

한국 공군 주력 전투기 조종실의 사용성과 조종사의 근 골격계 불편도에 대한 연구

변승남 · 이동훈

경희대학교 공과대학 산업공학과

Usability of Cockpit Design and Musculoskeletal Discomfort in Korean Air Force Fighter Pilots

Seong Nam Byun · Dong Hoon Lee

The objectives of this study are twofold: (1) to evaluate the cockpit of three Korean air force fighters such as F-4, F-5, and F-16 in an ergonomic perspective and (2) to measure the musculoskeletal discomfort of the fighter pilots. For the study, 369 air force pilots from 7 squadrons were surveyed.

The study shows that the cockpit design of F-16 is superior to the others. However, F-4 is the worst among them. Statistical analyses reveal that the seat in the cockpit raised the most complaints, regardless of types of fighter planes. The main problems with the seat included inappropriate designs of the backrest angle, seat cushioning, and parachute harness. Also frequently cited are various control switches, control stick, rudder pedal, and the throttle. That these items lack human integration is found in remote positions and improper dimensions. The implications of these findings are discussed.

The self-reported musculoskeletal complaints show that the main discomfort is on the back and neck. Also, the buttocks, shoulders, and the legs/knees are common sites of discomfort. A stepwise regression analysis shows that the back discomfort, is mainly caused by the use of the seat, rudder pedal, control stick, and switches. A Spearman rank correlation coefficient test also reveals that job dissatisfaction of the pilots is related to the complaints with the cockpit and musculoskeletal discomfort. These findings suggest that more comprehensive studies for cockpit design in the aspects of functional anthropometry of Korean pilots are needed to reduce the musculoskeletal discomfort.

1. 연구의 배경 및 목적

전투기 조종사는 전투 기동(combat maneuvering)에 따른 고중력 가속도(high-G force), 고도의 상승과 저하에 따른 기압의 변화 및 산소 부족 등과 같은 가혹한 환경 속에서 임무를 수행하게 된다. 이러한 비행 환경은 조종사의 육체적, 정신적, 생리적 부하를 증가시켜 의식상실, 기동력 장애, 시력 장애 등과 같은

신체 장애 현상을 유발시킨다 [1, 16]. 관상 동맥 질환(coronary artery disorders)이나, 심혈관 질환(cardiovascular disorders)과 같은 순환계 질환 또한 이러한 근무 환경과 관련된 직업성 질환인 것으로 밝혀졌다 [3, 22].

순환계 질환과 더불어 정형 외과계 질환은 조종사들에게 흔히 발생하는 직업성 질환이다 [26]. 정형 외과계 질환이란 경부(neck)나 허리와 같은 근 골격계(musculoskeletal system)의

상해(injury)로 인한 질환을 의미한다. 한 연구에 따르면 우리나라 공군 조종사의 경우, 허리 질환 경험률은 44.4%, 근육 질환은 35.1%, 관절 질환은 32%로 각각 나타났다 [5]. 이러한 질환들은 초기에는 불편함(discomfort)이나 통증(pain)과 같은 가벼운 증상으로 나타나지만, 악화될 경우 비행을 더 이상 할 수 없는 상태로 발전하게 된다. 실제 1981년에서 1990년까지 10년간의 비행 적성 검사 결과에 따르면, 250건의 비행 불합격 판정 중 10.4%(26건)에 해당되는 조종사가 정형 외과계 질환에 의해 비행 정지 처분을 받은 것으로 밝혀졌다 [4]. 또한 51.2% (105건)에 해당하는 영구 비행 정지(permanent grounding) 중 순환계 질환으로 인한 판정이 18.1%(19건)로 가장 높았으며, 다음으로 정형 외과계 질환이 14.3%(15건)를 차지하는 것으로 조사되었다. 캐나다 공군의 경우에는 우리보다 높은 17%에 해당하는 조종사가 허리 질환으로 인하여 일시적으로 비행을 할 수 없는 비행 휴(transition grounding) 판정을 받은 것으로 밝혀졌다 [26].

공군 조종사의 정형 외과계 질환은 주로 고속 기동시 발생하는 고중력으로 인한 근육 부하(muscle load)의 증가에 의해 발생하는 것으로 알려졌다 [12]. Oksa et al.(1996)은 전투기 동임무 수행시 경부나 허리 주위의 근육들이 50% MVC 이상 근력이 발휘되는 경우가 빈번하다고 보고하였다. 특히 순간적으로 발휘되는 최대 근력이 경부의 경우 275% MVC, 허리의 경우 257% MVC이며, 이것이 근 골격계의 질환을 발생시킬 수 있는 위해 요인이라고 지적하였다.

전술한 바와 같이 항공 의학 분야에서는 임무 수행중 발생하는 고중력이 근 골격계에 미치는 영향을 규명하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다 [9, 16, 17]. 그러나 근 골격계 질환은 순간적으로 급격히 높아지는 근육 부하 외에도, 지속적인 반복적인 작업 수행, 부적합한 자세, 불편한 도구의 사용, 부적절한 의자나 작업대와 같은 작업 환경 등에 의해서도 발생

다 [20]. 따라서 협소한 조종실(cockpit) 공간에서 조종석에 앉아 장시간 비행하며, 각종 기기들을 조작해야 하는 조종 환경과 조종사들의 근 골격계 질환은 무관하지 않을 것으로 판단된다. 실제 전투 기종은 아니지만 헬리콥터 조종사들을 대상으로 조사한 결과, 허리 질환은 조종석의 설계와 각종 제어 기기를 조작하기 위한 부적합한 자세 등에 기인하는 것으로 나타났다 [24]. 또한 민간 항공 조종사들에 대한 조종석 사용 실태를 분석한 결과, 등받침대(backrest), 좌판(seat pan)의 쿠션이 사용에 부적합하고, 이로 인해 둔부, 허리, 경부 등의 신체 부위에 불편을 발생시키는 것으로 나타났다 [21]. 이러한 결과는 전투기 조종사의 근 골격계 질환이 조종석, 각종 스위치 조작 및 제어 기기들의 사용, 부적합한 조종 자세 등에 의해 발생할 수 있음을 시사한다.

본 연구에서는 우리나라 공군의 주력 전투 기종을 대상으로, 조종실의 사용 실태와 이에 따른 조종사의 신체적 불편함을 인간 공학적인 측면에서 분석, 평가하고자 한다. 본 연구의 결과는 조종실 내부 설계에 대한 기초 자료로 활용되어 비행에 따른 조종사의 정형 외과적 질환의 예방 또는 감소에 기여할 수 있다고 기대된다.

