을 개발하고 그 효과를 평가하는 작업이 일관적으로 수행될 필요가 있다. 그리고 장차 개발될 복합 시스템은 사용자 혹은 접근 가능한 인간이 보일 수 있는 에러를 여러 수준에서 예측하고, 가능하면 예방하고 교정하는 종합적 대응 시스템을 하위 시스템으로 구비하는 방향으로 나아가야 할 것이다.

대구지하철 화재 사고에 대한 에러 및 시스템 결함분석

2003년 2월 18일 오전 9시 52분경, 대구지하철 중앙로 역에 진입한 1079호 기관차의 2호차 객실에서 김 아무개(남, 57세)의 방화에 의

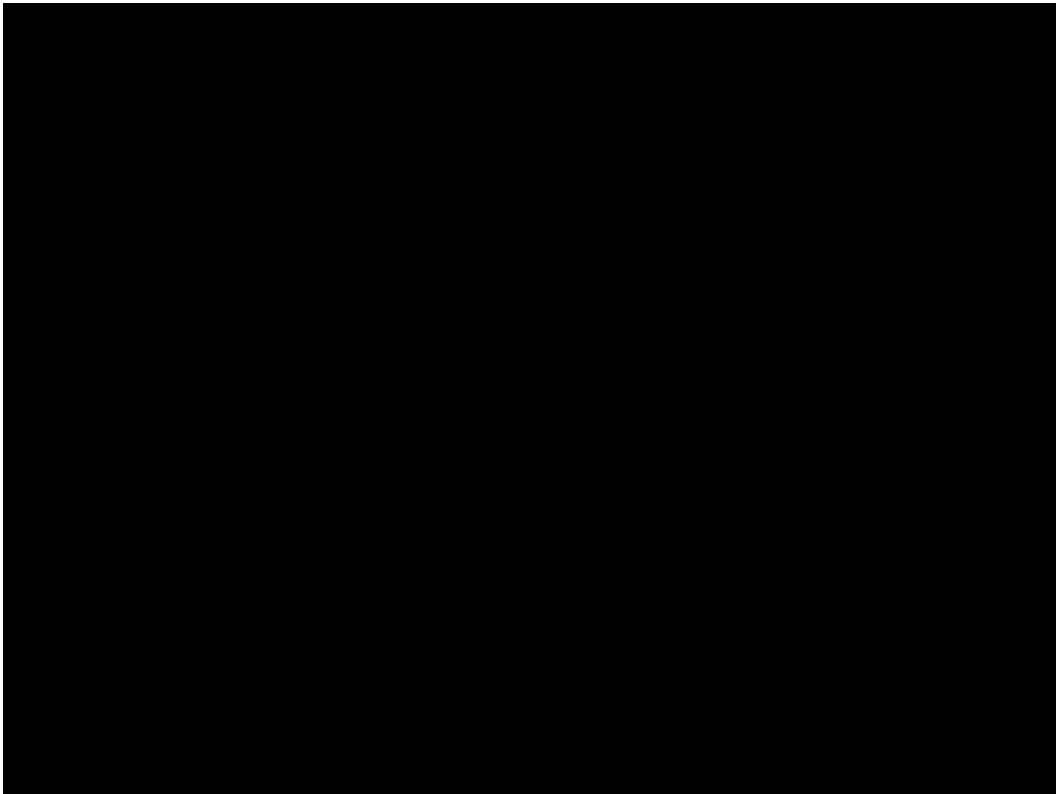


그림 3. 대구지하철 화재사고의 시간대별 사건도해

에 침착하게 소화기의 위치를 파악하여 진화를 시도하면서 대피했어야 하였다. 플라스틱 폼으로 제작된 좌석에 신나와 같은 물질로 화재가 발생하면, 옷 등으로 소화를 시도하더라도 별 효과가 없고, 화재가 더 확산되기 쉬우므로 승객들은 소화기를 이용하여 진화하여야 하였다. 즉 초기 방화 장면에서 상황에 대한 지각판단 및 이해의 부족으로 시의적절한 재난방지 행동이 일어나지 않았으므로 지식기반 착오가 있었다고 생각된다.

