

Gimbal형 모션 시뮬레이터의 개발과 감성공학적 시험평가

오중식^{^*}, 안제준^{*}, 윤식준^{**}, 신영기^{**}, 민병찬^{***}, 성은정^{***}
*세종대학교 대학원 항공우주공학과
**세종대학교 공과대학 기계항공우주공학부
***한국표준과학연구원 인간정보그룹

Development of a Gimbal-Type Motion Simulator and Evaluation Based on Human-sensibility Ergonomics

Oh J S^{^*}, Ahn J J^{*}, Yoon S J^{**}, Shin Y G^{**}, Min B C^{***}, Sung E J^{***}
*Dept. of Aerospace Eng, Sejong University
**Dept. of Mechanical & Aerospace Eng, Sejong University
***KRISS Ergonomics and Information Technology Group

요 약

본 연구개발에서 개발되어지고 있는 시뮬레이터는 롤러코스터를 모사 대상체로 하였고, 일반적인 Stewart 형식이 아닌 운동 대상체의 운동자유도를 짐발(Gimbal)형으로 재현하고자 하였다. 이를 위해 실시간 스케줄러와 H/W 임플렉 및 통신 드라이버에 대한 개발을 수행하였고, 시뮬레이션에 적합한 정확도와 실시간성을 유지하도록 롤러코스터 상에서 이루어지는 차량운동을 모델링하였다. 또한 인간감성의 적용을 고려한 짐발형 모션 시스템의 운동 재현을 위해 워시아웃(Washout) 알고리즘을 개발하였다. 특히, 짐발형 모션 시스템의 운동 모사성을 객관적으로 검증하고 탑승자에 대한 시뮬레이터의 영향을 평가하기 위해 감성평가론 실시하였다. 감성평가론 위해 평가지에 의한 주관적 평가 방법과 탑승자의 생리신호를 측정하는 객관적 평가방법을 사용하였으며, 감성평가론 통한 결과치를 이용하여 워시아웃 알고리즘을 개선하였다.

Key Word: Roller-coaster, Washout algorithm, 동운동 모델링, 감성평가

1. 서론

현재 게임시장에 출시되어 있는 대부분의 게임기들은 사용자의 감성적 특성을 객관적으로 반영하고 있지 못하다. 대부분의 게임기들은 게임 개발자들의 주관적 경험에 의해 게임사용자들이 흥미 있어할 것 같은 구성과 방식으로 개발되어지고 있다.

본 연구개발에서 시도되고 있는 게임기는 모션이 가미된 콘솔형 아케이드 시뮬레이션 게임기에 해당되고, 게임 내용은 놀이 공원에서 가장 인기 있는 놀이기구 중 하나인 롤러코스터(roller coaster)의 운행환경을 시뮬레이션 하는 것이다. 여기에 동적 환경제시 및 측정시스템 기술개발을 통하여 개발된 감성공학 DB와 제시기술을 적용함으로써 게임의 흥미를 극대화하고자 한다. 이를 위해 롤러코스터의 동운동을 엄밀하게 모델링 하였으며 모션 시스템을 탑승자의 감성에 맞게 구동시키기 위한 위시아웃 알고리즘을 개발하였다. 또한 객관적인 감성요소를 평가하기 위해 시뮬레이터 평가 표본집단을 대상으로 주관적 설문 및 객관적 생리신호를 측정하고자 하였다.

2. 개발현황

본 연구에서 개발되고 있는 롤러코스터 시뮬레이터의 전체적인 개념은 그림 1과 같다. 개발현황은 주요요소별로 다음과 같다.

