

A Study on the Calibration of Simulation Characteristics of Live-Virtual Simulator System : To Impose Restrictions on a Maneuverability of a Simulated Aircraft Due to Pilot's G-force

Myunghwan Park* · Seunghoon Yoo* · Hyeonju Seol*[†] · Cheonyoung Kim** · Youngseok Hong**

*Korea Air Force Academy

**Agency for Defense Development

Live-Virtual 시뮬레이터 모의특성 보정에 관한 연구 : 중력가속도에 따른 조종사의 기동제한 특성 기반

박명환* · 유승훈* · 설현주*[†] · 김천영** · 홍영석**

*공군사관학교

**국방과학연구소

Recently, Korea Air Force has been facing a lot of problems in its pilot training system such as training time shortage due to the expensive gas price, noise pollution and difficulties in finding airspace for training. To tackle these problems, a new training system (called L-V training system) using both aircraft and its simulator has been suggested. In the system, a data link is established between aircraft and simulator to exchange their flight information. Using the flight information of simulator, aircraft can perform various air missions with or against imaginary aircraft (i.e., simulator). For this system, it is crucially important that fair fighting condition has to be guaranteed between aircraft and simulator. In this paper, we suggested an approach to impose a maneuvering restriction to simulator in order to provide fair fighting condition between aircraft and simulator.

Keywords : Live-Virtual Traing System, G-force, Pilot G-Tolerance, Flight Simulator

1. 서 론

현재 공군은 훈련공간의 제한 및 유가 인상으로 인한 비행훈련 시간의 감소 등의 문제점을 해결하기 위하여, 항공기와 시뮬레이터를 연동하여 상호간에 교전 훈련을 수행함으로써, 실제 비행을 줄이면서도 훈련효과를 거둘 수 있는 항공기와 시뮬레이터 연동 훈련체계(Live-Virtual 훈련체계) 개발을 추진하고 있다. 항공기와 시뮬레이터의

가장 큰 차이는 항공기는 고속으로 비행하면서 3차원 공간을 자유롭게 기동하는 반면에 시뮬레이터의 기동은 극히 제한되어 있다는 것이다. 즉, 대부분의 항공기 시뮬레이터는 움직임 자체가 불가능하거나 제자리에서 자세 변화만 가능하다. 기동하는 항공기에 탑승한 조종사와 기동하지 않는 시뮬레이터에 탑승한 조종사는 노출되는 신체적 스트레스에서 많은 차이가 발생한다. 기동 중에 있는 조종사는 중력가속도(G-force)와 공간상 정위상실(Spatial Disorientation), 저산소증 등의 다양한 신체적, 심리적 스트레스에 노출된다. 그중에서 특히 조종사에게 부가되는 중력가속도는 항공기의 기동을 제한하는 가장 큰 요소로 작용한다.

Received 29 August 2014; Finally Revised 14 October 2014;
Accepted 14 October 2014

[†] Corresponding Author : hjseol@afa.ac.kr

조종사에게 중력가속도가 부가되면 조종사의 머리에 있는 피가 심장 쪽으로 쏠리게 되기 때문에 중력가속도의 강도에 따라 gray-out(사물이 흐리게 보이는 현상), black-out(사물이 보이지 않는 현상), G-LOC(Gravity-induced Loss Of Consciousness : 의식을 상실한 상태) 상태로 전이하게 된다[1]. 반면에, 비행 시뮬레이터는 기동이 없기 때문에, 시뮬레이터 탑승 조종사는 시각적인 효과 이외에는 항공기 조종사가 느끼는 신체적 스트레스를 전혀 느끼지 않는다. 따라서 항공기와 시뮬레이터가 연동 연동을 통해 상호간 교전훈련을 수행한다면, 시뮬레이터 탑승 조종사가 일방적으로 유리할 수밖에 없는 상황이 된다. 예를 들어, 항공기 탑승 조종사는 중력가속도 9G를 수초 정도밖에 견디지 못하고, 이에 따른 기동의 제한이 발생하지만, 시뮬레이터 탑승 조종사는 중력가속도로 인한 기동의 제한을 받지 않는다. 따라서 시뮬레이터 조종사는 항공기 탑승 조종사보다 월등히 유리한 상황에서 교전을 수행할 수 있게 된다. 이로 인해 항공기와 시뮬레이터 연동 훈련체계를 활용한 조종사 훈련의 효율성이 저하된다.

