Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 4 pp.103-113, November 2006

항공기 관제 디스플레이의 생태학적 인터페이스 디자인에 관한 연구

고 승 문[1] · 명 노 해[2]

고려대학교 정보경영공학부

Ecological Interface Design for Air Traffic Control Display

Seung Moon Ko[1], Rohae Myung[2]

Division of Information Management Engineering, Korea University, Seoul, 136-713

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate an effect of the new air traffic control display designed by Ecological Interface Design [EID]. The methodology of EID has not been applied to the development of the air traffic control display so far. To design a new air traffic control display by EID, We implemented Work Domain Analysis about the air traffic control domain and made the Work Domain Model that consisted of the five levels of the Abstraction Hierarchy. We extracted the Information Requirement from the completed Work Domain Model and the extracted information requirements from the model were used to design the new air traffic control display. We evaluated an effect of the new air traffic control display designed by EID. Participants for evaluating consisted of 14 active military air traffic controller of the Republic of Korea Air Force. Experiment was designed two factors within subject. Factors manipulated in the experiment included displays type to compare the existing type with the new ecological interface type and included complexity to compare the effect of the high complex situation with the effect of the low complex situation. Response time about questions with relation to air traffic collision situation, accuracy, and subjective work load were measured. The results reveled that EID type's display has a significant effect on response time, accuracy, and subjective work load and verified that EID could be applied to the air traffic control domain that is more complex and dynamic.

Keyword: Ecological Interface Design(EID), Work Domain Analysis(WDA), Abstraction Hierarchy(AH)

1. 서 론

인간 즉, 작업자는 시스템과 수많은 정보를 주고 받으며 작업을 수행하고 있으며 정보의 입력이나 획득은 대부분 시각 정보 디스플레이(visual information display)를 통하여 시스템으로부터 인간에게 전달되고 있다. 이렇듯 시각 정보 디스플레이를 사용한 작업은 전체 작업 수행에 매우 중요한 부분을 차지하고 있으며 시스템에 대한 Human-Computer Interface의 필수적인 부분으로 자리잡고 있다. 과거 전통적인 시각 정보 디스플레이는 작업영역의 하부 시스템이나 하부 구성요소의 상태에 대한 물리적인 정보를 제공하는 것에 초점을 맞추고 있어 작업자가 정보를 탐색하고 통합, 추론하는 동안 많은 인지적인 작업부하를 준다.

*이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21사업 지원비를 받았음.
교신저자: 고승문
주 소: 136-713 서울시 성북구 안암5가, 전화: 02-3290-3905, E-mail: smgo6@naver.com

(Goodstein, 1981). 쓰리마일 아일랜드 사고에서 볼 수 있듯이 부적절한 디스플레이의 디자인은 시스템의 안전에 치명적인 사고의 원인이 될 수 있다. 반면 효과적으로 디자인된 디스플레이는 작업자의 에러나 작업부하를 감소시켜 주고 역동적인 시스템의 복잡성을 극복하는데 많은 도움을 제공하고 있다(Woods, 1991). 따라서 발전된 정보기술을 사용하여 더욱 효과적인 시각 정보 디스플레이를 디자인하려는 노력들이 있어 왔다. 그러나 효과적인 디스플레이를 디자인하는 것은 간단한 문제가 아니다. 인터페이스를 통해 제공해야 할 정보가 무엇이고 그런 정보를 어떻게 시각화 할 것인가가 디스플레이를 디자인하는 디자이너가 해결해야 할 핵심 문제로 대두되고 있다(Bennett, 1997). 지금까지의 몇몇 연구자들은 정보내용의 디자인과 구조가 정보 디스플레이의 효과를 결정하는데 중요한 요소라고 주장해 오고 있다(Vicente, 1990). 우수한 디자인의 사례들을 살펴보면 작업자들이 지식을 바탕으로 한 문제들을 해결하도록 도와주는 정보에 디자인 초점을 맞추고 있다. 이런 디자인 접근방법에 있어 중요한 특성중의 하나는 디자인하는 디스플레이에 작업영역이 가지고 있는 본질적인 기능적 구조를 묘사하는 것이다(Burns and Vicente, 1995). 이것은 효과적인 디스플레이를 디자인 하기 위해선 작업영역에 대한 본질적인 기능적 구조와 관련된 정보들을 식별하고 나타내도록 노력해야 한다는 것을 말해주고 있다.

이런 측면에서 생태학적 인터페이스 디자인(Ecological Interface Design) 방법론은 효과적인 디스플레이를 디자인하기 위한 유용한 방법으로 사용되고 있다. 생태학적 접근방법은 작업자와 기계 보다는 작업자와 작업환경 사이의 상호작용을 강조하고 있다(Vicente, 1990). 인터페이스 디자인에 적용하고 있는 생태학적 접근방법은 Gibson에 의해 주장된 ecological psychology 즉, 조직과 이 조직을 둘러싸고 있는 환경간의 상호작용을 강조하고 있는 개념에서부터 유래되었다(Gibson, 1979). 이러한 생태심리학적 시각에서 보면, 인간과 작업환경은 상호적으로 연결되어 있기 때문에 서로 개별적으로 분리해서 연구하는 것은 불가능하다. 그러므로 생태학적 접근방법은 역동적인 시스템에서 인간의 행동에 대한 다양성을 설명할 수 있는 환경적 제한요소의 분석에 초점을 맞추고 있다. 환경적 제한요소는 작업환경과 작업의 목적, 작업자의 특성으로 구별하여 식별될 수 있다. 이러한 것은 인간 행동의 다양성이 이러한 세 가지의 원인들 간의 상호작용의 결과이기 때문이다. 이런 생태학적 접근방법은 인간의 행동에 영향을 주는 작업환경의 제한요소들을 식별하기 위해 작업환경을 분석하는 것부터 시작된다. 생태학적 접근방법의 목적은 경우에 따라 변화하는 작업자의 목적에 부합하려는 인간의 행위를 지원해주기 위해 인터페이스에 작업환경의 분석을 통해 식별된 제한요소들을 체계적으로 표현하는 것이다.

이러한 생태학적 접근방법을 기초로 해서 Vicente와 Rasmussen은 생태학적 인터페이스 디자인이라는 새로운 디자인 Framework를 개발하게 되었다(Vicente and Rasmussen, 1992). 생태학적 인터페이스 디자인이라는 말은 Vicente와 Rasmussen의 논문에서 처음 유래되었으며, 작업영역(work domain)에 대한 제한요소(constraints) 즉, 작업영역에 해당하는 시스템이 작동하기 위해 본질적으로 가지고 있는 제한사항들과 이와 관련된 정보들을 식별하고 매우 다양하고 복잡한 서로 다른 정보수준들간의 관련성들을 쉽게 시각화 함으로써 작업자가 문제해결을 위해 쉽고 신속하게 상이한 정보수준 중 하나를 선택하거나, 혹은 그 정보수준들 사이를 옮겨 다닐 수 있도록 함으로써 보다 효과적인 문제해결을 위한 행동을 취할 수 있고 이런 행동들이 본래의 작업 목적을 위해 어떻게 움직여야 하는지 이해할 수 있게 도와준다(Burns and Hajdukiewicz, 2004). 또한, 생태학적 인터페이스 디자인은 작업자가 접하게 될 작업환경의 변화와 새로움에 효과적으로 적응하기 위한 지식(knowledge)을 제공하고 있으며, 문제를 해결해야 하는 상황에서 기존에 사용되고 있는 디자인 접근방식과 비교할 때 작업자의 업무 수행도를 향상시켜 주고 있다(Vicente, 2002).