과오: 90초 동안 중앙사령실 및 역무실에 CCTV로 화재장면이 보였으나 근무요원들의 과오 및 태만으로 적절한 감시행동을 하지 않았다.

시스템 결함: 화재발생시 승객들에게 자동 음성 경보 및 소화기 위치알림 등의 시스템 설계가 되어 있지 않았고, 적절한 대처행동에 대한 안내시스템이 장착되지 않았다. 소화기는 각 전동차의 양쪽 끝에 덮개로 되어 설치되어 있어서 신속한 사용이 곤란하였다. 전동차의 내장재가 불연재가 아닌 목재 인화점보다 약간 높은 난연재로 제작되어 가솔린과 같은 인화성물질에 취약하였다.

9시 53분 대구지하철공사 기계설비사령실(직원 3명)에 화재경보음이 울리고 '화재 발생'이라는 문자 경보가 상황판에 나타났으나 근무자들은 단순한 기계 오작동으로 판단해서

운전사령실에 통보하지 않았다.

지식기반 착오: 기계설비 사령실에 화재경보가 소리 및 문자로 제시되었음에도 사령실 직원들이 상황을 헛경보(false alarm)로 잘못 지각하여 적절한 대처 행동이 일어나지 않았다. 최소한 사령실 및 해당 직무실 화재 확인을 하여야 하였다.

시스템 결함: 화재경보 시스템의 오작동으로 잦은 헛경보로 인해 실제 화재상황에서 기계오작동으로 잘못 판단하게 하였으므로, 경보 시스템의 불안정성이 문제였다. 그리고 일단 화재경보가 일어나면 해당 직무실 및 사령실에 자동적으로 경보가 전달되도록 시스템이 통합되어 있어야 하였다.

9시 54분 소방본부 상황실에 40대 남자가 핸드폰으로 화재신고 후 중앙로 종합사령실에 화재사실 보고하였다. 이때 1079호 기관사는 연락이 되지 않았는데, 그는 승객들과 불을 끄려다 실패하고 승객들과 대피하였다고 밝혔다. 1분 뒤 북부 소방서에 출동지령이 내려졌다. 이 시각 중앙로 역 전체가 화염과 유독가스에 휩싸였다.

규칙기반 착오: 규범에는 화재발생시 기관사는 사령실에 급보한 다음 지시 이행으로 되어 있었음에도, 기관사가 우선적으로 소화를 시도하여 화재에 대한 총체적 대처가 지연되었다. 즉 기관사가 화재발생시 규범 또는 규칙을 잘못 적용한 예이다.

9시 55분 30초 1080호 전동차가 대구역에서 중앙로 역을 향해 출발할 때, 사령실은 “전 열차에 알립니다. 중앙로에 진입시 조심해 운전해 들어가시기 바랍니다. 지금 화재 발생했습니다”고 전달하였고, 1080호 기관사도 이때

화재발생 사실을 알게 되었다.

규칙기반 착오: 사령실 직원은 화재 발생시 당해 기관차에 무정차 통과 혹은 운행 중지를 하도록 지침에 있는데도 조심해서 진입하라고 하였으므로 잘못된 규칙을 적용하였다.

9시 56분 역 플랫폼에서 지하상가로 이어지는 방화셔터가 내려와 출구가 차단되었다.

시스템 결함: 방화셔터가 내려짐으로 인해 대피행동을 하던 승객들이 이를 사전에 알지 못하고 대피가 막히거나 우회할 수밖에 없게 됨. 방화셔터가 내려진 곳으로 비상유도등이 표시되어 있었다. 방화셔터가 닫히면 대피로 안내표시도 변경되어야 하고, 하나이상의 대피로가 가능하여야 하였다. 실제로 지대가 낮은 철로를 통해 인근 역으로 도피한 승객들도 있었다.

