

운동 물체의 제어기 설계를 위한 3축 가변 원판형 모션테이블 제작

유정봉^{1*}, 왕헌민²

Making for Circular Motion Table for Controller Design of Movement of Object

Jeong-Bong You^{1*} and Hyun-Min Wang^{2*}

요 약 본 논문은 운동 물체에 대한 시뮬레이션 할 수 있는 원판형 모션테이블 제작과 제어 실험 시스템을 제시하였다. 원판형 모션테이블은 3개의 길이가 변하는 축과 중심점을 유지하는 축으로 이루어져 있으며, 원판의 자세 변화에 따른 중심점은 중심축 상에 항상 놓이도록 설계 되어 있다. 제어 시스템은 원판형 모션테이블의 서보모터 3개를 제어함으로써 원판의 자세를 바꿀 수 있도록 설계 되었다. 또한 본 원판형 모션테이블을 이용한 비행제어 시뮬레이션을 예로 제시하였다. 이러한 소형 모션테이블의 보급과 이를 이용한 실험 교육은 우리나라의 항공우주, 로봇분야의 인력양성에 기여할 것이다.

Abstract In this paper, a circular motion table which is able to simulate movement of object is designed and the experiment of control system using circular motion table is presented. Circular motion table is consisted of three axes changed on length and of ball splines which keep vertical centre axis of circular plate. Variable length of three axes make circular plate incline as vertical centre axis is kept on vertical center axis of circular motion table. It is designed that control system drives three servo motor, that is, make change length of axis simultaneously or independently. And this paper presents example of flight simulation using circular motion table. It will contribute toward nurture expert manpower of aerospace/robotics to popularize circular motion table and make an experiment using it.

Key Words : circular motion table(CMT), movement of object, simulation, three axes, aerospace, robotics

1. 서 론

21세기를 이끌어갈 기술 중 특히 우주개발기술에 열정을 보이는 것은 인간의 한정된 영역인 지구에서 벗어나 새로운 영역을 개척함으로써 한 국가의 미래뿐 아니라 전 인류에게 희망과 미래를 보장해 줄 수 있기 때문이다. 우리나라는 선진 우주개발국들보다 40년가량 늦은 1990년을 전후로 본격적으로 우주개발 사업을 시작하였으며, 약 15년이 지난 지금 우리나라의 우주개발 기술 수준은 국내 주도개발에서 기술자립화 단계로 나아가는 등 비약적인 성과를 이루어 나가고 있다[1].

우주개발능력은 국방력, 경제력, 과학 기술력과 함께

한 나라의 총체적 국력을 상징하는 척도로 인식되고 있다. 그 이유는 지상에서 확보할 수 있는 좁은 시야로는 국가 방위에 한계가 있고, 우주개발산업은 장기간에 걸친 막대한 예산을 필요로 하여 그 나라의 경제력 없이는 개발에 적극 나설 수 없을 뿐 아니라 우주기술이 특정 기술의 한 분야가 아니라 초정밀 가공/조립기술 고품질 전자 부품기술, 극한기술, 진공기술 등이 종합적으로 결합된 첨단기술이기 때문이다[2].

최근 들어서는 우주기술 개발을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 미래의 우주개발 기술에서 핵심적인 역할을 하기 위해서는 정부의 확고한 우주개발 정책과 기업의 참여, 우수한 개발인력과 예산이 뒷받침되어야

¹공주대학교 전기전자제어공학부

²단국대학교 전자공학과

*교신저자: 유정봉(jbyou@kongju.ac.kr)

접수일 08년 2월 29일

수정일 08년 7월 10일

게재확정일 08년 8월 11일

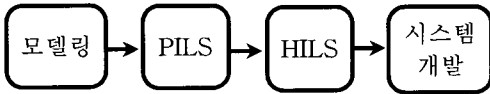
할 것이다. 이러한 우주기술 개발 인력의 양성에 있어 우리나라의 항공우주관련 교육장비는 걸음마 단계이며 체계적으로 이루어지지 않았다.

본 논문에서 제시하는 원판형 모션테이블은 기존의 대형 고가의 모션테이블을 대체하여 교육장비로의 3축의 길이를 변화시켜 소형화시킨 모션테이블이다. 또한 원판형 모션테이블을 이용한 비행제어 시뮬레이션을 할 수 있도록 예로 제시하였다.