이러한 생태학적 인터페이스 디자인 방법은 작업영역에 대한 제한요소를 식별하기 위해 Work Domain Analysis를 실시하고 있다. Work Domain Analysis의 목적은 시스템이 어떻게 작동하는지 묘사하는 Work Domain Model을 만들고 효과적인 인터페이스 디자인을 만들기 위해 이런 모델을 사용하도록 하는 것이다. 또한, 시스템의 정확한 모델을 사용자에게 제공하여 사용자가 정확한 정신모형을 개발하고 시스템을 통제하여 시스템과 관련된 문제들을 효과적으로 해결할 수 있도록 하는 것이다(Burns et al., 2005).

Rasmussen은 작업영역에 대한 본질적인 제한사항을 식별하고 이해하기 위해 Abstraction Hierarchy(AH)라는 framework를 제안하였다(Rasmussen and Vicente, 1989). AH는 Work Domain Analysis(WDA)를 실행하기 위한 효과적인 tool이며(Vicente, 2002), 이러한 AH를 기초로 한 Work Domain Model은 다섯 가지의 작업영역 제한요소들로 구성되어 있으며, 이 제한요소들은 Functional Purpose, Abstract Function, Generalized Function, Physical Function, 그리고 Physical Form으로 구성되어 있다. 먼저, Functional Purpose는 "왜 시스템이 디자인 되었는가?" 하는 시스템의 목적에 해당하는 것으로써 가장 높은 수준의 제한요소들을 나타내고 있다. Abstract Function은 작업영역의 목적을 수행하기 위해 필요한 에너지의 양이나 흐름, 균형과 관련된 일반적인 원리나 법칙을 나타낸다. Generalized Function은 작업영역의 목적을 수행하기 위한 원리나 법칙

들이 어떠한 실질적인 절차들로 실행되고 있는지 나타내고 있으며, Physical Function은 절차들의 수행이 어떠한 장비나, 구성요소들의 사용으로 이루어지고 있으며, 그것들의 능력은 어느 정도인지 나타내고 있다. 그리고 마지막으로 Physical Form은 장비나 각 구성요소들이 실질적으로 어떠한 형태나 특성 들로 표현되는지 나타내고 있다.

또한, AH의 각 수준의 제한요소들을 식별한 후 각 수준의 제한요소들 사이의 관계를 이해하여야 한다(Ham and Yoon, 2001). Functional Purpose부터 Physical Form까지의 다섯 개의 각 수준들 사이는 Means-End관계로 연결되어 있다. 이 Means-End의 관계를 통해 대개의 경우 낮은 수준의 제한요소들은 그보다 높은 수준의 제한요소에 영향을 미친다. 예를 들어 사용자가 특정수준에서 "어떤" 제한요소의 작동상태를 검토하고 있다면 Means-End관계상 이 수준보다 낮은 수준의 변인들은 그 어떤 제한요소들이 "어떻게" 영향을 받고 있는지 혹은 그 어떤 제한요소의 변화가 "어떻게" 이루어 지는지에 대한 정보를 제공해 준다. 이와는 대조적으로, 이 수준보다 높은 수준에 있는 변인들은 그 어떤 변인에 "왜" 변화가 일어났는지 예를 들어 그러한 변화의 목적이 무엇이지, 혹은 그러한 변화가 좀더 높은 수준에서는 어떤 결과를 가져왔는지 등에 대한 정보를 제공해 준다(Wickens and Hollands, 2000).

지금까지 생태학적 인터페이스 디자인 방법은 주로 Process Control이나 Aviation, Computer Network Management, Software Engineering, Medicine, Command and Information Retrieval과 같은 크고 다양한 산업규모의 적용영역에서 효과적인 문제해결을 위해 사용되고 있으며 또한, 새로운 영역에서의 적용을 위해 계속해서 연구되어 오고 있다(Burns and Hajdukiewicz, 1992).

항공기 관제영역은 지금까지 생태학적 인터페이스 디자인이 적용되고 있는 다양한 영역들이 가지고 있는 작업영역의 특성과 많은 유사성을 가지고 있다. 우선, 항공기 관제영역은 시스템이 추구하고 있는 목적이 명확히 정의되어 있고 관제영역에서 행해지는 많은 의사결정들은 항공기 자체와 사회에 치명적이고 상당한 위협성을 가지고 있다. 또한 관제사들이 각 항공기들을 효과적인 범위 내에서 통제해야만 하는 상황의 물리적 제한요소들을 가지고 있다. 예를 들면 항공기들은 도달할 수 있는 특정한 속도와 고도를 가지고 있고 그 외 항공기 성능의 물리적 제한요소들을 가지고 있다. 또한, 평상 시 시스템의 통제는 정해진 절차에 의해서 이루어 지고 있으나 예상치 못한 문제의 발생 시에는 이를 효과적으로 해결하기 위해 제공되는 지식들을 융통성 있게 통합하여 추론하도록 요구하게 된다.

따라서, 위에서 언급한 기존 적용영역과의 공통점을 바탕으로 본 연구에서는 생태학적 인터페이스 디자인의 적용영역을 지금까지 적용해 보지 않은 새로운 영역인 항공기 관제 디스플레이(Air Traffic Control Display)로 확대하고 항공기 관제영역에 대한 Work Domain Analysis를 실시하여 Work Domain Model을 개발하고, 디자인을 위한 요구정보내용을 추출하여 새로운 정보내용들이 포함된 관제 디스플레이를 개발하여 실제로 항공기 관제업무 수행에 있어 어느 정도의 효과를 가지로 있는지 평가하고자 한다. 따라서, 본 연구를 통해 생태학적 인터페이스 디자인 방법에 대한 새로운 적용가능성을 확인하고 추후, 항공기 관제 디스플레이의 생태학적 인터페이스 개발에 기본 틀을 제공하고자 한다.

2. 본 론

2.1 연구절차

본 연구의 절차는 그림 1에서 나타낸 것과 같이 크게 항공기 관제영역에서의 Work Domain Model을 만들기 위한 Work Domain Analysis 단계, 그리고 모델에 대한 타당성을 평가하고 보완하기 위한 모델 테스트 단계, 디스플레이 디자인을 위해 필요한 요구 정보내용을 추출하는 단계, 마지막으로 추출된 요구 정보내용을 바탕으로 디스플레이를 디자인하고 효과를 확인하기 위한 평가단계로 나누어 진행되었다.

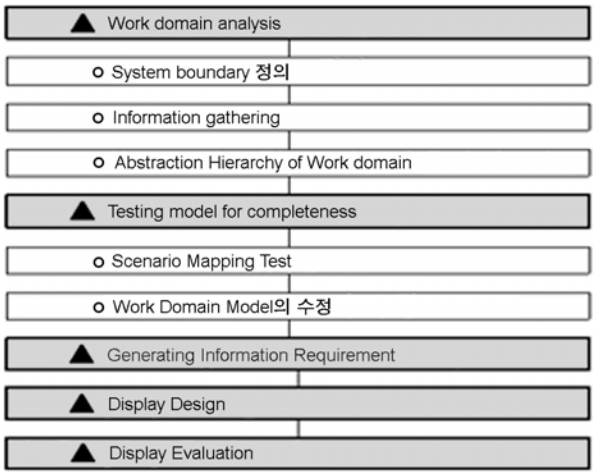

그림 1. 연구절차

2.2 Work Domain Analysis

2.2.1 시스템 분석범위 설정

생태학적 인터페이스 디자인은 인간을 중심으로 하는 다른 디자인 접근방식과는 다르게 사용자의 작업환경을 면밀

히 분석함으로써 디스플레이를 개발하는 접근방식이다. 생태학적 인터페이스 디자인 접근방식에서 분석하려고 하는 시스템의 경계를 결정하는 것은 개발하려고 하는 디스플레이의 종류와 사용자들이 디스플레이를 가지고 수행할 수 있는 작업들에 영향을 주게 될 것이다(Vicente, 2002). 따라서 시스템의 경계를 결정하는 것은 분석을 실행하기 위한 첫 번째 중요한 요소인 것이다.

