

## 論文

## 비정상 항공기가 항공교통관제사에게 미치는 영향에 대한 연구 (상황인식과 업무부하를 중심으로)

전정대\*, 이영혁\*\*, 최연철\*\*\*

### A Study on the Operational Impact of Abnormal Aircraft in ATC Operations (Focusing on Situation Awareness and Workload)

Jeon, Jeong-Dae\*, Lee, Young-Heok\*\* and Choi, Yun-Chul\*\*\*

#### ABSTRACT

Due to the lack of navigable airspace caused by worldwide air traffic increases, air traffic control(ATC) services are becoming more complex, which results in the increase of aircraft accidents. To cope with these challenges, major aviation institutes abroad are actively conducting research regarding the human factors affecting controllers but as of late, no such specialized activities have been found in Korea. Due to the dynamic attributes of ATC operations, management of controller's situation awareness(SA) and workload, and knowledge on the impact of abnormal aircraft to controllers are very important. Furthermore, using actual flight data of each country will lead to valuable results, because individually, it has different airspace characteristics and air traffic volumes. This study assumed that air traffic difficulties would affect the controller's SA and workload. To testify the above hypothesis, the abnormal air traffic situations are simulated by using ATC simulator.

The findings indicated that the effect of traffic situations containing abnormal aircraft on the controller's SA and workload, it led to demand increase and supply decrease in SA, and increased mental demand, temporal demand, effort and mean workload score in the workload.

**Key Words :** Air Traffic Control(항공교통관제), Situation Awareness(상황인식),  
Workload(업무부하), Performance(업무성과), Emergency(비상)

#### 1. 서 론

St. Louis공항에서 Archie League가 최초의 관

2009년 8월 15일 접수 ~ 2009년 9월 20일 심사완료

\* 한국항공대학교 항공교통물류학과 박사과정

\*\* 한국항공대학교 항공교통물류우주법학부 교수

\*\*\* 한서대학교 항공학부 교수

연락처자, E-mail : pilot@hanseo.ac.kr

충남 서산시 해미면 대곡리 한서대학교

제업무가 제공된 이후로, 항공안전과 효율적인 운항을 위하여 항공교통관제 장비의 개발과 항공교통정책·절차 등도 함께 발전하고 있다. 항공교통관제와 관련된 FAA Order 7110.65(FAA, 2008) 및 ICAO Doc 4444(ICA0, 2007)에 명시된 바와 같이 항공교통관제 업무는 항공기간, 항공기와 지상 장애물간, 충돌 방지 및 효율적인 항공교통 운영을 위하여 제공된다.

기본적으로 관제업무를 제공받는 조종사는 혼란에 빠지지 않고 목적지로 안전하게 유도되며,

필요시 악기상과 같은 위험에 대한 경고를 제공 받는다. 그러나 항공기의 성능과 항공교통관제 시설·운영의 개선에도 불구하고 항공기 사고는 지속적으로 발생하고 있다. 2008년 발표된 민간 항공기 사고 통계자료에 의하면, 1998년부터 2007년까지 10년간 승객이 사망에 이른 치명적인 사고는 이륙·순항상승과 착륙을 위한 강하·최종접근·착륙 단계에서 약 79% 정도가 발생하는 것으로 분석되었다(Boeing, 2008).

항공기 사고뿐만 아니라 항공교통관제의 문제는 운항의 효율성 측면으로 연결되는데 즉, 운항 지연은 관제시스템과 관련하여 가장 눈에 띄는 문제점으로, 2006년 미국의 경우 비행지연으로 인하여 승객들이 입은 손해는 100,000,000시간 이상이며, 2007년 전반기에도 국내선 도착 항공기의 25%가 15분 이상 지연되었으며 이 가운데 65%는 30분 이상이었다(Dorothy, 2007). 이러한 문제에 대해서 2007년에 미 운수성은 "현행 관제시스템의 상당한 개선이 없는 경우 지연은 지속될 것이지만 다만 위성기반 시스템을 기반으로 하여 현행의 시스템을 개선한다면 하늘의 자유, 편의성, 신뢰성이 증진될 것이다."라고 보고하였다(FAA Press Release, 2007).

항공수요 예측 자료인 FAA Aerospace Forecast Fiscal Years 2009-2025에 따르면, 2009년에는 세계의 경제상황으로 인하여 단기적으로는 민간항공 활동의 감소가 예상되나 가용좌석마일을 기준으로 볼 때 시스템 용량 면에서 2025년까지 매년 평균 3.8% 성장을 예측하였다(FAA, 2009).

