

자동차 모의운전환경에서 Simulator Sickness의 예측 회귀모형 개발

Development of Regression Models for Predicting Simulator Sickness
in Driving Simulation

김도회*

Do-Hoe Kim

Abstract

This study proposed multiple linear regression models to predict those who can be easily infected simulator sickness(SS) in simulator or virtual reality environment. In this study, SSQ(Simulator Sickness Questionnaire) scores which are recently used for assessing SS, and RSSQ(Revised Simulator Sickness Questionnaire) scores are selected as dependent variables. Also ten dependent variables are used. The results are these models coefficient of determination(max $R^2=0.52$) is improved 18% more than Kolasinski's model($R^2=0.35$), and it became easy to predict with simple data. Accordingly, we can easily predict who will be apt to get into simulator sickness.

* 한양대학교 부설 산업과학연구소

1. 서론

기술의 발전으로 인하여, 많은 위험이 존재하거나 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. 하지만 이러한 시뮬레이터를 사용할 때 멀미와 같은 부작용이 발생하게 된다. 이렇게 시뮬레이터 이용시 발생하는 인간의 신체상의 부작용을 총칭하여 "Simulator Sickness(SS)"라고 한다.

이러한 SS는 실제 물리적인 요동이 없어도 일어날 수 있다는 것을 제외하고는 멀미(motion sickness)와 거의 비슷하다. Kennedy와 Fowlkes[10]는 이러한 현상은 갖가지 징후와 증세를 나타내기 때문에 중후군이라고 부르는 것이 마땅하다고 하였고, 또한 그 증세의 다양함 때문에 SS를 "Polysymptomatic (다증상적)"이라고 표현하였다. 중요 증세는 구토, 메스꺼움, 창백, 식은땀 등 멀미와 비슷하다. 그 밖의 증세로는 나른함, 혼란, 집중력 곤란, 머리가 팽창 느낌(fullness of head), 뿌연 시야, 눈의 피로가 포함된다. 또한 이들의 연구에서 단일 요인이 원인으로 확인된 적이 없기 때문에 SS는 "polygenic(다원인적)"이라고 표현하였다. 연구자들에 의해 확인된 여러 요인들은 크게 3가지로 나누어지는데, 나이나 성별과 같이 개인과 관련된 요인[15]과 화면 지연[9], 시야[13]와 같이 시뮬레이터와 관련된 요인, 기간[8]과 통제정도[5]와 같이 작업 수행과 관련된 요인들이 포함된다.

SS가 미치는 영향은 개인에 대한 잠재적 불편함, 시뮬레이터 이용의 감소, 훈련의 손실, 그리고 안전문제 등이 있다[6]. 또한 잔상의 지속, 후유증[4], 암조음[7], 눈의 피로[16], 그리고 수행도 변화[11] 등과 같이 시뮬레이터를 탐으로서 생기는 부수적인 영향도 있다. 특히 이러한 SS의 영향은 국내에서도 보고된 바가 있는데, 이근희 외[3]는 자동차 시뮬레이터를 탔을 때 전체 156명의 피실험자 중 신체상의 변화를 느낀 사람이 84

명(54%)이고, 구토와 같이 심한 증상을 보인 사람도 9명(5.8%)이나 된다고 보고하였다.

본 연구에서는 시뮬레이터나 가상현실에서 일어나는 이러한 SS가 어떠한 사람에게 걸리기가 쉬운지를 개인과 관련된 요인들로 손쉽게 예측할 수 있다면 그러한 사람들의 이용을 자제시키거나 주의를 주어 특별관리 함으로써 시뮬레이터나 가상현실을 운영하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다. 따라서 본 연구의 목적은 개인과 관련된 요인들을 독립변수로 하는 다중선형회귀식을 이용하여 SS를 예측할 수 있는 모델을 만드는 것이다.