동운동 모델링 및 프로그래밍

모션 시스템에서 모든 신호를 추출하는 근원은 동운동의 수학적 모델이다. 본 연구에서는 뉴우튼의 동리학 원

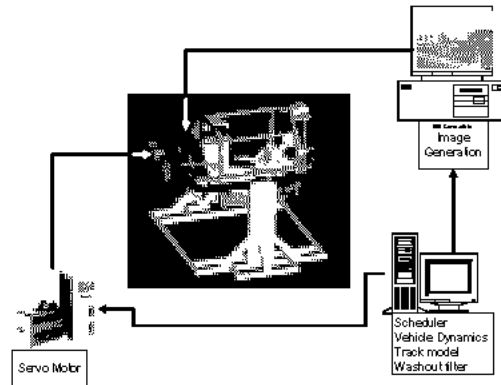


그림 1 롤러코스터 시뮬레이션 개념도

리를 적용하여 롤러코스터 차량의 6자유도 동운동을 엄밀하게 모델링하였다. 모델링하는 방법으로는 차후 게이머가 스스로 트랙을 설계할 수 있도록 하기 위해 롤러코스터를 구성하는 단위트랙들의 형상을 비주얼 모델 설계와 병행하였고, 흥미를 최대화 할 수 있도록 역학적으로 합당하게 설계하였다. 설계 방법상으로 차량이 트랙에서 이탈되지 않는다는 가정하에 진행 방향의 1자유도 운동을 기구학적으로 모델링 하였다. 롤러코스터의 동운동 모델링을 위해 롤러코스터의 전체 트랙을 단위 트랙들의 조합으로 설계하였고, 차량 동운동의 보다 엄밀한 연산을 위하여 다시 단위 트랙들은 직선형의 하위 단위 트랙의 결합으로 모델링 하였다. 이러한 방법에 의해 모델링된 결과의 유효성을 검증하기 위해 2가지 이상의 모델링 기법들을 사용하여 비교 검토하였다. 모델링 시 차량에 가해지는 중력은 절대좌표계에서 단위 트랙에 고정된 트랙 좌표계로 변환되어 트랙의 마찰과 결합되어 직선운동의 가속도 연산에 사용하였고 전진 방향의 방진운동 가속도는 다시 절대 좌표계로 변환한 후 수치적분을 거쳐 방진 운동 속도와 위치를 산출하게 된다. 이렇게 모델링 되어 나온 결과 값들은 매 시간마다의 차량의 절대 위치값과 기구학

적으로 처리된 자세 정보들로 비주얼 및 모션 플랫폼으로 전송하게 된다. 동 운동 모델링 S/W는 검증된 Simulink 모듈을 S function으로 변환한 후 최종 C 언어로 작성하였다.

워시아웃 필터 설계

워시아웃 필터(Washout filter)를 설계하기 전에 우선 운동방정식에 대한 해석과 그 알고리즘에 대한 연구를 선행하였다¹⁾. 워시아웃 알고리즘의 경우는 시뮬레이터 탑승자에게 협장감 있는 운동감을 제공하기 위해 인간감성공학에 기반을 둔 여러 종류의 워시아웃 알고리즘들이 개발되어 왔다²⁾³⁾⁴⁾. 본 연구 개발에서는 다른 알고리즘에 비해 쉬운 설계인자를 필요로 하는 고전적(Classical) 워시아웃 알고리즘을 적용하였다⁵⁾.

본 연구 개발에서 설계한 워시아웃 알고리즘은 짐볼형식의 운동시스템을 기본으로 하고 있다. 또한 모사하고자 하는 대상이 롤리코스터이므로 다음과 같은 전제를 할 수 있다.

- 1) 차량이 레일에 구속되어 있고 롤리코스터는 레일을 따라 움직인다.
- 2) 워시아웃 알고리즘에서 출력값(output)을 피치(pitch)각과 롤(roll)각만으로 계산하여 운동시스템을 구동시킨다.
- 3) 롤리코스터에서 스틸을 느끼는 부분은 크게 급작 낙하와 급격한 턴 그리고 루프(loop)등으로 나눌 수 있고, 워시아웃 기법을 적용하는 부분을 한정할 수 있다.

이와 같은 전제를 바탕으로 롤리코스터 트랙의 전 부분에서 워시아웃 기법을 적용하는 것이 아닌 일부분 즉, 급작낙하 부분과 루프(loop)등의 느낌 재현 부분등에서 그 기법을 적용한다. 트랙의 전 부분에서 워시아웃 기법을 적용하지 않는 이유는 게임기가 갖는 특성상 게이머들에게 좀더 흥미로운 게임의 느낌을 전달하기 위함이며, 워시아웃 기법을 적용했을 때 롤리코스터 느낌의 반감을 줄이기 위해서이다. 개발한 롤리코스터 시뮬레이터는 모델링에 의해 산출된 차량의 위치에 따라 우선적으로 운동시스템이 반응하게 되고 360도 회전하는 루프(loop)의 경우에 워시아웃 기법이 적용되는 방식을 사용하였다.

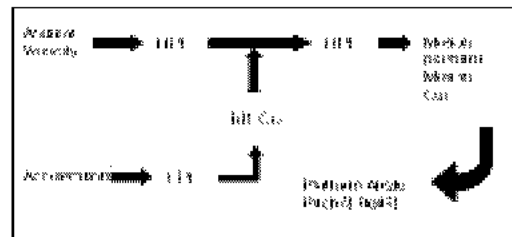


그림 2 워시아웃 알고리즘

워시아웃 필터는 롤리코스터의 동역학 모델링으로부터 나온 X,Y,Z축의 각 방향 가속도 3개와 각속도 3개를 입력으로 받는다. 입력된 데이터에 의해 워시아웃 과정을 수행한 후 운동의자에서 구현할 수 있는 pitch 각과 roll각을 출력으로 사용하였다.