미래에 예상되는 증가된 항공교통 처리를 위한 용량 확대와 높은 수준의 안전과 효율성 유지를 위해서는 더 신뢰할 수 있는 장비와 관제시설의 자동화가 요구되지만 이것이 반드시 관제업무의 효율성과 업무성과를 증진시켜주는 것은 아니므로 시스템 안전을 저해하지 않도록 매우 신중하게 이루어질 필요가 있으며 가장 중요한 점은 인적요소에 의한 사고를 감소시키는 것이다. 따라서 해외의 항공관련 기관에서 조종사·관제사의 인적요소에 대하여 활발한 연구 활동을 수행하고 있지만, 국내에서는 관제분야의 인적요소에 대한 전문적인 연구는 거의 이루어지지 못하였다.

본 연구는 항공교통관제 업무의 최적화를 위하여 요구되는 인적요소 분야 중 관제사의 상황인식(SA : Situation Awareness)과 업무부하(Workload)를 다루었다. 업무 특성 상, 지속적인

로 변화하는 상황에서 관제업무를 수행하는 관제사는 기상 악화 및 항공기·관제장비 고장 등 기술적 오류에 따른 비정상 상황 또는 혼잡 상황에 종종 노출된다. 비정상적인 상황에서 발생할 수 있는 사고 가운데 많은 부분이 관제활동에 의해서 예방될 수 있다는 측면에서 이에 대한 연구는 매우 중요하다. 비정상 항공기에 대한 관제업무는 정상적 상황에서 운항하는 항공기에 대한 관제지원 업무와는 차이가 있을 수밖에 없으며, 이는 짧은 시간동안 관제사의 정신적·육체적 노력을 상당 수준 요구할 수 있으므로 관제사의 상황인식과 업무부하에 영향을 미칠 가능성이 크다.

본 연구에서는 레이더 관제업무 중 접근관제사의 관제업무에 중점을 두고 실험을 하였는데 정상 수준 이상의 항공교통량이 상황인식과 업무부하에 영향을 줄 것으로 가정하여 정상적인 관제상황과 비정상 항공기가 포함된 관제상황에서 관제사가 경험하는 상황인식과 업무부하를 측정하고 비교하여 이를 분석하였다. 본 연구는 다양한 교통상황에서 관제업무를 제공하는 관제사의 상황인식과 업무부하를 실제적으로 측정하고, 측정 결과를 비교함으로써 이 개념들에 대한 이해와 이들을 시스템적으로 관리할 수 있는 방법을 제시하기 위하여 수행되었다.

## II. 본 론

현행 관제시스템의 개선은 지속적으로 증가하는 항공 교통을 처리하는 동시에 관제사의 업무부하를 감소시키고 효율적인 관리를 위하여 필요한 것이며 주로 자동화 프로그램의 형태로 개선되고 있다(Ben & Michele, 2002). 그러나 항공관제에서 높은 수준의 자동화는 관제사의 상황인식 상실을 포함하여 많은 단점을 동시에 가져올 수 있으므로(David et al, 2006), 이를 보완하고 지속적으로 증가하는 항공교통의 처리와 효율적인 비행 활동 보장을 위하여 ICAO 등 해외 주요 항공기관에서는 항공종사자에 대한 인적요소와 관련된 부분과 현행 시스템에 대한 자동화 시스템의 적용과 관련하여 많은 연구가 진행되고 있다.

항공교통관제 분야는 인적요소 중에서도 상황인식과 업무부하에 대한 부분과 이들 상호간의 관계가 중점적으로 연구되어 왔다. Fracker와 Davis(1990)는 업무의 강도에 따라 운영자의

SWAT(Subjective Workload Assessment Technique) 점수는 증가한 반면 주관적 상황인식 평가는 변함이 없는 것으로 연구하였다. 즉, 동일한 수준의 상황인식을 유지하기 위해서는 평소보다 더 많은 노력이 소요된다고 주장했다.

Endsley(1993)는 상황인식과 업무부하를 동전의 양면으로 비유하면서 우수한 성과를 위해서는 상황인식이 중요한 선제조건이므로 이를 확보하기 위하여 상당한 노력이 요구된다고 주장했다. 업무부하는 상황인식의 획득과 유지를 위한 노력에서 발생되며, 의사결정을 위한 상황인식의 이용이 새로운 업무부하를 생성한다고 주장했다. 즉, 상황인식은 업무부하의 결과라고 주장하였다. 그러나 이들이 항상 연관된 것은 아니며 일반적으로는 특정 수준 이상의 업무부하가 부과되는 경우 역의 관계를 갖는 것으로 연구되고 있다. 좋지 않은 상황인식은 좋지 못한 업무성과를 야기할 위험을 증가시킬 가능성이 있으며, 반대의 경우는 우수한 성과를 발휘할 가능성을 증가시키는 조건으로 간주될 수 있다. 이런 점에서 상황인식과 업무성과는 상호 연관성이 있는 것으로 간주된다.