본 연구의 2절에서는 기존의 SS 예측회귀모형인 Kolasinski[14]의 예측회귀모형에 대해 설명하고, 3절에서는 실험에 참가한 피실험자, 시뮬레이터, 종속변수와 독립변수, 실험절차 등 실험방법에 대해 설명하였다. 4절에서는 3절의 실험방법에 의해 얻어진 데이터를 이용해 변수선택법을 병행한 회귀분석을 실시하여 회귀모형을 구하는 과정을 보여준다. 마지막으로 5절에서는 구해진 예측회귀모형을 기존의 모델과 비교하고 본 모델이 의미하는 바를 설명하였다.

2. Kolasinski의 예측회귀모형

어떠한 사람이 SS에 걸리기가 쉬운지를 예측하기 위한 연구를 Kolasinski[14]도 시도하였는데, 그는 40명의 남녀 대학생들을 대상으로 SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)[12]의 총합점수(Total Severity ; TS)에 1을 더하여 자연 로그를 취한 값을 종속변수로 하고, 4가지 개인과 관련된 요인들(나이, 성별, 정신적 회전능력, 자세안정성)을 이용하여 (식 1)과 같이 다중선형회귀모형을 만들었다.

$$\begin{aligned} \text{LNTOTAL} = & 3.27 - 0.162\text{AGE} + 0.0191\text{GENMRA} \\ & + 0.00656\text{AGEMRA} + 0.0277\text{AGEPRO} \\ & - 0.0323 \text{MRAPRO} \end{aligned} \quad (\text{식 } 1)$$

여기서,

AGE : 나이

GENMRA : 성별(남:-1, 여:1)×정신적 회전능력
 AGEMRA : 나이×정신적 회전능력
 AGEPRO : 나이×자세안정성
 MRAPRO : 정신적 회전능력×자세안정성

그러나 이 모델에는 몇 가지 문제점들을 내포하고 있다. 첫째, 이 모델의 R² 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 Kolasinski[14]의 회귀모형에서 이용된 변수들 보다 다양한 변수들을 채용하고 피실험자의 수를 늘려 이러한 문제들을 해결하고자 하였다.

3 실험방법

본 실험에 참여한 피실험자들은 20~30대의 남녀 64명을 대상으로 하였고, 각 피실험자는 2회 반복하여 실험에 참여하도록 하였다. 각 피실험자는 1차 실험 후 3일 이상의 휴식을 취하고 2차 실험에 참여하도록 하였다.

본 실험에 사용된 시뮬레이터는 차체의 움직임이 없는 fixed-based 자동차 시뮬레이터로 (주)쌍용정보통신에서 개발한 SSDS-V1모델을 사용하였다. 자동차 시뮬레이터의 세부규격은 길이 220cm, 폭 125cm, 높이 150cm이며, 내장은 내수용 중형자동차의 운전석 부분을 그대로 갖추고 있으며, 전방의 화면은 29인치 컴퓨터 모니터로 되어 있다. Visual system은 Open-GL을 기반으로 한 3차원 컴퓨터 그래픽방식을 이용하였고, 해상도는 640×480 pixel, 초당 frame 수는 평균 13frames이다.

화면의 구성은 출발지점에서 특정목적지를 교통표지판으로 찾아가는 방식을 취하고 있고, 중간 중간에 교통사고를 유발할 수 있는 10가지 시나리오가 준비되어져 있어 안전운전을 하지 않으면

면 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 모두 9개로 현재 SS 측정에 널리 이용되고 있는 4점 척도의 SSQ[12]에 의한 점수들(종합점수와 방향감각상실, 안구운동불편, 메스꺼움과 관련된 점수)과 김도희 등에 의해 개발된 11점 척도의 RSSQ(Revised Simulator Sickness Questionnaire)[1][2] 점수들(종합점수, 방향감각상실, 안구운동불편, 메스꺼움, 긴장/당황과 관련된 점수)이다. 독립변수로는 나이, 실제운전경력, 과거에 멀미나 그와 유사한 경험을 한 정도, 1일 평균 컴퓨터 작업시간, 1주일 평균 동화상 작업시간, 건강상태, 탑승전 자세안정성, 실제시력, 교정시력, 교정시력과 실제시력의 차 등 개인과 관련된 요인 10가지로 하였다.