2. 원판형 모션테이블

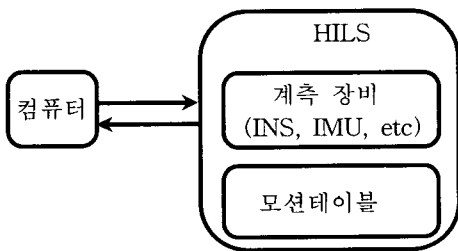
2.1 모션테이블 개요 및 기존 모션테이블

모션테이블이라 함은 시스템 개발에 있어 PILS (Program In Loop Simulation) 단계를 마치고 HILS (Hardware In Loop Simulation) 단계에서 계측 장비, 센서와 더불어 사용하는 장비이다.



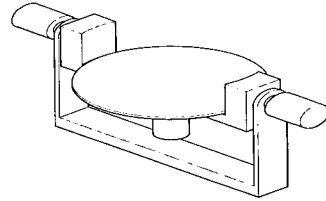
[그림 1] 시스템 개발 단계

HILS (Hardware In Loop Simulation) 단계에서 제어기의 동작 특성 검증과 및 최적 파라미터를 위해 각종 센서를 장착하여 신호를 피드백 받아 사용한다.



[그림 2] 루프 시뮬레이션 하드웨어

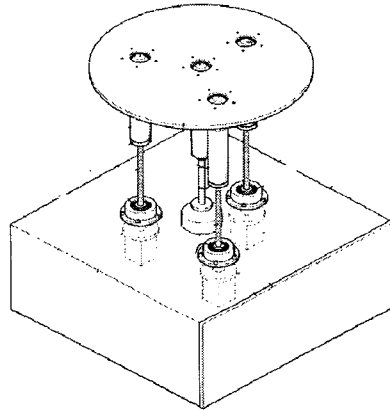
기존의 모션테이블은 이러한 비행체 및 움직이는 물체에 대한 HILS를 위한 장비로서 고가이며, 전용 모션테이블 운영실이 필요할 만큼 부피(예: 130 x 70 x 150 cm)가 크다. 그림 3에는 아이디어 에어로 스미스사의 대표적인 2축 모션테이블을 안내었다[2].



[그림 3] 기존 모션 테이블 예

2.2 원판형 모션테이블 전체 구조

기존의 모션테이블과 비교해 부피와 가격을 고려해 교육 장비로서의 소형 원판형 모션테이블은 다음과 같은 구조를 가지고 있다.

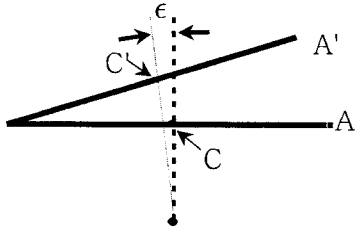


[그림 4] 원판형 모션테이블 입체도

계측 장비, INS, IMU 센서 또는 운동 물체를 올려놓을 수 있는 원판이 있으며, 이 원판을 3개의 가변 축과 중심 축을 잡아 주는 축으로 이루어 졌다. 3개의 가변 축은 서보모터에 의해 원운동이 직선운동으로 변환되어 길이가 변하도록 되어 있고, 상하 중심 축을 잡아주도록 중간에 볼-스플라인이 지지하고 있다. 볼-스플라인은 외부 힘에 의해 상하운동만을 하도록 되어 있고 서보모터는 장착되어 있지 않다.

2.3 동작메카니즘 및 특성[3]

원판의 3지점에 길이가 변하는 축에 연결되어 있고 중심에는 상하 중심축을 유지하는 지지대로 이루어진 원판형 모션테이블은 움직이는 물체(비행기, 배, 로봇, 기타 등)의 움직임을 표현하기 위해 원판이 기울어짐에 따른 축간 길이 변화에 대해 능동적으로 대처하도록 설계 되어 있다.



[그림 5] 기울어짐에 따른 지지점 이동

그림 5에서 기울어짐에 따른 중심점과의 길이변화에 대해 다음과 같이 표현한다.

$$\Delta l = C' - C \quad (1)$$

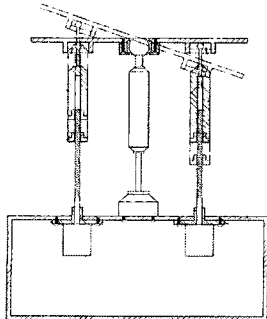
$$\epsilon = f(\Delta l) \quad (2)$$

평면에 놓인 원판(A)이 그림 5와 같이 A'로 기울어 젤 있을 때 중심점은 C에서 C'로 이동하게 된다. 이때 가로 축에서 중심점은 좌측으로 이동함을 알 수 있다. 따라서 원판의 3지점을 길이가 변하는 축으로 결합하고 원판의 중심축을 상하로 유지하기 위하여 이와 같은 문제를 해결하기 위해 이동하는 지지점의 보정이 필요하다.

