

항공교통관제사의 전문성이 상황인식에 미치는 영향*

송 창 선	윤 용 식 [†]	손 영 우
연세대학교 인지과학협동과정	연세대학교 인지과학연구소	연세대학교 심리학과

본 연구는 항공교통관제사의 숙련 정도가 정상 및 비정상 관제상황에 따라 상황인식 수행에 어떤 영향을 주는지 알아보았다. 이를 위해 관제사들을 전문성의 정도에 따라 초보자와 전문가 집단으로 나누고 상황의 특수성에 따른 상황인식 수행의 차이와 전문가와 초보자의 작업기억이 상황인식 수행에 어떤 영향을 주는지 알아보았다. 실험 1은 전문가와 초보자 관제사에게 정상적, 비정상적 관제상황을 달리 제시하여 상황인식 과제의 수행 차이를 알아보았고, 추가적으로 작업기억 사용을 방해하는 과제를 제시하여 상황인식에 어떤 영향을 주는지 알아보았다. 그 결과, 비정상적 상황은 전문가 집단의 상황인식에는 큰 영향을 주지 못하였으나 초보자 집단의 상황인식에는 현저하게 낮은 상황인식 수행을 미치는 것으로 나타났다. 또한 방해과제를 부여 했을 때 관제사들의 상황인식 정확도는 전반적으로 떨어졌지만, 전문가 집단은 초보자 집단에 비해 높은 정확성이 유지하였다. 실험 2는 작업기억 용량 과제를 이용하여 상황인식 수행에 영향을 끼친다고 여겨지는 작업기억 용량이 전문가와 초보자 사이에 차이가 나타나는지 확인하였다. 그 결과, 작업기억 용량은 전문가와 초보자 간의 차이가 나타나지 않았다. 본 연구의 결과들은 상황인식의 각 단계 수행이 관제사의 전문성에 의해 나아질 수 있다는 사실을 알려주고 있으며, 관제사의 전문성 개발 및 훈련의 필요성을 시사해주고 있다.

주요어 : 전문성, 상황인식, 항공교통관제사

* 본 연구는 BK21사업(인지 및 심리과학 전문인력 양성 및 실용화 사업단)의 지원으로 수행되었음.

본 연구에 많은 도움을 준 인천국제공항공사 계류장관제팀원들께 감사의 말을 전합니다.

† 교신저자: 윤용식, 연세대학교 인지과학연구소, 서울시 서대문구 신촌동 134

02-2123-4059, yongsik.yoon@gmail.com

항공교통관제(air traffic control)는 복잡하고 역동적인 환경에서 발생하는 항공교통정보를 처리하고, 중단 없는 교통 흐름을 유지하는 업무를 말한다. 항공교통관제 업무를 수행하는 항공교통 관제사는 항공기 최소 분리와 안전하고 효율적인 이·착륙을 달성하기 위해 지속적으로 증가하는 항공기들의 이동경로를 계획하고 처리해야 한다. 대형 항공기들이 처음 도래되었을 때는 항공교통관제의 목적은 비행 안전성을 높이는 것이었지만, 지난 수십 년 동안 부가적인 목적으로 효율성과 경제성도 중요하게 대두되고 있다. 최근 항공교통관리 기법의 발전과 항공교통량의 현저한 증가는 항공교통 관제사들의 업무 복잡성을 증가시키고 있다. 항공교통관제는 지난 60년 전에 도입된 이래로 많은 변화를 겪었음에도 불구하고, 항공교통관제 시스템의 주요한 구성요소인 관할구역, 장비, 항공기, 인간, 그리고 절차의 중요성은 바뀌지 않았다(Cavcar & Cavcar, 2004). 현실적으로 항공교통 관제사는 각 관제 상황에 맞는 적절한 의사결정과 관리 방법을 적용할 수 있어야 한다. 항공교통 관제사는 항공교통의 불필요한 지연 없이 안전하고 효율적으로 업무를 수행하는 것이 무엇보다 중요하기 때문에 숙련된 기량과 전문성을 요구받고 있다. 특히 오늘날 관제 관할구역의 세분화, 관제장비와 항공기의 발전, 관제절차의 복잡성 증대, 그리고 항공교통량의 증가에 따른 항공교통관제 상황의 복잡성 증가는 안전하고 효율적이며 경제적인 항공기 운항을 지원하기 위한 항공교통 관제사의 전문성 개발이 무엇보다 중요한 문제로 대두되고 있다. Dailey(1984)는 관제사 전문성의 핵심적 능력은 항공기들에 대한 다양한 양적 입력정보들에 동시에 반응하고 항공기의 진로를 계획하고

통제를 하기 위한 상황인식(situation awareness)을 계속적으로 변화시켜 형성화하는 능력이라고 하였다. Endsley(1988)는 이러한 상황인식 능력을 현재 상황에 대한 시간적, 공간적 정보를 정확하게 지각(1단계)하고, 그 정보를 바탕으로 현재 상황에 대한 이해(2단계)와 앞으로 일어날 상황을 올바르게 예측(3단계)하는 능력이라고 하였다. 항공교통 관제사는 항공기의 고도, 속도 및 위치 등과 조종사와의 상호 무선통신을 통해 현재의 관제상황을 정확히 지각, 이해, 판단할 수 있어야만 관제업무를 보다 효율적이고 안전하게 수행할 수 있다. 그렇기 때문에 관제사의 상황인식 능력은 관제업무를 수행하는 데 중요한 능력으로 보고되고 있다(Kraut et al., 2011; Mogford & Tansley, 1991; Wickens, 2002; Yang et al., 2010).