본 연구는 현재 공군에서 운영 중인 항공기 관제 시스템의 디스플레이를 비행안전 측면을 강화시키기 위해 생태학적 인터페이스 디자인 방법을 적용시키는 것이다. 공군의 관제 시스템의 운영 목적은 영공을 방위하기 위한 공중감시(surveillance) 임무와 영공을 침범해오는 적기를 격파하는 임무, 그리고, 평상 시 군용 항공기의 원활한 교통흐름을 유지시키기 위한 정보제공까지 다양한 임무를 수행하는 것이다.

본 연구에서는 군사적인 목적을 배제하고 공중에서 군용기의 원활한 교통흐름을 유지시키기 위한 비행안전을 보장시키는 측면에 초점을 맞춰 진행하였다. 따라서, 적기에 대한 공격 목적이나 전투기의 무장 시스템 운영에 대한 목적 등은 모델에서 제외시켰으며 항공기간 공중충돌, 추락, 금지구역 침범 등 군용기의 비행안전 영역을 중심으로 Work Domain Analysis를 실행하기 위한 시스템 분석범위를 설정하였다.

2.2.2 분석을 위한 정보 수집

본 연구에서는 효과적인 Work Domain Analysis를 위해 현재 공군에서 사용하고 있는 관제사 훈련교범, 관제 시스템의 사용절차에 대한 교범, 시계비행절차, 계기비행절차, 관제 디스플레이 디자인 및 성능에 관련된 교범 등을 재 조사하였으며, 현재 항공기 관제 시스템에서 임무를 수행하고 있는 각 분야별 전문가들의 의견을 반영하였다.

2.2.3 Abstraction Hierarchy of Work Domain

Abstraction Hierarchy를 기초로 한 Work Domain Model은 Functional Purpose, Abstract Function, Generalized Function, Physical Function, 그리고 Physical Form으로 구성된 다섯 가지의 작업영역 제한요소들로 구성되어 있다. 우선, Work Domain Analysis를 실행하는데 있어 Functional Purpose의 결정은 몇 가지 핵심 질문내용이 고려되어야 한다. 첫 번째는 항공기 관제 시스템이 무엇을 위해 디자인 되었는가? 하는 질문사항이고, 두 번째는 항공기 관제 시스템이 올바르게 작동하고 있는지를 어떻게 판단할 수 있는가 이며, 세 번째는 관제 시스템의 좋은 수행도와 나쁜 수행도는 어떤 기준으로 판단할 수 있는가 이다. 마지막으로 관제 시스템에서 수행하는 모든 업무들이 공통되게 추구하고 있는 목적이 무엇인가 하는 질문이다. 이런 모든 기준들을 고려하여 본 연구에서는 Functional Purpose를 표 1과 같이 "항공기들이 안전하게 이동하도록 통제하는 것"으로 결정하였다.

표 1. AH Representation of The Work Domain

Level	Properties
Functional Purpose	항공기들이 안전하게 이동하도록 통제하는 것 (Control that a flight move from A to B safely)
Abstract Function	항공기들의 이동상황(Flow of Air Traffic) 항공기들의 안전수준(Conservation of Safety)
Generalized Function	고도분리절차(Process of Altitude Separation) 거리분리절차(Process of Distance Separation)
Physical Function	항공기 임무종류(Mission Type), 고도(Altititude), 방향(Heading), 속도(Speed), 위치(Position), 공역상태(Area Condition), 날씨(Weather), 목적지(Destination)
Physical Form	디스플레이상의 그래픽 표현요소 (Spatial Layout Appearance)

항공기 관제 시스템의 Functional Purpose는 항공기들이 지정된 시간에 안전하게 어느 한 지점에서 다른 지점으로 이동하도록 통제하는 것이며 이러한 주요 목적들은 관제 시스템에서 관제사들이 수행하는 모든 업무들과의 관련성을 고려하여 결정되었다. 관제사들의 주 업무는 우선, 관제하고 있는 항공기에게 주변 항공기와 주변 훈련공역에 대한 정보를 제공하여 조종사로 하여금 항공기 주변의 위험요소에 대해 미리 인지할 수 있도록 도와주며, 항공기 진행 경로상의 기상이나 최종목적지의 기지상태 등에 대한 정보를 제공하여 항공기의 안전한 비행경로에 대해 의사결정 할 수 있도록 조언을 해준다. 또한, 필요할 경우 조종사에게 고도나 속도, 방향 등을 지시하여 항공기간의 충돌을 회피하도록 하는 업무를 수행하고 있다. 이러한 모든 업무들은 결국에는 항공기 이동에 대한 안전을 보장해 주기 위한 업무들인 것이다.

Abstract Function은 Functional Purpose를 수행하기 위해 필요한 시스템 내 에너지의 양이나 흐름, 균형과 관련된 원리나 법칙이 무엇인가 고려하여야 한다. 항공기 관제상황에서 Abstract Function은 관제영역 안에 있는 항공기들의 원활한 교통흐름 유지와 영역 내의 모든 항공기들의 안전성을 유지하는 내용으로 정의 할 수 있을 것이다. 이러한 고려사항을 바탕으로 본 연구에서는 Abstract Function을 "항공기 이동상황", "항공기 안전수준"으로 결정하였다.

Generalized Function은 Abstract Function에서 나타내고 있는 흐름이나 균형, 수준들이 어떻게 유지되는지 설명하고 있으며 일반적으로 시스템 내에서 사용되는 절차에 해당

되는 내용이다. 항공기 관제상황에서 Generalized Function은 관제영역 내에서 항공기들의 전반적인 교통흐름이 어떠한 절차로 이루어 지고 있는지 또한, 일정한 안전성을 유지하기 위해 어떠한 절차들이 수행되어야 하는지 나타내게 될 것이다. 항공기 관제영역에서의 절차는 크게 항공기들의 고도나 거리에 관한 절차로 구성되어 있어, 본 연구에서는 이러한 고려사항을 통해 Generalized Function을 고도분리절차, 거리분리절차로 결정하였다.

Physical Function은 Generalized Function에서 나타내고 있는 절차에 대해서 어떠한 장비나 구성요소들이 사용되고 있으며 그것들의 성능이나 한계는 무엇인지 나타내고 있다. 항공기 관제상황에서 Physical Function은 고도나 거리분리를 위해 구체적으로 사용되고 있는 항공기들의 세부적인 구성요소들이 어떤 것들이 있는지 나타내고 있다. 본 연구에서는 이러한 고려사항을 통해 Physical Function을 임무종류, 고도, 비행방향, 속도, 위치, 공역상태, 기상, 목적지로 결정하였다. 마지막으로 Physical Form은 Physical Function에서 나타내고 있는 각 구성요소들의 실질적인 상태나 위치 등을 그래프상에 나타내기 위해 사용되는 그래픽 요소들을 나타내고 있다. 지금까지의 Work Domain Analysis를 통해 그림 2와 같은 Work Domain Model을 완성하였다. 모델의 상위수준의 제한요소들은 관제영역 안에 있는 항공기들의 전반적인 교통흐름과 항공기들의 위험수준에 대한 요소를 나타내고 있으며, 중간수준의 제한요소들은 항공기들이 일정한 안전수준을 유지하기 위해 공중에서 지켜야 하는 항공기간의 고도와 거리분리절차를 나타내고 있다. 그리고, 하위수준의 제한요소들은 각 항공기들의 현재 조종상태와 항공기와 인접하고 있는 주변환경에 대한 요소들을 나타내고 있다.

