

도시철도 역무실 통합 안전관리시스템 디스플레이의 Ecological Interface Design Prototype 개발

이봉근¹ · 백지승¹ · 조성식¹ · 명노해¹ · 이덕희²

¹고려대학교 산업경영공학과 / ²한국철도기술연구원

Development of Ecological Interface Design Prototype on Integrated Safety Management System Display in Subway Station Office

Bong Geun Lee¹, Ji Seung Back¹, Sung Sik Jo¹, Rohae Myung¹, Duck Hee Lee²

¹Department of Industrial Management Engineering, Korea University, Seoul, 136-701

²Korea Railway Research Institute, Uiwang, 437-757

ABSTRACT

Current subway station's office employee must perform safety management tasks by monitoring the various safety management systems. But these monitoring systems are limited in effective situational awareness and response to a state of emergency immediately. It is necessary to develop an integrated safety management system display. In this study, we developed subway station safety management system's (CCTV, fire detection & alarm system, screen door control equipment) integrated prototype display with ecological interface design framework and evaluated prototype display interface's usability with GOMS model. The result was that the ecological interface's performance was better than existing safety management system's interface.

Keywords: Ecological Interface Design (EID), Abstraction Hierarchy (AH), GOMS, Model Based Evaluation

1. 서 론

철도산업 발달에도 불구하고 다양한 도시철도 안전사고는 매년 지속적으로 발생하고 있다(국토해양부, 2009). 사고발생에 따른 사회·경제적 손실을 최소화하기 위해 각종 안전감시체계의 설치 확대 등 인적, 기술적 대책이 마련되어 시행되고 있으나 도시철도 역사 구내에서의 안전사고로 인한 여객 및 공중 사상자는 지속적으로 발생하고 있으며 승

강장에 스크린도어와 CCTV 등의 설치만으로는 사고를 예방하고 사고발생 시 신속·정확하게 대응하는데 한계가 있다. 또한 현재의 역무실 안전관리는 역무원이 다양한 장비를 지속적으로 모니터링 하여 사고발생 예방조치를 수행해야 하나 소수의 인원으로 여러 가지 업무를 수행해야 하는 역무원들이 각종 안전 감시장비를 지속적으로 모니터링하는 것은 제한되므로 CCTV 감시 위주로 이루어지고 있고 역무원들이 수행하는 안전조치 행위는 안전사고 예방보다는 사고발생 시 사후수습 위주의 수동적 모니터링 시스템으로 사

*본 연구는 한국철도기술연구원 철도종합안전기술개발사업의 일환으로 고려대학교에서 수행하고 있는 "역 구내 안전 감시체계 운용 최적화 기술 개발"과제(R0909421)에 대한 연구임.

교신저자: 이봉근

주 소: 136-701 서울시 성북구 안암동 5가 1번지, 전화: 010-5073-9753, E-mail: airpatrol@korea.ac.kr

고발생 시 효율적인 대처가 제한적이다. 따라서 안전사고 예방을 통한 피해 최소화 및 사고발생 시 효과적인 안전조치 행위를 수행하기 위해 역무원들의 안전관리업무 작업부하를 줄이고 상황인식을 증진시킬 수 있는 효율적이면서 능동적으로 업무를 수행할 수 있는 통합 사용자 인터페이스의 개발이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 도시철도 역사 역무실에 개별적으로 설치되어 운용 중인 안전관리시스템을 하나의 통합된 디스플레이에서 모니터링할 수 있도록 생태학적 인터페이스 디자인(Ecological Interface Design) 방법론을 적용하여 프로토타입 디스플레이를 개발하였으며 유용한 사용성 평가도구인 GOMS 모델을 이용하여 기존 디스플레이와의 수행도 차이를 상대적으로 비교 예측하였다. 생태학적 인터페이스 디자인 방법론은 효과적인 디스플레이를 디자인하기 위한 방법으로 사용되고 있으며 환경과의 상호작용을 강조하기 위해 연구되었으며 시스템 작동과 관련된 본질적인 제한사항과 관련된 정보들을 식별하여 시각화함으로써 작업자가 문제해결을 위해 어떻게 행동해야 하는지 이해할 수 있게 도와줄 수 있는 방법론이다(Gibson, 1986; Vicente and Rasmussen, 1992; Burns and Hajdukiewicz, 2004). 이러한 생태학적 인터페이스 디자인 방법론을 적용하여 항공, 정보통신, S/W 개발, 의료 및 지휘·통제 분야 등 다양한 도메인에 적용시킨 연구들이 진행되었다(Vicente, 2002).