상황인식 과정에서의 전문가·초보자 차이

여러 산업분야에서 전문성을 연구하는 가장 중요한 목적은 전문가들이 탁월한 수행력을 발휘하는 원인과 과정을 이해하고, 이를 비전문가에게 효과적으로 전이할 수 있도록 하는 것이다(Ericsson, 2005). 그런 의미에서 상황인식 과정에서의 전문성 연구는 전문가와 초보자의 상황인식 능력이 어떤 메커니즘에 의해 차이가 발생하는지를 밝히고, 그 차이를 보완하는 방안을 모색하는 데에 의의가 있을 것이다. Caretta, Perry와 Ree(1996)는 미국 공군의 F-15 조종사들을 대상으로 상황인식을 결정하는 요소들을 조사하였다. 이 연구를 통해 공간적 작업기억, 언어적 작업기억, 공간적 추론 그리고 분리된 주의라는 4가지 인지적 요소가 상황인식의 개인 차이를 만드는 주요 요소라고 보았고, 정보를 처리하고 유지하는 작업기억

의 개인 차이가 상황인식의 차이를 나타낸다고 주장하였다. 하지만 Stokes, Kemper와 Kite (1997)는 작업기억의 정보처리 능력뿐만 아니라 장기기억에서 이루어지는 지식표상이 모의 비행 상황에서의 상황인식을 더 잘 예측한다는 연구 결과를 발표하여 장기기억의 지식표상 정도가 상황인식의 개인 차이를 나타내는 주요 요소라고 보았다. 최근 상황인식에서의 개인차에 대한 연구들은 작업기억과 장기기억 중 과연 어느 기억 과정에서 상황인식의 개인 차이가 발생하는지에 대한 관심이 있어왔다 (Durso, Rawson, & Giroto, 2007). Sohn와 Doane (2003, 2004)은 상황인식 능력이란 단순한 작업기억의 인지적 요소나 장기기억의 지식구조의 양에 의해 발휘되는 것이 아니라 두 기억의 상호작용이 얼마나 활발히 이루어지는지에 의해 개인 차이가 발생된다고 하였다. 그들은 복잡한 과제를 수행하게 될 때 작업기억은 환경의 여러 정보들을 지각하고 유지하는 역할을 해주며, 이때 작업기억에서 지각된 정보들은 장기기억에 저장된 상황에 대한 지식구조를 활성화시키게 하여 현재 상황을 이해하고 앞으로 발생할 상황을 예상하게 해준다고 하였다. 그들의 연구결과를 기초로 한다면 경험과 지식이 풍부한 전문가는 초보자보다 업무 수행을 위해 현재의 정보를 처리하는 작업기억과 이전의 업무 지식을 보관하는 장기기억 간의 활발한 상호작용을 통해 상황인식 과제를 더 정확하게 처리할 것이다. 특히 전문가가 가지는 전문성의 결정적인 특성이 이전에 경험해보지 못했거나 예상하지 못했던 새로운 상황에 능동적으로 적응하는 능력이라고 보았을 때(Doane & Sohn, 2000; Holyoak, 1991; Sohn & Doane, 1997), 정상적인 상황에서 보다 평소에 접해보지 않았던 비정상적인 상황일 때,

전문가의 상황인식이 초보자에 비해 뛰어난 것이다.

본 연구는 항공교통관제 전문가가 가지는 상황인식 능력의 특성을 알아보기 위하여 관제 시뮬레이터 상황에서 전문가-초보자의 상황인식 차이를 알아보고자 하였다. 이를 통해 상황인식 과정에서 전문가가 보여주는 정보처리 과정의 특성을 이해하고 전문성 개발을 위한 시사점을 도출해보고자 하였다.

실험 1

실험 1은 전문가와 초보자의 상황인식 능력의 차이를 알아보기 위하여 항공교통관제 상황을 정상 상황과 비정상 상황으로 각각 나누어 제시하여 전문성의 정도에 따라 상황인식 능력이 어떻게 달라지는지 알아보고자 하였다. 전문가가 가지고 있는 전문성의 적응적 특성을 고려하였을 때 전문가는 예상하지 못한 비정상적 상황에서 초보자보다 나은 상황인식 능력을 보여줄 것이다. 그리고 실험 1에서는 상황인식 과제를 수행하는 도중 상황인식을 위한 정보 회상을 일시적으로 방해하였을 때 전문성의 정도에 따라 상황인식 능력이 어떻게 달라지는지 알아보고자 하였다. 전문가가 가지는 상황인식 능력이 현재 정보를 처리하는 작업기억과 오랜 경험과 지식이 저장된 장기기억의 상호작용의 효과에 의해 발휘된다는 점을 고려하였을 때, 전문가는 작업기억에서의 정보 회상 방해에 따라 나타나는 상황인식 손실을 장기기억의 경험과 지식이 보완하게 되어 초보자보다 나은 상황인식 능력을 보여줄 것이다.

본 연구는 상황인식의 정확성을 확인하기

위해서 Endsley와 Kiris(1995)가 항공교통관제 상황에서 사용한 Situation Awareness Global Assessment Technique: SAGAT)을 사용하여 상황인식 과제를 구성하였다. SAGAT는 상황인식 요소를 평가하기 위해 상황인식 1단계 지각, 2단계 이해와 3단계 예측에 대한 질의를 포함하고 있다.