Ben Willems(2002)의 항로 관제사에 대한 연구에서는 교통량이나 자동화의 증가 또는 데이터 관제사 역할을 수행하는 경우 상황인식이 낮아지며, 교통량이나 자동화의 증가 또는 레이더 관제사 역할을 수행하는 경우 업무부하가 증가한다고 주장하였다.

현재 자유비행이나 자동화와 같은 선진화된 개념이 지속적으로 연구되지만, 이 기술의 항공 부문에 적용은 많은 추가적인 연구와 재원 조달이 필요하기 때문에 제한적일 수 있으며, 실질적으로 현재 가용 장비와 인원을 통하여 획득할 수 있는 최대한의 성과를 획득하기 위한 운영상의 고려가 요구된다. 특히, 관제업무가 매우 동적이므로 지속적으로 변화하는 각 국가의 실정에 부합하는 이상적인 관제사의 상황인식과 업무부하의 관리가 매우 중요하며, 특히 미래에 예상되는 항공 교통량의 증가에 적절히 대처하기 위하여 관제사의 책임과 역할 구분 등에 대한 시스템적 접근이 요구된다.

## 2.1 상황인식(Situation Awareness)

항공기 사고에 있어 상황인식이 큰 영향을 미

치므로 이에 대한 개념이나 측정을 위한 도구를 지속적으로 개발 중에 있으나 개별 상황과 개인의 역량에 영향을 많이 받기 때문에 통일된 정의는 존재하지 않는다. 상황인식에 대한 연구 가운데 Haines와 Flateau(1992)는 "주변에서 현재 발생하는 모든 것을 알고, 행동을 취하기 위하여 지식을 통합할 수 있는 개인의 능력"으로 정의하고 있으며, Endsley(1989)와 Taylor(1990)는 일반적으로 "특정 시간과 공간에서 발생하는 여러 요소들에 대한 인지나 의미에 대한 이해, 가까운 장래에 전개되는 상황에 대한 예측"으로 정의하였다. 이를 종합해볼 때 관제사의 관점에서의 상황인식은 "당황하지 않도록 관제사가 알아야 할 것"으로 요약될 수 있다.

상황인식 측정방법은 크게 질문기술(Query techniques)을 이용한 SAGAT(Situational Awareness Global Assessment Technique), SPAM(Situation Present Assessment Method)이 있고 척도방법(Rating techniques)에 의한 SART(Situation awareness rating technique), C-SAS(Cranfield Situation Awareness Scale)를 비롯하여 성과 수준으로 추론하는 성과기반 방법의 3종류가 주로 활용되고 있다(EUROCONTROL, 2003). 이 가운데 널리 사용되는 측정 도구인 SAGAT는 시뮬레이션을 이용하여 실험을 하면서 실험이 정지되는 동안 피실험자에게 질문을 하여 객관적으로 상황인식 측정하는 방법이며, SART는 시뮬레이션에 대한 운용자의 평가를 바탕으로 주관적인 상황인식 척도를 통하여 측정을 한다(Endsley et al, 1998).

## 2.2 업무부하(Workload)

관제사의 업무부하는 관제량이나 관제수준에 따라 낮은 수준부터 높은 수준으로 다양하므로 이들 모두를 주목해야 하지만, 장차 예상되는 교통량의 증가를 고려할 경우 높은 수준의 업무부하를 경험하는 관제사는 오류나 업무성과 저하에 쉽게 빠질 수 있다는 것이 연구자들의 견해이며, 관제업무가 주로 인지 및 정보 처리와 관련되므로 인지 및 감정 등을 포함하는 정신적인 업무부하와 관련된다. 업무부하의 이론에서 추가적인 직무가 발생되면 효율적인 실행을 위한 주의를 재할당해야 하게 되므로 이 경우의 업무부하는 자원에 대한 전체적인 요구 수준을 반영하는 것으

로 의미한다고 정의하였다(Christopher, 1997). 이러한 점들을 종합할 때 업무부하는 "특정 직무를 수행하기 위하여 개인이 발휘하는 육체적, 정신적 노력(Carol et al, 2001)"이라고 정의할 수 있다.