2. 연구 방법

2.1 설문 조사

본 연구에서는 전술한 연구 목적을 달성하기 위하여 설문 조사를 실시하였다. 본 연구팀은 설문 조사의 신뢰성을 높이기 위해 현역 공군 조종사들과의 면담을 통한 예비 설문지를 작성, 2차에 걸친 예비 조사 결과를 토대로 최종적인 설문지를 작성하였다. 설문 조사는 비행 신체 적성 검사에 합격하여 일선에서 전술 임무를 수행하고 있는 전국 7개 비행단 소속

표 1. 조종사의 인적사항

() : 표준편차

기종	인원(명)	나이(세)	키(cm)	몸무게(kg)	비행 경력(개월)
F-4	124	28.8 (3.32)	173.1 (4.34)	68.3 (6.76)	72.5 (39.86)
F-5	189	28.3 (3.85)	173.9 (4.19)	68.1 (6.41)	66.9 (46.98)
F-16	56	31.6 (3.50)	172.9 (3.66)	69.1 (6.13)	109.8 (40.07)
전체	369	28.9 (3.80)	173.5 (4.18)	68.3 (6.48)	75.3 (46.04)

600명 조종사를 무작위로 추출하여 실시하였다.

2.2 조사 대상

본 연구에서는 기종별 특성에 의해 발생 가능한 분석 오류를 최소화하기 위해 훈련기, 수송기 및 헬리콥터 조종사를 제외한 F-4, F-5, F-16 등 3개 전투 기종 조종사 369명을 분석 대상으로 선정하였다. 여기서 F-4는 F-4D/E, F-5는 F-5E/F, F-16은 F-16C/D를 각각 포함한다. 기종내의 조종실 내부 설계에 차이가 거의 없어 [6] 본 연구에서는 F-4, F-5, F-16으로 분석을 단순화하였다. 조사 대상 조종사 369명에 대한 인적 사항은 <표 1>과 같다. <표 1>과 같이 조사 대상자의 평균 나이는 28.9세로 대부분 조종사들이 가장 활동적인 연령층에 속해 있음을 알 수 있다. 키와 몸무게의 평균은 각각 173.5cm, 68.3kg로 대한민국 성인 남자(25세~50세)의 평균인 168.4cm, 66.4kg [8]보다 커 대체로 조종사 집단의 신체 조건이 일반인에 비해 우수하였다. 비행 경력은 F-16 조종사 집단이 평균 109.8개월로 가장 길었고 다음으로 F-4, F-5의 순서인 것으로 나타났다.

2.3 평가 방법

본 연구에서는 조종실을 조종석(seat)과 제어(control) 계통 기기인 조종간(stick control), 러더 페달(trudder pedal), 동력 제어기(throttle), 각종 조작 스위치(switch) 등 5개 요소로 분류, 사용성을 평가하였다. 신체 부위의 불편함은 목, 어깨, 팔, 손목·손, 허리, 둔부(buttock), 다리·무릎, 발목·발 등 8개 부위에 대해 조사하였다. 본 연구에서는 조종실 요소의 사용성과 신체 부위의 불편함을 Likert Summated Rating Method [25]에 따라 매우 편안함, 편안함, 보통, 불편함, 매우 불편함 등 5점 척도(5-point

scale)로 평가하였다.

2.4 통계 분석

본 연구에서는 불편 또는 매우 불편하다고 응답한 경우를 합하여 구한 비율을 조종실 요소 및 신체 부위의 불편도로 선정하였다. 또한 매우 편안함은 1점, 편안함은 2점, 보통은 3점, 불편함은 4점, 매우 불편함은 5점으로 하여 통계 분석을 하였다. 통계 분석에는 SAS Institute Inc.의 SAS system 6.12 프로그램을 사용하였다.

3. 조종실 평가

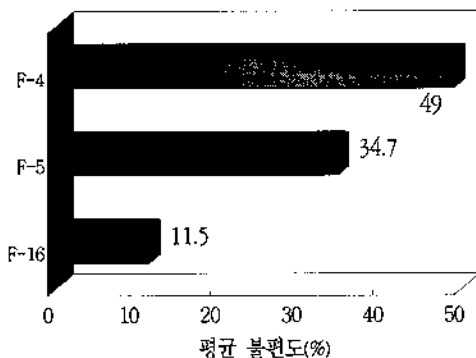
3.1 불편도

<그림 1> (1)과 같이 F-4 조종실의 불편도는 49.0%로 가장 높게 나타났으며, F-5는 34.7%, 비교적 최신 기종인 F-16은 11.5%로 다른 두 기종에 비해 편안한 것으로 평가되었다. 조종실 요소에 대한 평가 결과, 가장 불편한 조종실 요소는 조종석(53.1%)이며, 스위치(43.9%), 조종간(30.1%), 러더 페달(29.8

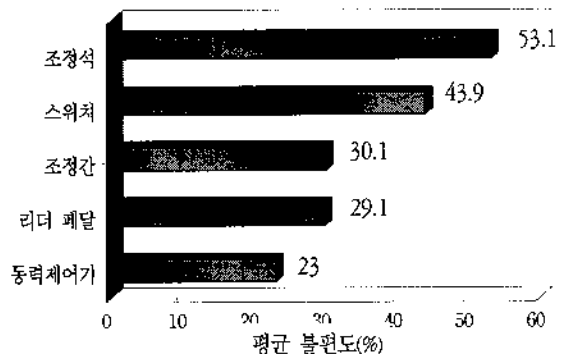
표 2. 기종 및 조종실 요소에 대한 분산 분석

요 인	제공합	자유도	평균 제곱	F값
기종	223.78	2	111.89	199.80**
조종실 요소	76.58	4	19.15	34.19*
기종 X 조종실 요소	7.53	8	0.94	1.67
잔차	1021.16	1830	0.56	-
총 계	1329.05	1844	-	-

** : $p < 0.01$



(1) 기종



(2) 조종실 요소

그림 1. 평균 불편도.