방 법

실험참가자 및 도구

본 실험에 참가한 실험참가자들은 인천국제공항공사 실무 관제업무 경험이 있는 관제사들을 대상으로 자발적 참여에 의해 수행하였다. 전문가와 초보자는 실무 현장에서 감독 및 훈련업무를 수행하는 자격을 부여하는 감독관제사를 구분 기준의 만 5년의 관제경력에 따라 5년 이하의 관제사는 초보자 집단(6명)으로 구성하고, 그 이상의 경력 관제사는 전문가 집단(6명)으로 분류하였다. 초보자 집단의 평균 근무 경력 2.7년($SD = 0.75$), 전문가 집단의 평균 7.7년의 경력($SD = 1.87$)이었다. 실험은 인천국제공항공사 항공교통관제 지상관제 시뮬레이터실에서 진행되었으며, 실험은 현재 지상관제에서 사용하는 비행정보관리 시스템과 공항 지상감시 레이더가 제시되는 컴퓨터 기반 관제 훈련 시뮬레이터를 사용하였다. 이 시스템은 인천국제공항공사에서 관제사 교육 목적으로 개발한 장비로 TFT LCD 21.5인치(해상도 1920 × 1080, 주사율 60 Hz)로 구성되어 있다. 참가자들은 실험 이전에 12시간 이상의 시뮬레이터를 이용한 교육을 수행한 경험이 있기 때문에 실험에 사용한 시뮬

레이터에 익숙하였다.

실험 설계 및 자극

본 연구는 2×2×2의 혼합 요인 설계로 구성하였으며 실험참가자 간 변인으로는 관제사의 전문성 정도(전문가/초보자)로 나누었으며, 실험참가자 내 변인으로는 관제상황의 특수성(정상/비정상)과 방해과제의 제시 여부(유/무)로 설계하였다. 종속변인으로는 상황인식의 각 단계(3단계)별 정확성을 측정하였다. 관제상황의 특수성은 실험 참가자들에게 제시되는 모의 관제상황이 항공기의 표준 입출항 이동경로를 따르고 있으면 정상적 상황으로 구분하였고, 비표준 입출항 경로, 근접조우 및 비행정보 관리시스템 오류에 대한 요소를 포함하고 있으면 비정상 상황으로 구분하여 제시하였다. 작업기억에서 상황인식 정보의 회상을 방해하는 과제는 작업기억의 정보 회상을 방해하는 대표적인 과제인 Brown-Peterson 과제를 사용하여 30초 동안 257부터 숫자를 3씩 10번 차감하면서 종이에 빠르게 기록하도록 하였다(Peterson & Peterson, 1959). 상황인식 정확

표 1. SAGAT 각 단계별 상황인식 측정요소

	구성요소
1단계 (지각)	· 전체 항공기 편명 · 지상 유도로(taxiway)의 항공기 편명 · 관제권이 이양된 항공기 편명
2단계 (이해)	· 목적 지점 도달 시간 · 항공기간 순서 · 특정 교통상황 정보 제시 필요성
3단계 (예측)	· 항공기 이동 예상 지상 유도로 · 항공기 경로 변경 필요성 · 근접조우가 예상되는 항공기

성은 SAGAT 측정법(Denford et al., 2004; Endsley & Kiris, 1995)을 사용하여 지상관제 상황에 맞게 상황인식 각 단계에 따른 정확성을 측정하였다(표 1).

실험 절차

실험은 실험 참가자에게 관제 시뮬레이터에서 구현된 모의 관제 상황(10대의 항공기) 동영상 화면을 보면서 관제 상황을 이해하게 하였다. 이때 갑자기 동영상 화면을 사라지게 하여 각 단계별 상황인식 측정 요소를 질문하여 제시된 관제 상황을 정확히 인식하고 있는지 여부를 알아보았다(Endsley & Kiris, 1995). 실험 참가자는 실험 절차에 대한 설명을 듣고 1회 연습을 하였다. 연습 시행에서는 실험 참가자에게 상황인식 정확성에 대한 피드백을 제시해 주어 상황인식 과제에 대한 이해를 돕게 해주었다. 본 실험은 먼저 전문가 집단과 초보자 집단에게 각각 정상과 비정상 상황 시나리오 동영상을 순서대로 제시하여 각 상황마다 상황인식 정확성을 판단하게 하였다. 그리고 다음 순서로 정보 회상 방해과제 조건으

로 또 다른 정상과 비정상 상황 시나리오 동영상을 다시 각각 제시한 후 Brown-Peterson 과제를 바로 실시하게 하여 일시적으로 상황 정보를 회상하는 것을 방해한 채 상황인식 과제를 실시하게 하였다. 상황인식의 측정은 각 상황이 제시된 후에 상황인식 각 단계별 측정 요소를 순서대로 제시하였고, 질문에 대한 답을 기록하게 하였다. 관제상황 동영상 화면은 입출항 항공기 편명과 항공기 이동 상황 등 전반적인 운항 정보들과 항공기 위치와 이동을 표시해 주는 레이더 화면으로 제시하였고(그림 1), 관제 시나리오는 상황별 난이도가 같은 2개의 정상 상황과 2개의 비정상 상황 시나리오를 사용하여 동영상으로 제시 해주었다.

