

유도조종장치의 실시간 성능평가 기법

◦ 김태연 양태수 김영주 이종하

국방과학연구소 충북대학교전기공학과

A Real Time Performance Evaluation Technique of Guidance and Control Systems

Tai Y. Kim Tae S. Yang Young J. Kim Jong H. Ree

Agency for Defense
Development

Dep. of Electrical Eng.
Chungbuk National University

ABSTRACT

In this paper, the Hardware-In-The-Loop Simulation (HILS) of missile systems are studied. The HILS is an effective performance evaluation technique that bridges the simulation fidelity gap between analytic all-digital simulations and actual flight tests of missile systems. The HILS may be required to perform system integration tests, performance evaluation at system or subsystem level. Major elements of this HILS facility will include the flight table, simulation computers, I/O computer and peripheral equipments. HILS of missile systems typically involve computer modeling of flight dynamics coupled with a hardware guidance and control(G/C) systems. This paper describes a real time performance evaluation technique of a G/C system. Development of a HILS for a Autopilot of SAM G/C will be used as an example.

1. 서론

유도무기체계의 유도조종장치는 유도법칙에 따라 목표지점으로 유도(Guidance)하는 유도장치(Guidance System:관성장치,탐색기,레이다포함 사격통제장치등)와 주어진 유도명령으로 비행자세(Flight Motion)를 제어하기 위하여 조종명령을 계산하는 조종장치(Autopilot)및 조종장치의 조종명령에 의하여 조종날개를 제어하는 구동장치등으로 구성된다[4][8].

이와 같은 복잡한 시스템으로 구성된 유도무기체계에 대한 종합 성능 평가 방법으로는 실제로 비행시험을 수행하여야만 확실한 성능평가를 내릴수 있지만 처음으로 설계된 시스템에 대하여는 실제 비행시험을 하는데 많은 위험 부담을 초래하게 되며, 비행시험만으로 유도무기체계의 성능확인을 한다면 많은 경비가 소요된다. 본 논문에서는 비행시험에

서의 위험부담을 적게하고 소요 경비를 최소화하는 방법으로 실험실내에서 가능한 방법으로 비행환경을 구현하여 종합적으로 성능평가를 할 수 있는 모의비행시험(Hardware-In-The-Loop Simulation:HILS) 기법[2][3][7][9]에 대하여 기술하였다. 이 기술을 활용하면 소프트웨어(Software) 및 하드웨어(Hardware) 측면에서 성능확인 뿐만 아니라 소프트웨어와 하드웨어가 결합된 종합적인 성능평가를 할 수가 있다. 본 논문에서 유도조종장치에 대한 실시간 성능평가 기법으로 채택된 모의시험기법을 설명하기 위하여 일반적인 유도무기 체계의 비행궤적 시뮬레이션에 관한 블록선도를 나타내면 그림 1 과 같다. 여기서 이중 블럭으로 된 부분은 HILS 시에 하드웨어로 대체되는 부분이고, 단일 블럭으로 된 부분은 실시간 디지털 컴퓨터나 아날로그 컴퓨터에 의하여 실시간으로 시뮬레이션 하게 된다. 이와같은 방법으로 모의비행시험을 수행하기 위하여는 시뮬레이션 컴퓨터와 개발된 유도조종장치의 전자 모듈과의 통신체계가 실시간으로 이루어져야 하는데 이를 위해서는 별도의 I/O 전담 컴퓨터가 필요하게 되며 여기에는 A/D,D/A,A/A,D/D 가 내장 되어야 한다.

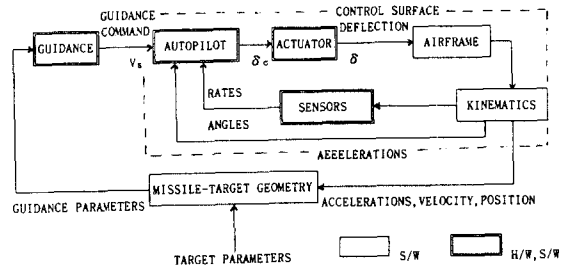


그림 1 Missile Trajectory Simulation Block Diagram

그림 1 의 블록선도에 있는 유도장치(GUIDANCE SYSTEM)에 물체나 지형을 탐지하는 탐색기가 포함되는 여부에 따라 모의시험 시설의 규모가 달라지게 된다. 적외선 탐색기만을 전담해서 시뮬레이션하는 시설을 IRSS(Infrared Simulation