4. 회귀분석 결과

본 절에서는 변수선택법을 병행한 회귀분석을 실시하여 SS를 예측하기 위한 회귀모형을 구하였다.

먼저 RSSQ의 종합점수를 종속변수로 하고 10개의 독립변수들을 Stepwise 변수선택법으로 변수를 선택하여 회귀분석한 결과 <표 1>과 같은 회귀분석 결과표가 만들어졌고, (식 2)와 같이 5개의 독립변수를 가진 회귀모형을 만들었다. 이때의 결정계수(coefficient of determination : R²)는 0.5167이다.

$$\begin{aligned}
 & \text{RSSQ 종합점수} \\
 & = -16.155 + 0.850 \text{ 나이} + 1.048 \text{ 실제운전경력} \\
 & \quad + 2.903 \text{ 멀미경험} - 0.610 \text{ 동화상작업시간} \\
 & \quad - 1.491 \text{ 건강상태} \\
 & R^2 = 0.5167 \qquad \qquad \qquad (\text{식 2})
 \end{aligned}$$

이 모델에서 각 독립변수들간의 상관관계를 알아본 결과 나이와 실제운전경력의 상관계수가 0.5868로 비교적 높게 나타났고, 이 때문에 다중

<표 1> Stepwise 변수선택법으로 선택된
회귀모델의 회귀분석결과
(종속변수 : RSSQ의 종합점수)

Dependent Variable: RSSQ의 종합점수						
Analysis of Variance						
Source	DF	Squares	Sum of Square	Mean F Value	Prob>F	
Model	5	16298.24163	3259.64833	26.083	0.0001	
Error	122	15246.61469	124.97225			
C Total	127	31544.85632				
Root MSE		11.17910	R-square	0.5167		
Dep Mean		10.56254	Adj R-sq	0.4969		
C.V.		105.83723				
Parameter Estimates						
Variable	Parameter DF	Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T	Variance Inflation
INTERCEP	1	-16.154618	9.35131786	-1.728	0.0866	0.00000000
나이	1	0.849510	0.35273871	2.408	0.0175	1.60963392
실제운전경력	1	1.047555	0.39754507	2.635	0.0095	1.65281543
멀미경험	1	2.903235	0.50033849	5.803	0.0001	1.25773003
동화상작업시간	1	-0.610049	0.25597923	-2.383	0.0187	1.13000237
건강상태	1	-1.491190	0.45553583	-3.273	0.0014	1.11230850

공선성 문제가 존재할 수도 있기 때문에 분산확대지수(Variance Inflation Factors)에 의한 검정을 실시하였다.

분산확대지수(Variance Inflation Factors)를 계산한 결과 $1/(1-R^2) = 1/(1-(1-0.5167)) = 2.0691$ 로 이 값보다 Variance Inflation이 큰 변수는 없었다. 따라서 본 모델에는 다중공선성 문제가 존재하지 않았다. 이상과 같은 방법으로 나머지 각 종속변수에 대해 (식 3)~(식 10)과 같이 모델링되었다.