결 과

상황인식의 각 단계별 정확성을 점수화하는 기준은 Endsley와 Kiris(1995), Denford 등(2004)이 사용한 상황인식 각 단계별 SAGAT 측정 기준을 사용하였다. 상황인식 1단계 지각 평가(총 10점)는 각 항공기 편명의 정확성 여부로 평가하였고, 화면에 제시되었던 10대의 항공기 편명들의 지각 여부에 따라 항공기 편명당 1점씩 계산하였다. 상황인식 2단계 이해 평가(10점)는 항공기의 목표도달 시간 판단, 항공기간 순서 판단 그리고 항공기 교통정보 제시 필요성 판단으로 측정하였다. 항공기가 목적 지점에 도달하는 시간 판단(4점)은 실제 도착시간 예정 시간인 40초를 기준으로 ± 10 초에 따라서 1점씩 차감하였고, 항공기 관제 진행 순서 판단(3점)은 항공기 순서와 항공기 편명으로 계산하였다. 교통정보 발부 필요성 판

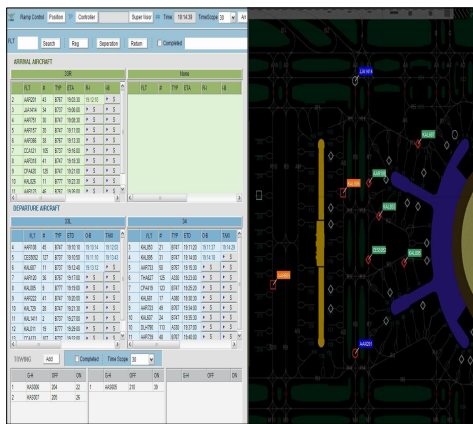


그림 1. 모의관제 관제상황 제시 화면

단(3점)은 교통정보가 우선적으로 필요한 항공기 편명과 실제 교통정보 발부 여부로 계산하였다. 상황인식 3단계 예측 평가(10점)는 항공기가 앞으로 이동할 유도도 예측, 항공기 이동경로 변경 예측 그리고 항공기간 근접조우 예측으로 하였다. 항공기 이동 유도도 예측 판단(3점)은 각 항공기 예정 이동 경로의 정확성으로, 항공기 경로 변경 예측(4점)은 항공기 편명과 변경 이동 경로의 정확성으로, 그리고 항공기 근접조우 예측(3점)은 항공기 편명과 위치의 정확성 여부로 측정하였다.

관제상황에 따른 초보자와 전문가의 상황인식 정확도

관제상황이 정상적 상황일 때와 비정상적 상황일 때 초보자와 전문가 사이의 상황인식에 차이가 나는지를 알아보기 위해 다변량 분석을 실시하였다(표 2). 그 결과, 관제상황에 상관없이 전문가는 초보자에 비해 전체 상황인식 수행이 유의미하게 높았다($F(3, 8) = 17.037, p < .01, h_p^2 = .86$). 그리고 초보자와

표 2. 관제상황의 특수성에 따른 초보자와 전문가의 상황인식 정확도

관제상황	단계	초보자	전문가	차이
		M (SD)	M (SD)	
정상 상황	1단계	7.0(1.75)	6.8(1.4)	0.2
	2단계	7.0(1.0)	7.3(1.0)	0.3
	3단계	6.6(1.2)	7.4(1.1)	0.8
비정상 상황	1단계	4.7(1.0)	6.7(1.0)	2.0*
	2단계	4.0(1.4)	6.7(1.4)	2.7*
	3단계	3.9(1.3)	6.5(1.0)	2.6*

* $P < .05$

전문가에 상관없이 관제상황이 정상일 때 보다는 비정상일 때가 상황인식 정확성이 낮게 나타났다($F(3, 8) = 11.524, p < .01, h_p^2 = .81$). 각 관제상황에 따른 초보자와 전문가의 차이를 알아본 결과, 정상적 상황일 때는 초보자와 전문가 사이의 상황인식 차이는 없었다($F(3, 8) = 2.933, p = .099$). 뿐만 아니라 상황인식 각 단계 별로 분석한 결과 역시 1단계, 2단계, 3단계 모두 초보자와 전문가의 상황인식의 정확성에 대한 차이가 없었다(1단계 $F(1, 10) = .65, p = .804$, 2단계 $F(1, 10) = .294, p = .599$, 3단계 $F(1, 10) = 1.190, p = .301$). 그러나 비정상 상황에서는 전문가가 초보자보다 상황인식의 정확성이 유의미하게 높은 결과가 나왔다($F(3, 8) = 5.115, p < .05$). 상황인식 각 1, 2, 3단계로 분석한 결과 역시 각 단계별로 전문가가 초보자보다 높은 상황인식을 보였다(1단계 $F(1, 10) = 11.25, p < .05$, 2단계 $F(1, 10) = 11.034, p < .05$, 3단계 $F(1, 10) = 14.884, p < .05$). 이런 결과는 정상적인 관제상황에서는 전문가와 초보자 사이에 상황인식 능력의 차이가 특별히 나타나지 않았지만, 비정상적인 관제상황에서는 전문가가 초보자에 비해 정확한 상황인식 능력을 보여 주었음을 의미한다.