9시 57분 1080호 전동차가 맞은편 선로로 진입한 기관사는 “연기가 나고 엉망이다. 대피 시킵니까 어떡합니까”라고 사령실에 보고하였지만, 사령실은 “단전되어서 못 움직이므로 안내 방송을 하라”고만 지시하였다. 1080호 전동차로 연기가 들어오자 전동차 문을 닫고, 사령실과 계속 교신 및 발차를 시도하였다.

지식기반 착오: 기관사는 화재의 심각성 정도를 사령실보다 더 잘 판단할 수 있는 상황에 있었음에도 승객들에게 즉시 독자적 판단에 따른 대피안내를 하지 않고 중앙로역에 멈춘 상태로 대기하여 상황을 악화 및 대피 지체함. 즉 화재심각 상황에 대한 지각적 해석이 잘못되어 이에 따른 적절한 대처행동을 하지 못하였다.

과오: 사령실도 기관사에게 안내방송을 어떻게 하라고 하는 구체적 명령을 하지 못해

기관사의 적절한 대피행동을 유도하지 못하였고, 기관사와의 통화시 화재상황에 대한 판단에 필요한 정보 확인을 하지 못하였다. 즉 적절한 명령 및 확인작업이 누락되는 과오를 범하였다.

시스템 결함: 화재발생시 보호계전에 의해 주전원이 단전되는 시스템이었는데, 이 경우 보조전원으로 1080호 전동차를 수십 미터만 옮길 수 있었어도 사상자를 상당히 줄일 수 있었다. 급전시스템을 가동하는 경우 수십 초 이상은 가동이 가능하도록 전기시스템이 보완되어야 한다.

9시 59분 기관사는 두 번의 1초간 급전 후 단전이 되다가 17초간의 세 번째 급전이 되고 사령실의 발차 명령에 발차를 시도하였으나 곧 단전되어 정차되고 사령실과 교신이 두절되었다. 단전/급전이 3회 반복되면서 전동차는 작동불능 상태에 빠졌다. 사령실이 기관사와 교신을 시도했지만 불발인 가운데 1분 경 후부터 1079호의 불이 열기로 1080호에 옮겨 붙었다. 이 시점을 전후로 기관사는 승객들에게 ‘침착하게 기다리라’는 안내방송을 3번 했을 뿐 대피안내를 구체적으로 하지는 않았다.

규칙기반 착오: 기관사는 차량을 대피 출발시키는데 급급하여 급전 후 단전이 되어도 대피안내를 하지 못하였다. 즉 일상적 행위규칙을 무리하게 긴급 상황에 적용한 규칙기반 착오에 해당한다. 또한, 발차가 되지 않으면 승객대피를 하여야 한다는 행위 규칙을 기관사도 사령실도 간과하였다.

지식기반 착오: 기관사는 3회 급전 후 단전이 되면 다시 급전이 되지 않는다는 사실을 인지하지 못하였다. 이는 착오를 방지하는 상황에 대한 지각이 결여된 지식기반 착오이다.

기관사는 사령실의 ‘안내 방송하라’는 명령을 ‘침착하게 기다리라’는 것으로 해석하는 상황 판단 오류를 범하였다. 즉 사령실은 화재의 심각성을 판단하기 어려운 상황이지만 기관사는 상식적으로도 승객대피에 필요한 정도의 연기 및 화재를 인지한 상황에서 급전에만 의존하여 전동차와 승객 모두를 대피시키려고 하였다.

시스템 결함: 급전을 3회 이상 하면 단전이 된다는 사실을 시스템이 기관사에게 알려주는 보조장치가 없었고, 각 급전시마다 몇 초 동안 전기사용이 가능한지를 표시하는 장치가 없었다. 마스크 키를 뽑으면 현재의 전동차 상태(승객 유무, 문 개폐 유무 등)가 표시되어 경보음이 울리도록 하여 치명적인 에러가 나오지 않도록 설계되어야 한다.

10시 2분 불이 옮겨 붙자 1080호 기관사는 주변의 승객들과 탈출하다, 잠시(10여초)후 돌아와 마스크 키를 빼고 대피하였다. 이로 인해 전동차문 잠김 상태가 되고, 1호 및 4호차는 수동으로 개방하였으나 나머지 차량은 수동으로 문을 개방하지 못하여 승객 대부분은 질식으로 사망하였다. 대부분의 대피승객들이 연기가 적은 낮은 철로를 이용하는 대신, 연기가 차 있는 위쪽 출구로 대피하여 질식 또는 유해가스 중독으로 인한 사망자가 생겼다.