현재 업무부하를 측정을 위하여 많은 측정 도구들이 개발되었으며, 1차 직무를 통한 측정과 같은 성과기반 측정 방법, 눈이나 눈꺼풀의 움직임과 혈압의 변동 측정 등 생리적 측정방법, NASA-TLX(Taskload Index)나 SWAT와 같은 주관적 측정 방법이 주로 사용되고 있다(EUROCONTROL, 2004).

### 2.3 비정상 항공기가 항공교통관제사에게 미치는 영향

일반적으로 항공기의 비정상 상황은 신속한 원조가 요구되는 조난과 조난 상황으로 발전할 수 있는 긴급 상황의 2가지로 구분된다(FAA, 2008). 항공기는 화재, 압력손실, 엔진정지, 조류 충돌, 의료문제, 유압이나 전기계통 고장 등으로 인하여 비정상 상황에 직면할 수 있다.

비정상 항공기가 관제사에게 미치는 영향으로는 첫째, 시간 왜곡으로 조종사와의 교신 간격이 실제 경과시간보다 더 길다는 느낌을 가지며 둘째, 조종사에게 다량의 정보를 제공하려는 욕구가 발생하여 승무원에게 과부하가 걸리도록 유도할 수도 있다. 셋째, 스트레스나 높은 업무부하에 대한 일반적 현상인 터널시가 발생하거나 기억력 감소가 발생하여 높은 업무부하에 직면할 수도 있다. 또한 이전에 발생한 사건에 의한 스트레스도 발생할 수 있다.

이러한 영향을 최소화하기 위하여 비정상 항공기에 대한 관제업무를 제공하는 관제사는 항공기와의 교신시간을 기록하고, 조종사에게 실제로 유용한 정보를 결정하기 위하여 정보량, 적절성, 타이밍 등 모든 관련 정보를 감시해야 한다. 아울러 항공기에 대한 정보요구를 가급적 최소화하고, 기억력 유지를 위한 기록과 동료들에 의한 원조를 받을 수 있도록 항공기 비상 상황을 알릴 필요가 있다(CAA, 2005).

항공교통관제의 1차 목적은 항공기의 안전한 운항을 보장하는 데 있으므로 비정상 항공기가 나타나면 우선순위 조정 등 항공교통의 흐름에 영향을 미치며, 이는 관제사의 상황인식과 업무부하에 영향을 미칠 수 있다. 효과적인 항공교통

운영을 위하여 자동화를 위시한 많은 연구가 진행되지만, 이러한 연구와 개선에 대한 적용은 많은 노력과 예산을 필요로 하며 상당한 기간이 소요된다. 따라서 현행 관제 시스템에 대한 개선과 병행하여 운영의 효율성 개선을 위한 노력 또한 고려되어야 한다.

### III. 연구방법

**표본선정** : 본 연구의 목적인 관제사 상황인식과 업무부하 측정을 위한 실험의 표본은 공군 교육사령부의 항공교통관제사 교육을 수료한 초급관제사를 대상으로 수행하였다. 가장 효과적인 실험은 현재 군이나 민간항공에서 실제적인 관제를 수행하는 관제사를 대상으로 하는 것이 가장 타당하나 예비 실험을 한 결과 군 관제사의 경우 관제 수행능력보다는 계급구조에 따라 수준이 결정되므로 원활한 실험이 불가능하였다. 민간관제사들은 관제사로 입사한 시기가 상이하고 수행하는 업무가 너무 세분화되어 업무를 수행하므로 공통된 상황을 부여할 경우 이에 대한 응답의 내용이 너무 상이하므로 유의미한 실험결과에 문제가 있었으며 특히 교대근무를 수행하므로 실험조건의 부여에 문제가 있는 것으로 판단되었다. 따라서 교육을 종료한 피교육생들은 교육수준과 집체교육을 통하여 생활환경이 유사하므로 표본간의 차이나 오염이 최소화된다는 점을 고려하여 선정하였다.

실험 참가자는 공군의 항공교통관제 업무에 종사할 군 관제사로 17주 동안 항공교통관제 이론 362시간, 실습 220시간을 수료하였다. 실험은 3차에 걸쳐 수행되었는데 2008년에 2개 기수(14명), 2009년에 1개 기수(10명)의 총 24명으로 남자 20명, 여자 4명, 총 24명으로 구성되었고 교육생의 평균 연령은 23.5세이다.