방해과제 제시에 따른 초보자와 전문가의 상황인식 정확도

상황인식을 위해 외부정보를 작업 기억에 일시적으로 유지하지 못하도록 작업기억 방해과제를 수행하게 하였을 때(표 3), 정상상황과 비정상 상황에서 모두 전문가가 초보자보다 높은 상황인식을 보였다(정상상황 $F(3, 8) = 14.235, p < .01$, 비정상상황 $F(3, 8) = 8.074, p$

표 3. 작업기억 방해과제를 수행하였을 때 관제상황에 따른 초보자와 전문가의 상황인식 정확도

단계	관제상황	초보자	전문가	차이
		M (SD)	M (SD)	
1 단계	정상상황	3.7(1.0)	5.7(.82)	2.0*
	비정상상황	3.0(1.1)	5.8(1.2)	2.8*
2 단계	정상상황	3.7(1.2)	6.2(1.4)	2.5*
	비정상상황	3.0(1.4)	5.5(1.6)	2.5*
3 단계	정상상황	2.4(.7)	5.0(1.1)	2.6*
	비정상상황	3.0(1.0)	6.0(1.1)	3.0*

* $P < .05$

< .01). 상황인식 각 1, 2, 3단계로 분석한 결과 역시, 전문가가 초보자보다 높은 상황인식을 보였다(정상상황 1단계 $F(1, 10) = 13.846, p < .01$, 2단계 $F(1, 10) = 10.321, p < .01$, 3단계 $F(1, 10) = 14.436, p < .01$; 비정상상황 1단계 $F(1, 10) = 18.766, p < .01$, 2단계 $F(1, 10) = 7.979, p < .01$, 3단계 $F(1, 10) = 22.500, p < .01$). 이 실험의 결과 전문가는 초보자보다 작업기억 방해과제를 부여되었을 때 정상상황과 비정상상황에 관계없이 우수한 상황인식 능력을 보여주었다.

논 의

실험 1의 결과, 정상적인 관제상황에서는 전문가와 초보자의 상황인식 차이가 없었지만, 비정상적인 관제상황에서는 전문가가 초보자에 비해 높은 상황인식 능력을 보여주었다. 이는 관제상황의 특성에 따라 전문성이 상황인식에 미치는 정도가 달라진다는 것을 의미한다. 정상적인 관제상황은 초보자도 관제훈

련을 통해 반복적으로 학습되었던 관제 패턴이었기 때문에 현재 제시되는 정보를 중심으로 상황 정보를 지각하고, 이해, 판단하는 데는 큰 무리가 없었을 것이다. 그러나 비정상적인 관제상황은 전문가조차도 평소에 쉽게 접해보지 못했던 관제상황으로 구성되었기 때문에 현재 제시되는 정보 자체를 정확히 지각하고 이를 근거로 상황을 이해하고 판단하기에는 어려운 관제상황이었다. 이런 비정상적인 관제상황에서 전문가가 초보자보다 상황인식이 정확했다는 것은 전문가의 전문성이 현재 작업기억에서 처리되고 있는 비정상적인 상황정보들의 의미를 보다 정확히 인식하고 있음을 의미할 것이다. 이러한 본 실험의 결과는 전문성의 핵심적인 측면이 이전의 경험과 지식을 새로운 상황에서 효과적으로 적용할 수 있는 능력(Doane & Sohn, 2000; Holyoak, 1991; Sohn & Doane, 1997)이라고 보는 주장을 상황인식 측면에서 지지하는 결과이다. 상황인식 정보 회상 방해과제를 사용한 또 다른 실험 조건 결과에서도 전문가는 초보자보다 정확한 상황인식을 보여주었다. 방해과제는 정보유지를 위한 작업기억에서의 회상을 일시적으로 방해하기 위해 사용되었다. 방해과제를 사용하지 않았던 정상적인 관제상황 조건에서는 전문가와 초보자 간의 상황인식 정확성의 차이가 발생하지 않았지만, 방해과제를 실시하였던 정상적인 관제상황에서는 전문가가 초보자보다 더 나은 상황인식 수행을 보여주었다. 이는 전문가가 초보자보다 초기에 제시되고 있는 정보의 지각 효율성이 높아서 이후 방해과제에 의해 야기된 작업기억에서의 정보 유지 방해의 영향을 초보자보다 상대적으로 덜 받았기 때문에 나타난 결과이다. 하지만 본 실험 1에서는 전문가가 가지는 전문

성이 어떻게 정보 지각 효율성을 증대시켜 작업기억에서의 정보 유지 방해로 덜 받았는지에 대한 상세한 메커니즘을 규명하지는 못하였다. 그러나 본 실험은 전문가는 초보자보다 작업기억의 제한을 상대적으로 덜 받는다는 것을 알 수 있었다.

실험 2

실험 2에서는 항공교통관제 전문가와 초보자의 작업기억 용량에 대한 차이 여부를 확인함으로써 실험 1에서의 상황인식 차이가 단순히 전문가, 초보자의 작업기억 용량의 차이가 아니라는 점을 밝히고자 하였다. 항공교통 관제사들의 작업기억에 대한 개인차는 조금씩 다르게 나타날 수 있다. 관제업무를 수행하는 측면에서 관제사들의 일반적인 작업기억 용량의 차이는 관제업무처리 능력과 수행에 있어 중요한 결정요인이 될 수 있을 것이다. 그런 의미에서 실험 1의 결과를 전문가가 작업기억 내에 정보를 담아놓을 수 있는 용량이 크기 때문에 방해과제로 인한 일시적인 정보 유지 방해를 덜 받는다는 해석도 가능할 수 있다.

