

Gimbal형 롤러코스터 모션 시뮬레이터 설계에의 감성공학 적용

오중석^{^*}, 안재준^{*}, 윤석준^{**}, 신영기^{**}
*세종대학교 대학원 항공우주공학과
^{**}세종대학교 공과대학 기계항공우주공학부

Application of Human-sensibility Ergonomics to the Design of Gimbal-Type Roller-Coaster Motion Simulator

Jung-seok Oh^{^*}, Jae-Joon Ahn^{*}, Sug-joon Yoon^{**}, Young-gi Shin^{**},
*Dept. of Aerospace Eng. Sejong University
^{**}School of Mechanical & Aerospace Eng. Sejong University

요 약

현재 대부분의 시뮬레이터는 6개의 축으로 대상체의 운동자유도를 모사하는 모션 시스템을 사용하고 있다. 본 연구개발에서 개발되어지고 있는 시뮬레이터는 일반적인 Stewart 형식이 아닌 운동 대상체의 운동자유도를 짐발(Gimbal)형으로 재현하고자 하였다. 이를 위해 실시간 스케줄러와 H/W 입출력 및 통신 드라이버에 대한 개발을 수행하였고, 시뮬레이션에 적합한 정확도와 실시간성을 유지하도록 롤러코스터 상에서 이루어지는 차량운동을 모델링 하였다. 또한 인간감성의 적용을 고려한 짐발형 모션 시스템의 운동 재현을 위해 워시아웃(Washout) 알고리즘을 개발하였다. 특히, 짐발형 모션 시스템은 그 연구 사례를 찾기 힘든 것으로 운동 모사성의 객관적 검증과 탑승자에 대한 시뮬레이터의 영향을 평가하기 위해 감성평가를 실시하였다. 감성평가를 위해 평가지에 의한 주관적 평가 방법과 탑승자의 생리신호를 측정하는 객관적 평가방법을 사용하였다.

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

1. 서론

현재 게임시장에 출시되어 있는 대부분의

게임기들은 사용자의 감성적 특성을 객관적으

로 반영하고 있지 못하다. 대부분의 게임기들은 게임 개발자들의 주관적 경험에 의해 게임 사용자들이 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 시뮬레이션하는 것이다. 여기에 동적 환경제시 및 측정시스템 기술개발^[11]을 통하여 개발된 감성공학 DB와 제시기술을 적용함으로써 게임의 흥미를 극대화하고자 한다. 이를 위해 롤러코스터의 동운동을 엄밀하게 모델링 하였으며 모션시스템을 탑승자의 감성에 맞게 구동시키기 위한 위시아웃 알고리즘을 개발하였다. 또한 객관적인 감성요소를 평가하기 위해 시뮬레이터 평가 표본집단을 대상으로 주관적 설문 및 객관적 생리신호를 측정하고자 하였다.

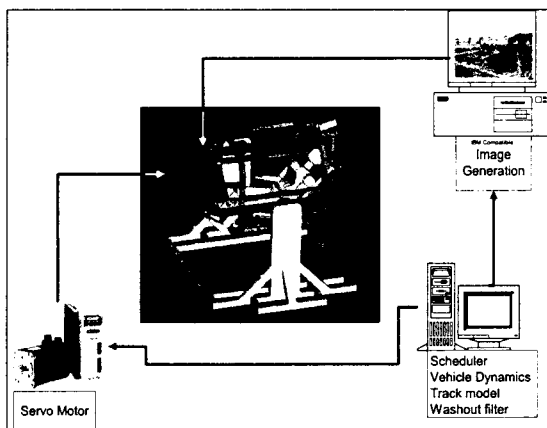


그림 1 롤러코스터 시제품 개념도

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 동역학 원리를 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 모델링하였다. 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 모델링하였다. 이러한 방법의 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 병진 운동 가속도는 다시 절대 좌표계로 변환한 후 수치적분을 거쳐 병진 운동 속도와 위치를 산출하게 된다. 이렇게 모델링 되어 나온 결과 값들은 매 시간마다의 차량의 절대 위치값과 기구학적으로 처리된 자세 정보들로 비주얼 및 모션 플랫폼으로 전송하게 된다. 동운동 모델링 S/W는 검증된 Simulink 모듈을 S function으로 변환한후 최종 C 언어로 작성하

였다.

