

헬리콥터 비행시뮬레이터의 조종사 비행훈련 적용에 관한 연구

Study about application of helicopter flight simulator to pilot flight training

박용진*, 정지훈 (서울대학교 기계항공공학부)
 함대영, 이동호(서울대학교 항공우주신기술연구소),
 전향식, 최형식(한국항공우주연구원)

1. 서 론

항공기 시뮬레이터는 실제 비행기와 똑 같은 상황 및 동작으로 지상에서 비행훈련을 실시할 수 있는 장치이다. 실제 비행훈련의 경우에는 훈련자의 비행기술 미숙 및 기체결함, 공역 포화 등으로 인한 사고요소가 잠재되어 있으며 1 쏘티의 비행을 위해서는 고가의 비행기, 다수의 정비 인력 및 장비, 비행장, 유류 등, 다량의 인적 물적 자원을 필요하다. 이에 비해 시뮬레이터를 훈련의 경우에는 초기 설치비용 외에는 운영비가 거의 들지 않으며 실제 비행에서 하기 힘든 고난도의 비상상황 훈련을 가능하게 하여 사고를 예방하며 또한, 시뮬레이터의 사전 탑승을 통해 실 훈련 성과를 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 그리고 이러한 장점으로 인해 민간 항공사를 위시하여 군 및 경찰에서도 고가의 고성능 시뮬레이터를 도입하여 매우 적극적으로 운영하고 있다. 그러나 국내에서는 시뮬레이터의 운영에 대한 자료 부족 및 기준 미비로 인해 장비 도입 시의 취지 중 하나인 실제 비행의 대체효과에 대한 비행 운영 조직의 접근 방식은 상당히 조심스럽고 유보적인 양상을 보이고 있다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이터의 실제 비행으로의 전환 효과(Transfer effectiveness)를 제시하기 위해 항공선진국들의 시뮬레이터 운영 관련 연구를 조사하여 분석하고 정리하였으며 우리 실정에 맞는 적용방법도 제안하고자 한다.

시뮬레이터의 전환 효과에 대한 연구를 살펴보면 다음과 같다. 연구는 항공심리학적 측면과 조종사 양성의 경제적, 안전성 측면에서 미육군 연구소 등에서 수행되어 왔다. 이러한 연구는 시뮬레이터의 전환효과 산출에서 1990년대 이후에는 Motion, Field of View과 같은 정밀 모사 장치에 따른 전환효과의 변화 및 PC를 이용한 저가의 시뮬레이터 전환효과 산출 중심으로 발

전되었다. 이를 살펴보면 Roscoe¹는 1972년에 Cumulative and incremental transfer function(CTEF & ITEF)이라는 식을 제시하였다.

Hunter² 등은 Weighted mean point biserial correlation coefficient를 도입하여 시뮬레이터를 탑승하지 않은 Control Group과 비행기와 시뮬레이터를 동시에 탑승한 Experimental Group의 비교를 통한 전환효과를 수식화하였다. 그 이후에는 1986년에 Taylor와 Stokes³에 의해 Human Factor 측면에서, 2002년에는 Taylor와 Talleur⁴ 등에 의해 개인용 컴퓨터 기반에서 시뮬레이터 전환 효과에 대한 연구가 진행 되었다.

국내에서는 비행 시뮬레이터에 대한 연구결과는 매우 부족하다. 따라서 본 논문에서는 전환 효과에 대한 문헌조사를 초도연구로 수행하여 이를 분석하고 발전방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 Fidelity와 Transfer effectiveness

Fidelity란 비행기의 실제 비행환경을 묘사하는 시뮬레이터의 성능지수를 말한다. 통상 시뮬레이터에 대한 Fidelity는 고정익은 FAA 규정 AC-120-40, 회전익은 AC-120-63에 의해 A, B, C, D 급으로 구분되고 비행훈련 장비(FTD)는 FAA 규정 AC-120-45A에 의해 1~7 등급으로 분류되고 있다.

| 구분 | A | B | C | D |
|--------|-------|-------|--------|--------|
| 조종석 | 재현 | 재현 | 재현 | 재현 |
| FOV | 45×30 | 45×30 | 150×75 | 150×75 |
| Moving | . | 3 DOF | 6 DOF | 6 DOF |
| 조종력 | 재현 | 재현 | 재현 | 재현 |
| 지연시간 | . | 300ms | 150ms | 150ms |
| 비행역학 | 중 | 중 | 중 | 상 |