RSSQ 메스꺼움

$$= -18.661 + 0.717 \text{ 나이} + 0.901 \text{ 실제운전경력} \\ + 3.350 \text{ 멀미경험} - 0.392 \text{ 동화상작업시간} \\ - 0.939 \text{ 건강상태} \quad (\text{식 } 3) \\ R^2 = 0.4659$$

RSSQ 방향감각상실

$$= -9.181 + 0.737 \text{ 나이} + 0.855 \text{ 실제운전경력} \\ + 2.051 \text{ 멀미경험} - 0.830 \text{ 동화상작업시간} \\ - 1.904 \text{ 건강상태} \quad (\text{식 } 4) \\ R^2 = 0.4160$$

RSSQ 안구운동불편

$$= -18.973 + 0.901 \text{ 나이} + 0.960 \text{ 실제운전경력} \\ + 2.386 \text{ 멀미경험} - 1.148 \text{ 건강상태} \quad (\text{식 } 5) \\ R^2 = 0.3383$$

RSSQ 긴장/당황

$$= -10.892 + 0.681 \text{ 나이} + 1.029 \text{ 실제운전경력} \\ + 1.867 \text{ 멀미경험} - 0.630 \text{ 동화상작업시간} \\ - 0.882 \text{ 건강상태} \quad (\text{식 } 6) \\ R^2 = 0.3045$$

SSQ 종합점수

$$= -33.101 + 2.652 \text{ 나이} + 7.486 \text{ 멀미경험} \\ - 6.278 \text{ 건강상태} - 1.838 \text{ (교정-실제시력)} \\ R^2 = 0.4522 \quad (\text{식 } 7)$$

SSQ 메스꺼움

$$= -42.493 + 2.275 \text{ 나이} + 6.277 \text{ 멀미경험} \\ - 4.417 \text{ 건강상태} \quad (\text{식 } 8) \\ R^2 = 0.4246$$

SSQ 안구운동불편

$$= -21.516 + 1.995 \text{ 나이} + 4.904 \text{ 멀미경험} \\ - 4.401 \text{ 건강상태} - 1.445 \text{ (교정-실제시력)} \\ R^2 = 0.3568 \quad (\text{식 } 9)$$

SSQ 방향감각상실

$$= -63.466 + 2.906 \text{ 나이} + 10.718 \text{ 멀미경험} \\ - 7.801 \text{ 건강상태} + 3.272 \text{ 자세안정성} \\ + 2.884 \text{ 실제시력} \quad (\text{식 } 10) \\ R^2 = 0.4302$$

여기에서 R^2 값은 RSSQ의 종합점수에 대한 회귀방정식이 0.5167로 가장 높았고, 그 다음으로 RSSQ의 메스꺼움에 대한 점수($R^2=0.4659$), SSQ의 종합점수($R^2=0.4522$), SSQ의 방향감각상실($R^2=0.4302$), SSQ의 메스꺼움($R^2=0.4246$), RSSQ의 방향감각상실($R^2=0.4160$), SSQ의 안구운동불편($R^2=0.3568$), RSSQ의 안구운동불편($R^2=0.3383$), RSSQ의 긴장/당황($R^2=0.3045$) 순으로 나타났다. 본 연구에 가장 바람직한 회귀모형은 R^2 가 가장 높은 RSSQ의 종합점수에 대한 회귀방정식으로 독립변수는 5가지(나이, 실제운전경력, 멀미경험, 동화상작업시간, 건강상태)로 되어져 있다. 이 모형으로 인해 나이와 운전경력이 많고, 과거에 멀미나 그와 유사한 경험을 한 정도가 크고, 동화상작업을 적게 하며, 건강상태가 안 좋은 사람들은 SS가 일어날 가능성이 커진다는 것을 알 수 있다.