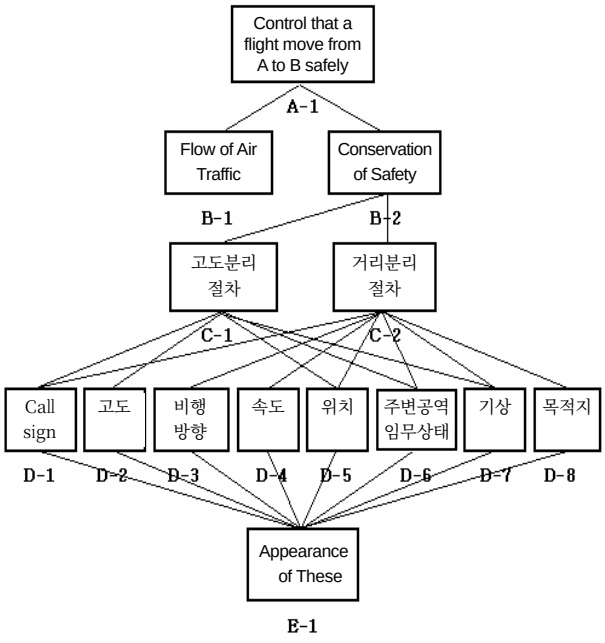

그림 2. Work Domain Model

2.3 Work Domain Model에 대한 평가

지금까지 Work Domain Analysis를 통해 완성된 Model에 대해 테스트를 실시하여 모델에 대한 완성도를 확인하고 모델내용을 일부 수정하였다.

본 연구에서는 테스트를 위해 Burns(2001)에 의해 처음 고안된 Scenario Mapping 테스트 방법을 사용하였으며 테스트를 위한 시나리오는 공군 관제사의 교육을 위해 기존에 만들어져 현재 계속적으로 사용되고 있는 항공기 공중충돌 시나리오를 사용하였다. 시나리오의 주요내용은 전투기와 민항기와의 충돌, 전투기와 전투기와의 충돌, 악기상으로 인한 추락 등 다양한 공중충돌 위험상황을 포함하고 있으며, 총 8가지의 Events로 구성되어 있다. 또한, 테스트를 위해 15년 이상의 관제 경력을 가진 4명의 영역전문가를 선정하여 테스트에 대한 목적을 설명한 후 동의서를 작성토록 하였다.

테스트는 선정된 공중충돌 시나리오의 각 Events를 공군에서 운영중인 관제훈련용 컴퓨터 시뮬레이션 장비를 통해 시현하였으며, 시나리오의 각 Event가 시현되는 동안 영역전문가는 관제사에게 요구되는 정보를 식별하였다. 식별된 정보는 그림 2와 같이 Work Domain Model의 각 요소 별로 부여된 숫자부호를 참고하여 Work Domain Model의 요소로 전환하게 하였다. 시나리오의 각 Event가 전개 되면서 식별된 정보는 표 2과 같으며, 식별된 정보를 표 3에서 표시된 Work Domain Model의 각 요소 별 숫자부호로 전환하였다. 예를 들어 표 2의 Event 1에서는 충돌상황을 방지하기 위해서 관제사가 관제영역 내 전반적인 항공기들의 흐름을 알아야 하고 항공기들간의 거리와 각 항공기들의 비행방향, 위치, 항공기간의 고도차이, 그리고 항공기의 목적지가 되는 착륙기지에 대한 정보 등을 요구하고 있음을 알 수 있다.

테스트 결과, 표 3에서와 같이 시나리오의 각 Event를 전개하면서 요구되는 대부분의 정보들은 개발된 Work Domain Model의 구조와 제한요소 범위 내에서 전개되고 또한, 설명이 가능한 것으로 분석되었다. 단, 표. 3의 Event 7과 8에서 한글로 표시된 내용과 같이 일부 정보에 대해서만 추가 제한요소가 요구되었다. 따라서 우리는 이러한 추가 정보내용을 바탕으로 그림 3 과 같이 기존 모델에 Physical Function 수준의 "주파수", "시간", "관제사" 등 3개의 요소를 추가 하였고 그에 따른 상위수준 및 하위수준과의 연결선도 추가하여 좀더 실질적인 작업영역에 부합 될 수 있는 모델을 완성하였다.

표 2. 테스트를 통해 식별된 정보

Events	요구되는 정보
1	관제영역 내 항공기들의 흐름, 항공기간 상대거리, 비행방향, 위치, 항공기간 고도차, 민항기 착륙기지
2	관제영역 내 항공기들의 흐름, 항공기간 상대거리, 비행방향, 위치, 항공기간 고도차, 민항기 착륙기지
3	관제영역 내 항공기들의 흐름, 항공기간 상대거리, 비행방향, 위치, 항공기간 고도차
4	관제영역 내 항공기들의 흐름, 항공기간 상대거리, 비행방향, 위치, 항공기간 고도차, 기상정보
5	관제영역 내 항공기들의 흐름, 항공기간 상대거리, 비행방향, 위치, 항공기간 고도차, 민항기 착륙기지
6	관제영역 내 항공기들의 흐름, 항공기간 상대거리, 비행방향, 위치, 항공기간 고도차, 민항기 착륙기지, 훈련공역 임무상태, 공역임무 항공기 주파수, 관제사 번호
7	관제영역 내 항공기들의 흐름, 항공기간 상대거리, 비행방향, 위치, 항공기간 고도차, 기상정보
8	관제영역 내 항공기들의 흐름, 항공기간 상대거리, 비행방향, 위치, 항공기간 고도차, 민항기 착륙기지, 민항기 이륙, 예정시간

표 3. Work Domain Model의 숫자부호로 전환

Events	Code Number 전개
1	A-1→B-1→B-2→C-2→D-1→D-3→D-5→C-1→D-2→D-8
2	A-1→B-1→B-2→C-2→D-1→D-3→D-5→C-1→D-2→D-8
3	A-1→B-1→B-2→C-2→D-1→D-3→D-5→C-1→D-2
4	A-1→B-1→B-2→C-2→D-1→D-3→D-5→C-1→D-2→D-7
5	A-1→B-1→B-2→C-2→D-1→D-3→D-5→C-1→D-2→D-8
6	A-1→B-1→B-2→C-2→D-1→D-3→D-5→C-1→D-2→D-6
7	A-1→B-1→B-2→C-2→D-3→D-5→D-7→공역임무 항공기 주파수 및 관제사 번호
8	A-1→B-1→B-2→C-2→D-1→D-3→D-5→민항기 이/착륙 예정시간

2. 4 Information Requirement 추출

테스트를 통해 완성된 Work Domain Model로 부터 관제 디스플레이를 디자인 하기 위해 필요한 요구 정보내용을 추출하였다. 요구 정보내용은 테스트에 참가한 4명의 영역전문가에게 완성된 Work Domain Model의 각 수준 별 제한요소를 어떤 정보형태로 측정할 수 있는지 설문조사를 실시하여 답변으로 제시된 모든 정보형태를 종합하였다.