양식에러: 1080호 기관사는 마스크 키를 뽑기 전에 승객들이 아직 전동차에 남아 있다는 사실을 기억하지 못했고, 마스크 키를 빼면 전동차문이 닫힌다는 사실을 망각했다. (마스크 키를 뽑을 당시 문이 열려 있는 줄 알았다고 하였다). 즉 마스크 키를 빼면 전동차의 모든 전원이 차단되므로 전동차 내 등이 꺼지고, 문은 닫히게 된다. 즉 비행기가 이륙하기 전

인데 착륙기어를 올리는 것과 비슷한 양식에서 기관사가 범한 것이다.

지식기반 착오: 마스크론 키를 빼면 전원이 차단되고 전동차문이 자동으로 닫힌다는 사실을 몰랐다는 점도 지식기반 착오에 해당한다. 승객의 경우 화재가 심각하게 된 후에도 수동 개폐기의 위치나 조작법을 몰라서 1, 4호차를 제외한 다른 전동차의 경우에는 전동차의 문이 열리지 않았다. 최후의 방법으로 전동차의 창문을 발로 차낼 수 있었다. 구조된 승객들의 절반 이상이 화재 인지 후 기다리는 행동을 취하였고, 25%만이 즉각적인 피난·대피행동을 취하였다(홍원화, 전규엽, 2004).

규칙기반 착오: 키를 뽑기 전에 대피안내를 적절히 하지도 대피유도행동을 유도하지도 못했다. 즉 화재가 심각하게 되었을 때 승객대피가 우선이라는 규칙을 적용하지 못했다. 또 승객의 인명손실 보다는 차량의 경제적 손실을 막으려는 듯한 행동(지속적인 발차 시도)은 잘못된 규칙적용의 예이다. 마스크론 키를 빼서 도피한 기관사의 행동은 비록 기관사의 책임 중에 전동차에서 이탈할 경우 마스크론 키를 반납하여야 하는 일상적 규칙에는 적절한 것이었다고 하더라도, 그 잘못된 규칙 적용 때문에 사태는 참사로 발전하였다. 승객의 경우 대피는 일반적으로 계단 쪽 위로 하는 것이라는 잘못된 규칙 적용이 일어났다. 화재의 경우에는 더 낮은 쪽으로 대피해야 한다.

과오: 마스크론 키를 빼면 전원이 완전히 차단되므로 그 전에 승객대피 안내방송을 하였어야 하는데 그 과정을 생략하는 에러를 범하였다.

시스템 결함: 전동차로부터 대피행동을 하는 승객이 출구를 쉽게 찾지 못하도록 복도 및 계단이 너무 복잡하게 얽혀 있었고, 연기

가 차오르면서 비상구 등이나 바닥쪽의 방향 등이 잘 보이지 않았다. 패닉 상황의 대피시에 잘 보이는 곳에 비상구를 중복적으로 설치하고, 등의 색채도 연기투과성이 좋도록 설계되어야 했고, 시각적인 안내뿐만 아니라 청각적인 대피로 안내 시스템도 설치해야 했다. 또한 대피 유도등도 중복적이고 다중적으로 설계되어 화재발생 시에는 어떤 루트가 좋은지, 연기발생 시에는 어떤 루트가 좋은지가 표시되도록 하는 것이 좋다. 지하철 내의 소방설비(소화전, 스프링클러, 소화기 등의 설비는 주로 승강장 및 개찰구 부근에 위치해 전동차의 화재 진압에는 거의 쓸모가 없었다. 전동차 내에 손전등, 구급 호흡장비 및 마스크 등의 설비가 미비하였다.

10시 8분 소방대원들 도착해서 인명구조 및 화재 진화작업을 시작하였다.