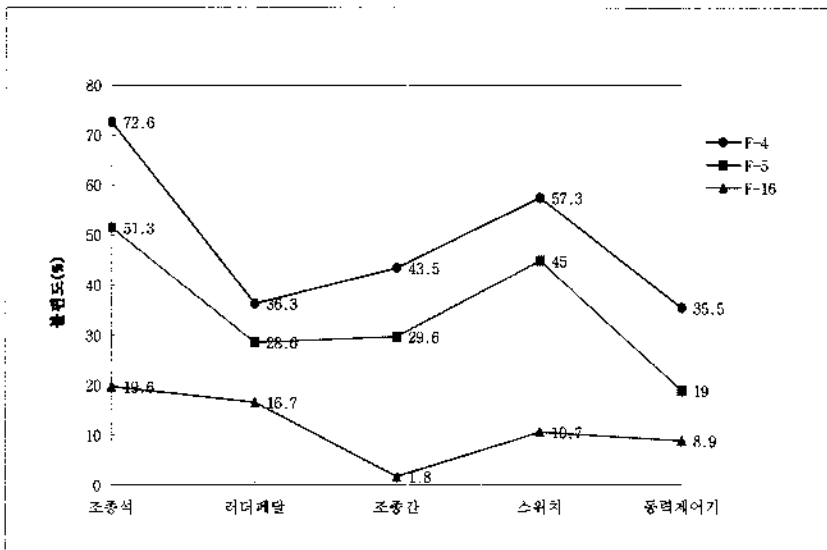


그림 2. 조종실 요소의 불편도 (%)

표 3. 기종에 따른 조종실 요소의 분류

그룹	F-4	F-5	F-16
불편함	조종석 리더 페달, 조종간, 스위치*, 동력 제어기	조종석, 스위치* 리더 페달	-
보통	-	조종간	-
편함	-	동력 제어기	조종석 리더 페달, 스위치, 동력 제어기* 조종간

* 불편의 차가 없음 ($p < 0.05$)

%), 동력 제어기(23.0%) 등의 순서인 것으로 나타났다(<그림 1> (2)).

기종별 조종실 요소의 불편도는 F-4와 F-5의 경우, 조종석이 가장 높고 다음 스위치, 조종간, 리더 페달, 동력 제어기 등의 순서로, 두 기종간의 불편도의 차이는 있으나 불편도의 분포는 동일하게 나타났다(<그림 2>). F-16의 경우에는 조종석, 리더 페달, 스위치, 동력제어기, 조종간 등의 순서로 불편함을 호소하였다.

조종실 요소와 기종에 따라 불편도의 차이가 있는지 알아보기 위해 분산 분석을 실시하였다. 그 결과, 기종과 조종실 요소에 따른 불편도의 차이가 유의($p < 0.01$)하게 나타났다(<표 2>). 그러나 기종과 조종실 요소간의 교호 작용(interaction)은 유의하지 않았다. Wilcoxon signed-ranks test [13]를 이용하여

기종별 조종실 요소를 불편함, 보통, 편함 등 3개 그룹으로 분류($p < 0.05$)하였다(<표 3>). 본 연구에서는 5점 척도의 중앙값(median)인 3점과 비교하여 조종실 요소의 평가가 통계적으로 유의하게 큰 경우에는 불편함 그룹으로, 차이가 유의하지 않을 경우에는 보통 그룹, 유의하게 작을 경우에는 편함 그룹에 각각 포함시켰다. 또한 각 그룹에 속한 조종실 요소간의 불편도의 차는 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test를 통하여 검정하였다.

분석 결과 F-4는 모든 조종실 요소가 불편함 그룹으로 분류되었으며, 조종석이 가장 불편한 것으로 밝혀졌다(<표 3>). 조종석보다는 불편도가 낮은 리더 페달, 조종간, 스위치 간에는 불편도의 차가 없는 것($p < 0.05$)으로 나타났다. F-5의 경우 조종석, 스위치, 리더 페달이 불편함 그룹, 조종간은 보통, 동

력 제어기는 편함 그룹으로 각각 분류되었으며, 조종석과 스위치는 통계적으로 불편도의 차가 없는 것으로 나타났다. 다른 두 기종과는 달리 F-16은 모든 조종실 요소가 편함 그룹에 속하였다.

3.2 원인 분석

본 연구에서는 각 조종실 요소에 대해 불편하거나 매우 불편하다고 응답한 조종사를 분석 대상으로 하였다. 조종실 요소의 불편 원인은 기종별 조종실 요소의 설계 치수를 이용하여 분석하였다.

본 연구에서는 조종실 요소의 설계 치수를 MS(military standards) 및 MIL-SPEC(미 군사 규격)의 규정에 따라 neutral seat reference point (이하 NSRP)와 heel reference line (이하 HRL)을 기준으로 표시하였다 [7]. NSRP는 조종석의 이동 가변 범위의 중앙에 위치한 중립 의자 설계 기준점을 말하며 HRL은 조종사의 발바닥이 닿는 바닥의 선을 의미한다.

조종석

F-4와 F-5의 경우, 등받이 각도(seat back angle)의 부적합(67.7%; 53.6%)이 조종석의 주요 불편 원인으로 나타났다(<표 4>(1)).

이외에도 F-4는, 좌판(sear pan)의 치수가 조종사의 인체 치수에 부적합(26.7%)하고, F-5는 좌석에 부착된 낙하산(44.3%)과 좌판 쿠션의 경직성(32.0%)으로 인해 불편한 것으로 밝혀졌다. F-16은 좌판 쿠션의 경직성, 좌판 치수의 부적합 등이 불편 원인으로 지적되었다.

조종석의 등받이 각도는 등관선(back tangent line)과 좌판의 수직선이 이루는 각으로 정의된다 [7]. 등받이 각도는 시계 방향(clockwise)은 +, 시계 반대 방향(counter clockwise)은 -로 정의한다. F-4와 F-5의 등받이 각도는 각각 +15°, +13°이나 F-16의 등받이 각도는 +30°로 다른 두 기종에 비해 뒤로 더 기울어져 있다. 또한 F-4와 F-5의 좌판이 수평을 기준으로 위로 6° 기울어져 있는 반면 F-16의 좌판 기울기는 10°이다. 따라서 F-4와 F-5 조종사는 약간 기댄 자세로 조종을 해야 하나 F-16 조종사는 다른 두 기종에 비해 반쯤 누운 듯한 자세(half-supined position)로 비행이 가능하다. 이러한 비행 자세의 차이로 인해 F-4와 F-5 조종사가 F-16 조종사에 비해 더 많은 불편을 느끼는 것으로 판단된다.

러더 페달

F-4와 F-5는, 러더 페달의 위치가 부적절해(80%; 50%) 조종

사가 페달을 밀 때 몸을 높히게 되어 불편한 것으로 밝혀졌다(<표 4>(2)). 이외에도 F-4는 페달의 경직성(22.2%)이, F-5는 페달 조절의 어려움(32.1%) 등이 불편의 원인으로 조사되었다. F-16은 페달의 경직성이 유일한 불편의 원인으로 지적되었다.