또한 전체적으로 RSSQ나 SSQ의 종합점수와 메스꺼움, 방향감각상실과 관련된 점수들의 R^2

값(0.4이상)이 안구운동불편이나 긴장/당황에 관련된 점수들의 R^2 값(0.4이하)보다 높게 나왔기 때문에 본 연구에서 이용된 독립변수들이 SS의 전체적인 정도나 메스꺼움, 방향감각상실에 관련된 증상의 예측에 효과적임을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서 구한 모델의 설명력이 51.67%로 다소 낮은 느낌이 들지만 mental rotation test와 자세실험을 실시하여 얻은 Kolasinski[14]가 행한 회귀모델의 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[14]의 회귀모델에서는 교호작용으로 인한 변수가 많아 모델을 해석하기 힘들었지만, 본 모델에서는 교호작용이 많지 않아 해석이 쉽다. 본 모델의 의미는 나이와 운전경력이 많고, 과거에 멀미나 그와 유사한 경험을 한 정도가 크고, 동화상작업을 적게 하며, 건강상태가 안 좋은 사람들이 SS가 일어날 가능성이 커진다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 사람들에게는 시뮬레이터나 가상현실의 이용을 자제시키거나 주의를 주어 특별관리 함으로서 시뮬레이터나 가상현실을 운영하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김도희, "자동차 모의운전환경에서 Simulator Sickness의 정량화 기법 개발 및 분석에 관한 연구", 박사학위논문, 한양대학교, 1998.
- [2] 김도희, 박민용, 이근희, "Driving Simulator에서 Simulator Sickness의 정량적 측정에 관한 연구", *공업경영학회지*, 제21권, 제47집(1998), pp. 165-175.
- [3] 이근희, 박민용, 오영진, 김도희, "운전기능(적성)검사기기 보완검증", 한양대학교 산업과학연구소, 1997.
- [4] Baltzley, D. R., Kennedy, R. S., Berbaum, K. S., Lilienthal, M. G., & Gower, D. W., "The time course of postflight simulator sickness symptoms", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol.60, No.11(1989), pp.1043-1048.
- [5] Casali, J. G. & Wierwille, W. W., "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, 1986.
- [6] Crowley, J. S., "Simulator sickness: A problem for Army aviation", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol.58, No.4(1987), pp.355-357.
- [7] Fowlkes, J. E., Kennedy, R. S., Hettinger, L. J., & Harm, D. L., "Changes in the dark focus of accommodation associated with simulator sickness", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol.64, No.7(1993), pp.612-618.
- [8] Fowlkes, J. E., Kennedy, R. S., & Lilienthal, M. G., "Postural disequilibrium following training flights", *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Human Factors Society*(1987), pp.488-491.
- [9] Frank, L. H., Casali, J. G., & Wierwille, W. W., "Effects of visual display and motion system delays on operator performance and uneasiness in a driving simulator", *Human Factors*, Vol.30, No.2(1988), pp.201-217.
- [10] Kennedy, R. S. & Fowlkes, J. E., "Simulator sickness is polygenic and polysymptomatic: Implications for research", *International Journal of Aviation Psychology*, Vol.2, No.1(1992), pp.23-38.
- [11] Kennedy, R. S., Fowlkes, J. E., & Lilienthal, M. G., "Postural and performance changes following exposures to flight simulators", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol.64, No.10(1993), pp.912-920.
- [12] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G., "A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness," *International Journal of Aviation Psychology*, Vol.3, No.3(1993), pp.203-220.
- [13] Kennedy, R. S., Lilienthal, M. G., Berbaum, K. S., Baltzley, D. R., & McCauley, M. E., "Simulator sickness in U.S. Navy flight simulators", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol.60, No.1(1989), 10-16.
- [14] Kolasinski, E. M., "Prediction of Simulator Sickness in a Virtual Environment", Unpublished doctoral dissertation, University of Central Florida, Orlando, Florida, 1996.
- [15] Reason, J. T. & Brand, J. J., "Motion sickness", London: Academic Press, 1975.
- [16] Stone, B., "Concerns raised about eye strain in VR systems", *Real Time Graphics*, Vol.2, No.4(1993, October /November), pp.1-3, p.6, p.13.

● 저자소개 ●



김도희

1990년 한양대학교 산업공학과 학사

1992년 한양대학교 산업공학과 석사

1999년 한양대학교 산업공학과 박사

현재 한양대학교 부설 산업과학연구소 선임연구원

관심분야 : Simulator sickness, 인간공학, 가상현실, 안전공학