따라서, 항공기와 시뮬레이터 연동 훈련체계를 활용한 훈련의 성과를 향상시키기 위해서는 두 체계 탑승 조종사가 대등한 상황에서 훈련에 임할 수 있도록 하는 방안이 필요하다. 첫 번째 고려할 수 있는 방안은 시뮬레이터에 기동효과를 부여하여 시뮬레이터 탑승 조종사에게도 실제 항공기 탑승 조종사와 동일한 중력가속도를 느끼게 하는 방법이 있다. 현재 이런 기능을 가진 비행 시뮬레이터가 개발되어 있다. 하지만, 이런 종류의 시뮬레이터는 비행훈련을 목적으로 개발된 것이 아니라, 조종사의 중력가속도 적응훈련을 위해 개발된 것이기 때문에, 시뮬레이터의 구현충실도(Fidelity)가 비행훈련 목적으로 개발된 시뮬레이터에 비해 많이 부족하다. 또한, 이런 시뮬레이터는 회전운동만을 제공하기 때문에, 3차원 공간에서 기동하는 항공기의 운동효과를 완전히 구현하지 못하고 있는 실정이다. 두 번째로 고려할 수 있는 방안은 시뮬레이터에 기동을 부과하지는 않지만, 중력가속도로 인해서 항공기 탑승 조종사가 기동에 제한을 받는 양만큼 시뮬레이터 조종사에게도 동일하게 기동에 제한을 가하는 방법이 있을 수 있다. 이 방법은 기존에 개발되어 운영하고 있는 비행훈련 목적의 시뮬레이터에 소프트웨어 수정만으로 그 기능을 구현할 수 있기 때문에 기존 시뮬레이터의 구현충실도를 훼손하지 않으면서 비용측면에서 경제적으로 구현할 수 있는 방안이다. 하지만, 이 방안을 적용하기 위해서는 조종사가 중력가속도로 인해서 얼마만큼 기동에 제한을 받는지에 대한 정확한 데이터가 필요하다.

본 연구에서는 항공기 탑승 조종사와 시뮬레이터 탑

승 조종사간의 공정한 교전환경 제공을 위하여, 위에서 설명한 두 번째 방안인 시뮬레이터의 기동에 제한을 가하는 방안을 구현하였다. 항공기 탑승 조종사들이 중력가속도로 인해서 기동에 제한을 받는 정도를 분석하기 위해서, 조종사들의 중력가속도 내성 소모율과 회복율을 실험과 설문조사를 통하여 계산하였다. 또한, 이 자료들을 사용하여 중력가속도 효과로 인해 기동이 제한되는 항공기 시뮬레이터의 프로토타입을 구현하였다.

2. 전투기 조종사의 중력가속도 내성 연구

2.1 중력가속도 내성 측정 방법

조종사의 중력가속도 내성(G-force tolerance)은 조종사가 중력가속도에 노출되었을 때 의식을 상실하지 않고 버틸 수 있는 에너지를 의미하는데, 이를 측정하기 위해서는 우선 조종사의 중력가속도 내성에 영향을 주는 요소를 식별할 필요가 있다. 조종사의 신체특성(키, 몸무게, 체지방 등)이나 생리특성(혈압, 심박 수 등)은 중력가속도 내성에 통계적으로 유의할 만큼의 영향을 주지는 않는다는 것이 많은 문헌에서 발표되어 있다[4, 5]. 따라서 본 연구에서는 조종사의 중력가속도 내성을 중력가속도 내성 소모율과 중력가속도 내성 회복율이라는 두 가지 요소를 사용하여 측정한다.