2. 생태학적 인터페이스 디자인

2.1 작업영역분석(Work Domain Analysis)

2.1.1 시스템 경계 설정

본 연구에서는 도시철도 역사 역무실에서 역무원들이 안전사고 예방과 조치를 위해 운용하고 있는 장비들 중 CCTV, 자동 화재탐지 및 경보장비, 승강장 스크린도어 장비에 대해 작업영역분석 범위를 설정하였다. 이 장비들은 역무원들이 안전관리업무를 수행하기 위해 가장 중요한 정보와 기능을 제공하기 때문이다.

2.1.2 Abstraction Hierarchy 분석

AH는 역무원들이 안전관리작무를 수행하기 위해 필요한 기능과 정보를 대상으로 means-ends, why-what-how 관계를 이용하여 공중사상 저감이라는 시스템의 존재 목적인 level 1의 Functional Purpose에서부터 시스템의 물리적 대상을 나타내는 level 5인 Physical object까지 다섯 단계 수준으로 분석하였다.

2.1.3 요구정보(Information Requirement) 도출

AH 분석결과를 바탕으로 생태학적 인터페이스 디스플레이에 최종적으로 나타내야 정보를 도출하기 위해 10년 이상의 역무실 직무 경험이 있는 전문가 5명을 대상으로 인터뷰를 실시하였다. 이를 바탕으로 하여 기존 디스플레이의 정보 이외에 [표 1]과 같이 작업영역분석과 전문가 인터뷰를 통해 추가적으로 요구된 정보(굵은 활자체) 13개를 포함하여 총 19개의 정보를 도출하였다.

표 1. 요구정보 도출결과

기존 Display 정보	WDA를 통해 도출된 요구정보
CCTV 화면 - 진출입구, 통로, 플랫폼	CCTV 화면정보 - 진출입구, 통로, 플랫폼 - 화재지역, 진출객차
화재탐지신호 - 화재발생위치	역사 Map 정보 - 화재발생위치 - 진출객차위치, 화재확산예측 - 위험구역, 대피경로
소화장비 작동상태 - 흡배기팬, 감지기, - 유도등, 소화전 - 스크린클러	각종 장비정보 - 화재탐지신호/소화장비작동/상태표시 - 스크린도어 개폐/상태표시 - 경보장비작동/전파정보
스크린도어 작동상태 - 정상/비정상 작동상태 - 개폐상태 - 선로출입문 개폐상태	상황파악/연락정보 - 승객신고 - 기관사, 통제실 교신상태 - 인접역 교신상태 - 비상대응절차도 - 유관기관요청/관련상태

2.2 생태학적 인터페이스 프로토타입 개발

작업영역분석을 통해 도출된 요구정보들을 데이터 형태로 따라 적용 가능한 시각적 형태로 구성한 후 overview 디스플레이는 좌측상단에 현재 상태를 파악할 수 있는 디스플레이는 중앙에, 세부적인 정보를 나타내는 디스플레이는 우측 하단에 배치한 Catherine and John(2004)의 디스플레이 레이아웃에 따라 생태학적 인터페이스 디스플레이 프로토타입을 [그림 1]과 같이 개발하였다.

3. 생태학적 인터페이스 프로토타입 평가

역무원들을 대상으로 생태학적 인터페이스 프로토타입과 현재 시스템의 인터페이스를 대상으로 하여 실험을 수행하



그림 1. 생태학적 인터페이스 프로토타입

는 것은 제한적이므로 상대적인 사용성 비교 예측을 위해 GOMS 모델(John and Kieras, 1996)을 이용하였다. GOMS 모델을 이용하여 평가하기 위해서 모델링 하기에 제한적인 사항들은 가정사항으로 두었다.

3.1 작업분석(Task Analysis)

기존 도시철도 역무실 안전관리시스템의 인터페이스와 생태학적 인터페이스의 수행도를 비교평가하기 위해 도시철도에서 발생할 수 있는 사고유형 중 인명사상이 가장 크게 발생할 가능성이 높은 도시철도 객차 내에 화재가 발생하여 역 구내에 정차하였을 시 역무원의 안전조치 직무를 도시철도 화재사고 시 대응 메뉴얼에 따라 [표 2]와 같이 선정하였고 이를 [표 3]과 같이 두 가지 형태의 인터페이스 별로 작업분석하였다. 기존의 역무실 안전관리시스템의 장비는 자동 화재탐지 및 경보장비, CCTV, 스크린도어 제어장비 순으로 일렬로 나란하게 배치되어 있어 해당 디스플레이를 확인하기 위해서는 역무원이 해당 위치로 이동하는 과정이 포함되어야 하며 이때 역무원은 세가지 장비의 가운데인 CCTV 앞에 위치해 있다고 가정하였다. 생태학적 인터페이스에서는 세가지 종류의 안전관리시스템이 통합된 하나의 디스플레이에서 모니터링이 가능하며 별도의 CCTV 조작 없이 화재사고 발생위치의 CCTV가 pop-up되는 것으로 가정하여

표 2. 안전조치 직무절차

구 분	열차 화재사고 발생 시 직무절차
작업1	화재사고 발생 상황인지
작업2	자동 화재탐지 및 경보장비 정상작동여부 확인
작업3	승강장 CCTV 확인
작업4	스크린도어 개방여부 확인
작업5	스크린도어 수동개방
작업6	승강장 CCTV 확인

분석하였다.