표 1. AC-120-40의 요구사항

통상 A, B등급은 낮은 Fidelity로 현재에는 시뮬레이터로 사용되지 않고 있다. 특히 C와 D급에 대해서는 가시장치의 경우에는 C급은 야간 및 박명 묘사 기능을 가진데 비해 D급은 태양의 발광효과와 특정지역 지형묘사 기능 등을 보유하고 있으며 날개의 공탄성 및 지면 효과 등도 포함되어 실제 비행환경에 매우 근접하고 있다. 이러한 Fidelity는 비행 시뮬레이터의 전환효과를 산출하는데 가장 중요한 요소이다. 그림1을 통해서 상호관계를 알 수 있다.

2.2 Transfer effectiveness Review

2.2.1 Army Research Institute Research

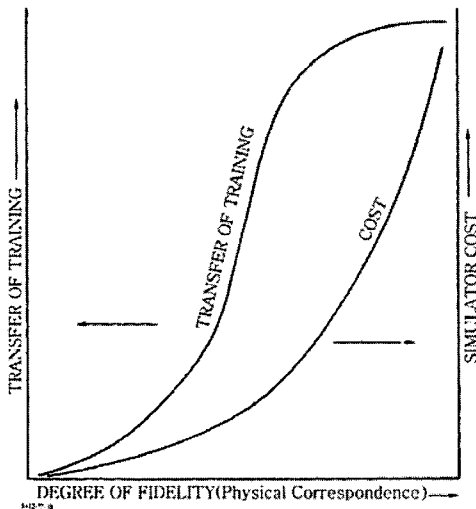


그림 1. Transfer Effectiveness and Fidelity

Stewart⁵ 등은 Fort Rucker 기지에 새로이 도입된 시뮬레이터를 대상으로 미육군의 헬리콥터 초등 비행훈련에서의 전환효과를 연구하였다. 임무별, 과점별 최적의 전환효과지수를 제시하였는데 여기서 Roscoe가 제시한 TER(Transfer Effectiveness Ratio)과 CTER(Cumulative-TER), ITER로 시뮬레이터 전환효과를 나타내었다.

$$TER = \frac{\text{제어그룹 비행시간} - \text{실험그룹 비행시간}}{\text{시뮬레이터 탑승횟수}}$$

$$CTER = \frac{Y_0 - Y_X}{X}$$

$$ITER = \frac{Y_X - Y_{X-\Delta X}}{\Delta X}$$

Y_0 : The num of iteration by aircraft

Y_X : The num of iteration by (A/C + Sim)

X : The num of iteration by simulator

ΔX : The range incremental

여기서 Iteration의 횟수는 어떤 임무의 성공기준을 만족한 비행기나 시뮬레이터의 탑승 횟수를 말한다. TER을 구하는 식에서 알 수 있듯이 기준을 만족시키는 횟수와 시간을 구하기 위해 실험그룹을 시뮬레이터를 탑승시킨 후 비행기를 태워서, 제어그룹은 비행기만 태워서 각 그룹간의 차이를 구하고 이를 시뮬레이터 탑승횟수로 나누면 전환효과지수가 된다. CTER은 TER의 연속적인 개념으로 어떤 일정 횟수 이상에서는 시뮬레이터의 탑승효과 증가가 없어 이를 통해 적절한 시뮬레이터의 탑승 횟수를 산정할 수 있다.

그에 비해 ITER은 시뮬레이터의 1회 탑승 증가가 미치는 영향을 조사한 것으로 CTER과 더불어 훈련 요목 작성의 기준이 된다. 그림 2는 TER과 CTER, ITER의 관계를 나타낸다.