2.2 중력가속도 내성 소모율, 회복율 및 균형 중력가속도

공군 전투기 조종사가 평균적으로 보유하고 있는 중력가속도 내성을 1로 정의하고, 중력가속도 내성을 완전히 소모했을 때를 0으로 정의한다. 중력가속도 소모율은 시간(초)당 중력가속도 내성 소모량을 의미하며, 중력가속도 회복율은 시간(초)당 중력가속도 내성 회복량을 의미한다. 본 연구에서는 중력가속도가 일정했을 때 중력가속도의 소모율과 회복율은 일정하다고 가정한다. 가령, 조종사가 일정한 중력가속도에 노출되어 있을 때, 10초 동안에 10%의 중력가속도 내성을 소모했으면, 초당 1% 비율로 소모되었다고 가정한다. 높은 중력가속도에서는 조종사의 중력가속도 내성이 소모되겠지만, 낮은 중력가속도에서는 조종사의 중력가속도 내성이 회복될 것이다. 예를 들면, 조종사가 8G 중력가속도에 노출된다면, 그 조종사의 중력가속도 내성은 빠르게 소모되겠지만, 1G에 노출된다면 조종사의 중력가속도 내성은 회복될 것이다. 특정 중력가속도에서는 조종사의 중력가속도 내성이 소모되지도 않고 회복되지도 않는 균형을 이루는데, 이

중력가속도를 균형 중력가속도(balanced gravity force)라고 정의한다.

2.3 관련 연구

Miller et al.[7]은 11명의 자원자들을 대상으로 3G에서 6G사이의 중력가속도에서 견디는 시간(black-out이나 체력탈진 등으로 실험종료까지의 시간)을 원심가속기 장비로 측정하였다. G-suit를 착용했을 경우, 중력가속도별 견디는 시간이 <Table 1>에 나와 있다.

<Table 1> Pilots' Endurance Time per G-force Level

| G-force | Subject Number | Endurance Time |
|---------|----------------|----------------|
| 3G | 3 | 36'~60' |
| 3.5G | 4 | 22' 20"~60' |
| 4G | 2 | 12' 35"~20' |
| 4.5G | 8 | 2' 37"~10' |
| 5G | 8 | 2' 35"~5' |
| 6G | 8 | 15"~2' |

Burton et al.[3]은 6명을 대상으로 6G와 8G에서 중력가속도를 버티는 시간을 측정하였는데, M-1 AGSM(Anti-G Straining Maneuver) 기법을 사용했을 경우, 평균 6G에서는 55초, 8G에서는 39초를 버티는 것으로 조사되었다.

Tong et al.[8]과 Balldin et al.[2]은 중력가속도로 인한 체력탈진으로부터 완전히 회복하는데 필요한 시간을 측정 하였는데, 실험자들은 21시간에서 42시간 사이의 시간이 필요하다고 응답을 하였다.

3. 실험장비 및 실험 절차

3.1 실험장비

본 실험에서는 최신 모의비행 훈련 장비인 ATFS-400을 이용하였다. 이 장비는 현재 공군 항공의학 적성 연구원에서 도입하여 운용중인 지상용 실습장비로서 전투기 작전을 그대로 조종석에서 재현할 수 있다. 좌석 내에서 Anti G-suit 착용 및 좌석각도 조절이 가능하고, 심전도, 심박동수 등의 측정이 가능하도록 설계되었다. 가속기 조종석 내부는 조종사에게 항공기와 똑같은 좌석내의 가상 상황을 제공할 수 있는 조종간과 계기판, 목표물 시현 장비가 있어서 조종사는 가상 적기의 움직임에 따라 조종간을 이용하여 중력가속도의 증가와 감소를 스스로 조절할 수 있다. 외부조종실에는 장비 통제관, 훈련감독관

및 담당군의관이 장비 내부를 화면으로 감시하고 있으며, 실험 중 조종사가 의식상실에 빠지는 순간에 조종사 스스로 중력가속도를 감속하지 못할 경우 조종사의 안전을 위하여 비상정지로 장비를 중지시킬 수 있는 조절스위치가 부착되어 있다.



<Figure 1> ATFS-400 Simulator

3.2 실험대상자 및 절차

실험 및 설문 참여 대상자들은 공군의 전투기를 조종하는 조종사들로서, 실험 당시 공군의 중력가속도 훈련을 수행 중이었고, 이들 중 자원자들을 대상으로 실험 및 설문조사를 수행하였다. 실험에 참여한 조종사들은 평균 732시간의 비행경험을 보유하고 있었다.