러더 페달의 위치로 인한 불편은 조종석과 러더 페달 사이의 거리가 멀어 조종사가 러더 페달을 조작하기 위해 몸을 높히며 발을 뺀 자세를 취하기 때문이다. 러더페달은 앞뒤로 조절 가능하며 조절 범위를 조절량(adjustment)이라고 한다. 또한 러더 페달을 발로 밟으면 뒤로 눕혀지는데 이때 움직이는 거리를 조작량(travel)이라고 한다 [7]. 조절량과 조작량을 고려한 F-4의 러더 페달 위치는 NSRP 기준으로 최소 거리가 37.75", 최대 거리는 41.25"이다. F-5의 최소 거리는 37.5", 최대 거리는 40.75"로 F-4와 비슷하다. 반면, F-16은 최소 거리 28.75", 최대 거리 37.75"로 다른 두 기종보다 조종석과 가까워 러더 페달의 조작이 편리하다.

조종석의 높이는 러더 페달을 조작하는 조종사의 자세에 영향을 미치는 또 하나의 설계 요소이다. 조종석이 높을수록 러더 페달은 멀어지며 조종사는 조작시 불편을 느끼게 된다. 조종석의 높이는 HRL에서 NSRP까지의 수직거리로 정의되는데, F-4와 F-5의 조종석 높이는 각각 13.5", 11.7"인 반면 F-16의 경우, 8.5"에 불과하다. 더욱이 대부분의 조종사들이 비행 시 시계를 확보하기 위해 조종석을 높이는 경향이 있어 F-16에 비해 F-4와 F-5의 조종사는 러더 페달 조작시 더 많은 불편함을 느끼게 된다.

조종간

F-4의 경우, 조종간 위치(85.2%)와 조종간 높이(18.5%)의 부적합이 불편의 원인으로 나타났다(<표 4>(3)). F-5는 조종간의 조작이 부드럽지 못하고(46.4%), 조종간 높이의 부적합(28.6%), 조종간 스위치 조작의 어려움(21.4%) 등이 불편의 원인으로 밝혀졌다. F-16은 단 1명만이 조종간의 높이가 적절하지 않다고 지적하였다.

조종간에 의한 불편은 조종간이 조종석에서 멀리 떨어져 조종사가 조작시 팔을 뻗거나 또는 상체를 굽히는 동작으로 인해 발생한다. 조종간의 위치(거리)는 NSRP에서 조종간까지의 수평 거리로 정의된다. F-4와 F-5의 조종간은 정상 위치(idle position)의 경우, 각각 21.4"와 20.5", 최대 위치(max position)는 24.4"와 24.5"로 비슷하다 [7]. 반면 F-16의 조종간은 정상위치에서 14", 최대 위치에서 14.25"로 조종석으로부터 떨어져 있다. 따라서 F-4와 F-5에 비해 정상 위치에서 6"~7", 최대 위치에서, 10" 정도 조종석에 가까워 다른 두 기종에 비해 조종간의 조작이 편리한 것으로 판단된다.

표 4. 조정실의 불편 원인

(1) 조종석 (단위: %)

원 인	F-4 (n=90)	F-5 (n=97)	F-16 (n=11)	Total (n=198)
등받이 각도의 부적절	67.7(61)	53.6(52)	36.4(4)	59.1(117)
머리 받침대의 불편함	12.2(11)	12.8(12)	0	11.6(23)
낙하산 벨방으로 인한 불편함	21.1(19)	44.3(43)	9.1(1)	31.8(63)
좌판 쿠션의 경직성	16.7(15)	32.0(31)	45.4(5)	25.8(51)
좌판 치수의 부적합	26.7(24)	13.4(13)	45.4(5)	21.2(42)

(): 불편하거나, 매우 불편하다고 응답한 조종사 수

(2) 러더 페달 (단위: %)

원 인	F-4 (n=45)	F-5 (n=56)	F-16 (n=9)	Total(n=110)
페달 위치의 부적절	80.0(36)	50.0(28)	0	58.1(64)
조절의 어려움	13.3(6)	32.1(18)	0	21.8(24)
페달의 경직성	22.2(10)	23.2(13)	100(9)	29.1(32)

(): 불편하거나, 매우 불편하다고 응답한 조종사 수

(3) 조종간 (단위: %)

원 인	F-4 (n=54)	F-5 (n=56)	F-16 (n=1)	Total(n=111)
위치의 부적합	85.2(46)	10.8(3)	0	44.1(49)
움직임의 경직성	7.4(4)	46.4(26)	0	27.0(30)
스위치 조작의 어려움	5.6(3)	21.4(12)	0	13.5(15)
손잡이 높이의 부적합	18.5(10)	28.6(16)	100(1)	23.4(27)

(): 불편하거나, 매우 불편하다고 응답한 조종사 수

(4) 스위치 (단위: %)

원 인	F-4 (n=71)	F-5 (n=85)	F-16 (n=6)	Total(n=162)
위치의 부적합	74.6(53)	83.5(71)	16.7(1)	77.2(125)
조작의 경직성	4.2(3)	2.4(2)	0	3.1(5)
형태의 부적합	11.3(8)	20.0(17)	16.7(1)	16.0(26)
조작의 어려움	18.3(13)	9.4(8)	66.7(4)	14.8(25)

(): 불편하거나, 매우 불편하다고 응답한 조종사 수

(5) 동력 제어기 (단위: %)

원 인	F-4 (n=44)	F-5 (n=36)	F-16 (n=5)	Total(n=85)
위치의 부적합	22.7(10)	50.0(18)	0	32.9(28)
조작의 경직성	2.2(1)	27.8(10)	20.0(1)	15.3(12)
스위치 조작의 어려움	18.2(8)	11.1(4)	0	14.1(12)
손잡이 크기의 부적합	72.7(32)	16.7(6)	80.0(4)	47.1(42)
손잡이 높이의 부적합	2.2(1)	13.9(5)	0	7.1(6)

