

# 자동차 모의운전환경에서 Simulator Sickness의 예측에 관한 연구

김도회 · 박민용 · 이근희  
한양대학교 산업공학과

## A study on Prediction of Simulator Sickness in Driving Simulation

DoHoe Kim, MinYong Park, GeunHeui Yi  
Dept. of Industrial Engineering Hanyang University

### ABSTRACT

본 연구에서는 시뮬레이터나 그와 유사한 가상현실환경(Virtual Reality Environment ; VRE)에서 일어날 수 있는 Simulator Sickness가 어떤 사람들에게 쉽게 발생하는지를 예측하기 위하여 다중선형회귀(Multiple linear regression) 방정식으로 예측회귀모형을 제시하였다. 이 회귀모형에서의 종속변수는 김도회 외(1998)에 의해 개발된 RSSQ의 종합점수이고, 독립변수는 실제운전경력에 1을 더한 값에 나이를 곱한 값, 과거 멀미를 경험한 정도, 1주일 평균 동화상 시간, 현재의 건강상태로 되어져 있다. 이 회귀모형의  $R^2$ 값은 약 0.52로 Kolasinski (1996)의 모델보다 설명력이 18% 증가하였고, 부수적인 별도의 실험을 하지 않고도 간단한 개인 신상에 관한 간단한 자료만으로도 훨씬 좋은 결과를 예측할 수 있게 되었다. 따라서 시뮬레이터나 가상현실에서 일어나는 Simulator Sickness가 어떠한 사람에게 걸리기가 쉬운지를 쉽게 예측할 수 있게 되었고, 이러한 사람들에게는 시뮬레이터나 가상현실의 이용을 자체 시키거나 주의를 주어 특별관리 함으로써 시뮬레이터나 가상현실을 운영하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

### 1. 서론

기술의 발전으로 인하여, 많은 위험이 존재하는 작업이나 비용이 많이 드는 작업들을 시뮬레이터라는 가상환경에서 대신할 수 있게 되었다. 이러한 시뮬레이터는 현재 군사, 교통, 우주, 항공, 의학, 오락 등 다양한 분야에서 여러 가지 목적으로 유용하게 사용되고 있다. 그러나 이러한 시뮬레이터를 사용하게 됨으로써 인간의 신체에 어떤 부작용을 일으킬 수 있으며 이러한 부작용을 총칭하여 "Simulator Sickness"라고 말할 수 있다.

이러한 Simulator Sickness는 실제 물리적인 요동이 없어도 일어날 수 있다는 것을 제외하고는 멀미(motion sickness)와 거의 비슷하다. Kennedy and

Fowlkes (1992)는 그 현상은 갖가지 징후와 증세를 나타내기 때문에 증후군이라고 부르는 것이 마땅하다고 하였고, 또한 그 증세의 다양함 때문에 Simulator Sickness를 "Polysymptomatic (다증상적)"이라고 표현하였다. 중요한 징후는 구토, 메스꺼움, 창백, 식은땀 등 멀미(motion sickness)와 비슷하다. 그 밖의 증세로는 나른함, 혼란, 집중력 곤란, 머리가 팽창 느낌(fullness of head), 뿌연 시야, 눈의 피로가 포함된다.

또한 Kennedy and Fowlkes(1992)는 단일 요인이 원인으로 확인된 적이 없기 때문에 Simulator Sickness는 "polygenic(다원인적)"이라고 표현하였다. 연구자들에 의해 확인된 여러 요인들은 크게 3가지로 나누어지는데, 나이나 성별과 같이 개인과

관련된 요인(Reason & Brand 1975)과 화면 지연(Frank, Casali, & Wierwille, 1988), 시야(Kennedy, Lilienthal, Berbaum, Baltzley, & McCauley, 1989)와 같이 시뮬레이터와 관련된 요인, 기간(Fowlkes, Kennedy, and Lilienthal, 1987)과 통제정도(Casali & Wierwille, 1986)와 같이 작업 수행과 관련된 요인들이 포함된다.

개인에 대한 잠재적 불편함과 함께 시뮬레이터 이용의 감소, 훈련의 손실, 그리고 지상과 비행에서의 안전과 같이 Simulator Sickness의 여러 가지 운영상의 영향이 있다(Crowley, 1987). 또한 잔상의 지속, 후유증(예: Baltzley, Kennedy, Berbaum, Lilienthal, & Gower, 1989), shift in dark focus(Fowlkes, Kennedy, Hettinger, & Harm, 1993), 눈의 피로(예: Stone, 1993), 그리고 수행도 변화(Kennedy, Fowlkes, & Lilienthal, 1993) 등과 같이 시뮬레이터를 탐으로서 생기는 부수적인 영향도 있다.