실험에 들어가기 전에 모든 조종사에게는 gray-out, black-out, G-LOC의 증상을 설명하였으며, 필요시 조종간을 조절하여 실험을 중지할 것을 설명하고 실험에 대한 동의를 구하였다. 실험 시 모든 상황은 녹화장비에 의해 녹화되고 장비의 가속률, 감속률, 중력가속도의 변화 등이 저장되어 분석 자료로 활용되었다. 조종사들은 중력가속도에 노출될 때, G-suit를 착용하였고, L-1 AGSM(Anti-G Straining Maneuver) 기법[6]을 사용하였다. 또한, 조종석 좌석이 직각으로 유지된 F-15 타입의 cockpit에서 실시하였다.

3.3 중력가속도 내성 소모율 측정

중력가속도 내성 소모율 측정은 실험과 설문조사를 병행하여 실시하였다. 실험만을 통하여, 공군 조종사들의 중력가속도 내성 소모율을 측정하는 것이 가장 정확한 방법이나, 모든 중력가속도(가령, 9G, 8G, 7G, 6G, 5G 등)에서의 내성 소모율을 실험으로 측정하기에는 비용 및 연구기간 고려 시 현실적으로 불가능하였다. 따라서 실험을 통한 중력가속도 내성 소모율 측정은 7.3G에서만 수행하였고, 나머지 중력가속도는 조종사들의 설문으로

조사하였다.

설문조사가 실험에 비해서 부정확할 가능성이 있으나, 설문문에 참여한 조종사들이 모두 적게는 수백시간에서 많게는 수천시간까지의 비행경험이 있기 때문에, 자신의 중력가속도 한계를 경험을 통하여 충분히 체득하고 있을 것으로 판단하였다. 또한, 설문조사 샘플 사이즈가 비교적 크기 때문에(126명) 조사 결과의 신뢰도가 높을 것으로 판단된다.

중력가속도 내성 소모율 실험에서 7.3G를 선택한 이유는 공군의 F-4 및 F-5 조종사들의 중력가속도 훈련 G가 7.3G였기 때문이다. 따라서 실험에 참여한 조종사들 중 F-4 및 F-5 조종사들은 공군의 중력가속도 훈련과 본 연구의 실험을 병행하여 수행하였다. 실험에 참여한 다른 기종 조종사들은 중력가속도 훈련을 끝내고 충분한 휴식을 거친 이후에 실험을 수행하였다. 실험에 참여한 조종사들의 정보는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Subject Information

| Aircraft Type | Number | G-force |
|---------------|--------|---------|
| F-15, F-16 | 9 | 7.3G |
| F-5, F-4 | 25 | |
| KT-1 | 4 | |

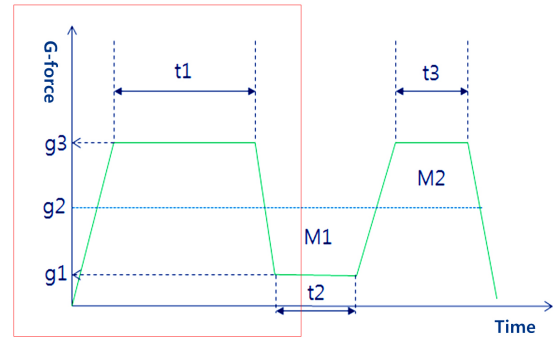
실험은 <Figure 2>(붉은 박스 부분)와 같은 절차로 수행하였다. 먼저 실험참여 조종사들은 7.3G(<Figure 2>의 g3)까지 초당 평균 2.3G 속도로 가속하여 g3까지 도달하고, AGSM 기법을 사용하여 중력가속도를 견디다가 주변시야를 상실한 상태가 되면 실험을 중지하고 초당 평균 1.6G 속도로 ATFS-400 장비의 기본 G인 1.4G(g1)까지 감속하였다.

실험 직전의 조종사 중력가속도 내성을 1로 가정하고, black-out 직전(즉, 주변시력 상실)의 상태를 중력가속도 내성 0으로 가정하였다. 해당 중력가속도에서의 중력가속도 내성 소모율은 식 (1)과 같이 100을 해당 중력가속도에서 버틴 시간(t1)으로 나누어 계산한다.

$$\text{초당내성소모율}(\%/S) = \frac{1}{t1} \times 100 \quad (1)$$

설문조사는 각 중력가속도(9G, 8G, 6G, 5G)에서 G-LOC에 빠지기 전까지 버틸 수 있는 시간을 질문하였다. 4G 이하에서는 일반적으로 G-LOC에 빠지지 않기 때문에 설문조사에서 제외하였다.