이상과 같이 대구지하철 화재사고를 시간별로 나누어 사태와 관련된 인간에러의 종류 및 관련 시스템 결함을 분석해 보았다.

대구지하철 화재사고의 에러 분석 결과, 전술한 인간에러 유형 중 착오가 많이 개입되어 있으며(지식기반 착오 9건, 규칙기반 착오 7건), 그 외에 과오도 몇 개(4건) 포함되어 있지만, 실수(슬립)나 양식에러(1건)는 그리 많지 않다. 그 이유는 일상적인 자동화된 행동에서 무의식적으로 발생하는 실수나 양식에러는 주의가 별로 주어지지 않는 상황에서 일어나는 반면에, 지하철 화재사고의 경우는 비일상적 상황으로서 주의가 과부하되고 정보가 불확실한 상황이므로 착오나 과오가 많은 것으로 볼 수 있다.

분석된 인간에러들 중 승객들의 에러(3건)보

다는 1079호 기관사(3건), 1080호 기관사(11건) 및 사령실(4건)의 에러가 결정적인데다가 더 많았고 그 에러들 또한 참사를 유발하기까지 누적되어 일어났다는 점이 부각된다. 특히 1079호 기관사는 화재발생 신고를 적시에 하지 않았고, 화재 경위보고도 구체적이지 못하여 운전사령실의 상황판단을 오도하였고 이는 1080호 기관사의 더 치명적인 에러들로 이어졌다. 그러나 1079호에서 발견된 시신은 2구뿐이었는데, 이는 전동차 문이 열려있었고 연기가 상대적으로 적은 상태에서 승객의 대피가 가능하였기 때문이었다.

더 결정적인 에러는 1080호 기관사 및 그와 교신한 운전사령에 있었다. 운전 사령은 화재 발생 후 전동차의 급정차 및 후진 또는 무정차 통과를 명령하지 않았으며, 기관사는, 화재의 심각성을 판단하고 급정차를 하거나, 아니면 중앙역 진입 후에도 승객 대피를 우선으로 하여야 하였음에도 대피안내 대신 마스크 키를 뽑음으로서 전동차의 전등의 소등 및 문 잠금을 초래하였다.

맺음 말

인간에러들을 낳게 하는 데 시스템 설계의 인터페이스 결함이 매우 중요한 역할을 차지한다. 대구지하철 화재사고에서도 시스템에 관한 결함 및 보완필요사항이 총 14건으로 관찰되었는데, 실제로는 이보다 더 많은 사례들을 발견할 수 있을 것이다. 이 중에서도 화재발생의 탐지 및 경보의 전달과 승객대피 안내 신호 시스템 등의 세밀한 설계는 화재발생시 패닉 상황에서 주의과부하와 정보결핍으로 인한 인간에러를 줄일 수 있도록 하는 데 매우 중요하다. 예를 들어, 지하철 승차 칸 내부에

적정 농도 이상의 연기가 차면 자동으로 문이 열린다든지, 전원이 꺼지면 비상전원을 통해 비상문개폐기의 위치를 알려주는 깜박임 전등과 경보음이 울리도록 장치하는 것이 그리 어려운 일이 아니다. 또한 재난으로 연결될 수 있는 오퍼레이터의 중요한 조작행위(예: 기관사가 마스크 키를 뽑는 행위, 또는 전투기의 비상탈출 레버)에 대해서는 선행 조건을 판별하고 필요한 교정을 지시하는 보조시스템이 필요하다.

인간에러는 일종의 확률적 과정으로 간주할 수 있으며, 이런 관점에서 보면 인간에러는 여러 가지 이유로 부정기적으로 발생하게 되어 있는 것이다. 인간에러를 6시그마(σ)의 수준(백만분의 3~4 개)으로 줄이기 위해서는 매우 철저한 통제와 관리가 필요한 것이다. 유감스럽게도, 일상적 인간 행동을 그런 수준으로 통제할 수는 없다. 재난과 관련하여 보면 결정적 인간에러가 일회적이거나 적어도 빈번하지 않은 상황에서 발생하는 경우가 많다. 이런 종류의 인간에러에 대해서는 확률 분석도 인간 신뢰도(human reliability) 측정도 매우 어려울 것이다. 예측하기 힘든 종류의 에러들에 대해 완벽하게 대비하기 위해서는 많은 예산이 소요될 것이다. 체계적인 손익 분석이 필요하겠지만, 에러를 사전에 예방하는 것과 에러를 사후에 교정하는 것은 어느 정도 서로 교환(trade-off)될 수 있다. 특히, 자주 발생하지 않는 에러나 예상치 못한 에러의 경우에는 에러의 사후 교정이 더 중요한 국면이 될 수 있다.