(): 불편하거나, 매우 불편하다고 응답한 조종사 수

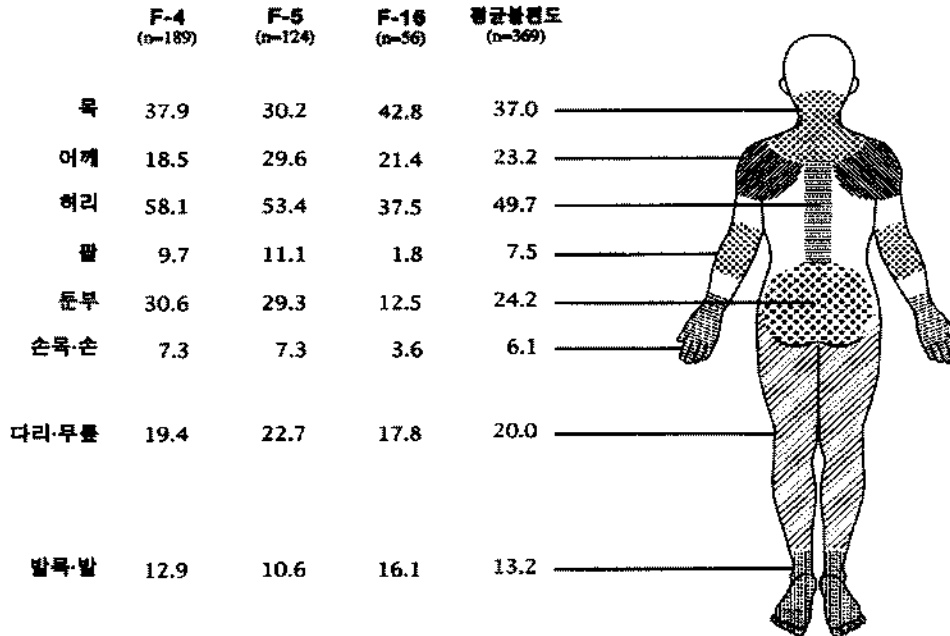


그림 3. 신체 부위의 불편도

또한 F-16의 조종간은 조종실 우측에 위치해 오른손으로 조작하는 것이 자연스러운 반면, F-4와 F-5의 조종간은 조종실 중앙에 위치해 어깨를 내전(adduction)시켜야 조작할 수 있어 불편이 가중된다(6).

F-4와 F-5 조종간의 위치는 큰 차이가 없으나 F-4의 불편도가 F-5에 비해 현저히 높게 나타났다. 정확히는 알 수 없으나 고중력하에서는 몸을 움직이기가 어려워 설계 치수의 미세한 차이에 의해서도 불편도가 달라질 수 있다는 점이 원인이 아닌가 추측된다. 또한 F-4의 조종석 등받이 각도가 F-5에 비해 뒤로 2° 더 기울어져 있어 어깨를 기준으로 할 경우, F-4와 F-5 조종간은 NSRP를 기준으로 할 때보다 더 멀다는 것도 원인이 아닌가 추측된다. 보다 정확한 원인 규명을 위해서는 어깨 기준점에서 조종간까지의 거리를 포함한 다양하고 상세한 설계 치수가 필요하다.

스위치

F-4와 F-5의 경우 스위치와 조종석과의 거리가 멀어(74.6%; 83.5%) 조작하기 위해서는 상체를 굽혀야 하기 때문에 불편한 것으로 밝혀졌다 (<표 4>). 또한 F-4는 스위치 종류에 따라 작동법이 각기 달라 조작이 어렵고(18.3%), F-5는 스위치 형태가 부적절하여(20.0%) 상황에 따라 조작 실수를 유발할 가능성이 있는 것으로 나타났다. F-16은 스위치 조작이 어려운 것이 원인인 것으로 조사되었다. 스위치에 대한 설계 치수 분석은 스위치의 수가 많고 NSRP를 기준으로 한 스위치별 설계 치수

가 없어 생략하였다.

동력 제어기

F-4의 경우, 비행시 계속 손에 쥐고 조종해야 하는 손잡이 뭉치가 조종사의 손 치수에 비해 커서 불편(72.7%)한 것으로 밝혀졌다 (<표 4>(5)). F-5는 동력 제어기의 위치가 조종석과 멀어 최대 위치(max position)로 제어기를 조절해야 할 경우, 상체를 굽혀야 하기 때문에 불편(50%)한 것으로 나타났다. F-4의 경우에서도 동력 제어기 위치의 부적합(22.7%)이 불편의 원인으로 지적되었다. F-16은 손잡이 뭉치의 크기와 조작의 경직성이 원인으로 나타났다.

기종별 동력 제어기 뭉치의 지름에 대한 제한이 없어 설계 치수를 이용한 원인 분석이 어렵다. F-16의 경우, 제어기 뭉치가 타원형으로 되어 있어 조작이 어렵고 F-4와 F-5는 손잡이 뭉치의 폭이 길어 제어기를 잡은 채 부착된 각종 스위치를 조작하기가 어려운 것으로 알려져 있다 (6).

F-4와 F-5의 동력 제어기는 정상 위치의 경우, NSRP에서 각각 15.25", 17.75" 떨어져 있으며 최대로 밀면 그 거리는 각각 19.9", 21.8" 로 멀어진다 (7). 따라서 동력 제어기를 최대로 밀어야 할 경우, 조종사의 팔이 짧으면 조종석에서 등을 떼고 허리를 굽히는 자세를 취해야 한다. 이 자세는 조종사의 신체적 불편뿐만 아니라 조종시 시야가 좁아져 전투 기동시 적기를 놓치는 위험 요인이 된다. 반면 F-16의 동력 제어기는 정상 위치의 경우 9.5" 로 다른 두 기종에 비해 가까워 조작이 편리

표 5. 기종별 신체 불편함에 대한 분산 분석

요 인	제공합	자유도	평균 제곱	F값
기 종	9.02	2	4.51	8.05**
신체 부위	204.69	7	29.24	52.21**
기종 X 신체 부위	9.92	14	0.70	1.25
잔 차	1629.44	2928	0.56	-
총 계	1853.07	2951	-	-

** : $p < 0.01$

표 6. 신체 부위의 불편에 영향을 미치는 조종실 구성 요소

신체 부위	조종석	러더 페달	조종간	스위치	동력 제어기
목	-	-	-	-	-
어깨	-	-	-	-	-
팔	-	-	$p < 0.01$	-	-
손목·손	-	-	-	$p < 0.01$	$p < 0.01$
허리	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	-
엉덩이	-	-	-	-	-
다리·무릎	-	$p < 0.05$	-	-	-
발목·발	-	-	-	-	-

- : 유의하지 않음

하다. 그러나 최대 위치는 19.0" 로 다른 두 기종과 비슷해 팔이 짧은 조종사는 동력 제어기를 최대로 밀 때 몸을 굽히는 자세를 취할 가능성이 있다.