중력가속도 소모율 실험 및 설문문에 참여한 조종사들의 인원은 <Table 3>과 같다.



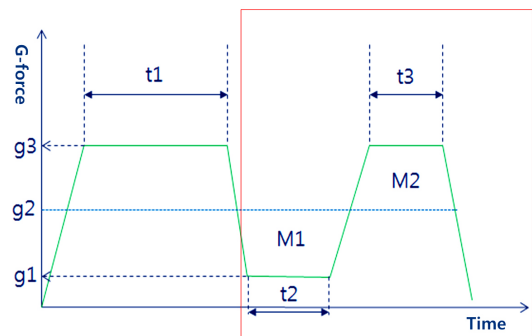
<Figure 2> Experiment Profile for G-tolerance Consumption Rate Measurement

<Table 3> G-force Tolerance Consumption Rate Measurement

| G-force | Method | Subject Number |
|---------|-------------------|----------------|
| 9G | Survey | 126 |
| 8G | Survey | 126 |
| 7.3G | Experiment | 38 |
| 6G | Survey | 126 |
| 5G | Survey | 126 |

3.4 중력가속도 내성 회복율 측정

중력가속도 내성 회복율은 실험으로만 측정하였다. 실험절차는 <Figure 3>(붉은 박스 부분)과 같다. 실험참여 조종사들은 7.3G로 black-out 직전(주변시력 상실)까지 버틴 이후(t1) 감속하여 균형 중력가속도 이하의 G(g1)에서 일정시간(t2) 휴식하고, 다시 7.3G(g3)로 가속하여 black-out 직전까지 버틴 후(t3) 감속한다.



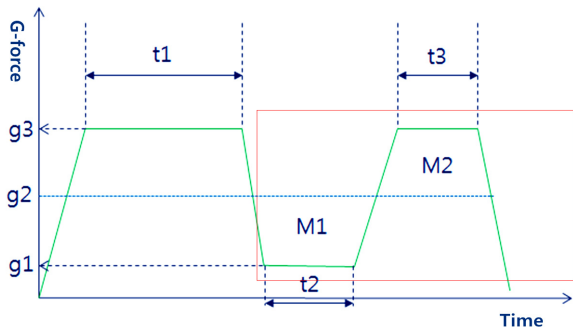
<Figure 3> Experiment Profile for G-tolerance Recovery Rate Measurement

t1에서 중력가속도 내성이 0이 되었기 때문에, t3에서 소모되는 중력가속도 내성은 t2기간 동안 회복된 양과 동일하다고 볼 수 있다. 따라서 시간(초)당 중력가속도 내성 회복율은 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$\text{초당 내성회복율}(\%/S) = \frac{\frac{t3}{t1} \times 100}{t2} \quad (2)$$

3.5 균형 중력가속도 측정

균형 중력가속도는 조종사의 중력가속도 내성이 소모되지도 않고, 회복되지도 않는 상태의 중력가속도를 의미한다. <Figure 4>(붉은 박스 부분)에서 t2시간 동안은 중력가속도 내성이 회복되고, t3시간 동안은 중력가속도 내성이 소모된다. 따라서 t2시간 동안의 회복되는 중력가속도 내성의 면적(M1)과 t3시간 동안의 소모되는 중력가속도 내성의 면적(M2)이 동일하게 되는 중력가속도(g2)가 균형 중력가속도이다.