**실험장치** : 본 연구를 위한 실험은 항공관제 교관실의 레이더 실습실에서 진행되었으며, 실험장치는 현재 운용되는 레이더 관제장비에서 제공되는 모든 기능을 구현하는 컴퓨터 기반 훈련장비(computer-based training simulator)인 'ATC CBT'를 사용하였다. 이 시스템은 관제사의 레이더 근무에서 실질적이고 높은 신뢰성을 가진 장비로 평가되고 있는데 19인치 LCD 레이더 전시기, 키보드, 마우스로 구성되어 있다.

**평가도구** : 교통상황의 변화가 관제사의 상황 인식, 업무부하에 미치는 영향을 조사하기 위하여 2가지 형태의 관제상황으로 모의 관제를 수행하였다. Miller(1956)의 연구에서 7±2대의 항공기가 관제사의 '단기 기억 용량'을 고려한 적정한 항공기 관제 대수라고 지정한 것을 참고로 관제교육 담당교관들과의 3차례 회의를 통하여 실험자들에게 레이더 스크린에 5-6대의 항공기가 지속적으로 존재하는 경우를 보통 이상의 업무부하를 주는 것으로 설정하였다. 실험을 위한 독립변수는 정상 관제상황과 '비상'을 선언한 항공기가 포함된 관제상황이며 종속변수는 관제사의 상황인식과 업무부하로 설정하였다. 상황인식 측정을 위한 평가도구로 SART를 이용하였으며 구성요소는 <table 1>과 같다. SART는 측정도구로 주관적이고 개별항목의 측정이 어려운 단점이 있지만, 직무에 대한 영향이 없고, 사용이 용이하며, 타 평가도구에 비교하여 실제 시스템이나 상황 평가에 용이하게 사용할 수 있다는 장점이 있으므로 본 연구의 실험에 용이하다고 평가되었다.

<Table 1> SART 구성요소

3-D	10-D	설명
Demands on attentional resources	상황의 불안정성	상황의 갑작스런 변화 가능성
	상황의 복잡성	상황의 복잡성
	상황의 가변성	변화하는 요인의 수
Supply of attentional resources	각성 정도	행위를 위한 경계 준비 정도
	주의 집중	집중 정도
	주의 분배	주의 분산 능력
Understanding of Situation	잔여 정신용량	새로운 업무 처리를 위한 잔여 정신용량
	정보의 양	수신·이해한 정보의 양
	정보의 질	교신된 지식의 질
	친밀성	상황에 대한 친밀성

SART에는 3-D SART, 10-D SART 등의 형태가 있는데, 본 연구에서는 각 구성요소의 차이점을 명확하게 하기 위해 3-D SART에서 나타난 3가지 구성요소를 사용하였다. 운영자의 전체적

인 상황인식 추정은  $SART-Combined = mean\ Understanding\ rating - (mean\ Demand\ rating - mean\ Supply\ rating)$ 의 식에 의해 도출된 통합 SART 채점 기술을 사용하였다.

피평가자의 업무부하 측정을 위하여 NASA-TLX를 사용하였으며, 구성요소는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> NASA-TLX 구성요소

구성요소	설명
Mental Demand(MD)	정신적/인지적 행위의 요구 정도
Physical Demand(PD)	육체적/물리적 행위의 요구 정도
Temporal Demand(TD)	사건의 발생 비율 등 업무로 인한 시간 압박 정도
Performance(OP)	업무 성과에 대한 만족 정도
Effort(EF)	업무 성과 획득을 위해 노력한 정도
Frustration Level(FR)	업무 수행 중 불안감, 좌절 등의 정도

NASA-TLX는 가중치(weights)를 적용해야 한다는 단점이 있으나 측정 대상에 대한 높은 신뢰성과 항공부 분야에서 광범위하게 사용되고 있다는 장점이 있다. 평균 업무부하 점수(mean WWL score)는  $[MD\ rating(s) \times weight(s) + PD\ rating(s) \times weight(s) + TD\ rating(s) \times weight(s) + OP\ rating(s) \times weight(s) + EF\ rating(s) \times weight(s) + FR\ rating(s) \times weight(s)] / 15$ 의 식으로 도출되며, 개별 항목에 대한 피시험자의 측정 결과를 통하여 해당 업무에 있어 특정 업무부하의 근원에 대한 중요한 처방 정보를 제공한다.