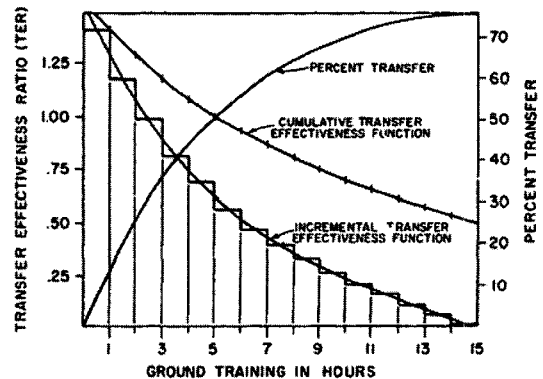


그림 2. 각 전환효과지수의 비교

| Exp | Aircraft Training Manual Maneuver Tasks | | | | | | | |
|------|---|------------|-------------|--------------------|-------------|------|--------------|-----|
| | T/O to Hover | Hover Taxi | Hover Turns | Hover Normal Auto. | Normal Patt | Appr | L/D ft Hover | |
| 1 | .21 | .41 | .24 | .31 | -.13 | .42 | .07 | .24 |
| 2 | .15 | 1.0 | -.03 | -.35 | .54 | .38 | .48 | .67 |
| 3 | .25 | .73 | .70 | .48 | .43 | .68 | .31 | .40 |
| 4 | .32 | -.06 | .61 | .21 | .00 | .09 | .24 | .49 |
| Comb | .23 | .52 | .38 | .16 | .21 | .39 | .28 | .45 |

표 2. Transfer Effectiveness Ratio for UH-1

표 2는 Stewart 등에 의해 수행된 시뮬레이터 전환효과를 측정된 결과 중 하나이다. 표에서 Exp 1은 시뮬레이터의 성능이 평가되지 않아서 이를 검증하기 위해 TH-55로 초등비행을 수료한 조종

사를 대상으로 수행한 것이며 Exp 2는 UH-1의 조종훈련 입과자를 대상으로 실시한 것으로 비행훈련 기간 중에 2주의 시뮬레이터 훈련을 먼저 부여하고 나서 그 효과를 측정하였다.

Exp 3은 가시장비의 개선을 통해 Fidelity의 영향을 산출한 것이며 Exp 4는 실험 2와 3과는 달리 실 비행 9시간을 비행 시뮬레이터 9시간으로 대체하여 전환효과 지수를 직접적으로 산출한 것이다. 표에서도 알 수 있듯이 Fidelity의 효과는 전체적으로 긍정적인 영향을 알 수 있고 2주간의 시뮬레이터의 훈련 보다 9시간의 훈련이 효과지수가 낮아 탑승 시간이 효과지수에 영향을 미치고 그 값이 과목에 따라 다름을 알 수 있다. 따라서 임무에 따른 적절한 전환효과 산정 및 시뮬레이터 탑승 시간 결정이 필수적임을 인지할 수 있다.

이 연구 이후에는 미 육군연구소의 의뢰를 받아 여러 연구자가 Personal Computer 기반의 증강현실의 시뮬레이터에 대한 전환효과지수를 연구하여 충분히 효과가 있음을 증명하였으며, 또한, Motion 효과를 연구하였으나 Motion 기능을 가진 시뮬레이터가 고정된 시뮬레이터보다 전환효과가 커지는 않다는 의외의 결론을 얻었다.

2.2.2 U.S. Air Force and Navy Research

몇몇 학자에 의해 6 자유도의 Motion 효과 및 Field of View에 따른 전환 효과지수의 변화에 대해 연구가 수행되었는데 Motion과 FOV에 따른 전환효과지수의 개선을 나타내는 자료를 찾을 수가 없었다는 결론이 도출되었다.

2.2.3 FAA Research

Taylor⁴ 등은 개인용 컴퓨터 기반의 계기비행용 비행훈련 장치의 전환효과를 연구하였다. 이를 위해서 Illinois University에 있는 계기비행 훈련에 144명의 학생이 등록을 되었고 무작위로 제어그룹과 실험그룹으로 구분되어 전환효과 연구가 수행되어 계기비행 임무에 따라 15%에서 40%의 시간 절약 효과가 있음이 도출되었다. 이를 세부적으로 살펴보면 다음과 같다. 실험장비는 2대의 연방항공국 승인 PCATD(Personal Computer Aviation Training Device), 2대의 FAA 승인 Frasca 141 FTD이며 비행기는 2엔진인 BE-C23을 사용하였다. 실험방법은 과목을 계기비행 능력 검증(IPC) 1과 계기비행 능력 검증 2로 구분하고 실험 참가자를 PCATD반, FTD