따라서 시뮬레이터나 가상현실에서 일어나는 이러한 Simulator Sickness가 어떠한 사람에게 걸리기 쉬운지를 예측하기 위한 연구를 Kolasinski(1996)도 시도하였는데, 그는 40명의 남녀 대학생들을 대상으로 SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)(Kennedy, Lane, Berbaum, & Lilienthal, 1993)의 종합점수(Total Severity ; TS)에 1을 더하여 자연로그를 취한 값을 종속변수로 하고, 4가지 개인과 관련된 요인들(나이, 성별, 정신적 회전능력, 자세안정성)을 이용하여 식 (2.1)과 같이 다중선형회귀모형을 만들었다.

## 2. Kolasinski(1996)의 예측회귀모형

어떠한 사람이 Simulator Sickness에 걸리기 쉬운지를 예측하기 위한 연구를 Kolasinski(1996)도 시도하였는데, 그는 40명의 남녀 대학생들을 대상으로 SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)(Kennedy, Lane, Berbaum, & Lilienthal, 1993)의 종합점수(Total Severity ; TS)에 1을 더하여 자연로그를 취한 값을 종속변수로 하고, 4가지 개인과 관련된 요인들(나이, 성별, 정신적 회전능력, 자세안정성)을 이용하여 식 (2.1)과 같이 다중선형회귀모형을 만들었다.

$$\begin{aligned} \text{LNTOTAL} = & 3.27 - 0.162\text{AGE} + 0.0191\text{GENMRA} \\ & + 0.00656\text{AGEMRA} + 0.0277\text{AGEPRO} \\ & - 0.0323 \text{MRAPRO} \end{aligned} \quad (\text{식 } 2.1)$$

여기서,

AGE : 나이

GENMRA : 성별×정신적 회전능력

AGEMRA : 나이×정신적 회전능력

AGEPRO : 나이×자세안정성

MRAPRO : 정신적 회전능력×자세안정성

그러나 이 모델에는 몇 가지 문제점들을 내포하

고 있다. 첫째, 이 모델의 R<sup>2</sup> 값이 0.343으로 모델에 대한 설명력이 35%도 안된다는 점이고, 두 번째로 교호작용이 너무 많아서 모델에 대한 해석이 어렵고, 또한 이들 교호작용은 각 변수간에 높은 상관관계를 나타낼 수가 있어서 다중공선성(multi-collinearity)에 대한 문제가 일어날 수 있다.

본 연구에서는 좀더 다양한 변수들을 채용하고 피실험자의 수를 늘려 이러한 문제들을 해결하고자 하였다.

## 3 실험계획

피실험자들은 20~30대의 남녀 73명이었고, 각 피실험자는 2회 반복하여 실험에 참여했다. 각 피실험자는 1차 실험 후 3일 이상의 휴식을 취하고 2차 실험에 참여하였다. 2차실험에 참여하지 못한 4명을 제외하고 142개 데이터를 분석에 이용하였다.

본 실험에 사용된 시뮬레이터는 (주)쌍용정보통신에서 개발한 SSDS-V1모형을 사용하였다. 자동차 시뮬레이터의 세부규격은 길이 220cm, 폭 125cm, 높이 150cm이며, 내장은 내수용 중형자동차의 운전석 부분을 그대로 갖추고 있으며, 전방의 화면은 29인치 컴퓨터 모니터로 되어있다. Visual system은 Open-GL을 기반으로 한 3차원 컴퓨터 그래픽방식을 이용하였고, 해상도는 640×480, 초당 frame 수는 평균 13frame이다.

화면의 구성은 출발지점에서 김포공항을 교통표지판으로 찾아가는 방식을 취하고 있고, 중간 중간에 교통사고를 유발할 수 있는 10가지 시나리오가 준비되어져 있어 안전운전을 하지 않으면 사고를 유발하도록 되어져 있다. 총 수행시간은 대략 15~20분 정도가 걸리도록 되어져 있다.