작업기억 용량 이론에서 복잡한 과제를 수행하는 개인차는 작업기억에서 현재의 정보를 해석하고 유지하게 하는 고정용량에 의해 달라진다고 하였다(Daneman & Carpenter, 1980; Shah & Miyake, 1996). 작업기억에서 중요한 측면의 하나인 용량(capacity)은 정보처리와 저장 기능에 자원들을 배치할 때 제한되는 가용자원의 양으로 언급된다(Baddeley & Hitch, 1974; Hambrick & Engle, 2002). 가용자원의 양은 개인마다 다르고 작업기억을 필요로 하는 복잡한 과제에서는 수행의 속도와 정확도가 가용

자원의 양에 따라 개인마다 차이가 난다고 하였다(Sohn & Doane, 2003). 하지만 전문가의 작업기억 용량 자체가 경험과 훈련에 의하여 늘어나 상황인식의 개인차를 발생시킨다고 할 수는 없을 것이다.

일반적으로 작업기억 용량은 정보를 임시 저장하는 신경생물학적, 인지적인 제약을 가지고 있기 때문에 개인들 간의 개별적인 정보 처리의 특성으로 이해하기보다는 인간정보처리 과정의 일반적 특성으로 이해되어야 할 것이다(Lisman & Idiart, 1995). 이를 확인하기 위하여 실험 2에서는 Luck과 Vogel(1997)이 제안한 시각적 작업기억 용량 측정과제를 이용하여 전문가, 초보자 관제사들의 작업기억 용량의 차이가 있는지 알아보았다.

방 법

실험참가자 및 도구

실험 2는 기본적으로 실험 1의 모든 참가자를 대상으로 수행하였다. 작업기억 용량을 측정하기 위해 사용한 자극은 Luck와 Vogel(1997)의 실험을 참고로 회색 바탕 화면(흰색 기준 15% 어두운 회색)에 각각 7가지 색깔(빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑, 남색 보라색)을 각각 달리하는 정사각형 도형을 사용하였다. 모든 자극은 컴퓨터 모니터의 9.8° x 7.3° 크기의 직사각형 영역 안에서 제시되었고, 자극 세트 크기에 따라 2개, 4개, 6개의 도형 자극이 제시되었다. 실험 횟수는 3개의 자극세트 크기 조건에 맞추어 각각 32회의 기억항목과 검사항목으로 총 96회를 전체실험 세트로 구성하였다. 자극세트 크기의 제시는 무선적으로 이루어

어지게 하였고, 검사 항목은 기억 항목에서 제시된 자극들 중에 한 자극만을 다른 색으로 바꾸어 제시하는 조건 50%와, 기억 항목과 동일하게 제시하는 조건 50%를 무선적으로 혼합하여 시행하게 하였다. 실험은 2 × 3 혼합 설계로 피험자 간 요인으로 전문가와 초보자, 피험자 내 요인으로 3개(2개, 4개, 6개)의 자극 세트 크기로 실험을 구성하였다. 종속 변인으로는 기억항목에서 제시된 자극과 검사항목에서 제시된 자극이 동일한가의 여부를 판단하게 하였다. 실험 자극 제시는 IBM 호환 Pentium급 노트북(삼성 센스 NT-R540)를 이용하여 통제하였고, 15인치 노트북 액정 모니터 화면으로 자극을 제시하였다. 자극을 제시하는 프로그램은 E-Prime 2.0으로 제작하였다.

실험 절차

참가자는 그림 2에서 설명하고 있는 것과 같이 컴퓨터 화면에 제시된 사각형 색깔이 있는 도형자극들의 기억항목을 1,000ms 제시하는 동안 도형의 색깔을 기억하였다가 900ms의 지연이 있는 후, 기억항목 자극화면과 동일한 위치에 제시되는 검사항목 자극들의 색깔이 기억항목과 동일한 자극이었는지 여부를 2초 이내에 판단하도록 하였다. 이때 기억 항목과 동일하면 C키를, 다르면 N키를 누르게 하였다.

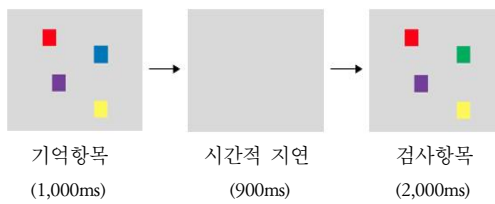


그림 2. 4개 유형 자극세트의 실험 절차

결 과

작업기억 용량 측정

실험 결과는 그림 3에서 보여주고 있는 바와 같이 관제 초보자와 전문가 집단 간의 개별 자극세트 크기에 따른 작업기억 용량의 차이는 존재하지 않았다($F(1, 10) = .850, p = .377$). 그리고 전문성과 자극세트 크기 간의 상호작용도 나타나지 않았다($F(2, 10) = .740, p = .490$). 이는 관제 초보자와 전문가가 가지고 있는 시각 자극에 대한 작업기억 용량에는 집단 간 차이가 보이지 않았다는 것을 의미한다.

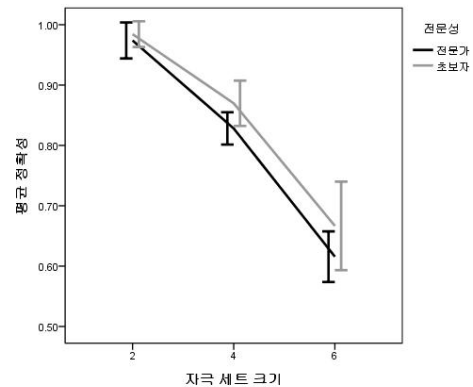


그림 3. 초보자와 전문가 자극세트별 시각 작업 기억 정확성

논 의

실험 2의 결과, 각 자극세트별 크기에 따른 전문가와 초보자의 작업기억 용량에는 차이가 없었다. 이는 관제 정보 자극과 상관없는 일반적인 시각 자극을 유지하고 기억하는 작업 기억 용량에는 관제 전문가와 초보자 간의 차