위시아웃 필터 설계

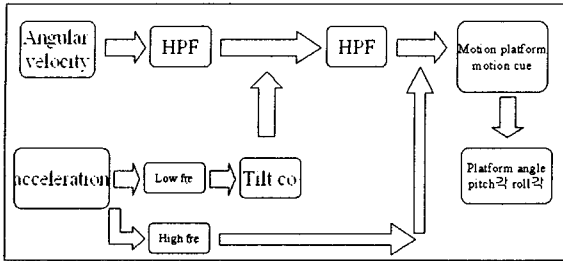


그림 2 위시아웃 알고리즘

위시아웃 필터(Washout filter)를 설계하기 전에 우선 운동방정식에 대한 해석과 그 알고리즘에 대한 연구를 선행하였다[4].

위시아웃 알고리즘의 경우는 시뮬레이터 탑승자에게 현장감 있는 운동감을 제공하기 위해 인간감성공학에 기반을 둔 여러 종류의 위시아웃 알고리즘들이 개발되어 왔다[5][6]. 본 연구 개발에서는 다른 알고리즘에 비해 적은 설계인자를 필요로 하는 고전적(Classical) 위시아웃 알고리즘을 적용하였다[7].

운동시스템의 설계에 기본이 될 위시아웃 회로의 물리적인 개념은[2] 다음과 같다.

- 1)인체는 외부운동에 대해 가속도와 각속도의 차원으로 운동성을 인지하며, 인지영역은 병진운동과 회전운동이 다르다.
- 2)운동시스템의 운동 재현은 운동시스템의 구조적인 한계 때문에 적절한 조종이 필요하다. 따라서 병진운동의 저주파운동을 경사조종방법을 이용하여 과생가속도로 전환한다.
- 3)병진운동의 저주파운동을 재현하기 위한 경사조종방법은 회전운동을 야기시키므로 이 회전운동을 인지하지 못하는 영역에서

만 경사조종방법을 사용하게 된다. 이는 필터의 전단주파수의 적절한 범위를 설정하는 기본이 된다.

- 4)회전운동의 위시아웃 회로용 필터는 회전각속도에 대한 운동판의 경사각 유지를 위한 필터로 사용한다.

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

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

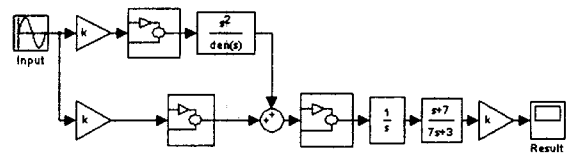


그림 3. Simulink를 이용한 위시아웃 필터의 예

이와 같은 전제를 바탕으로 롤러코스터 트랙의 전 부분에서 위시아웃 기법을 적용하는 것이 아닌 일부분 즉, 급작낙하 부분과 루프(loop)등의 느낌 재현 부분등에서 그 기법을 적용한다. 트랙의 전 부분에서 위시아웃 기법

을 적용하지 않는 이유는 게임기가 갖는 특성 상 게이머들에게 좀더 흥미로운 게임의 느낌을 전달하기 위함이며, 워시아웃 기법을 적용했을 때 롤러코스터 느낌의 반감을 줄이기 위해서이다. 개발한 롤러코스터 시뮬레이터는 모델링에 의해 산출된 차량의 위치에 따라 우선적으로 운동시스템이 반응하게 되고 360도 회전하는 루프(loop)의 경우에 워시아웃 기법이 적용되는 방식을 사용하였다.

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

그림 4와 같은 궤적의 트랙을 시뮬레이션 하였을때 시간의 변화에 따른 각각의 각속도(그림 5)와 가속도(그림 6)값들을 추출할 수 있다.