분석방법은 다중선형회귀(Multiple linear regression)분석을 실시하였고, 본 회귀분석에 채용된 변수들 중 종속변수는 김도희외(1998)에 의해 개발된 RSSQ(Revised Simulator Sickness Questionnaire)의 종합점수와 방향감각상실, 안구운동불편, 메스꺼움, 당황/혼동과 관련된 점수들이고, 독립변수로는 나이, 실제운전경력, 과거에 멀미나 그와 유사한 경험을 한 경험한 정도, 1일 평균 컴퓨터 작업시간, 1주일 평균 동화상작업시간, 건강상태, 탑승전 자세안정성, 실제시력, 교정시력, 교정시력과 실제시력의 차 등 개인과 관련된 요인 10가지로 하였다.

## 4. 회귀분석 결과

본 회귀분석에서는 변수선택법을 병행한 회귀분석을 실시하여 Simulator Sickness를 예측하기 위한 회귀모형을 구하였다.

1차적으로 구하여진 모델은 다음 식 (4.1)과 같이

RSSQ의 종합점수를 종속변수로 하고 5개의 독립변수를 가진 모델이었다.

$$\begin{aligned} \text{종합점수} &= -10.167 + 0.517 \text{ 나이} + 1.076 \text{ 운전경력} \\ &+ 0.3173 \text{ 멀미경험} - 0.4348 \text{ 동화상시간} \\ &- 1.2893 \text{ 건강상태} \\ R^2 &= 0.5091 \end{aligned} \quad \text{식 (4.1)}$$

이 모델에서 각 독립변수들간의 상관관계를 알아본 결과 나이와 실제운전경력의 상관계수가 0.62765로 비교적 높게 나타났고, 이 때문에 다중공선성 문제가 존재할 수도 있기 때문에 분산확대지수(Variance Inflation Factors)에 의한 검정을 실시하였다.

분산확대지수(Variance Inflation Factors)를 계산한 결과  $1/(1-R^2) = 1/(1-0.5091) = 2.0371$ 로 이 값보다 Variance Inflation이 큰 변수는 없었다. 따라서 본 모델에는 다중공선성 문제가 존재하지 않는다고 할 수 있다. 그러나 나이와 운전경력은 높은 상관관계를 가질 수 있는 변수들이기 때문에 충분히 추후에 다중공선성 문제가 제기 될 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 나이와 실제운전경력을 모두 제거하고, 실제 운전경력에 1을 더한 값에 연령을 곱한 값을 새로운 변수로 추가하여 2차 모델링을 하였다. 그 결과 각 종속변수에 대해 식 (4.2)~(4.6)과 같이 모델링 되었다.

$$\begin{aligned} \text{종합점수} &= 2.057 + 0.047 A\_T + 0.303 \text{ 멀미경험} \\ &- 0.452 \text{ 동화상시간} - 1.325 \text{ 건강상태} \\ R^2 &= 0.5189 \end{aligned} \quad \text{식 (4.2)}$$

$$\begin{aligned} \text{방향감각상실} &= 3.289 + 0.044 A\_T + 0.289 \text{ 멀미경험} \\ &- 0.579 \text{ 동화상시간} - 1.471 \text{ 건강상태} \\ R^2 &= 0.5082 \end{aligned} \quad \text{식 (4.3)}$$

$$\begin{aligned} \text{안구운동불편} &= 5.591 + 0.0388 A\_T + 0.204 \text{ 멀미경험} \\ &- 1.080 \text{ 건강상태} - 0.526 \text{ 교정-실제 시력차} \\ R^2 &= 0.2798 \end{aligned} \quad \text{식 (4.4)}$$

$$\begin{aligned} \text{메스꺼움} &= -1.072 + 0.046 A\_T + 0.317 \text{ 멀미경험} \\ &- 0.509 \text{ 동화상시간} - 1.100 \text{ 건강상태} \\ R^2 &= 0.5194 \end{aligned} \quad \text{식 (4.5)}$$

$$\begin{aligned} \text{당황/혼동} &= 8.371 + 0.041 A\_T + 0.229 \text{ 멀미경험} \\ &- 1.198 \text{ 건강상태} - 0.674 \text{ 컴퓨터시간} \\ &- 1.010 \text{ 탑승전 자세안정성} \\ R^2 &= 0.3340 \end{aligned} \quad \text{식 (4.6)}$$

여기에서  $R^2$  값은 메스꺼움(N)에 대한 회귀방정식의 값이 0.5194로 가장 높고 그 다음으로 종합점수(TS)의  $R^2$  값이 0.5189, 방향감각상실(D)

$R^2=0.5082$ , 당황/혼동(C)  $R^2=0.3340$ , 안구운동불편(O)  $R^2=0.2798$  순으로 나타났다. 종합점수(TS)의  $R^2$  값 0.5189는 메스꺼움(N)에 대한  $R^2$  값 0.5194와 거의 차이가 없고, Simulator Sickness의 전체적인 심한 정도를 나타내기 때문에 본 연구에 가장 바람직한 회귀모형은 종속변수가 종합점수일 때의 회귀방정식이 된다.