이가 없다는 것을 의미한다. Curby와 Gauthier (2007)는 전문가는 그들의 전문 분야에서 초보자보다 더 많은 정보를 유지하고 처리할 수 있는 작업기억 용량을 가지고 있다고 보고하였다. 하지만 이들의 연구는 전문가 자신의 전문 분야에 한정되는 결과이지 일반적인 작업기억 용량에 전문가와 초보자의 차이가 보인다는 결과는 아니다. 즉 전문가가 자신의 전문분야에서 더 많은 정보를 처리할 수 있는 능력은 순수한 작업기억 용량의 차이로 인해 나타나는 것이 아니라 경험과 체계화된 지식에 의해 형성된 전문성이 정보 지각단계부터 환경에서 제시되는 정보들의 의미를 효율적으로 패턴화시켜 지각하였기 때문에(Kwang, 2011), 더 많은 정보를 유지하고 처리하였기 때문에 가능하였을 것이다.

종합 논의

본 연구는 항공교통관제 전문가와 초보자의 상황인식 차이를 알아봄으로서 상황인식 과정에서 전문가가 보여주는 정보처리과정의 특성을 알아보고자 하였다. 본 실험 1의 결과, 전문가는 정상적 상황일 때보다는 비정상적인 상황에서 그리고 방해과제가 부여된 상황에서 초보자의 비해 상황인식 정확성이 높았다. 이러한 결과는 전문가가 가지고 있는 전문성이 정상 상황일 때보다는 비정상 상황이라는 새로운 관제상황에서 큰 역할을 하고 있음을 시사해주고 있다. 전문가는 다양한 교육 및 훈련을 통해 서술적 지식과 절차적 지식을 습득하고, 경험을 통해 이러한 지식을 반복적으로 적용해보게 된다(Ericsson, 2005; Ericsson & Lehmann, 1996). 이러한 과정에서 장기기억에

형성된 관제에 대한 지식체계는 상황의 변화에 따른 새로운 문제를 해결하고 추론하는데 요구되는 인지적 부담을 감소시키게 되었을 것이다. 정확한 상황인식을 수행하기 위해서는 외부 상황정보에 즉각적으로 반응해야 하기 때문에 작업기억 용량에 많은 영향을 받는다. 하지만 실험 2의 결과에서와 같이 상황인식의 차이에 대한 이유를 전문가와 초보자의 순수한 작업기억 용량의 차이 때문에 발생되었다고는 볼 수 없을 것이다. 이보다는 전문가가 가지고 있는 전문성이 작업기억에서 일어나는 정보처리 과정 각각에 도움을 주고 있기 때문에 비정상적인 상황이나 상황인식 정보들에 대한 회상을 방해하는 조건처럼 상황인식이 어려워지는 상황에서 전문가가 초보자보다 더 나은 수행을 보여주게 되었을 것이다.

전문성 개발을 위한 전문가 수행에 관한 연구는 교육과 훈련에 대한 중요한 지식을 제공할 수 있다(Schultheuts & Charness, 1999). 만약 전문성에 대한 심도 깊은 이해를 할 수 있다면, 더 효과적인 교육과 훈련을 통해 전문성 개발을 촉진할 수 있을 것이다. 관제사 훈련 프로그램 개발과 기량(skill) 관리에 있어서도 비정상 상황을 경험할 수 있는 시뮬레이션을 관제사에게 경험하게 한다면 그들의 관제 전문성을 확인하고 대처능력을 학습할 수 있는 기회를 제공해줄 수 있을 것이다. 끝으로 본 연구는 관제사와 조종사간의 무선통신 기능도 없는 저충실도(low-fidelity) 시뮬레이션을 구현한 한계를 지닌다. 이런 저충실도 시뮬레이터로 과제를 수행하게 되면 상황을 파악할 수 있는 현실적인 정보가 부재하는 상황이 발생되어 초보자의 수행이 더 낮아지는 결과가 나왔을 수도 있을 것이다. 그렇기 때문에 이런 연구결과가 현실적인 상황에서도 확인할 수