그림 3과 같은 궤적의 트랙을 시뮬레이션 하였을 때 시간의 변화에 따른 워시아웃 결과(그림 4)를 얻을 수 있다.

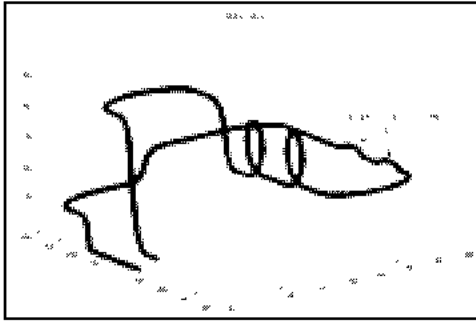


그림 3 단위트랙 예

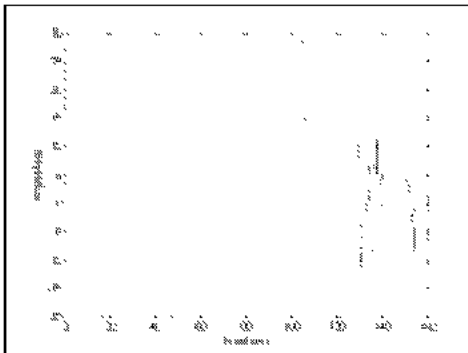


그림 4 단위트랙의 위시아웃 결과

위시아웃 필터는 일차적으로 Matlab Simulink를 이용하여 설계하였고 검증한 후 C 언어로 최종 프로그램을 완성하였다.

운동의자와 모션제이기 설계 및 제작

운동의자는 짐볼 타입의 운동시스템을 설계하였으며, 운동부인 캐빈을 롤러코스터 시나리오대로 구동하기 위해 중량 350kg 정도의 하중을 충분한 가속도로 사용하기에 충분한 토크를 발생 할 수 있는 모터를 사용하였다. 모터는 피치(pitch) 구동부와 롤(roll) 구동부의 2개를 사용하였으며, 2Kw의 60:1감속비를 갖는다. 모터와 감속기의 축이음은 키 홈 방식이 아닌 스프라인 축 방식을 채택하였다. 또한 사용자가

답습하게 될 캐빈은 한국인 20대 청년 인체분절의 관성 특성에 관한 연구 결과^[4]의 데이터를 참조하여 설계하였다. 운동 제어용 프로그램을 설계하기 위해 1차적으로 LabVIEW를 이용하여 평가하였으며, 최종적으로 C 언어로 프로그램을 완성하였다.

감성평가 및 측정

답습자의 감성수치를 정량적으로 측정하기 위해 시뮬레이터 탑승자의 감성을 측정하였다. 실험은 동일한 롤러코스터 주행구간을 위시아웃 필터를 적용한 조건(Washout)과 적용하지 않은 조건(Dynamic)의 2가지 조건으로 실시하였고, 동일한 피험자가 2가지 조건에 대하여 주행하도록 하되 제시순서는 랜덤하게 하여 순서효과가 없도록 하였다. 측정작업을 위한 일차적 작업으로 롤러코스터에 대한 주관적 평가지를 만들었다. 주관적 평가지 개발은 1차 조사와 2차 조사를 하였다. 1차 조사는 표준과학연구소의 연구원을 대상으로 하였으며 POMS(Profiles or Mood States), STAI(State and Traist Anxiety Inventory), SACL(Stress Arousal Check List)등에 근거를 두어 개발하였다. 2차 조사는 20대 초반의 현재 대학에 재학중인 학생을 대상으로 하였다. 2차 조사에서 1차 조사시 평균 0.5점 이하 혹은 70%이상이 0점으로 평가한 항목을 제외하는 방법을 사용하였다. 최종적으로 1차, 2차 조사 결과에 의한 30 항목 내외의 주관적평가지를 개발하였다.