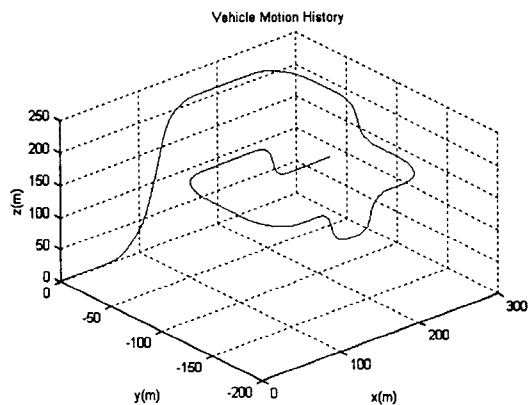


그림 4. 트랙의 궤적

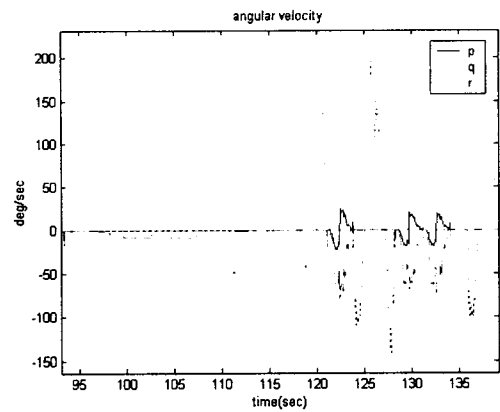


그림 5. 시뮬레이션된 각속도

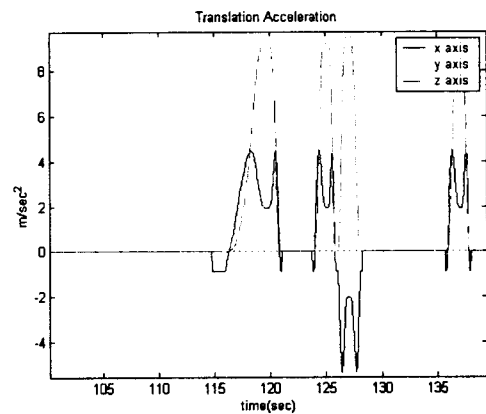


그림 6. 시뮬레이션된 가속도

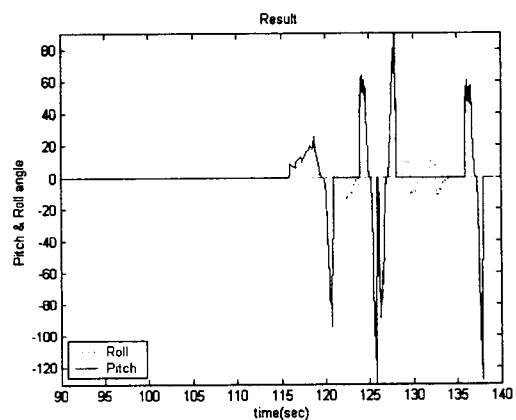


그림 7. 워시아웃 결과치

이러한 입력값으로 워시아웃 과정을 수행하였을 때 그림 7과 같은 결과를 얻게 되었다. 워시아웃 필터는 일차적으로 Matlab Simulink

를 이용하여 설계하였고 검증한 후 C 언어로 최종 프로그램을 완성하였다.

운동의자와 모션제어기 설계 및 제작

운동의자를 설계하기 위해 다음과 같은 전제를 하였다.

- 1)일반 게임 아케이드 또는 쇼핑몰에 대량 보급이 가능한 저가형의 소형 의자를 사용한다.
- 2)롤러코스터 시나리오와 일치하는 운동감 구현을 위한 운동 메카니즘을 가지고 몰입감 향상을 위해 밀폐형 캐빈이어야 한다.
- 3)운반 및 설치의 용의성을 위해 조립식이어야 한다.
- 4)비주얼 효과를 극대화 할 수 있게 밀폐형 캐빈에 큰 화면을 수용할 수 있어야 한다.

이와 같은 전제를 바탕으로 짐볼 타입의 운동시스템을 설계하였으며, 운동부인 캐빈을 롤러코스터 시나리오대로 구동하기 위해 중량 350kg 정도의 하중을 충분한 가감속도로 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 탑승하게 될 캐빈은 한국인 20대 청년 인체분절의 관성 특성에 관한 연구 결과^[3]의 데이터를 참조하여 설계하였다. 운동 제어용 프로그램을 설계하기 위해 1차적으로 LabVIEW를 이용하여 평가하였으며, 최종적으로 C 언어로 프로그램을 완성하였다.

감성평가 및 측정

게이머의 감성수치를 정량적으로 측정하기 위해 시뮬레이터 탑승자의 감성을 측정하고자 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 Trait Anxiety Inventory), SACL(Stress Arousal Check List)등에 근거를 두어 개발하였다. 2차 조사는 20대 초반의 현재 대학에 재학중인 학생을 대상으로 하였다. 2차 조사에서 1차 조사 시 평균 0.5점 이하 혹은 70%이상이 0점으로 평가한 항목을 제외하는 방법을 사용하였다. 최종적으로 1차, 2차 조사결과에 의한 30 항목 내외의 주관적평가지를 개발하였다.

주관적 평가지를 개발하기 위한 이차적 작업으로 롤러코스터 시뮬레이터의 워시아웃 알고리즘에 대한 평가지를 개발하였다. 이차 평가지의 평가 분야는 시뮬레이터 탑승자에 대한 시각장치와 운동판의 영향, 경사조종법의 영향, 전단주파수의 영향, 시각장치의 효과등 크게 4분야로 구분하였다.