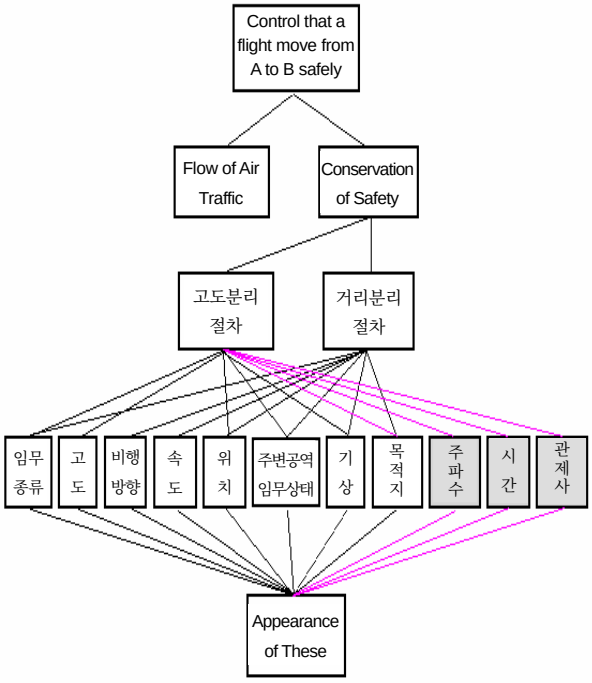

그림 3. 테스트를 통해 수정된 모델

표 4와 같이 종합된 요구 정보내용은 총 25개가 추출되었으며, 추출된 요구 정보내용 중 상위 수준의 제한요소는 주로 관제영역 안에 있는 항공기들의 전반적인 교통흐름에 대한 정보 및 각 항공기들의 위험수준에 대한 정보들과 대응되고 있으며, 중간수준의 제한요소는 항공기들간의 고도나 거리간격, 그리고 증가율이나 감소율 같은 근접해 있는 항공기들간의 관계에 대한 정보와 대응되고 있다. 하위수준의 제한요소는 현재 각 항공기들의 조종상태에 대한 정보내용에 대응되고 있다. 현재 관제부서에서 사용하고 있는 관제 디스플레이의 정보내용들을 살펴보면 임무종류, 속도, 고도, 비행방향, 항공기 위치 등, 대부분 표 4의 Physical Function에 해당하는 하위수준의 정보들로 구성되어 있는 것을 확인할 수 있었으며, 관제사들은 이러한 하위수준의 정보내용들을 확인하고 다시 머리 속으로 통합하고 추론하는 과정을 거쳐 상위수준의 정보들을 생성해 냄으로써 각 항공기들 간의 비행간격을 일정하게 유지하기 위한 분리절차를 수행하고 있다는 것을 예측할 수 있었다. 예를 들어보면, 하위수준의 정보내용인 항공기들의 위치와 고도, 방향 등을 바탕으로 항공기간의 거리간격, 항공기간의 고도차를 예측할 수 있고 또한, 거리간격이나 고도차를 바탕으로 항공기간의 고도 및 거리 접근형태를 예측할 수 있다. 또한, 이러한 접근형태를 바탕으로 각 항공기들이 주변의 항공기들과 얼마만큼의 위험성을 가지고 있는지 판단하게 된다. 따라서, Work Domain

Analysis를 통해 생성된 상위수준의 정보내용들을 기존 하위수준의 정보내용들에 추가하여 새로운 디스플레이에 반영할 경우 비행안전에 필요한 각 수준의 정보내용들을 바로 확인할 수 있게 함으로써 관제사들의 인지부하를 감소시키고 또한, 보다 신속하고 정확한 분리절차를 수행할 수 있을 것으로 예측 할 수 있었다.

표 4. Information Requirements

Work Domain Level	Information Requirement
Functional Purpose	관제중인 항공기 대수(1)
Abstract Function	관제영역 내 모든 항공기들의 위치 및 비행방향, 각 항공기들의 위험도 수준(2)
Generalized Function	항공기간 고도간격, 고도 상승율, 고도 하강율, 항공기간 거리간격, 거리 증가율, 거리 감소율, 충돌회피를 위한 비행가능 경로(방향/고도), 항공기와 주변공역과의 거리, 항공기와 공역 제한고도의 고도차(10)
Physical Function	임무종류, 속도, 고도, 비행방향, 항공기위치, 주변공역 임무상태, 기상(구름, 바람, 시정, 온도, 압력 등) 비행목적지, 이륙 및 착륙기지, 관제중인 주파수, 민항기 이륙 및 착륙 예정시간, 항공기별 담당관제사 번호(12)

2.5 디스플레이 디자인

2.5.1 Using Information Requirements In Design

지금까지의 Work Domain Analysis를 통해 추출된 작업영역의 각 수준 별 요구 정보내용을 바탕으로 새로운 디스플레이를 디자인 하였다

그림 5에서 나타내고 있는 것과 같이 새로 개발된 디스플레이는 기존 디스플레이에서 사용하고 있는 디스플레이 형식과 동일하게 사용하고 있으며 Work Domain Analysis를 통해 식별된 상위수준의 정보 즉, Abstract Function과 Generalized Function, Level 의 정보내용들을 추가하였다. 구체적인 내용을 살펴보면 새로 개발된 디스플레이는 우측 상단의 표를 통해 현재 관제사가 통제하고 있는 각 항공기들의 위험수준, 위험의 대상이 되는 타 항공기의 위치와 항공기명칭, 고도차이, 두 항공기간 고도차이 변화형태(접근/분리), 거리차이, 두 항공기간 거리차이 변화형태(접근/분리), 충돌회피를 위한 고도지시 정보 등 서로 관련성 있는 정보들을 쉽게 시각화함으로써 관제사가 공중충돌 문제를 해결하기 위해 쉽고 신속하게 상이한 정보수준 중 하나를 선택할 수 있도록 하였다.

그림 4에서 나타내고 있는 기존방식의 디스플레이는 각 항공기들의 위치, 고도, 비행방향, 속도 등 대부분이 각 항공기들의 현재 조종상태와 항공기와 인접하고 있는 주변환경에 대한 요소들이 포함된Physical Function 수준의 하위 정보들을 나타내고 있다.