주관적 평가지를 개발하기 위한 이차적 작업으로 롤러코스터 시뮬레이터의 위시아웃 알고리즘에 대한 시스템 평가지를 개발하였다. 시스템 평가지의 평가 분야는 시뮬레이터 탑승자에 대

한 시각장치의 운동판의 영향, 검사조종법의 영향, 훈련주파수의 영향, 시각장치의 효과능으로 구분하였다. 운동판이 구동됨으로써 인해서 탑승자가 느끼는 영향은 아직은 훈련의 대상으로 남아있다. 운동판의 구동이 제외된 항공기 시뮬레이터를 평가하는 조종사들은 극심 비행 기동 중에 시뮬레이터 멀미를 겪었으므로 운동판의 구동으로 시뮬레이터 멀미를 현저히 감소시킬 수 있었다는 보고[8]에서 운동판 사용의 효과에 대한 답을 찾을 수 있다. 이러한 보고에 근거해 시스템 평가자의 평가행위를 정하였으며, 개별된 시스템 평가자와 주관적 평가자로 질문내용을 실시하였다.

감정평가의 결과는 다음과 같다.

(1) Simulator Sickness

윌리코스티 시뮬레이터에 대한 Simulator Sickness의 평가는 Kennedy & Fowlkes의 Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)[9]를 참조하였다. 16문항으로 구성된 simulator sickness 주관적 평가지를 이용하여 Washout 및 Dynamic 조건에서 수행 전과 수행 후에 피험자가 직접 기록하도록 하여 조치하였다. Simulator Sickness는 항목별로 메스꺼움, 안구운동불편, 방향감각상실로 분류되고 이 세 항목점수의 Total Sickness로 평가할 수 있다.

본 실험에서 주관적 Simulator Sickness는 Washout 조건에서는 수행 전후 메스꺼움, 안구운동불편, Total Sickness의 차이가 거의 없었으나, Dynamic 조건에서는 메스꺼움, 방향감각상실, Total Sickness가 수행 후에

1. 만족스러운 기분이다
2. 발랄하다
3. 활력이 가득하다
4. 걱정거리가 없고 기분이 좋다
5. 경쾌하다
6. 기분이 좋다
7. 활기차다
8. 즐겁고 유쾌하다
9. 외유이 있다
10. 적극적인 기분이다
11. 쾌활한 기분이다
12. 자신있다
13. 용기왕성하다
14. 자랄 데하는 것이 즐겁다
15. 활력이 넘친다
16. 짜릿한 느낌이다
17. 수난다
18. 다른 사람에게 권하고 싶다
19. 돈 하고 싶다
20. 재미있다
21. 스릴있다
22. 스트레스가 해소되는 것 같다
23. 걱정거리가 없어졌다
24. 행복하다
25. 이쁘다
26. 정신이 번쩍는다
27. 자부된다
28. 날아갈 듯한 기분이다
29. 가슴이 두근거린다
30. 소리지르고 싶다

표 1. 주관적 평가행목

수행전에 비하여 다소 높게 나타났다.

주관적 측정결과, 윌리코스티 관련 감성 어휘에 대한 전체 총 점수는 Washout 절차를 적용하지 않은 조건(Dynamic)이 Washout 절차를 적용한 조건(Washout) 보다 수행 후 높은 점수를 나타내어, 특히 자극 및 헤탈감

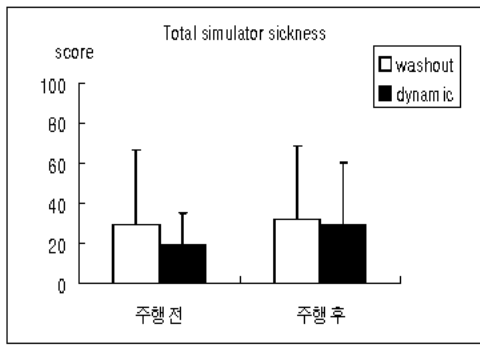


그림 5 Simulator Sickness

요인은 Dynamic 조건에서 주행 전에 비해 주행 후 유의하게 증가하였다. 또한 Dynamic 조건에서 각성감, 속도감, 흥미도가 주행 후 유의하게 증가하였고, 특히 주행후 Dynamic 조건이 주행 후 Washout 조건에 비하여 각성감, 속도감, 실제감이 유의하게 증가하는 것으로 나타났다.

(2) 생리신호 측정

생리적 측정결과, Dynamic 조건의 경우, 우뇌의 알파파 대역 평균주파수가 주행후 유의하게 증가하였고, 좌뇌의 경사도가 주행후 Washout 조건에 비하여 유의하게 감소하였으며, 벡터모델에 plot 해 본 결과 시뮬레이터 주행후의 뇌파반응이 대체로 Washout 조건에서는 쾌한 쪽으로, Dynamic 조건에서는 불쾌하면서 긴장된 쪽으로 나타났다.