반, Airplane반, Control반으로 분류한다. 먼저 숙달 비행으로 비행기와 FTD, PCATD를 이용하여 각 반에 상관없이 동등하게 기회를 부여한다. 그 후에 각 반은 해당 장비로 IPC#1 검사를 실시하여 Pass와 Fail을 결정한다. 그 후 Control반을 제외하고는 3반에게는 6개월 동안 보수교육을 실시하여 IPC#2를 통해 계기비행 능력을 검사하여 결과(Pass/Fail)를 산출한다. 이 때 IPC#1과 2의 차이는 IPC#2는 모든 검사가 실제 비행으로 이루어지며 비행 검사과목은 #1과 동일하다. 결과를 바탕으로 PCATD와 FTD, 비행기 탑승과 훈련 결과와의 상관관계를 추적하여서 각 장비의 비행훈련 효과를 산출하는 것을 목적으로 한다. Control 반과 보수교육이 진행된 반과의 비교를 위한 6개월후의 결과자료를 보면 Aircraft 반이 보수 교육의 성과로 Pass율이 증가하였으나 Control 반은 초기 숙달교육의 영향이 시간의 경과에 따라 거의 소멸되어 95% 이상의 실패율을 보여 비교의 의미가 없었다. 따라서 결과분석은 Control 반을 제외한 3개반 위주로 이루어졌다. 먼저 실험결과를 나타내면 표 3과 같다. 먼저 각 실험그룹의 장비에 따른 실패/성공율의 현격한 차이가 있는지를 McNemar test 법을 통해 살펴보았다.

| Group | N | IPC#1 | | IPC#2 | |
|----------|----|---------|---------|---------|---------|
| | | Pass(%) | Fail(%) | Pass(%) | Fail(%) |
| Aircraft | 25 | 6 (24) | 19 (76) | 13 (52) | 12 (48) |
| FTD | 25 | 9 (36) | 16 (64) | 14 (56) | 11 (44) |
| PCATD | 25 | 9 (36) | 16 (64) | 15 (60) | 10 (40) |
| Total | 75 | 24 (32) | 51 (68) | 42 (56) | 33 (44) |

표 3. 각 실험그룹의 Pass/Fail rates

IPC#1에 대한 결과는 유의수준 0.85, 즉 $p=0.85$ 에서 $\chi^2(2, N=75)=0.32$ 로 장비에 따른 영향은 심각하지 않음을 알 수 있다. 이는 IPC#2에서도 $p=0.58$ 에서 $\chi^2=1.1$ 로 장비의존성이 심각하지는 않음을 알 수 있다. 그리고 IPC#1과 IPC#2의 비교를 통한 보수교육의 효과를 살펴보면 표 3에서 보이는 것처럼 결과가 향상되었음을 알 수 있다. 실제로 $\chi^2=4.1$ 로 #2가 #1과는 경향을 다름을 나타내었다. 그러므로 FTD나 PCATD는 실제 Aircraft와 유사한 교육 효과가 있음을 예측할 수 있다. 그러나 본 실험결과는 전환효과 값에 대한 직접적인 언급이 없어 실제 비행훈련 적용에 어려운 단점이 있었다.