System), 초고주파 탐색기만을 전달하는 시설을 주파수 대역에 따라 RFSS(Radio Frequency Simulation System) 과 MMSF(Millimeter Microwave Simulation Facility)라 하며, 전자광학 탐색기만을 시험하는 시설을 EOSS(Electrooptical Simulation System)라 하여 이들을 독립적으로 건설하여야 한다[2][9]. 이를 위해서는 막대한 예산확보가 선행되어야 하고 각각 독립적인 실험시설에 관하여 설계하거나, 운영하는데는 Target Scene Generation 과 RF/IR/EO Environment Modeling에 포함되는 ECM, Jamming 혹은 Decoy등을 구현하는 첨단 시뮬레이션 기술이 소요된다. 본 논문에서는 유도 조종장치 중에서 탐색기, 항법장치, 사격통제장치 등이 포함된 HILS 기법은 다음연구 과제로 넘기고 여기서는 그림 1에 나타난 점선친 부분에 한하여 적용하였다[2][3].

본 논문에서 서술된 내용은 시험평가방법으로 도입된 HILS에 관한 개념, 목적등을 간략하게 서론에서 설명하였으며, 2장에서는 HILS를 이용한 성능 평가 방법에 관하여 다루었고, 제3장에서는 단거리 유도무기의 유도조종 장치중에서 조종장치(Autopilot) 및 구동장치(Actuating System)에 대한 HILS 적용사례를 제시하였다. 이어 제4장에서는 적용사례에 대한 시뮬레이션 결과에 대한 설명과 시험평가 결과등을 요약하였고 끝으로 결론과 추후 연구방향을 기술하였다.

2. 성능 평가 방법

설계/제작된 유도 무기체계에 대한 성능평가는 실제 비행 시험전에 유도 무기체계 목적에 따라 시스템 설계 사양에 만족하는지 여부를 판단하기 위하여 필수적으로 행해져야 한다.

성능 평가 방법으로는 여러가지 방법이 있으나 실시간 시뮬레이션 컴퓨터와 3축 비행 자세 모의기(3-Axis Flight Motion Simulator : FMS)등의 장비를 이용한 실시간 모의 비행 시험방법이 가장 널리 이용되고 있다.

이러한 HILS는 소프트웨어 시뮬레이션을 통하여 설계/제작된 각 하드웨어를 실제 비행 상황과 유사한 환경하에서 각종 HILS 장비를 이용하여 비파괴적인 방법으로 각 하드웨어의 기능및 성능을 단계적으로 시험하여 체계 요구 성능에 맞게 설계/제작되었는지를 확인하고, 아울러 반복적인 HILS를 수행함으로써 최적화 설계가 가능하도록 하므로써 비행 시험의 불확실성을 사전에 제거하여 개발비용의 절감과 개발시기의 단축등에 그 목적이 있다.

그림 2는 일반적인 유도무기체계에 대한 HILS 구성도이며, HILS 관련 장비는 다음과 같다.

- o AD100 : 실시간 연산용 디지털 컴퓨터로 53비트와 65비트의 부동소수점 방식으로 유도탄의 운동 방정식을 계산하여 얻은 유도탄 정보를 조종장치로 전달하며 유도탄 자세정보를 이용하여 3축 비행 자세 모의기를 구동한다[10].

- o ADRIO : AD100의 실시간 입출력 장비로써 기준전압 10[V], 12비트의 D/A 와 A/D를 갖고 있다[11].
- o 3축비행자세모의기 : AD100에서 계산된 유도탄의 자세 정보를 받아 비행중의 비행체의 피치, 요, 롤 자세를 시뮬레이션 하며, 비행체의 센서동치는 가장 인쪽에 위치한 롤 축에 장착되고, 구동 입력은 아날로그 컴퓨터로부터 공급된다[12].
- o ANALOG COMPUTER : ADRIO와 외부 하드웨어와의 아날로그 인터페이스를 담당한다[13].

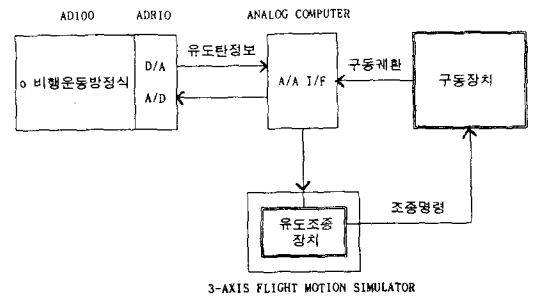


그림 2. HILS 구성도

3. 적용 모델

본 논문에서는 그림 1의 블록 구성도 중에서 조종장치와 구동장치 하드웨어를 적용 모델로 선정하여 HILS를 수행하였으며, HILS 결과의 타당성은 소프트웨어 시뮬레이션 결과와 비교하므로써 입증하였다.