그러므로, 인간에러의 발생 가능성을 전적으로 제거하려고 하는 (혹은 더 나쁘게 그 가능성을 전적으로 무시하는) 접근은 많은 비용을 지불하면서도 결국은 배반당하는 결과를

을 수 있다. 대신에 에러가 발생할 수 있음을 인정하고, 그럼에도 불구하고 시스템과 조작자를 위험으로부터 보호하고 붕괴를 방지할 수 있는 방식으로의 시스템 디자인이 필요하다. 이를 위해서는 시스템의 제어 국면 못지않게 시스템의 진단(diagnosis) 국면에 대해 매우 체계적이고, 용의주도한 디자인이 필요하다. 많은 시스템들이 과업을 정상적으로 수행할 동안에는 잘 이해되는 듯이 보이나, 기능적인 붕괴가 일어나면 어디에서 문제가 생겼는지를 도무지 종잡을 수 없게 되어 있는 경우가 많다. 시스템과 인간에러에 대한 진단적인 기능을 강화하는 데에도 인간의 정보처리 과정에 대한 이해가 필수적이라 생각된다.

인간에러와 직접 관련이 없는 건축 및 방재 설비 부분에서도 더 많은 설비결함이 도출되었다(홍원화, 전규업, 2004). 예컨대 난연성 소재는 오히려 승객들이 유독 가스로 인해 질식사하도록 만들었으며, 소화기는 잘 발견하기가 어려웠으며, 스프링클러는 플랫폼 위로만 물리 뿌려지게 되어 있었으며, 방화셔터도 적절하게 작동하지 못하였다. 이런 설비 문제는 재난이 실제로 발생할 수 있다는 가능성을 심각하게 고려하지 않은 데에서 비롯하지 않았는가 하는 생각이 든다.

인간에러의 발생률을 시스템 설계에서 줄일 수는 있다고 하더라도 완벽하게 시스템을 구축하는 것은 거의 불가능함을 생각해보면 기관사, 승객 및 운전사령실의 화재 대비 구난 훈련이 매우 중요함을 시사한다. 만약 한 번 만이라도 화재 상황을 모의하고 매우 사실적인 대피 훈련을 실시하였더라면 안전 대피에 필요한 중요한 정보들을 수집할 수 있었을 것이다.

방재와 안전을 위한 시스템을 개발하기 위

해서는 여러 수준의 연구들과 학제적인 접근을 필요로 한다(곽호완, 2003). 특히 인지심리학적 관점에서 보자면, 재난 및 사고 상황에서 보이는 인간의 인지적 정보처리 특성을 먼저 이해할 필요가 있다. 재난 상황에서 중요한 인지 기능이 방해 받거나 기능 정지 상태에 빠지지 않도록, 인간 정보처리의 체계에서 특히 상황판단과 의사결정이 효과적이 되도록 지원하여야 할 것이다.

화재 사고 후 2년여가 지난 현재, 사고지역인 대구 중앙로 역사에는 비상등 표시를 재정비하고, 환기 및 소화시스템을 새로 구축하였다. 그리고 전동차 내부는 내연재 사용을 강화하였고, 비상문개폐장치 및 소화기 위치 파악을 쉽게 하는 표시를 부착하였으며, 사고시 유리창을 파괴하여 탈출할 수 있도록 보조장치를 추가하였다. 이러한 설비의 정비는 물론 사고의 피해를 줄이는데 기여하겠지만, 앞서 언급한 여러 가지 에러내성 시스템의 디자인까지 모두 포괄한 개선을 하였다고 보기는 어렵다. 추후, 모의훈련분석이나 시나리오 분석 등을 통해, 사고발생시 생길 수 있는 에러들을 예측하고 그에 따른 에러내성 시스템을 설계하여야 할 것이다.