2.2.4 Central Florida university research

Bauer⁶는 45명의 기성 헬리콥터 조종사를 실험 대상으로 하여 CSAR(전투탐색구조) 임무에 대해 Cab motion, Cab No motion, Desktop 등으로 모의비행을 수행한 후, 임무만족 조건을 Timeouts, Crashes, Heading, Speed, Altitude, Position 등으로 구분하여 모의비행결과를 카이제곱 통계법으로 분석하였다. 사용된 시뮬레이터는 자유도 2의 B급 정도로 Motion과 No motion 기능을 가지고 있으며 퍼스널 컴퓨터용 시뮬레이터는 19인치 모니터와 패널, Control Stick등을 가진 기본 모의장비이다. 표 4은 Heading 및 Speed Ctrl의 Chi Square Statistics 대한 분석 값을 나타낸 것이다. 표 4에서 보이는 것처럼 Heading 이나 Speed와 같은 기본 조작의 경우에는 기성조종사의 모의비행 수행 능력이 실제 비행 기준치를 잘 만족하고 있음을 알 수 있다. 그러나 이 실험에서는 전투 탐색구조 훈련에 대한 평가를 Timeouts, Crash의 수를 기준으로 하고 있어 실제 비행평가와는 차이가 있으며 모의비행과 실제 비행과의 관계가 아니라 자격이 있는 조종사의 모의비행 능력을 평가함으로써 시뮬레이터의 전환효과를 간접적으로 산출하여 신뢰성이 보장되지 않는다는 단점이 있었다. 즉, 기성 조종사의 모의비행 장비를 이용한 실제 평가기준의 충족도를 도출한다고 하여 전환효과지수를 판단하는 것은 실 비행에 대한 충족도 자료가 부재하기 때문에 비교대상이 없어 무리가 따른다.

| 구 성 | 헤딩제어 (난류) | 헤딩제어 (난류비 포함) | 속도제어 (난류) | 속도제어 (난류비 포함) |
|---------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Cab(M) | .0313 | .0039 | .1272 | .3028 |
| Cab(NM) | .002 | .00391 | .0040 | .2293 |
| Desktop | .0625 | .0625 | .3203 | .0906 |

표 4. 헤딩과 스피드 묘사 능력

이상과 같이 살펴 본 바와 같이 학회나 논문을 통해서 발표가 된 자료는 저가의 모의장비를 대상으로 하고 있고 대상 실험 임무도 비교적 적은 비용의 모의장비로 가능한 계기비행이나 기본 공중조작 위주로 이루어졌다.

3. 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 모의비행 전환효과

산출을 위해 Fidelity를 정의하는 적절한 절차가 언급되었다. 등급이 지정된 시뮬레이터라 할지라도 장비의 특성이 있으므로 비행훈련에 적용하기 위해서는 사전 실험기간을 적용하여 장비에 지정된 전환효과를 검증한 후에 실전에서 운영하는 것이 비행안전과 교육의 안정성 측면에서 꼭 필요할 것이다. 또한, 계기비행과 기본 공중조작의 경우에는 시뮬레이터의 효과가 크게 나타나므로 운영 초반에는 이 과목을 중심으로 운영하는 것이 바람직 할 것이다. 그리고 전환효과의 효율적인 적용을 위해서는 효과지수와 유가, 사고경향, 전장 환경 및 전술의 변화 등을 고려한 다차원적인 의사결정의 문제로 접근하는 것이 필요하다. 왜냐하면 Fidelity에 따른 시뮬레이터의 해당임무의 전환효과가 0.9라 할지라도 비행환경과 비행정책 변화 등에 따라 적용 범위가 달라질 수 있기 때문이다. 따라서 향후에는 이러한 전환효과 의사결정 모델링에 대한 연구가 필수적으로 동반되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 서울대학교 BK21 차세대 기계항공시스템 창의설계 인력양성사업단과 건설교통부 항공선진화연구개발사업의 연구비 지원(훈련용 헬기 시뮬레이터개발 과제)에 의해 수행되었습니다. 과제를 지원해 주신 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Roscoe, S.N.,(1971) "Incremental transfer effectiveness", Human Factors, 13(6), 561p
- 2) Hunter, J.E., Schmidt,F.L., Jackson,G.B, "Meta-analysis: Cumulating research findings across studies. Beverly Hills, CA: Sage (1982)
- 3) Taylor,H.L.,Stokes,A.F.,(1986)"Flight simulators and training devices", Int. J. Zeidner(Ed.),Human Productivity Enhancement: training and human factors in systems design, Voll(p81-129)
- 4) Taylor,H.L.,Talleur,D.A.,"Incremental training effectiveness of personal computer aviation training devices used for instrument training" (ARL-02-5/NASA-02-3). Savoy (2005)
- 5) Stewart, J.E.,Dohme,J.A.,"U.S. Army initial entry rotary-wing transfer of training research", Int.J.of Aviation Psychology, 12(4),2002, 359-375
- 6) Bauer, M.C., "Evaluating the effectiveness of training system approaches for highly complex flight training", Ph.D. thesis of the university of central florida, 2005