4. 신체 부위의 불편함

신체 부위에 대한 불편도를 분석한 결과 가장 불편한 신체 부위는 허리(49.7%)이며, 다음으로 목(37.0%), 둔부(24.2%), 어깨(23.2), 다리·무릎(20.0%) 등인 것으로 나타났다(<그림 3>). 여기에서 발목·발(13.2%), 팔(7.5%), 손목·손(6.1%) 등은 다른 부위에 비해 불편도가 낮게 나타났다.

신체 부위의 불편도를 기종별로 분석해 보면, F4의 경우 허리(58.1%), 목(37.9%), 둔부(30.6%), 다리·무릎(19.4%), 어깨(18.5%)의 순서로, F-5의 경우 허리(53.4%), 목(30.2%), 어깨(29.6%), 둔부(29.3%), 다리·무릎(22.7%) 등의 순서로 나타났다. 또한 F-16의 경우에도 목(42.8%), 허리(37.5%), 어깨(21.4%) 순서로 불편한 것으로 조사돼 기종에 관계없이 우리 나라 전투 조종사들이 가장 불편을 느끼는 신체 부위는 허리와 목인 것으로 밝혀졌다. 특히 F4와 F-5 조종사의 경우 허리의 불편

도는 일반 사무직이나 육체 노동자에 비해 11%-30% 높아[11, 19] 심각한 수준에 이르고 있었다.

전투 조종사의 허리와 목에 발생하는 불편함은 급상승이나 급회전시 발생하는 고중력이 주요 원인인 것으로 알려졌다 [17, 18]. 4G-5G 이상의 고중력은 신체 부위의 움직임을 어렵게 하고 근 골격계의 불편이나 질환을 유발하는 원인이 된다 [1]. 우리 나라 전투 조종사가 통상적으로 경험하는 G-force는 F4와 F-5의 경우 평균 4G, F-16의 경우 평균 5G 이상이며, 6G 이상 발생하는 고속 기동 임무를 수행하는 경우도 빈번한 것으로 조사되었다. 이러한 고중력이 허리와 목의 불편을 유발하는 주요 원인으로 판단된다.

분산 분석 결과, 신체 부위의 불편함은 기종과 신체 부위에 따라 유의한 차가 있는 것($p < 0.01$)으로 밝혀졌다 (<표 5>). 그러나 기종과 신체 부위의 교호 작용은 유의하지 않는 것으로 분석되었다.

5. 조종실 요소와 신체 부위의 불편함

본 연구에서는 단계적 회귀 모형(stepwise regression model)을 이용하여 신체 부위의 불편함에 영향을 미치는 조종실 요소를 파악하였다 (<표 6>).

분석 결과, 조종석이 허리 부위의 불편함에 영향을 미치는 요인으로 밝혀졌다. 조종석의 불편 원인은 주로 등받이 각이 부적합하거나, 좌판이 딱딱하고, 등받이에 부착된 낙하산 등이었다 (<표 4>(1)). 특히 조종석 등받이는 59.1%에 달하는 응답자가 불편함을 호소하여, 허리 불편을 유발시키는 주된 원인을 알 수 있다. 또한 좌판이 딱딱하여 둔부에 전달된 부하(load)가 좌판에서 충분히 흡수되지 못하고 상당 부분 허리로 전달되거나, 낙하산으로 인해 이러한 부담이 더욱 가중되는 것으로 판단된다.

러더 페달은 허리와 다리·무릎 부위의 불편함과 관련된 것으로 나타났다. 러더 페달의 위치가 멀어 조종사는 러더 페달을 조작하기 위해 몸을 높이며 다리를 뻗는 자세를 취하게 된다 (<표 4>(2)). 이 자세는 허리 부위 및 다리·무릎 부위의 불편을 유발한다.

조종간은 팔과 허리 부위를 불편하게 하는 것으로 분석되었다. 조종간의 불편 원인은 조종간의 위치가 조종사로부터 멀거나 조작이 부드럽지 못해 힘을 가해 사용해야 한다는 데 있는 것으로 나타났다 (<표 4>(3)). 따라서 조종간이 조종석에서 멀어 조작시 허리를 굽혀야 하며 이로 인해 허리 부위가 불편하게 된다.

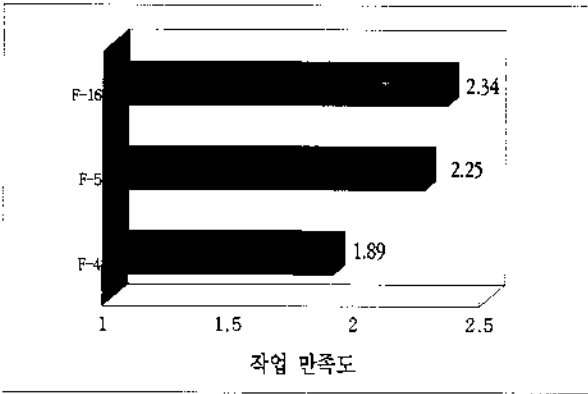


그림 4. 기종별 직업 만족도

표 7. 직업 만족도에 대한 분산 분석

요인	제공합	자유도	평균 제곱	F값
기종	12.1	2	6.05	5.99**
잔차	368.0	366	1.01	-
총계	380.1	368	-	-

** : $p < 0.01$

표 8. 직업 만족도에 따른 기종의 분류

그룹	기종
만족	-
보통	F-16, F-5 †
불만족	F-4

† : 불편의 차가 없음($p < 0.05$)

표 9. 직업 만족도의 평가

(1) 조종실 요소

조종실 요소	조종석	러더 패달	조종간	스위치	동력 제어기
결과	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$	$p < 0.01$

(2) 신체 부위

신체 부위	결과
목	$p < 0.01$
어깨	$p < 0.01$
팔	$p < 0.01$
손목·손	$p < 0.01$
허리	$p < 0.01$
둔부	$p < 0.01$
다리·무릎	$p < 0.01$
발목·발	$p < 0.01$

또한 조종간이 중앙에 위치하여 어깨를 내전시켜야 하며 조종간의 조작이 힘들어 팔 부위가 불편하게 된다.

스위치는 허리와 손·손목의 불편함에 영향을 미치는 요인으로 밝혀졌다. 스위치가 조종석에서 멀고 분산 배치되어 조종사는 스위치 조작을 위해 몸을 비틀거나 숙이는 조종 자세를 취하게 된다(<표 4>(4)). 이러한 자세는 허리 부위의 불편함을 유발한다. 또한 스위치 조작을 위해 지속적으로 반복되는 손의 굽힘(flexion) 및 신장(extension), 손목의 외전(wrist abduction) 및 내전(adduction) 등과 같은 동작은 손과 손목의 불편을 유발하는 원인이다.