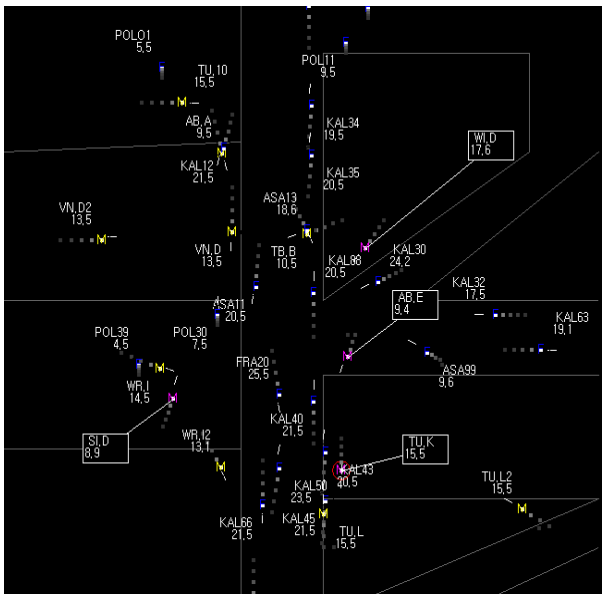

그림 4. 기존 디스플레이 TYPE

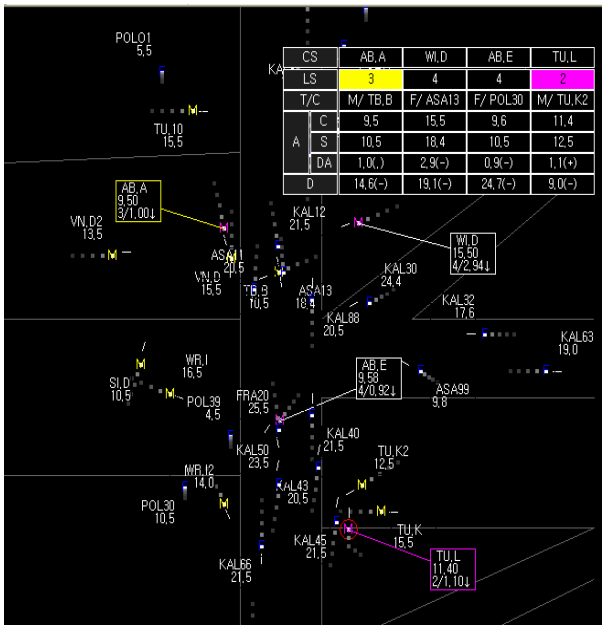

그림 5. 새로 개발된 디스플레이 TYPE

2.6 실 험

실험은 2가지 Type의 디스플레이를 가지고 관제사의 수

행도를 비교하기 위해 디자인되었다. 본 실험의 목적은 특히 하위수준의 정보들로 구성되어 있는 기존 디스플레이와 Work Domain Analysis를 통해 추출된 상위수준의 정보내용들을 추가한 새로운 디스플레이의 효율성을 조사하는 것이다. 생태학적 인터페이스 디자인의 개념에 따르면, 작업환경의 분석을 통한 수준 별 정보내용을 사용하는 것은 작업자의 의사결정을 지원할 수 있는 훌륭한 인터페이스를 디자인하는데 필수적인 부분이라고 강조하고 있다(Ham and Yoon, 2001). 또한, 더 많은 정보내용의 제공이 항상 더 좋은 수행도를 이끌어 내는 것은 아니며 추가적인 도움을 제공할 때 만이 더 좋은 수행도를 보여준다고 강조하고 있다(Ham and Yoon, 2001). 따라서, 복잡한 관제 시스템에서 이러한 정보수준들의 사용이 어떠한 역할과 효과를 가지고 있는지 이해하는 것은 필수적인 것이다.

2.6.1 실험방법

실험을 위한 피실험자는 3년 이상의 관제경력을 가지고 있는 나이 25~40 사이의 현역 남성 관제사 14명으로 구성하였다.

실험은 기존방식의 디스플레이와 새로 개발된 디스플레이가 관제사의 작업 수행에 있어 어느 정도의 차이를 가지고 있는지 평가하였으며, 2수준의 디스플레이 Type과 2수준의 공중상황의 복잡도를 독립변수로 하여 복잡도가 크고 작음에 따라 각 디스플레이의 수행도가 어떻게 변하는지 조사하였고, 14명의 피실험자를 대상으로 Two Factor Within Subject로 디자인하였다. 공중상황의 복잡도 차이를 위해 선택한 복잡도 수준은 실제 일선 관제부서에서 초보급 관제사와 숙련급 관제사를 나누는 기준으로 삼고 있는 디스플레이 상에 관제사가 실제로 통제하고 있는 항공기 대수를 기준으로 삼아 1수준은 초보급인 4대로 하고 2수준은 숙련급인 7대로 하여 구분하였다. 실험을 위해 항공기 관제업무 시 공중충돌 방지를 위해 필수적으로 요구되는 충돌상황에 관련된 질문사항을 표 5과 같이 선정하여 피실험자로 하여금 일정시간 동안 각 디스플레이에 나타난 항공 교통흐름을 관찰하게 한 후 정지된 디스플레이 화면을 보고 답변하기까지의 Time(Response Time)과 답변의 정확도(Score)를 측정하였다. 또한, 실험이 종료된 후 NASA TLX를 사용하여 각 디스플레이에 대한 주관적 정신부하를 추가로 측정하였다. 선정된 질문의 주 내용은 현재의 충돌위험 상태에 대한 내용, 충돌위험 예측에 관한 내용, 그리고 충돌해결 방법에 관한 내용으로 구성하여 현재의 충돌상황과 미래의 충돌상황, 그리고 충돌회피 방법을 얼마나 빠르고 정확하게 인지하고, 판단하는지 조사하였다.

표 5. 질문내용

1. 통제하고 있는 항공기중 현재 타 항공기와 충돌경로에 있는 항공기 대수는?
2. 통제하고 있는 항공기 OO와 충돌위험에 있는 항공기는?
3. 항공기 OO와 충돌위험에 있는 상대 항공기와의 고도차이는?
4. 항공기 OO와 충돌위험에 있는 상대 항공기 Callsign과 거리차이는?
5. 현 공중상황의 변화로 볼 때 1분 내 항공기 OO는 충돌위험이 발생할 가능성이 있는가?
6. 항공기 OO는 충돌위험이 발생한다면 어떤 항공기 때문인가?
7. 항공기 OO의 충돌을 회피시키기 위한 방법은?

2.6.2 실험절차

실험절차는 우선 피실험자에게 실험의 목적, 내용, 실험방법에 대한 기본적인 설명을 실시한 후 실험 참여에 동의한 피실험자는 동의서를 작성토록 하였으며, 개인신상에 대한 설문지를 작성하여 신체적 결함이나 취침시간, 음주여부 등 피실험자로써 특이사항이 있는지 확인하였다. 또한, 새로 개발된 디스플레이에 대한 숙달을 위해 1시간의 연습시간을 제공하였으며 본 실험 전에 예비실험을 실시하여 실험방식에 대해 익숙해 지도록 하였다. 또한, 총 4번의 실험 중 각 실험 사이에 20분간의 휴식시간을 제공하여 피로도에 따른 에러를 방지하였으며 실험순서를 counter −balancing하여 학습효과에 따른 에러를 방지하였다.

2.6.3 Apparatus

각 디스플레이 type별 항공기 관제 시뮬레이션 시스템은 C++ 프로그램으로 제작되었으며 실험은 19인지 모니터의 펜티엄 4 컴퓨터로 실시하였다.

2.7 실험결과 및 토의

표 6은 독립변수인 디스플레이 타입과 공중상황의 복잡도가 종속변수인 충돌상황에 대한 질문에 답변하기까지의 시간(Response Time: RT), 답변의 정확도(Score), 및 답변 시의 NASA TLX점수에 유의한 영향을 미치는가를 알아보기 위한 ANOVA 분석결과를 종합하였다.

표 6. P value summarized from ANOVA

Source	Response Time	Score	NASA TLX
Display Type	<.0001**	<.0001**	<.0001**
Complexity	<.0001**	0.1329	0.0055
Display Type*Complexity	0.2802	0.9846	0.0288

2.7.1 답변시간(Response Time: RT)

표 6에서 보면 종속변수인 답변시간(RT)에 대해 디스플레이 타입(Display type)과 공중상황의 복잡도(Complexity)간에 교호작용이 유의하지 않으므로(p-value=0.2802) 주 효과 분석(Main effect test)을 실시하는 것이 의미가 있다고 볼 수 있다. 따라서, 주 효과 분석(Main effect test)을 실시한 결과, 각각의 독립변수들(Display type, Complexity)이 종속변수인 답변시간(RT)에 미치는 영향이 상당히 유의한 것으로 나타났다(p-value 모두 0.001 이하).