<Figure 4> Measurement of Balanced G-force

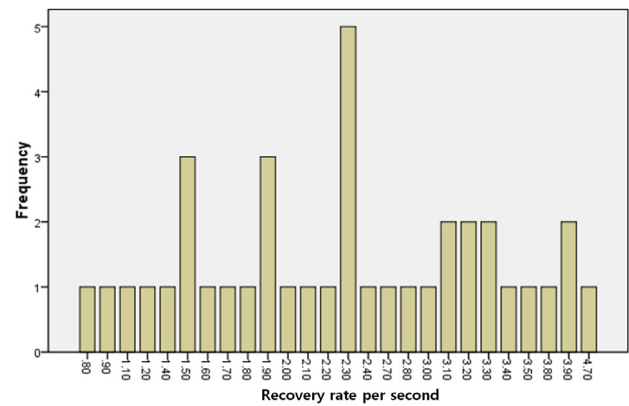
4. 실험결과 및 분석

4.1 중력가속도 내성 소모율

실험 및 설문에 참여한 전투기 조종사들의 평균 중력가속도 내성 소모율은 <Table 4>와 같다. 설문에 참여한 조종사들은 9G에서는 평균 13초면 조종사들이 주변시력이 상실되고, 8G에서는 20초에 주변시력이 상실될 것으로 예측하였다. 또한 7.3G에서는 실험에 참여한 조종사들이 평균적으로 32초에 주변시력을 상실하였다. 6G와 5G에서는 43초와 70초에서 주변시력을 상실할 것으로 예측하였다.

4.2 중력가속도 내성 회복율

중력가속도 내성 회복율은 앞에서 설명한 것처럼 7.3G에서 중력가속도 내성을 완전히 소모한 이후(주변시력 상실)에 중력가속도를 낮추고(1.4G~3.4G), 일정시간(12초~46초)을 휴식한 이후에 다시 7.3G로 가속하였다. 그리고 다시 중력가속도 내성을 완전히 소모하였을 때, 중력가속도를 낮추고 실험을 종료하였다. 중력가속도 내성 회복율은 식 (2)를 사용하여 계산하였다. <Figure 5>는 실험 참가 조종사들의 시간(초)당 내성 회복율 분포를 보여주고 있다. 조종사들의 시간(초)당 평균 내성 회복율은 2.4%/S였다.



<Figure 5> Distribution of G-force Tolerance Rate

4.3 균형 중력가속도

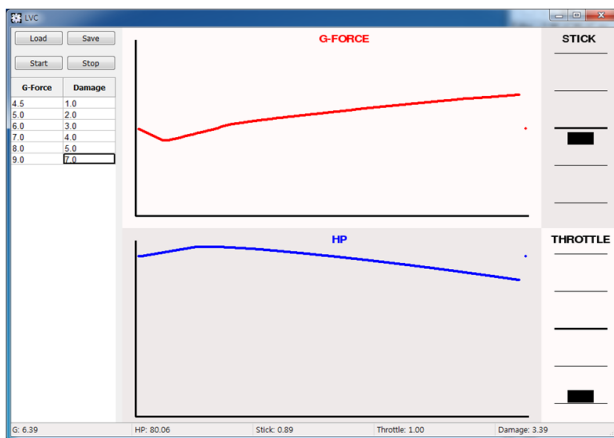
균형 중력가속도는 앞에서 설명한 것처럼 조종사의 중력가속도 내성이 소모되지도 않고, 회복되지도 않는 상태의 중력가속도를 의미한다. 이 균형 중력가속도는 중력가속도 소모율과 회복율을 구할 때 사용한 그래프<Figure 4>를 사용하여 계산하였다. 실험에 참여한 조종사들의 균형 중력가속도 평균값은 4.26G였다. 즉, 4.26G 이하에서는 중력가속도 내성이 초당 2.4%씩 회복되고 이 이상에서는 중력가속도별 내성 소모율에 따라서 소모된다. 계산상으로는 약 42초간 균형중력가속도 이하에서 머물면 100% 중력가속도 내성이 회복된다. 피로의 누적으로 인한 중력가속도 회복이나 소모율 변화, 균형 중력가속도의 변화 등은 고려되지 않았다.