동력 제어기는 손목·손 부위의 불편과 연관있는 것으로 나타났다. 표 4(e)에 의하면 동력 제어기의 불편함은 주로 손잡이 크기가 조종사의 손 치수보다 커서 장시간 사용시 손목·손 부위의 불편을 초래하는 것으로 밝혀졌다. 통계적으로 유의하지 않으나 F-5의 경우, 동력 제어기가 조종석과 멀어 일부 팔 길이가 짧은 조종사는 조작시 상체를 굽히는 자세로 인해 허리에 불편을 느끼는 것으로 나타났다.

6. 직업 만족도

조종실 요소와 신체 부위의 불편함이 직업 만족도에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구에서는 직업 만족도를 매우 불만족하는 경우 1점, 불만족하는 경우 2점, 보통인 경우 3점, 만족하는 경우 4점, 매우 만족하는 경우 5점으로 각각 평가하였다. <그림 4>와 같이 최신에 기종인 F-16 조종사의 직업 만족도가 가장 높았다. 조종실 요소와 신체 부위의 불편도가 가장 높음은 F-4 조종사의 직업 만족도가 가장 낮았다. 직업 만족도는 분산분석 결과 기종에 따라 유의한 차가 있는 것($p < 0.01$)으로 나타났다(<표 7>).

Wilcoxon signed-ranks test($p < 0.05$)를 이용하여 직업 만족도에 따라 기종을 만족, 보통, 불만족 등 3개 그룹으로 분류하였다(<표 8>). 또한 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test를 통하여 기종간 직업 만족도의 차를 검정하였다.

분석 결과, F-4는 불만족 그룹에 포함되었으며 F-16과 F-5는 보통 그룹에 속하였다. F-16과 F-5 조종사의 직업 만족도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

Spearman rank correlation coefficient test를 이용하여 조종실 요소 및 신체 부위의 불편함과 조종사의 직업 만족도의 연관 관계를 분석하였다. 분석 결과, 모든 조종실 요소들이 직업에 대한 만족도에 유의한 영향을 미치는 것($p < 0.01$)으로 밝혀졌다(<표 9> (1)). 이는 조종실 요소에 의한 불편도가 높을 수

록 직업 만족도가 낮다는 것을 의미한다. 신체적 불편 또한 직업 만족도를 저하시키는 요인으로 나타났다 (<표 9> (2)). 조종실 요소와 신체 부위의 불편함에 따른 직업 만족도의 저하는 조종사의 임무 수행도 저하로 이어질 수 있다는 점에서 시급한 개선이 요구된다 하겠다.

7. 결론

본 연구에서는 우리 공군의 주력 전투 기종인 F-4, F-5, F-16 조종사를 대상으로 조종실의 사용성을 평가하고, 근 골격계 질환의 전조(前兆)라 할 수 있는 신체적 불편의 원인을 규명하고자 하였다.

기종별로 살펴보면 F-4 조종실의 불편도가 49%로 세 기종 중 가장 열악하였으며, F-5의 불편도는 34.7%로 나타났다. 최신 기종인 F-16의 불편도는 11.5%로 다른 기종에 비해 현저히 낮았다.

조종석은 기종에 관계없이 가장 불편한 조종실 요소인 것으로 나타났다. 전체 조사 대상자의 53.1%가 불편하다고 응답하여 우선적으로 개선될 필요가 있는 것으로 나타났다. 다음으로 스위치, 조종간, 러더 페달, 동력 제어기의 순서로 사용이 불편하였다.

조종석의 주요 불편 원인은 등받이 각과 좌판의 치수, 조종석에 부착되어 있는 낙하산 등인 것으로 밝혀졌다. 러더 페달, 조종간, 스위치, 동력 제어기의 주요 불편 원인은 조종석에서 멀리 떨어져 위치해 있기 때문인 것으로 밝혀졌다. 러더 페달의 경우, 조종석과 멀리 떨어진 데다가 넓은 시계를 확보하기 위해 조종석을 높게 사용하는 조종사들의 습관에 의해 불편이 가중되는 것으로 나타났다. 스위치 또한 조종간과 멀리 떨어져 있고 콘솔내에 분산 배치되어 불편한 것으로 밝혀졌다. 동력 제어기는 손잡이가 커 조작하기가 어렵다는 것이 불편의 주요 원인으로 지적되었다.

전투 조종사는 기종에 관계없이 허리와 목 부위에 가장 많은 불편을 느끼는 것으로 밝혀졌다. 특히 허리의 경우, F-4와 F-5 조종사는 일반인에 비해 11%~30% 정도 더 많은 불편을 느껴 대책 마련이 시급하다고 판단되었다.

신체적 불편함은 부적절하게 설계된 조종실 요소와 관련이 있는 것으로 분석되었다. 단계적 회귀 분석 결과, 허리 부위의 불편함은 조종석, 러더 페달, 조종간, 스위치 등의 사용으로 인해, 손목과 손의 불편함은 스위치와 동력 제어기와 관련된 것으로 각각 밝혀졌다. 또한 다리와 무릎의 불편함은 러더 페달의 사용에, 팔은 조종간에 의해 각각 영향을 받은 것으로

나타났다.

조종실과 신체 부위의 불편함은 대한 민국 공군 조종사로서의 직업에 대한 만족도를 저하시키는 요인으로 작용하였다. 특히 조종실 요소의 불편도와 신체적 불편함이 가장 높은 F-4 조종사 집단의 직업 만족도가 가장 낮게 나타났다. 반면, F-5와 F-16 조종사의 만족도는 보통 수준에 머물렀다. 전투 조종사의 직업 만족도는 공중 전력과 밀접한 관계가 있다는 점에서 보다 심도 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구 결과, 모든 측면에서 F-16이 가장 우수한 것으로 나타났다. 그런데 F-16은 이미 F-4나 F-5를 조종한 경험이 있는 비행 경력이 많은 조종사들로 운용되고 있다. 따라서 비행 시간이나 복무 기간에 따라 신체적 불편도가 높아지는 경향 [2]에도 불구하고 F-16의 불편도가 가장 낮은 것은 F-16이 다른 두 기종에 비해 우리 조종사가 사용하기에 더 적합하게 설계되어 있음을 나타낸다 하겠다. 또한 직업 만족도와 전투력의 관계를 고려해 볼 때, F-16의 직업 만족도가 다른 두 기종에 비해 높은 것은 차세대 전투기 선정시 전투기의 성능과 같은 하드웨어뿐만 아니라 전투기 조종실의 인간 공학적 설계에도 관심을 기울일 필요가 있음을 시사한다.