[표 3]의 인터페이스별 작업분석 결과에 따라 화재사고 발생 시의 안전조치 직무절차를 GOMS로 모델링하기 위해서 기존 연구결과(Card et al., 1983)의 operator 값을 이용하였으며 다음과 같은 가정을 하였다. 화재 경보음 발생 시 이 소리를 지각하고 인식하는 과정이 필요하다. 수행해야 하는 작업절차를 인식하는 과정이 필요하다. 원하는 정보를 확인할 수 있는 디스플레이로 이동하는 것은 해당 디스플레이 위치 인지와 역무원의 물리적 위치 이동과정이 필요하다. 장비 작동상태를 확인하는 것은 작동상태정보 위치 인지 및 작동상태정보가 나타내는 것을 지각하고 인지하는 과정이 필요하다. CCTV 확인은 CCTV 영상위치 인지 및 영상정보 지각, 인지과정이 필요하다. 키보드로 CCTV 번호를 입력시키는 것은 키보드 위치 지각, 인지와 키 입력과정이 필요하며 키 입력은 CCTV 번호 두 자리와 엔터키를 입력하는 것으로 한다. 조작버튼 누르기는 버튼위치 지각, 인지 및 누르는 과정이 필요하다. CCTV pop-up 영상확인은 영상 지각, 인지과정이 필요하다.

표 3. 인터페이스별 작업분석 결과

기존 인터페이스	생태학적 인터페이스
1. 사고발생 alarm(beep) 지각	1. 사고발생 alarm(beep) 지각
2. 화재장비 디스플레이로 이동	2. 화재장비 정상작동상태 확인
3. 화재장비 정상작동상태 확인	3. 승강장 CCTV Pop-up 영상확인
4. CCTV 디스플레이로 이동	4. 스크린도어 정상작동상태 확인
5. 사고위치 승강장 CCTV 번호를 키보드로 입력	5. 수동개방 조작버튼 위치확인
6. 승강장 CCTV 확인	6. 수동개방 조작버튼 누름
7. 스크린도어 디스플레이로 이동	7. 승강장 CCTV 확인
8. 스크린도어 정상작동상태 확인	
9. 수동개방 조작버튼 위치확인	
10. 수동개방 조작버튼 누름	
11. CCTV 디스플레이로 이동	
12. 승강장 CCTV 확인	

Card et al.(1983)의 연구결과와 위 가정에 따라 경보음 지각·인식(100ms), 장비위치 인지(1,200ms), 작업절차 인지(1,200ms), 장비작동상태, 지각·인지(340ms), 작업절차인지(1,200ms), CCTV pop-up 영상 지각·인지(230ms), 키보드 위치 지각(100ms), 키 입력(280ms), 버튼위치 지각·인지(290ms), 버튼 누르기(50ms)를 모델링에 사용하였다. 또한, 기존 역무실에서 장비작동상태 확인 및 조치를 위해 디스플레이간 이동에 필요한 시간은 장비마다 또 역사마다 장비배치 및 위치가 다르겠지만 각 디스플레이

레이 중심간의 거리를 1.2 로 설정하였고 디스플레이간 이동시간은 사람의 평균보행속도가 4.3km/h이므로 1,000ms로 가정하였다.

3.2 수행시간 예측

GOMS 모델을 이용한 기존 인터페이스와 생태학적 인터페이스의 수행도 예측시간은 [그림 2]와 같이 약 16,040ms와 4,090ms로 생태학적 인터페이스가 약 12초 정도 빠른 것으로 나타났으며 기존 시스템의 디스플레이간 이동시간을 제외하더라도 약 3.2초 정도 빠르게 예측되었다.