**실험절차** : 관제사가 상황인식을 획득할 수 있는 시간을 고려하여 10-12분간 정상적인 관제상황에서 레이더 접근관제업무를 제공한 후, 관제사에게 SART, NASA-TLX 평가표를 작성하도록 하였다. 비정상 항공기가 관제사의 상황인식과 업무부하에 미치는 영향을 측정하기 위하여 비정상 항공기가 포함되도록 관제상황을 다시 부여하였으며, 10-12분간 관제 후 교육생에게 동일한 평가표를 작성하도록 하였으며 이 경우, 교육생은 어떤 항공기가 비상을 선언할 지 알 수 없도록 하였다. 실험 동안 항공기 구성은 군용 및 민간 고정익 항공기로 제한하였다.

레이더 관제범위는 도착항공기인 경우 항공교통센터나 중앙항공통제소로부터 이양 받은 지점

에서 관제탑으로 이양되는 지점까지, 출발항공기 인 경우 관제탑에서 이양 받은 지점에서 항공교통센터나 중앙항공통제소로 이양되는 지점까지로 정하였고, 레이더 범위는 공항 기준 반경 40NM로 설정하여 관제업무를 제공하도록 하였다. 비상 선언은 20-25NM 사이의 입항 항공기가 요청하도록 조종사 역할을 수행하는 교관이 담당하였다.

개별 관제사들은 정상상황과 비정상상황에 대해 실험을 수행하였으며 t-검정을 통하여 평균을 비교하였다. SART와 NASA-TLX 측정은 7점 척도를 사용하였으며, SART의 경우 점수가 높을수록 상황인식이 우수한 것이고, 평균업무부하점수 (mean WWL score)는 점수가 높을수록 업무부하가 큰 것이다.

**IV. 분석결과**

본 연구의 실험결과에 대한 분석을 위해 먼저 교통상황이 상황인식과 업무부하에 미치는 영향을 평가하였는데 이는 측정치에 대한 평균을 통하여 비교하였다. 또한 개인별의 정상과 비정상의 두 가지 상황에 대해 실험을 수행하였으므로 평균 비교 시에는 먼저 T-test를 통하여 평균의 차이를 비교하였다.

<Table 3>은 상황인식 점수 요약과 T-test 결과로 비정상 항공기가 포함된 상황에서 'Demands'가 증가한 것은 관제사가 상황인식 획득을 위하여 더 많은 정신적 가용 주의자원을 사용한 것이며, 따라서 추가로 제공할 수 있는 주의자원인 'Supply'는 감소하였다는 것을 알 수 있다.

전체적인 상황인식을 나타내는 'Combined'는 비정상 상황에서 관제사의 상황인식이 정상적인 관제상황 보다 전체적으로 저하되는 것으로 확인되었다. 그러나 'Understanding' 측면에서 두 상황 간 유의미한 차이는 확인되지 않았으며, 이는 관제사가 비정상 항공기 처리를 위하여 더 많은 정신적·물리적 노력을 수행한 결과라고 판단할 수 있다. 즉, 일정 수준의 업무부하 증가는 관제사 개인에 따라 관제전략의 수정 등을 통하여 어느 정도 적응할 수 있음을 의미하는 것이다.

**<Table 3> SART 점수요약과 T-test 결과**

요소	상황	평균	표준편차	t-값
Demands on Attentional Resources	정상	4.572	1.066	-3.819*
	비정상	5.350	.925	
Supply of Attentional Resources	정상	4.812	.741	2.159*
	비정상	4.484	.748	
Understanding of Situation	정상	4.565	.813	.747
	비정상	4.441	.814	
Combined	정상	4.805	1.680	3.870*
	비정상	3.575	1.424	

\* P ≤ .05

<Table 4>는 NASA-TLX 점수 요약과 T-test 결과로 비정상 항공기가 포함된 관제 시 관제사의 MD, TD, EF는 증가하였다.

**<Table 4> NASA-TLX 점수요약과 T-test 결과**

요소	상황	평균	표준편차	t-값
Mental Demand	정상	4.96	.97	-3.212*
	비정상	5.63	1.06	
Physical Demand	정상	2.52	1.01	-.955
	비정상	2.73	1.12	
Temporal Demand	정상	4.92	1.13	-3.097*
	비정상	5.60	1.05	
Performance	정상	4.33	1.00	1.568
	비정상	4.02	.96	
Effort	정상	4.65	1.06	-2.778*
	비정상	5.23	.99	
Frustration Level	정상	3.94	1.19	-1.831
	비정상	4.42	1.37	
Mean WWL Score	정상	4.740	.721	-2.964*
	비정상	5.165	.684	

\* P ≤ .05

PD, OP, FR 측면에서 정상과 비정상 상황 간 통계적으로 유의미한 차이점은 확인되지 않았으며, 전체적인 업무부하는 비정상 상황에서 증가하는 것으로 확인되었다. 이는 관제업무가 항공기, 기상 등 다수의 정보를 제한된 시간에 처리해야 하기 때문인 것으로 판단되며, 이를 통하여 항공관제업무가 물리적 과정 보다는 정신적 과정에 더욱 좌우된다는 것을 알 수 있었다.