F-16에 비해 불편도나 직업 만족도가 낮은 F-4와 F-5의 경우, 조종실 내부의 설계를 인간 공학적으로 개선하는 것은 막대한 예산과 더불어 곧 퇴역할 비행 기종이라는 점에서 바람직하지 못하다. 그러나 공중 전력의 대부분을 이 두 기종에 의존하는 현 상황하에서는 이들 전투기 조종사의 불편도나 직업 만족도를 그대로 방치할 경우 공중 전력의 저하로 이어질 위험성이 있다. 따라서 휴대용 등받이(portable back support)의 고안이나 전투용 헬멧의 경량화 등과 같이 적은 비용으로 조종사의 근 골격계의 불편도를 완화하는 개선책이 시급히 요구된다.

본 연구는 설문 조사를 통한 주관적 평가 방식에 의해 수행되었다는 점에서 한계가 있다. 또한 현재 해당 기종의 조종사들이 과거에는 다른 기종을 조종한 경력이 있어 연구 결과의 신뢰성을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다. 그러나 조종실의 사용성 평가에 따른 불편의 원인을 분석하고 이러한 요인들을 신체 부위의 불편함과 연계하여 해석하였다는 점에서 본 연구의 결과는 조종실 설계시 활용도가 클 것으로 기대된다. 따라서 본 연구를 기초로 한 보다 객관적이며 분석적인 연구를 통하여 한국 공군 조종사의 체형에 적합한 차세대 전투기의 설계 방안이 수립되어야 하며 이는 공군 전력의 향상이라는 결과로 이어지게 될 것이다.

참고문헌

1. 공군사관학교 산업공학과, 고중력 가속 기동이 공중 근무자의 신체에 미치는 영향에 관한 연구, 공군사관학교, 1991.
2. 변승남, 김철수, 이동훈, "한국 공군 조종사의 직업성 질환 실태 및 임무 수행도에 관한 연구," *대한인간공학회지*, Vol. 15, No. 2, pp. 25-36, 1996.
3. 정기영, "전투기 조종사의 가속도 훈련중 심전도 관찰에 관한 연구," *항공우주의학*, Vol. 7, No. 1, pp. 61-70, 1997.
4. 정기영, 박병욱, "공중 근무자의 신체적 비행 적성 불합격에 대한 분석: 1981-1990," *항공우주의학*, Vol. 4, No. 1, pp. 61-66, 1994.
5. 정기영, "한국 공군 전투조종사의 비행과 관련된 의학 적 증상에 대한 설문조사 분석," *항공우주의학*, Vol. 5, No. 1, pp. 144-150, 1995.
6. 국방과학연구소, *조종실 최적 설계 연구*, 국방과학연구소, 1990.
7. 국방과학연구소, *조종실 최적화 연구*, 국방과학연구소, 1992.
8. 한국표준연구소, *산업 제품의 표준값 설정을 위한 국민 표준 채취 조사 보고서*, 공업진흥청, 1992.
9. Anderson, H. T., "Neck injury sustained during exposure to High-G forces in the F16B," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 59, pp. 356-358, April, 1988.
10. Bain, B., Jacobs, I. and Buick, F., "Electromyographic indices of muscle fatigue during simulated air combat maneuvering," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 65, pp. 971-975, March, 1994.
11. Buttle, C. S., "A discomfort survey in a poultry-processing plant," *Applied Ergonomics*, Vol. 25, No. 1, pp. 47-52, 1994.
12. Cornwall, M. and Krock L., "Electromyographic activity while performing the anti-G straining maneuver during high sustained acceleration," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 63, No. 11, pp. 971-975, 1992.
13. Daniel, W. W., *Applied Nonparametric Statistics*, 2nd ed, PWS-KENT Publishing Company, Boston, 1990.
14. Dickinson, C. E., Campion, K., Foster, A. F., Newman, S. J., O'Rourke, A. M. T. and Thomas, P. G., "Questionnaire development: An examination of the nordic musculoskeletal questionnaire," *Applied Ergonomics*, Vol. 23, No. 3, pp. 197-201, 1992.
15. Froom, P., Barzilay, J., Caine, Y., Margalio, S., Forecast, D. and Gross, M., "Low back pain in pilots," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 57, pp. 694-695, 1994.
16. Gawron, R. J., "High-g environments and the pilot," *Ergonomics in Design*, pp. 18-23, April, 1997.
17. Hamalainen, O. and Vanharanta, H., "+Gz-related neck pain: a follow-up study," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 65, pp. 16-18, January, 1994.
18. Hamalainen, O., Visuri, T., Kuronen, P. and Vanharanta, H., "Cervical disk bulges in fighter pilots," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 65, pp. 144-146, February, 1994.
19. Johanson, J. A., "Work-related and non-work-related musculoskeletal symptoms," *Applied Ergonomics*, Vol. 25, No. 4, pp. 248-251, 1994.
20. Kroemer, K. H. E., "Cumulative trauma disorders: their recognition and ergonomics measures to avoid them," *Applied Ergonomics*, Vol. 20, No. 4, pp. 274-280, 1989.
21. Lusted, M., Healey, S. and Mandryk, J. K., "Evaluation of the seating of quantas flight deck crew," *Applied Ergonomics*, Vol. 25, No. 5, pp. 275-282, 1994.
22. Mason, J. K., "Previous disease in aircrew killed in flying accidents," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 48, No. 10, pp. 944-948, 1977.
23. Oksa, J., Rissanen, S. and Kuronen, P., "Muscle strain during aerial combat maneuvering exercise," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 67, pp. 1138-1143, December, 1996.
24. Sheard, S. C., Pethybridge, R. J., Wright, J. M. and Macmillan, G. H. G., "Back pain in aircrew-an initial survey," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 67, pp. 474-477, May, 1996.
25. Sinclair, M. A., "Subjective assessment," In : Wilson, J. R., and Corlett, E. N.(ed), *Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomics Methodology*, Taylor & Francis, London, pp. 69-100, 1995.
26. Van Leusden, A. J. and Gray, G. W., "Permanent grounding and flying restrictions in canadian forces pilots: a 10-year review," *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 62, No. 6, pp. 513-516, June, 1991.

1998년 10월 접수, 1999년 1월 채택