디스플레이 타입이 답변시간(RT)에 유의한 효과를 나타낸다는 것은 다시 말하면 기존의 디스플레이와 본 논문에서 제시한 생태학적 디스플레이간에 유의한 차이를 나타낸다는 것이다. 이는 그림 6에서 볼 수 있듯이 생태학적 디스플레이가 기존의 디스플레이에 비하여 공중상황의 복잡도의 변화에 관계없이 일정하게 유의한 빠른 답변을 가져다 준다는 것이고 이는 생태학적 디스플레이가 기존의 디스플레이보다 답변시간(RT)에서 유의하게 효과적인 디스플레이라는 것을 입증하는 것이다. 또 다른 독립변수인 공중상황의 복잡도의 경우에서도 그림 6에서 알 수 있듯이 공중상황의 복잡도가 감소하면 기존의 디스플레이건 생태학적 디스플레이건 복잡도가 높은 상황보다 유의 하게 적은 답변시간을 필요로 한다는 것이다.

결과적으로 볼 때 답변시간(RT)은 공중상황의 복잡도가 적고 생태학적 디스플레이를 사용할 때 가장 빠른 문제해결 능력을 줄 수 있으며 이는 본 논문의 목적인 Work Domain Analysis를 통하여 새롭게 디자인된 생태학적 디스플레이가 기존의 디스플레이보다 더욱 효과적인 것이라는 것을 입증하는 것이다.

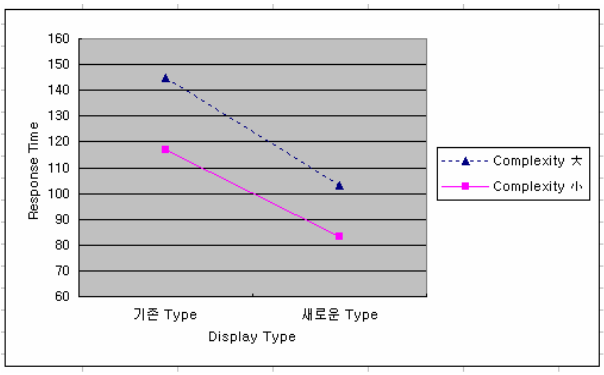

그림 6. Type과 Complexity에 따른 Time 변화

2.7.2 답변의 정확도(Score)

표 6에서 보면 이전의 답변시간과 마찬가지로 답변의 정확도(Score)에서도 디스플레이 타입과 공중상황의 복잡도간의 교호작용이 유의하지 않은 것으로 나타났다(p-value=0.9846). 따라서 주 효과 분석(Main effect test)을 실시한 결과, 독립변수인 디스플레이 타입이 종속변수인 답변의 정확도에 미치는 영향이 통계적으로 유의한 것으로 나타났으나(p-value<0.001 이하) 공중상황의 복잡도는 답변의 정확도(Score)에 미치는 영향이 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타났다(p-value=0.1329).

디스플레이 타입이 답변의 정확도(Score)에 통계적으로 유의한 효과를 나타낸다는 것은 그림 7에서 볼 수 있듯이 생태학적 디스플레이가 기존 디스플레이보다 공중상황의 복잡도 변화에 관계 없이 일정하게 좀더 정확한 답변(Score)을 가져다 준다는 것이고 이는 생태학적 디스플레이가 기존의 디스플레이보다 답변의 정확도(Score)에서도 유의하게 효과적인 디스플레이라는 것을 입증하는 것이다.

또한, 공중상황의 복잡도가 답변의 정확도에 유의한 효과를 나타내지 않는다는 것은 그림 7에서 볼 수 있듯이 공중상황의 복잡도(Complexity)가 높고 낮음에 따라 각 디스플레이에서 측정된 답변의 정확도(Score)가 유의한 차이를 보이지 않다는 것을 말해 주고 있다. 그 이유는 크게 두 가지 측면에서 분석해 볼 수 있는데 첫째는 복잡도의 난이도 차이가 피실험자로 하여금 실제로 정확도의 차이를 발생시킬 만큼 차이가 있는가 이고 두 번째는 어떤 문제를 해결할 때 소비되는 시간과 해결의 정확도 사이에는 상호 trade-off관계가 형성되어 있다는 사실이다. 첫 번째, 본 실험에서 공중상황의 복잡도 차이를 위해 선택한 복잡도 수준들은 실제 일선 관제부서에서 초보급 관제사와 숙련급 관제사를 나누는 기준으로 삼고 있는 디스플레이상에 비행하고 있는 항공기의 대수를 기준으로 삼았기 때문에 실제로 난이도의 차이는 있는 것으로 판단할 수 있다. 따라서, 두 번째 측면인 문제해

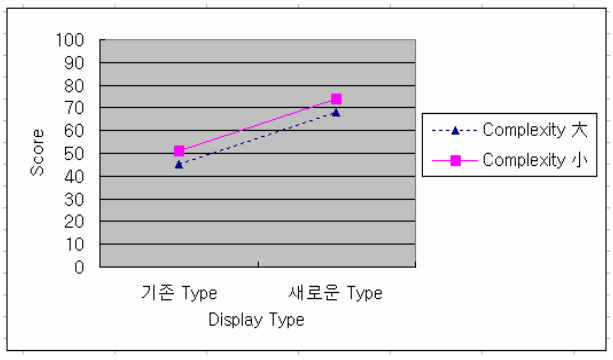

그림 7. Type과 Complexity에 따른 Score 변화

결 시간과 정확도 사이의 trade-off관계를 고려해 볼 때, 본 실험에서 피실험자들은 답변 시간보다는 답변의 정확도를 좀더 우선시 하여 공중상황의 복잡도가 변해도 일정한 수준으로 정확도를 유지하기 위하여 답변시간을 소비했다는 것을 추측할 수 있다. 또한, 이것은 답변시간의 결과에서 볼 수 있듯이 복잡도가 증가함에 따라 더 많은 답변시간을 소비했다는 사실로도 알 수 있다.

2.7.3 NASA TLX

NASA TLX는 표 6에서와 같이 디스플레이 타입과 공중상황의 복잡도간의 교호작용이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(p-value=0.028). 따라서, 교호작용 효과의 성질을 우선 알아보기 위해 그림 8과 같이 그래프로 나타냈다.

그림 8을 보면 기존 디스플레이는 공중상황의 복잡도가 높아짐에 따라 NASA TLX가 증가하는 것을 볼 수 있는 반면에, 생태학적 디스플레이는 공중상황의 복잡도가 증가해도 NASA TLX가 일정하게 유지되고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서, 교호작용 효과의 성질을 좀더 구체적으로 알아보기 위해 단순주효과(analysis of simple effects) 분석을 실시하였다. 단순주효과 분석은 한 독립변수의 효과가 상호작용이 발생하는 다른 독립변수의 수준에 따라 어떻게 질적으로 또는 양적으로 달라지는지를 분석해 줌으로써 각 독립변수의 수준을 고려해 어떻게 상호작용이 발생하는지 설명 해 주고 있다.