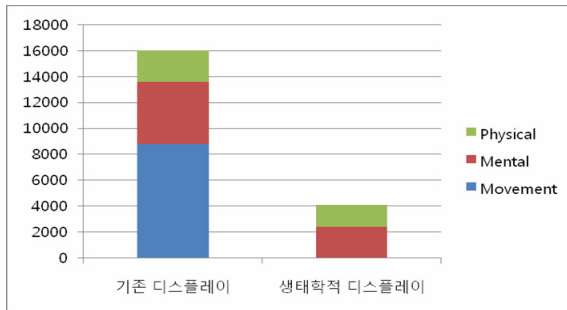


그림 2. 기존 vs. 생태학적 디스플레이 수행시간 예측

열차 화재사고 발생 시 안전조치 직무절차 이외에 추가로 역 구내에서 화재사고 발생시 직무절차에 대해서도 동일한 절차로 GOMS 모델링을 실시하였으며 그 결과 두 가지 인터페이스의 수행도 예측시간이 약 10,760ms와 3,410ms로 생태학적 인터페이스가 약 7초 빠른 것으로 예측되었다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 다양한 도메인에 효과적으로 적용되어온 생태학적 인터페이스 디자인 방법론을 도시철도 역무실 안전관리시스템 디스플레이 프로토타입 개발에 적용하여 지금까지 원자력 발전소 등 대규모 프로세스 컨트롤 분야나 군 관련 지휘·통제 분야에 주로 적용되어온 것을 도시철도 역무실 안전관리시스템이라는 새로운 도메인에 적용시켰다 (Vicente, 2002). 이를 통해 현재 역무실에 개별적으로 설치되어 운용 중인 안전관리시스템을 하나의 통합된 디스플레이에서 모니터링할 수 있도록 디스플레이 프로토타입을

개발하였고 이를 GOMS 모델을 이용하여 기존 시스템의 디스플레이와 수행도를 상대적으로 비교평가하였다. 생태학적 인터페이스 디자인 방법론을 통해 기존 시스템에서는 제공하지 못하나 안전조치업무를 위해 필요한 정보 13가지를 추가로 분석, 도출하였으며 이를 프로토타입 설계에 반영하였다 (Vicente and Rasmussen, 1992). 현재 안전관리시스템의 디스플레이는 개별적으로 구성되어 있어 역무원이 위험상황을 지각, 인지하고 향후 상황을 예측하기 위해서는 필요한 정보를 확인할 수 있는 시스템의 디스플레이로 이동해야 하므로 전체적인 상황을 인식하는데 효과적이지 않으나 생태학적 디스플레이에서는 필요한 정보를 하나의 디스플레이에서 제공하므로 역무원이 효율적으로 상황인식을 할 수 있도록 해준다 (Endsley, 1995). 또한, 기존 디스플레이와의 수행도 차이 비교 예측 결과 역무원의 디스플레이간 이동시간을 제외하더라도 생태학적 인터페이스의 수행도가 기존 인터페이스 보다 약 43% 정도 빠른 것으로 나타나 생태학적 인터페이스의 수행도가 월등히 낫다는 것이 증명되었다.

참고 문헌

- Burns, C. M. and Hajdukiewicz, J. R., *Ecological Interface Design*, CRC Press, 2004.
- Card, S. K., Moran, T. P. & Newell, A., *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associate, Inc, 1983.
- Endsley M. R., *Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems*, *Human Factors*, 37(1), 32-64, 1995.
- Gibson, J. J., *The Ecological Approach to Visual Perception*, Lawrence Erlbaum Associates. 1986.
- John, B. E. and Kieras, D. E., *The GOMS Family of User Interface Analysis Techniques: Comparison and Contrasts*, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 3(4), 320-351, 1996.
- Kieras, D. E., *Using the Keystroke-Level Model to Estimate Execution Times*, 2001.
- Rasmussen, J., *Ecological interface design for reliable human-machine systems*, *The International Journal of Aviation Psychology*, 9(3), 203-23, 1999.
- Vicente, K. J., *Ecological Interface Design: Progress and Challenges*, *Human Factors*, 44(1), 62-78, 2002.
- Vicente, K. J. and Rasmussen, J., *Ecological Interface Design: Theoretical Foundations*, *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions of System, Man, and Cybernetics*, 22(4), 589-606, 1992.
- 국토해양부, 2009년도 철도안전종합시행계획, 4-6, 2009.

저자 소개

명 노 해 rmyung@korea.ac.kr

Texas Tech University, Industrial Engineering Ph. D
현 재: 고려대학교 산업경영공학과 정교수
관심분야: 인지공학, 사용성공학, HCI

이 봉 근 airpatrol@korea.ac.kr

국방대학교 무기체계과 석사
현 재: 고려대학교 산업경영공학과 박사과정
관심분야: 인지공학, HCI

백 지 승 jeanback@korea.ac.kr

고려대학교 지구환경과학과 학사
현 재: 고려대학교 산업경영공학과 석사과정
관심분야: 인지공학, HCI

조 성 식 jossyes@hanmai.net

Auburn University, Mechanical Engineering 석사
현 재: 고려대학교 산업경영공학과 박사과정
관심분야: 인지공학, HCI

이 덕 희 dhlee27@krii.re.kr

연세대학교 물리학과 석사
현 재: 한국철도기술연구원 선임연구원
관심분야: 철도안전

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 06월 04일

논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 07월 22일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 07월 22일