있는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & Bower, G. H. (1974). The psychology of learning and motivation. *Recent advances in learning and motivation*, 47-89.
- Carretta, T. R., Perry Jr., D. C., & James Ree, M. (1996). Prediction of situational awareness in F-15 pilots. *The International Journal of Aviation Psychology*, 6, 21-41.
- Cavcar, A., & Cavcar, M. (2004). New directions for ATC training: A discussion. *International Journal of Aviation Psychology*, 14, 135-150.
- Curby, K. M., & Gauthier, I. (2007). A visual short-term memory advantage for faces. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 620-628.
- Dailey, J. T. (1984). Characteristics of the air traffic controller. In *Selection of Air Traffic Controllers* (S. B. Sells, J. T. Dailey, And E. W. Pickerel, Eds.), FAA-AM-84-2, (pp.128-141). Federal Aviation Administration, Washington, DC.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19, 450-466.
- Denford, M. J., Steele, J. A., Roy, R., & Kalantzis, E. (2004). Measurement of air traffic control situational awareness enhancement through radar support toward operating envelope expansion of an unmanned aerial vehicle. In *Proceedings of the 36th Conference on Winter Simulation* (pp.1017-1025). Washington, D.C.
- Doane, S. M., & Sohn, Y. W. (2000). ADAPT: A predictive cognitive model of user visual attention and action planning. *User Modeling and User-adapted Interaction*, 10, 1-45.
- Durso, F. T., Rawson, K. A., & Giroto, S. (2007). Comprehension and situation awareness. In F. T. Durso, R. S. Nickerson, S. Dumais, S. Lewandowsky, & T. J. Perfect (Eds.), *Handbook of applied cognition* (2nd ed., pp.163-194). Hoboken, NJ: Wiley.
- Endsley, M. R. (1988). Design and evaluation for situation awareness enhancement. In *Proceeding of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting*, (pp.97-101). Human Factors Society, Santa Monica. CA.
- Endsley, M. R., & Roders, M. D. (1994). *Situation Awareness Information Requirement for En Route Air Traffic Control Technical Report*. DOT/FAA/AM-97/27, Washington, D. C.: Federal Aviation Administration Office of Aviation Medicine.
- Endsley, M. R., & Kiris, E. O. (1995). *Situation awareness global assessment technique (SAGAT) TRACON air traffic control version user guide*. TTU-IE-95-02, Lubbock, TX: Texas Tech University.
- Ericsson, K. A., & Lehmann, A. C. (1996). Expert and exceptional performance: Evidence on miximal adaptation to task constraints, *Annual Review of Psychology*, 47, 273-305
- Ericsson, K. A. (2005). Recent advances in expertise research: A commentary on the contributions to the special issue. *Applied*

- Cognitive Psychology*, 19, 233-241
- Greene, R. L. (1992). *Human memory: Paradigms and paradoxes*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hambrick, D. Z., & Engle, R. W. (2002). Effects of Domain Knowledge, Working Memory Capacity, and Age on Cognitive Performance: An Investigation of the Knowledge-Is-Power Hypothesis* 1. *Cognitive Psychology*, 44, 339-387.
- Holyoak, K. J. (1991). Symbolic connectionism: Toward third generation theories of expertise. In K. A. Ericsson, & J. Smith (Eds.), *Toward a general theory of expertise* (pp.301-336). Cambridge University Press.
- Kraut, J. M., Kiken, A., Billighurst, S., Morgan, C. A., Stybel, T. Z., Chiappe, D., & Bu, K. P. L. (2011) *Effects of data communications failure on air traffic controller sector management effectiveness, situation awareness, and workload*. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Volume 6772 LNCS, Issue PART 2, 2011, Pages 493-499.
- Kwan, H. J (2011) *Expertise in Air Traffic Control: Expert-novice differences in memory of visual information*. Doctoral Dissertation. Yonsei University, Seoul.
- Lisman, J. E., & Idiart, M. A. P. (1995). Storage of 7 ± 2 short-term memories in oscillatory subcycles. *Science*, 267, 1512-1515.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-280.
- Mogford, R. H., & Tansley, B. W. (1991). *The importance of the air traffic controller's mental model*. Paper presented at the Human Factors Society of Canada Annual Meeting, Canada.
- Peterson, L. R., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193-198.
- Schulz, R. S., & Charness, N. (1999). Recall or evaluation of chess positions revisited: The relationship between memory and evaluation in chess skill. *American Journal of Psychology*, 112(4), 555-569.
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of experimental psychology. General*, 125, 4-27.
- Sohn, Y. W., & Doane, S. M. (1997). Cognitive constraints on computer problem-solving skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied* 3, 288-312.
- Sohn, Y. W., & Doane, S. M. (2003). Roles of working memory capacity and long-term working memory skill in complex task performance. *Memory & cognition*, 31, 458.
- Sohn, Y. W., & Doane, S. M. (2004). Memory processes of flight situation awareness: Interactive roles of working memory capacity, long-term working memory, and expertise. *Human factors*, 46, 461.
- Stokes, A. F., Kemper, K., & Kite, K. (1997). Aeronautical decision making, cue recognition, and expertise under time pressure. In C. E. Zsombok & G. Klein (Eds.), *Naturalistic Decision Making*, (pp.183-196). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. *International*

Journal of Aviation Psychology, 21(2), 153-174.
Yang, J., Rantanen, E. M. & Zhang, K. (2010)
The Impact of Time Efficacy on Air Traffic
Controller Situation Awareness and Mental
Workload. *The International Journal of Aviation
Psychology*, 20, 74-91.

1 차원고접수 : 2011. 12. 7

2 차원고접수 : 2012. 6. 6

최종게재결정 : 2012. 7. 20

The Effect of Expertise on Air Traffic Controller's Situation Awareness

Chang-Sun Song

Graduate Program of Cognitive Science
Yonsei University

Yong-Sik Yoon

Center for Cognitive Science
Yonsei University

Young Woo Sohn

Department of Psychology
Yonsei University

This research examined air traffic controller performance on situation awareness (SA) tasks for routine and non-routine situations. Additionally, the difference of working memory capacity between novices and experts was analyzed. To assess SA performance, participants were asked to answer the query after the simulation was frozen. We employed 2*2*2 mixed factorial design including the between-subjects variable of air traffic controller expertise (novices, experts) and the within-subjects variables of the normality of situation (routine, non-routine), and the distracter task (yes, no) and then assessed the capacity of working memory. The results suggest that experts' performance significantly remained higher than novices for non-routine situations. When the distracter task was given, experts' SA accuracy was significantly higher than novices for both routine and non-routine situations. However, there is no difference in working memory capacity between experts and novices. These findings suggest that the performance on SA task was affected by the expertise of the professional development and training.

Key words : air traffic controller, expertise, situation awareness, working memory