그 외의 생리신호를 측정된 결과 심전도는 Washout 조건에서 교감신경의 증가가 Dynamic 조건에서 부교감신경의 증가가 확인되나 둘의 유의차는 인정되지 않았다. 피부전기지향 측정에서도 Dynamic 조건에서 증가함을 볼 수 있으나 유의차는 인정되지 않았다. 피부온도 조건의 경우에 긴장시 피부온

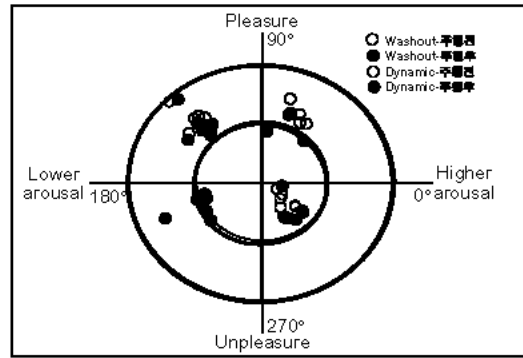


그림 6. 기본감정 벡터모델에 따른 결과

도의 하강이 정상이나 본 실험에서는 시뮬레이터 시현장치의 원인으로 인하여 두 조건 모두에서 온도 상승이 일어났다. 호흡은 두 조건의 중행중 모두 증가하나 주행 후 빠른 회복이 측정되었다.

3. 결론 및 향후과제

본 연구의 목표는 지금까지 개발되어 온 게임기들이 단지 일부 게임 개발자나 일부 전문 게이머들의 경험에 의해 제작되어 지는 현실에서 탈피하여 게임에 직접 참여하는 게이머의 감성을 정량적으로 측정하여 이후 개발되어지는 제품에 응용할 수 있도록 하는 것이다.

감성평가를 실시키 위한 게임기를 만들기 위해 콜리코스티의 운동을 해석하였으며, 실시간 스케줄리와 II/W 입출력 및 통신 드라이버에 대한 개발을 수행하였고, 사용자가 직접 트랙을 설계할 수 있는 저작도구와 영상기반 렌더링 모듈을 개발하였다. 모션 구동 부분은 일반적으로 사용되고 있는 스튜디오 방식이 아닌 콜리코스티의 운동 묘사를 고려한 짐볼 타입으로 설계하여 운동재현 충실도를 높일 수 있게 하였다.

현재 시뮬레이터의 탑승자의 감성수치를 정량적으로 측정하기 위해 실험조사 후 생리신호를 측정하였다. 이상의 결과로부터, Washout 절차를 적용한 조건은 주관평가 점수는 낮지만, 수평후에 피로와 관련이 있는 지점의 감사도가 높고, 배타 기도가 제한 쪽으로 분포하며, 교감신경활동은 감소하고 부교감신경활동은 증가한 것으로 나타났다. 측정된 생리 신호들은 게임 시뮬레이터 탑승자의 상태를 개관화 할 수 있고, 이러한 연구를 통해 정량적으로 측정된 탑승자의 감성수치들은 새로이 개발되어지는 제품에 자료로 응용되어질 수 있고 차후 이러한 제품 개발에 사용되어질 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 G7과 세종 감성공학기반기술개발사업의 일환으로 KISTEP의 지원에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 김진중(2001), "농직환경 제시 및 측정시스템 개발", 제4차 감성공학기반기술 개발 Workshop 자료집, 한국표준과학연구원, 199-207

[2] 권용민, "가상현실 공간에서의 운동 감성인자란 고려한 운동 제한에 관한 연구", 한국감성과학회 2001년 춘계 학술대회.

[3] 이영신 외 "한국인 20대 청년 인체 문질의 관심 특성에 관한 연구", 대한기체학회, vol. 18, no. 7, 1991.

[4] Robert J. Telban, Frank M. Cadullo and Jacob A. Houck, "Developments in Human Centered Cueing Algorithms for Control of Flight Simulator Motion Systems",

AIAA-99-4328,1999

[5] J.B. Sinaori, "A Patical Approach to Motion Simulation" AIAA Paper No.73-931,OCT,1973

[6] Bowles R.L., Parrish R.V., Dieuconne J.E., "Coordinated adaptive washout for motion simulators", Journal of Aircraft, vol. vol 12, no.1, 1975

[7] Stanley F. Schmidt, Bjorn Conrad, "Motion drive signals for piloted flight simulators", NASA Contractor report ,NASA CR 1601

[8] McCauley, M. E. "Research Issues in Simulator Sickness : Proceedings of a Workshop" National Academy of Science/National Research Council, Committee on Human Factors, Washington, D.C 1984

[9] Fowlkes, J.E, Kennedy, R.S "Biomedical evaluation and systems-engineering for simulators(BESS)", Proceedings of the International Training Equipment Conference and Exhibition(ITEC), Birmingham, UK, 1990