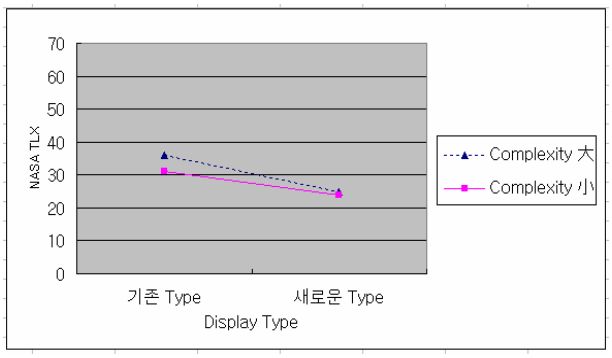

그림 8. Display Type×Complexity의 교호작용 효과

분석결과를 보면, 표. 7에서와 같이, 디스플레이의 각 타입과 복잡도의 각 수준들 간에는 전반적으로 단순주효과가 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났으나 표 하단에 나타난 Complexity*Display Type(신형)의 단순주효과 즉, 디스플레이 타입을 생태학적 디스플레이로 고정시키고 복잡도를 변화시켰을 때 NASA TLX의 값에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(p-value=0.2856). 이것은 Display Type(신형) 즉, 생태학적 디스플레이는 공중상황의 복잡도를 변화시켜도 NASA TLX가 유의한 차이를 보이지 않다는 것을 나타내고 있는 것으로 생태학적 디스플레이는 공중상황의 복잡도가 증가해도 관제사로 하여금 어느 정도 일정하게 정신적 부하를 낮게 유지시켜 주는 효과가 있음을 말해주고 있다. 이것은 기존 디스플레이보다 생태학적 인터페이스 디자인 방법을 사용한 디스플레이가 더욱 효과적이라는 것을 다시 한번 입증하는 것이다.

표 7. 단순주효과 분석결과(Display type*Complexity)

Contrast	DF	SS	MS	F	P
Display Type*Complexity(小)	1	308.89	308.89	41.89	<0.001*
Display Type*Complexity(大)	1	730.32	730.32	99.05	<0.001*
Display Type*Complexity (구형)	1	155.57	155.57	21.10	0.0005
Display Type*Complexity (신형)	1	9.14	9.14	1.24	0.2856

지금까지의 분석결과, 생태학적 인터페이스 디자인 방법을 사용한 관제 디스플레이가 기존 디스플레이에 비해 답변시간(RT)과 답변의 정확도(Score)에서 우수하며, NASA TLX에서도 관제사의 정신적 부하를 어느 정도 일정하게 유지시켜 주는 효과가 있는 것으로 나타났다. 이런 결과는 Vicente가 다른 영역들을 대상으로 한 연구결과에서 밝힌 (Vicente, 2002) 생태학적 인터페이스 디자인이 작업영역의 문제해결상황에서 기존 디자인 접근방식보다 작업자의 수행도를 향상시켜 줄 수 있다는 연구결과를 항공기 관제영역에도 적용할 수 있다는 것을 뒷받침 해주고 있는 것이다. 또한, 생태학적 인터페이스 디자인 방법을 통해 추출된 하위수준의 정보와 상위수준의 정보들을 모두 포함시킨 새로운 생태학적 디스플레이가 주로 하위수준의 정보들로 구성된 기존의 관제 디스플레이에 비해 관제사의 업무 수행도에서 우수하다는 결과를 확인할 수 있었다. 이것은 생태학적 인터페이스 방법을 통해 추출한 상위수준의 정보와 하위수준의 정보를 같이 포함시키고 각 정보수준들간의 관련성을 쉽게 시각화 할 때 더욱 효과적인 수행도를 이끌어 낼 수 있다는 Vicente의 기존 연구와도 일치한 결과였다(Vicente, 2002).

3. 결 론

이상으로 우리는 본 연구에서 생태학적 인터페이스 디자인 방법을 지금까지 적용해 보지 않은 항공기 관제영역에 적용하여 새로운 타입의 관제 디스플레이를 디자인하였고

기존 디스플레이에 비해 어느 정도의 효과가 있는지 알아보기 위해 수행도 평가를 실시하였다.

실험결과, 생태학적 인터페이스 디자인 방법을 통해 개발한 새로운 디스플레이가 기존의 관제 디스플레이에 비해 관제사의 업무 수행도와 정신적 인지부하에서 모두 우수하다는 결과를 도출 할 수 있었고 생태학적 인터페이스 방법을 항공기 관제영역에도 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

따라서, 본 연구결과를 통해 추후, 항공기 관제영역과 같은 더욱 복잡하고 역동적인 영역에서도 디스플레이를 개발하는데 생태학적 인터페이스 방법이 도움을 줄 수 있다는 새로운 가능성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

Burns, C. M. and Vicente K. J., *Physical and functional displays in process supervision and control(CEL 95-11).* Technical Report, Cognitive Engineering Group, University of Toronto, Department of Industrial Engineering, 1995.

Bennett, K. B., et al. Visual display. In: Salvendy G, editor. *Handbook of human factors and ergonomics*, New York: Wiley, p.659-696, 1997.

Burns, C. M., Bryant, D. J. and Chalmers, B. A., Scenario mapping with work domain analysis. *Proceedings of the 45th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society* 424-428, 2001.

Burns, C. M. and Hajdukiewicz, *J. R., Ecological Interface Design*, New York: CRC Press, 2004.

Burns, C. M., et al. Chalmers. Boundary, Purpose, and Values in Work-Domain Models: Models of Naval Command and Control. *IEEE Transactions of System, Man, and Cybernetics- Part A: Systems and Humans*, Vol.35, No.5. 2005.

Gibson, J. J., *The ecological approach to visual perception.* New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1979.

Goodstein, L. P., *Discriminative display support for process operators. In: Rasmussen J, Rouse WB, editors. Human detection and diagnosis of system failure,* New York: Plenum Press, p.433-449, 1981.

Ham, Dong. Han and Yoon, Wan. Chul. The Effect of Presenting Functionally Abstracted Information in Fault Diagnosis Tasks. *Reliability Engineering and System Safety* 73. p.103-119, 2001.

Wickens, C. D. and Hollands, J. C., *Engineering Psychology and Human Performance*, Prentice Hall, 2000.

Rasmussen, J. and Vicente, K. J., Coping with human errors through system design: Implications for ecological interface design, *International Journal of Man-Machine Studies* 31.p.517-534, 1989.

Rasmussen, J. and Vicente, K. J., The ecology of human-machine systems II: mediating direct perception in complex work domains. *Ecological Psychol* 2(3), 207-249, 1990.

Vicente, K. J. and Rasmussen J., Ecological interface design: theoretical foundations. *IEEE Trans Syst, Man, Cybernet* 122(4), 589-606, 1992.

Vicente, K. J., Ecological Interface Design: Progress and Challenges. *Human Factors*, Vol.44, No. 1. p.62-78, 2002.

Woods, D. D., *The cognitive engineering of problem representations. In: Weir GR, Alty JL, editors. Human-computer interaction and complex systems*, New York: Academic Press, p.169-188, 1991.

저자 소개

❖ 고 승 문 ❖ smgo6@naver.com
공군사관학교 산업공학과 학사졸업
현 재: 고려대학교 산업시스템정보공학과 석사 재학중
관심분야: 항공심리, 디스플레이 디자인

❖ 명 노 해 ❖ rmyung@korea.ac.kr
고려대학교 산업공학과 학사졸업
Ph.D. in Industrial Engineering, Texas Tech University.
현 재: 고려대학교 산업시스템정보공학과 정교수
관심분야: ACT-R, 인지모델링

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 09월 19일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 10월 16일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 11월 13일