업무부하 점수와 상황인식 구성요소 간의 관계를 알아보기 위해 상관관계를 분석하였다.

상관관계 분석결과 <Table 5>와 같이 전체 업

무부하는 상황인식 구성요소 중 'Demands'와 정(+ )의 상관관계를 가지며, 'Supply', 'Understanding'과는 낮은 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 비록 높은 업무부하가 'Supply'와 'Understanding'에 부적인 영향을 미칠 것으로 예상하였지만, 분석 결과 관제사는 항공기처리에 있어 더 노력하였거나 관제 전략을 변경할 수 있었음을 알 수 있다.

<Table 5> 평균 업무부하점수와 SART 상관분석

	Mean WWL Score	Demands	Supply	Understanding	Combined
Mean WWL Score	1.000				
Demands	.615**	1.000			
Supply	.226*	.105	1.000		
Understanding	.277**	.032	.514**	1.000	
Combined	-.156	-.577**	.638**	.700**	1.000

\*  $P \leq .05$ , \*\*  $P \leq .01$

또한, 'Combined'는 'Demands'와 역(-)의 상관관계를, 'Supply' 및 'Understanding'과는 정(+ )의 상관관계를 가짐을 알 수 있다. 즉 관제업무 수행에 있어 상황인식을 위한 'Demands'가 높을수록 업무부하는 커지고 상황인식은 감소하며, 'Supply'와 'Understanding'이 클수록 우수한 상황인식을 얻게 됨을 의미한다. 그러나 상황인식 구성요소 내에서 통계적으로 'Demands'는 'Supply', 'Understanding'과 상관관계가 존재하지 않았으며, 이는 관제사가 'Demands' 증가에 따라 상황인식 유지를 위하여 더 많은 노력을 기울였음을 의미한다.

업무부하의 구성요소를 통한 관제사의 상황인식을 예측하기 위하여 회귀분석을 실시한 결과 전체 모델은  $F(6,89) = 7.775$ ,  $p < .001$ , 수정된  $R^2 = .30$ 으로 통계적 유의성을 갖추었으며, 단계별 회귀분석 시 TD, OP, FR은 상황인식 예측 시 유의한 영향을 미쳤다. 상황인식 예측에 있어 업무부하 구성요소의 상대적 중요도는 OP, FR, TD, MD, EF, PD 순으로 확인되었다.

또한 상황인식 구성요소를 통한 관제사의 업무부하의 예측을 위하여 회귀분석을 실시한 결과 전체 모델은  $F(3,92) = 24.641$ ,  $p < .001$ , 수정된  $R^2 = .427$ 로 통계적 유의성을 갖추었으며, 단계별 회

귀분석 시, 'Demands', 'Understanding'은 업무부하 예측 시 유의한 영향을 미쳤다. 또한 예측에 있어 상황인식 요소의 상대적 중요도는 'Demands', 'Understanding', 'Supply' 순으로 확인되었다.

## V. 결 론

본 연구에서는 현행 관제시스템에서 관제사가 관제업무 제공 시 직면하는 여러 상황 중 '보통 이상'의 교통상황에서 정상적인 관제상황과 비정상 항공기가 포함된 관제상황에서 관제사의 상황인식과 업무부하를 중심으로 실증 실험을 통한 연구를 수행하였다.

본 연구의 실험 결과에서도 나타나듯이 이 두 개념은 어느 정도 상호 연관성을 갖고 있으며, 관제사의 의사결정에 있어 기초가 되는 상황인식의 획득과 유지에 필요한 주의자원의 사용은 운영자의 업무부하에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 사용된 실험을 바탕으로 유사한 평가가 수행될 수 있을 것으로 판단되며, 가장 중요한 것은 각 관제 시설에서 좌석별, 인원별 여러 관제상황에 따른 업무 상한선 또는 각 구역에 대한 용량한계를 설정하는 것이다. 이는 개별 관제사의 상황인식과 업무부하를 시스템적으로 관리 가능한 수준으로 유지하도록 할 것이다. 또한 비정상 항공기의 존재는 관제사에게 스트레스, 업무부하 증가 등을 야기하므로 이런 상황을 각 개별 관제사가 적절히 처리하도록 필요한 지원, 절차 수립을 위한 노력이 필요하다.