본 연구는 Wickens와 Hollands(2003)의 인간에러의 다섯 가지 분류에 의거하여 대구지하철 화재사고 관련자들의 에러를 분석하였다. 전술한 대로, 이 분류는 매우 다양한 사고상황과 복잡한 인간의 인지과정의 측면을 드러내는 데 있어서 비교적 단순하다는 비판을 받을 수 있다. 특히, 이 다섯 가지의 에러 각각에서 특정 정보처리 단계가 와해되었는지를 확인하기는 어렵다. 추후 연구에서 에러모형을 정보처리모형과 연결하여 보다 위계적으로 세분할 필요가 있다. 이 방향에 대한 기초적

연구로서 박창호, 곽호완(2005)은 화재사고 관련자들의 인지 및 행동분석을 시도하였다.

참고문헌

- 곽호완 (2003). 안전 기술과 인지과학. 한국인지과학회 2003년 춘계학술대회 논문집, 69-75.
- 권영국 (2002). 산업안전공학. 서울: 형설출판사.
- 김정오 (2005). 오류의 심리과정. 한국심리학회지: 실험, 17(3), 245-263.
- 문화일보 (2003. 2. 21). '<대구지하철 참사> 대참사 피할 기회 4번 있었다', <http://www.munhwa.com/>.
- 박창호 (1998). 인터페이스 디자인과 사용성. 한국심리학회 동계연구 세미나 논문집, 23-41.
- 박창호, 곽호완. (2005). 대구지하철 화재사고에 대한 분석 2: 행동과 인지 측면. 한국심리학회지 실험, 17(3). 327-341.
- 홍원화 (2005). 2·18 대구지하철 화재 참사 기록과 교훈. 서울: 119magazine.
- 홍원화, 전규엽. (2004). 2·18 대구지하철 화재 연구 조사 보고서. 경북대학교 건축학부 도시환경설비연구소.
- Baars, B. J. (1992). The many uses of error. In B. J. Baars (Ed.), *Experimental Slips and Human Error*. N.Y.: Plenum Press.
- Goodstein, L. P., Andersen, H. B., & Olsen, S. E. (1988). *Tasks, Errors and Mental Models*. Taylor & Francis Ltd.
- Meister, D. (1991). *Psychology of System Design*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science Publisher.
- Norman, D. A. (1981). Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88, 1-15.
- Norman, D. A. (1996). 디자인과 인간심리. (이창우, 김영진, 박창호 역). 서울: 학지사. [원서는 1988년에 출간]
- Rasmussen, J. (1991). 인터페이스의 인지공학. (이근철 역) 서울: 기전연구소
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1987). *Human factors in engineering and design (6th ed.)*. New York: McGraw-Hill.
- Wickens, C. D., Gordon, S. E., & Liu, Y. (2001). 인간공학. (이재식 역). 서울: 시그마프레스.
- Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2003). 공학심리학(3판). (곽호완, 김영진, 박창호, 남종호, 이재식 역). 서울: 시그마프레스.

1차원고 접수: 2005. 8. 10
최종게재결정: 2005. 9. 27

Analysis on Daegu Subway Fire Accident 1: Human Errors and System

Ho-Wan Kwak

Department of Psychology
Kyungpook National University

ChangHo Park

Division of Mass Communications and Psychology
Chonbuk National University

Daegu Subway fire accident occurred on February 18, 2003 clearly demonstrates how human errors can result in catastrophe in modern automatic systems, and suggests that the human error should be carefully considered in the interface design of a subway system. This study tried to show that human errors are caused by various environmental conditions (e.g., system design flaw, workload) and deficits in cognitive information processing. In addition, we performed time-line analyses on human errors and system flaws involved in Daegu fire accident, and proposed several error prevention systems.

Keywords: Daegu subway, fire accidents, human error, system, interface