운동판이 구동됨으로 인해서 탑승자가 느끼는 영향은 아직도 논란의 대상으로 남아있다. 운동판의 구동이 제외된 항공기 시뮬레이터를 평가하는 조종자들은 특정 비행 기동중에 시뮬레이터 멀미를 일으켰으나 운동판의 구동으로 시뮬레이터 멀미를 현저히 감소시킬 수 있었다는 보고^[9]에서 운동판 사용의 효과에 대한 답을 찾을 수 있다. 이러한 보고에 근거해 이차적 평가지의 평가분야를 구분하였다.

이차적 평가지와 일차적 평가지로 설문측정을 실시하였다.

설문항목의 예

다음은 1차 조사에 근거하여 만든 평가지와 이차적 작업의 워시아웃 알고리즘에 대한 영향 평가에서 발췌한 예이다.

(POMS)

1. 사람 대하는 것이 즐겁다
2. 쾌활한 기분이다
3. 생각이 정리되지 않는다
4. 머리가 산뜻하다
5. 피곤하다

(STAI)

47. 안심하고 있다
48. 사소한 일에 끄끙댄다
49. 마음이 편하다
50. 마음이 산란하다
51. 나쁜 일이 일어나지 않을까 걱정된다

(SACL)

62. 졸린다
63. 기분이 불안정하다
64. 침착, 냉정하다
65. 멍하다
66. 경쾌하다

(Simulator Sickness)

71. 심신이 불편하다
72. 머리가 아프다
73. 눈이 피로하다
74. 눈의 초점을 맞추기가 어렵다
75. 침 분비가 많다

(워시아웃 알고리즘에 대한 평가)

1. 실제 롤러코스터 탑승경험이 있다.
2. 화면과 운동판이 함께 움직일 때 서로 조화가 잘 되는 것 같다.

3. A타입을 탑승했을 때 실제 롤러코스터와 느낌이 비슷했다.
4. B타입을 탑승했을 때 실제 롤러코스터와 느낌이 비슷했다.
5. 운동판이 움직일 때 롤러코스터의 움직임과는 다른 움직임을 느꼈다.
6. 운동판의 움직이는 속도가 빠른 느낌이었다.
7. 운동판의 움직이는 속도가 느린 느낌이었다.
8. 운동판이 움직일 때 다른 움직임을 느꼈다면 그 정도는 얼마인가?
9. 시현되는 화면의 구성이 실제 롤러코스터와 느낌이 비슷하다.
10. 시뮬레이터의 움직임이 자신이 생각한 실제 롤러코스터의 움직임과 유사하다.

3. 결론 및 향후과제

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

측정 시스템을 만들기 위한 게임기를 만들기 위해 롤러코스터의 운동을 해석하였으며, 실시간 스케줄러와 H/W 입출력 및 통신 드라이버에 대한 개발을 수행하였고, 사용자가 직접 트랙을 설계할 수 있는 저작도와 영상기반 렌더링 모듈을 개발하였다. 모션 구동 부분은 일반적으로 사용되고 있는 스텐더트 방식이 아닌 롤러코스터의 운동묘사를 고려한 짐볼 타입으로 설계하여 운동재현 충실도를 높일 수 있게 하였다.

현재 시뮬레이터의 운동 묘사성을 개선하고 있는 중이며 탑승자의 감성수치를 정량적으로 측정하기 위해 설문조사 후 생리신호를 측정

하는 연구가 수행중이다. 측정된 생리 신호들은 게임 시뮬레이터 탑승자의 상태를 객관화할 수 있고, 이러한 연구를 통해 정량적으로 측정되는 탑승자의 감성수치들은 새로이 개발되어지는 제품에 자료로 응용되어질 수 있고 차후 이러한 제품 개발에 사용되어질 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 G7과제중 감성공학기반기술개발사업의 일환으로 KISTEP의 지원에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 김철중(2001), "동적환경 제시 및 측정시스템 개발", 제4차 감성공학기반기술 개발 Workshop 자료집, 한국표준과학연구원, 199-207
- [2] 전용민, "가상현실 공간에서의 운동 감성인자를 고려한 운동재현에 관한 연구", 한국감성과학회 2001년 춘계학술대회.
- [3] 이영신 외 "한국인 20대 청년 인체분절의 관성 특성에 관한 연구", 대한기계학회, vol 18, no. 7, 1994.
- [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.Sinacori, "A Patical Approach to Motion Simulation" AIAA Paper No.73-931,OCT.1973
- [6] Bowles R.L. Parrish R.V., Dieudonne 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