비록 본 연구에서 실무에 종사하는 관제사를 대상으로 실험을 수행하지는 않았으나, 관제사의 상황인식과 업무부하에 대한 일반적인 이해를 제공할 수 있다는 점에서 큰 의미를 가진다. 따라서 향후 본 연구를 바탕으로 비정상 항공기 관제를 포함한 다양한 상황에서 관제업무 제공 시 관제사의 상황인식, 업무부하 관리·개선 위한 연구, 훈련프로그램의 개발이 요구된다. 또한 관제사의 업무성과와 상황인식, 업무부하의 관계에 대한 연구를 통해 항공교통관제 업무의 효율화와 궁극적으로 전체 항공 시스템의 성과개선을 도모해야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Aviation Policy and Plans, FAA, U.S. DOT(2009), FAA Aerospace Forecast Fiscal Years 2009-2025, pp. 7.
- [2] Aviation Safety(2008), Boeing, "Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents : Worldwide Operations 1959~2007", pp. 20.
- [3] Ben Willems and Michele Heiney(2002), DOT/FAA/CT-TN02/10, William J. Hughes Technical Center, "Decision Support Automation Research in the En Route Air Traffic Control Environment", pp. xi.
- [4] Boeing(2008), Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Boeing.
- [5] Carol A. Manning, Scott H. Mills, Cynthia Fox, Elaine Pfeleiderer and Henry J. Mogilka(2001), DOT/FAA/AM-01/10, "Investigating the Validity of Performance and Objective Workload Evaluation Research(POWER)", pp. 1.
- [6] Christopher D. Wickens, Anne S. Mavor and James P. McGee(1997), "Flight to the Future : Human Factors in Air Traffic Control", National Academy Press, pp. 1~133.
- [7] Christopher D. Wickens(1992), "Workload and situation awareness : An analogy of history and implications", pp. 1~3.
- [8] David B. Kabera, Carlene M. Perryb, Noa Segallb, Christopher K. McClernonc and Lawrence J. Prinzel III(2006), "Situation awareness implications of adaptive automation for information processing in an air traffic control-related task", International Journal of Industrial Ergonomics 36, pp. 1.
- [9] Dorothy Robyn(2007), "Reforming the Air Traffic Control System to Promote Efficiency and Reduce Delays", pp. 6.
- [10] Endsley, M. R.(1989), "A methodology for the objective measurement of situation awareness", pp. 1~9.
- [11] Endsley, M. R.(1993), "Situation Awareness and Workload : Flip Sides of the Same Coin", Proceedings of the 7th International Symposium on Aviation Psychology, pp. 1~3.
- [12] Endsley, M. R., Stephen J. Selcon, Thomas D. Hardiman and Darryl G. Croft(1998), "A Comparative Analysis of SAGAT and SART for Evaluations of Situation Awareness", The 42nd Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, pp. 1.
- [13] EUROPEAN AIR TRAFFIC MANAGEMENT(2004), EUROCONTROL, "A Tool for the Assessment of the Impact of Change in Automated ATM Systems on Mental Workload", pp. 55~58.
- [14] European Air Traffic Management Programme(2003), EUROCONTROL, "The Development of Situation Awareness Measures in ATM Systems", pp. 22~23.
- [15] FAA Washington Headquarters Press Release (2007), Release No. AOC-8-07.
- [16] Fracker, M. L., & Davis, S. A.(1990). Measuring operator situation awareness and mental workload.
- [17] Haines, R. F. and Plateau, C(1992), "Night Flying", Blue Ridge Summit, PA : TAB Books.
- [18] ICAO, Doc 4444(2007), "Procedures for Air Navigation Services : Air Traffic Management".
- [19] Miller, G. A(1956), "The magical number seven, plus or minus two : Some limits on our Capacity for processing information", The Psychological Review, pp. 81~97.
- [20] Safety Regulation Group(2005), Civil Aviation Authority, UK, CAP 745, "Aircraft Emergencies : Considerations for Air Traffic Controllers", pp. 29~30.
- [21] System Operations Services(2008), FAA, U.S. DOT, Order JO 7110.65S, "Air Traffic Control : Pilot/Controller Glossary".
- [22] Taylor, R. M.(1990). Situation awareness rating technique (SART) : the development of a tool for aircrew systems design.