첫 번째 길이 보정 방법으로 원판과 길이가 변하는 축이 결합하는 부분을 미끄러짐 레일로 처리하는 방법이 있다. 그림 6에 나타내었다. 이 방법은 서보모터가 원판형 모션테이블 몸체에 고정되어 있고 중심축을 유지하는 볼 스플라인도 몸체에 고정되어 있다. 원판과 볼 스플라인 연결은 볼 베어링으로 되어 있어 원판의 기울어지도록 되어 있다.

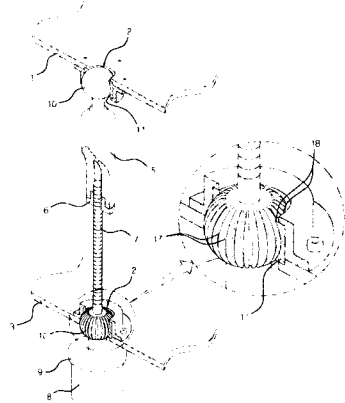
또한 서보 모터 축과 길이가 변하는 축, 즉 볼 스크류 축은 두 개의 고리로 이루어진 커플링으로 이루어져 길이가 변하는 축의 기울어짐에도 서보모터의 회전이 전달 되도록 되어 있다.

두 번째 길이 보정 방법으로는 첫 번째 보정 방법보다 복잡하다. 그림 7과 그림 8에 나타내었다.



[그림 6] 기울기에 따른 축간 길이 보정(1)

첫 번째 레일 방법과 달리 원판과 길이가 변하는 축은 원판과 볼스플라인과 같은 결합방법인 볼 베어링으로 결합되어 있다. 그림 7과 그림 8의 10,11이 나타낸다. 또한 원판의 기울어짐에 따른



[그림 7] 길이 변동 축의 결합 방법

[표 1] 각 부분 명칭

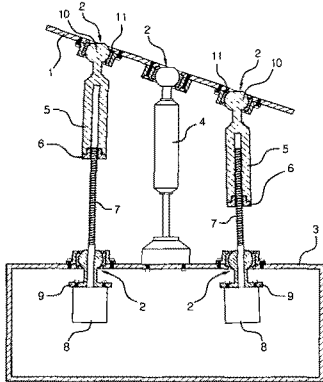
도면의 주요 부분에 대한 명칭	
1 : 모션 테이블	알루미늄(판재)
2 : 볼 조인트	베어링
3 : 지지대	알루미늄(판재)
4 : 중심축	볼 스플라인 (BESK NO.16 L400)
5 : 지지관	알루미늄(흰봉)
6 : 나사부	고정 나사
7 : 볼 스크류	볼 스크류(BSSR1505)
8,8',8" : 서보 모터	서보모터
9 : 케이싱	알루미늄(판재)
10 : 볼	베어링
11 : 볼 커플링	조인트 볼

지지점 이동에 능동적으로 적응하기 위해 서보모터는 몸체에 고정되지 않고 길이가 변하는 축과 볼 조인트를 통해 결합되어 있다. 그림 7의 10,17,18에 나타내었다.

또한 서보 모터 축과 길이가 변하는 축, 즉 볼 스크류 축은 두 개의 고리로 이루어진 커플링으로 이루어져 길이가 변하는 축의 기울어짐에도 서보모터의 회전이 전달 되도록 되어 있다.

그림 5와 같은 문제를 해결하기 위해 길이가 변하는 축은 원판이 기울어짐에 따라 상하 중심점을 유지하며 능동적으로 기울어지게 되어 있다. 그림 8에 원판 기울

어짐에 따른 지지 축의 기울어짐을 나타내었다[3].