이상과 같이 1차 모델에 비해 2차 모델은  $R^2$  값은 0.5091에서 0.5189로 약간 증가하였다. 이 모델로 인하여 실제운전경력에 1을 더한 값과 나이의 곱이 크고 과거에 멀미나 그와 유사한 경험을 한 정도가 크고 동화상작업을 적게 하고 건강상태가 나쁜 사람들은 simulator sickness가 일어날 가능성이 커진다는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서 구한 모델의 설명력이 51.89%로 다소 낮은 느낌이 들지만 mental rotation test와 자세 실험을 실시하여 얻은 Kolasinski(1996)이 행한 회귀 모델의 설명력 34.3%보다 약 18%가 증가하였고, 부수적인 별도의 실험을 하지 않고도 간단한 개인 신상에 관한 자료만으로도 훨씬 좋은 결과를 예측할 수 있게 되었다. 또한 Kolasinski(1996)의 회귀모델에서는 교호작용으로 인한 변수가 많아 모델을 해석하기 힘들었지만, 본 모델에서는 교호작용이 많지 않아 해석이 쉽다. 본 모델의 의미는 실제운전경력에 1을 더한 값과 나이의 곱이 크고 과거에 멀미나 그와 유사한 경험을 한 정도가 크고 동화상작업을 적게 하고 건강상태가 나쁜 사람들이 simulator sickness가 일어날 가능성이 커진다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 사람들에게는 시뮬레이터나 가상현실의 이용을 자제시키거나 주의를 주어 특별관리함으로써 시뮬레이터나 가상현실을 운영하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] 김도희, 박민용, 이근희 (1998). Driving Simulator에서 Simulator Sickness의 정량적 측정에 관한 연구, 공업경영학회지, 제21권, 제47집.
- [2] Baltzley, D. R., Kennedy, R. S., Berbaum, K. S., Lilienthal, M. G., & Gower, D. W. (1989). The time course of postflight simulator sickness symptoms. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 60(11), 1043-1048.
- [3] Casali, J. G. & Wierwille, W. W. (1986). Vehicular simulation-induced sickness, Volume III: Survey of etiological factors and research facility requirements. IEOR

- Technical Report No. 8503. (NTSC TR 86-012). Orlando, FL: Naval Training Systems Center.
- [4] Crowley, J. S. (1987). Simulator sickness: A problem for Army aviation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 58(4), 355-357.
- [5] Fowlkes, J. E., Kennedy, R. S., Hettinger, L. J., & Harm, D. L. (1993). Changes in the dark focus of accommodation associated with simulator sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 64(7), 612-618.
- [6] Fowlkes, J. E., Kennedy, R. S., & Lilienthal, M. G. (1987). Postural disequilibrium following training flights. *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Human Factors Society*, 488-491.
- [7] Frank, L. H., Casali, J. G., & Wierwille, W. W. (1988). Effects of visual display and motion system delays on operator performance and uneasiness in a driving simulator. *Human Factors*, 30(2), 201-217.
- [8] Kennedy, R. S. & Fowlkes, J. E. (1992). Simulator sickness is polygenic and polysymptomatic: Implications for research. *International Journal of Aviation Psychology*, 2(1), 23-38.
- [9] Kennedy, R. S., Fowlkes, J. E., & Lilienthal, M. G. (1993). Postural and performance changes following exposures to flight simulators. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 64(10), 912-920.
- [10] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3) 203-220.
- [11] Kennedy, R. S., Lilienthal, M. G., Berbaum, K. S., Baltzley, D. R., & McCauley, M. E. (1989). Simulator sickness in U.S. Navy flight simulators. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 60(1), 10-16.
- [12] Kolasinski, E.M. (1996). Prediction of Simulator Sickness in a Virtual Environment. Unpublished doctoral dissertation, University of Central Florida, Orlando, Florida.
- [13] Reason, J. T. & Brand, J. J. (1975). *Motion sickness*. London: Academic Press.
- [14] Stone, B. (1993, October/November). Concerns raised about eye strain in VR systems. *Real Time Graphics*, 2(4), 1-3, 6, 13.