<Table 4> Results of G-force Tolerance Consumption Rate Measurement

| G-force | Method | Subjects | Average Tolerance Time | SD | Consumption Rate |
|---------|-------------------|----------|------------------------|------|------------------|
| 9G | Survey | 126 | 13 | 5.1 | 7% / s |
| 8G | Survey | 126 | 20 | 8 | 5% / s |
| 7.3G | Experiment | 38 | 32 | 8.4 | 3% / s |
| 6G | Survey | 126 | 43 | 18.9 | 2.3% / s |
| 5G | Survey | 126 | 70 | 33 | 1.4% / s |

5. 시뮬레이터 기동제한 프로그램 구현

전투기 조종사들의 중력가속도에 대한 내성 소모율과 회복율을 계산하고, 그 값들을 사용하여 전투기 조종사가 중력가속도로 인해서 제한되는 기동의 양만큼 시뮬레이터에도 동일한 수준으로 기동을 제한할 수 있는 프로그램을 구현하였다. 이 프로그램은 조이스틱을 사용하여 항공기의 기동과 추력을 조절하고 중력가속도를 증감시킬 수 있다. <Figure 6>은 프로그램의 유저인터페이스를 보여주고 있다. 위의 붉은 그래프는 현재 시뮬레이터에 걸리는 가상의 중력가속도를 보여주고 있고, 아래의 파란 그래프는 시뮬레이터 탑승 조종사의 중력가속도 내성을 보여주고 있다. 이 중력가속도 내성이 0이 되면 조종사는 의식을 상실한 상태가 되며, 더 이상의 기동이 불가능하게 프로그램 되었다. 따라서, 시뮬레이터 탑승 조종사는 중력가속도 내성이 0이 되지 않는 상태에서만 기동을 수행할 수가 있다. 중력가속도 내성의 증가와 소모는 앞에서 수행한 실험 결과인 조종사의 중력가속도 내성 소모율과 회복율을 사용하였다.



<Figure 6> Interface of Implementation

6. 결론

항공기와 시뮬레이터간의 기동성 차이에 의한 불공정한 훈련조건을 해결하기 위하여, 시뮬레이터에 중력가속도의 효과를 부여하는 방안을 제안하였다. 이 방안은 전투기 탑승 조종사의 중력가속도 효과를 중력가속도 내성(소모율, 회복율, 균형 중력가속도)으로 모델링하였고, 중력가속도 내성을 측정하기 위하여 설문조사와 실험을 병행하였다. 중력가속도의 내성 소모율과 회복율은 실험

및 설문에 참여한 조종사들의 측정 값 및 응답 값의 평균으로 구하였다. 이 계산된 값들을 사용하여, 중력가속도로 인한 시뮬레이터의 기동을 제한하는 프로그램을 구현하였다.

중력가속도 회복율과 소모율, 그리고 균형 중력가속도 계산에는 중력가속도로 인한 조종사의 피로누적은 고려되지 않았다. 다시 말하면, 조종사가 중력가속도에 지속적으로 노출되고 또, 회복되었을 때 피로가 점점 쌓이게 될 것이다. 이로 인한 중력가속도 내성 소모율과 회복율, 그리고 균형 중력가속도의 변화는 향후 깊게 연구되어야 할 것이다.

Acknowledgement

This study has been supported by the Agency for Defense Development(ADD), Korea with contract number UD120060JD.

References

- [1] Baek, Y.J., Analysis of G-LOC episode in fighter pilots. *Korean Journal of Aerospace Medical Center*, 2004.
- [2] Balldin, U.I., Werchan, P.M., French, J., and Self, B., Endurance and performance during multiple intense high +Gz exposures with effective anti-G protection. *Aviation Space Environmental Medicine*, 2003.
- [3] Burtton, R.R., Leverett, S.D., and Michaelson, E.D., Man at high-sustained Gz acceleration : A review, *Aerosp Med*, 1974.
- [4] Gillingham, K.K. and Fosdick, J.P., High-G training for fighter aircrew. *Aviation Space Environmental Medicine*, 1988.
- [5] Hrebien, L. and Hendler, E., Factors affecting human tolerance to sustained acceleration. *Aviation Space Environmental Medicine*, 1985.
- [6] Jeffrey, R.D., Robert, J., Jan, S., and Jennifer, A.F., *Fundamentals of aerospace medicine*, Wolter Kluwer, 2008.
- [7] Miller, H., Riley, M.B., Bondurant, S., and Hiatt, E.P., *The duration of tolerance to positive acceleration*, *Aviation Medicine*, 1959.
- [8] Tong, A., Balldin, U.I., Hill, R.C., and Dooley, J.W., *Improved Anti-G protection boosts sortie generation ability*, *Aviat Space Environ Med*, 1998.