[그림 8] 기울기에 따른 축간 길이 보정(2)

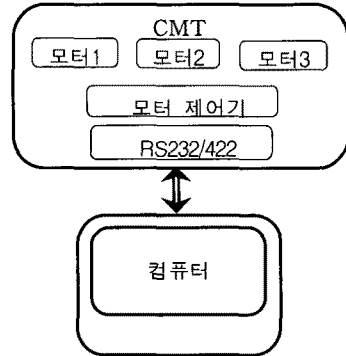
[표 2] 원판형 모션테이블 성능표

원판형 모션테이블 성능	
위치 정확도 [arc-sec(deg)]	2
표현 분해능 [deg]	2
최대 반응 속도 [deg/sec]	50
최소 반응 속도 [deg/sec]	1
넓이 [mm]	500
폭 [mm]	500
높이 [mm]	Max 966 Min 747
제어기 통신 인터페이스	표준 RS232

3. 원판형 모션 테이블 제어 시스템

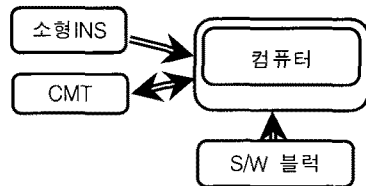
제작된 원판형 모션테이블의 제어를 위한 시스템은 다음과 같이 구성되어 있다. 원판형 모션테이블 몸체 속에 내장된 서보모터 3개와 모터 제어기, 통신 인터페이스로 이루어져 있다. 그림 9는 제어시스템 블록도를 나타낸다. 컴퓨터에서 자세값이 계산되고, 이 계산된 값은 각각의 모터1,2,3에 전달된다. 모터1, 모터2, 모터3의 회전운동은 볼스크류의 직선길이 증감을 변화시킨다. 이러한 볼스크류에 변화량에 의해 각축의 길이가 결정된다. 각축의 길이에 의해 모션테이블의 원판의 기울기가 결정된다.

또한 HILS 시스템 구축을 위한 예로 그림 10에 나타내었다. 센서로 소형 INS, 원판형 모션테이블(CMT), 컴퓨터, 운영 프로그램으로 이루어진다.

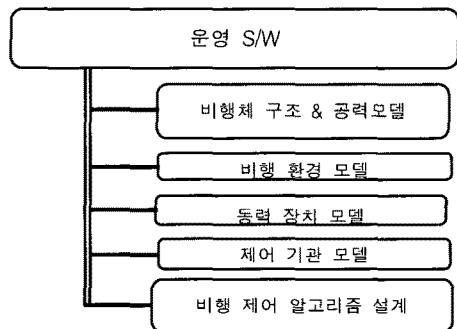


[그림 9] 제어 시스템 블록도

그림 10에서는 원판형 모션테이블을 이용한 모션 시뮬레이션(HILS) 블록도를 나타낸다. 원판형 모션테이블 위에 소형 관성 항법시스템(INS)이 설치되고 원판의 기울기 값을 컴퓨터로 피드백(feedback)된다. 컴퓨터는 피드백되는 신호와 S/W블럭에서 자세 제어값을 계산하여 모션테이블(CMT)로 보내어 실제 동작 자세를 갖도록 한다. 여기서 HILS 실험을 위한 S/W블럭은 비행기, 선박, 로봇등을 모델링한 제어기 개발 소프트웨어가 될 수 있다.



[그림 10] 원판형 모션테이블 HILS 실험



[그림 11] 운영 소프트웨어 구성도

4. 운영 및 구동

지금까지 살펴본 원판형 모션테이블은 그림 10과 같이 HILS 시스템을 도시하였으며, 이 원판형모션테이블

(CMT)을 이용한 교육환경 또는 개발환경 모델 구축을 그림 11에 제시한다. 그림11에 제시한 운영 S/W는 비행 제어 시스템 개발을 위한 시뮬레이션 소프트웨어 예이다.

비행제어 시뮬레이션을 위해 원판형 모션테이블의 원판 위에는 소형 INS가 놓이게 되고 움직임에 대한 신호가 PC로 전송된다. 자세신호는 컴퓨터에서 비행(움직임) 제어 알고리즘의 파라미터 값으로 계산되어 처리된다.

운영 S/W의 각 제어 알고리즘은 C언어로 작성되어 운용하고 있다.

각각의 블록은 비행체 대상 설정에 따른 파라미터가 설계되어 진다. 이러한 파라미터는 설계자 또는 실험하기 위해 세부 부분설계가 이루어져야 한다. 유도제어 알고리즘 설계를 위해서는 먼저 제어

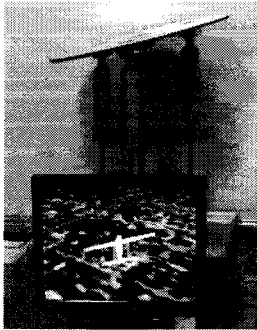
행, 상승, 하강, 회전, 착륙을 모사해 보았다.

5. 결 론

본 논문에서는 움직이는 물체를 상하 중심축을 유지하면서 3개의 축을 가변시켜 시뮬레이션 할 수 있는 소형 원판형 모션테이블을 제작해 보았다.

또한 제작된 원판형 모션테이블의 교육적으로 제어를 개발 할 수 있는 통합 시스템의 예를 제시하였다.

추후 원판형 모션테이블의 정밀도를 향상시켜, 조정밀 자세 제어 실험장비로 개발되어야 하며, 운영 소프트웨어 또한 숙련된 항공우주인력, 로봇제어인력을 양성할 수 있도록 더욱더 업그레이드 하여야할 것이다. 끝으로 우리나라의 항공우주, 로봇 교육분야의 체계적인 발전을 위해 정부차원에서 교육장비 개발에 많은 투자가 이루어져야 할 것으로 판단한다.



[그림 12] 비행 시뮬레이션 운영 예(1)



[그림 13] 비행 시뮬레이션 운영 예(2)

기관이 선택되어 설계되어야 하고, 그 다음 비행제어 알고리즘이 설계자 또는 학생에 의해 설계되어야 하도록 구성되어 있다.

이와 같이 비행체를 대상으로 원판형 모션테이블의 비행제어 실험을 위해 운영을 그림 12, 그림 13에 나타내었다. 그림 12,13의 실험은 실시간으로 이루어 지지 않았으며 데이터 맵핑 방법에 의해 원판형 모션테이블의 동작이 프로그램 되었다. 실험에서는 비행기의 이륙과 비

참고문헌

- [1] <http://www.kari.re.kr/index.asp>
- [2] <http://www.ideal-aerosmith.com/index.asp>
- [3] 왕현민(2006), “제어 대상체 자세 시뮬레이션을 위한 모션 테이블”, 출원번호 10-2006- 0091326 , 2006.
- [4] (주)한국미스미, “MISUMI FA용 메카니컬 표준부품집”, 2006.
- [5] 정완영, 이현창, 권성열, “센서 & 인터페이스”, 성안당 1판, 2005.
- [6] R. H. Barnard, D. R. Philpott, “Aircraft Flight”, 1st Ed., Longman , UK, 1993
- [7] 탁민제, 방효중, 김유단, 홍성경, 김병수, “비행동역학 및 제어”, 경문사, 1판, 2004.
- [8] 한국항공우주학회 편, “항공우주학 개론”, 경문사, 2006.
- [9] 황창순, 이상룡, 박근영, 이춘영, “사용자 적용 인터페이스를 사용한 이동로봇의 원격제어”, 자동제어시스템공학회 논문지, 제13권, 제8호, pp.777-782, 8월 2007.
- [10] 남화성, 송재복, “동적 환경에서 이동로봇의 자율주행을 위한 혼합 심의/반응 제어구조의 구현”, 자동제어시스템공학회 논문지, 제12권, 제2호, pp.154-160, 2월 2006.
- [11] 김종섭, 황병문, 조인제, “비행제어법칙 설계 및 해석 절차에 관한 연구”, 자동제어시스템공학회 논문지, 제11권, 제11호, pp.913-919, 11월 2005.

유 정 봉(Jeong-Bong You)

[종신회원]



- 1988년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학사)
- 1990년 8월 : 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1998년 8월 : 단국대학교 전자공학과(공학박사)
- 1990년 7월 ~ 1993년 3월 : (주) 신도리코
- 1999년 8월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 부교수

<관심분야>

PLC제어, 마이크로프로세서 제어, BLDC 모터제어, 공장 자동화 알고리즘 설계

왕 현 민(Hyun-Min Wang)

[정회원]



- 1996년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : Saint-Peter burg State University of Aerospace Instrumentation, Russia. 제어시스템 전공(공학석사)
- 2005년 2월 : Baltic State Technical Univerisyt, Russia, 제어 시스템 전공 (공학 박사),
- 2006년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 전자공학과 초빙교수

<관심 분야>

비선형 최적 제어, 우주기술응용연구, 동역학 모델링