3.1 조종장치

조종장치는 기능상으로 볼때 그림 3과 같이 유도탄의 상하, 좌우 운동을 제어하는 피치/요 조종장치와 회전 운동을 제어하는 롤 조종장치로 구별된다.

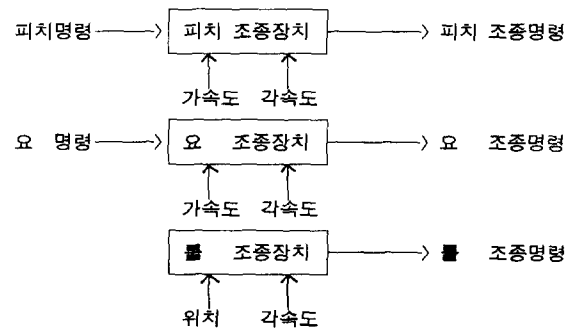
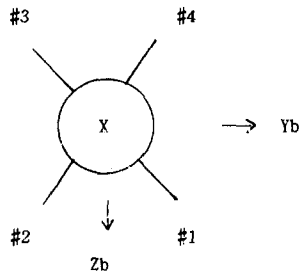


그림 3. 조종장치 구성도

피치/요 조종장치는 유도장치로 부터 전달되는 피치/요 유도명령과 유도탄 내에 있는 각속도계(Pitch/Yaw rate gyro), 가속도계(Pitch/Yaw accelerometer)로 부터 측정된 유도탄의 각속도와 가속도를 이용하여 조종명령을 계산하며, 롤 조종장치는 유도탄이 항상 기준각을 유지하며 비행하도록 제어하게 되며 만일 어떤 요인에 의하여 비행체에 회전운동이 발생하면 위치 측정기(position gyro)와 각속도계가 변화량을 측정하게 되며 측정된 오차를 탑재컴퓨터의 디지털 제어 알고리즘에 의하여 구동명령을 계산하여 구동장치를 움직여줌으로써 유도탄이 항상 기준각을 유지하도록 한다.

3.2 구동장치

조종장치에서 계산한 피치,요,롤 조종 명령에 따라 구동 날개를 움직여 비행체를 제어하는 구동장치는 4개의 구동 날개 및 제어로 구성되어 있으며 1번과 3번 날개는 피치와 롤 운동에, 2번과 4번 날개는 요와 롤 운동에 각각 작용한다.



- Xb : 무게 중심에서 유도탄의 코(Nose) 방향
- Yb : 무게 중심에서 뒤에서 보았을 때의 오른쪽 날개 방향
- Zb : Xb, Yb 축과 수직인 오른쪽 좌표계를 형성하는 방향

그림 4. 구동 날개 구성

4. 시뮬레이션 결과 및 검토

4.1 소프트웨어 시뮬레이션

소프트웨어 시뮬레이션을 위해 사용된 컴퓨터는 실시간 디지털 컴퓨터인 AD100으로 ADSIM[10]이라는 언어를 사용하고 있다. 비행체의 6-DOF(degree of freedom) 운동방정식 [5], 조종장치, 구동장치등에 대한 수학적 모델링을 ADSIM 프로그램으로 개발하였으며, 그림5와 같은 유도명령에 대한 6-DOF 소프트웨어 시뮬레이션을 수행하여 얻은 결과를 HILS 결과의 평가기준으로 이용하므로써 적용모델에 대하여 성능 평가를 하였다.

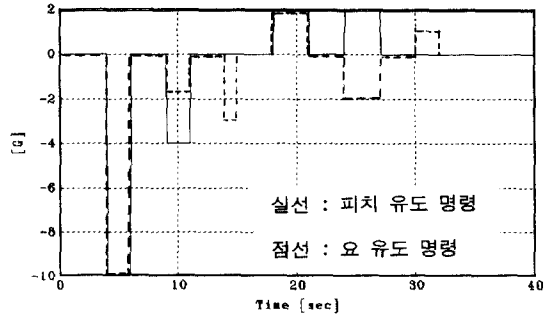


그림 5. 유도 명령 Profile

4.2 HILS 수행

조종장치와 구동장치 하드웨어의 성능평가를 위한 HILS 구성도는 그림 6과 같다.

AD100에서는 구동장치로 부터 전달된 구동제한(feedback) 신호를 이용하여 비행 운동 방정식을 계산하여 얻은 가속도는 조종장치로 전달하며, 계산된 Euler angle을 이용하여 3-axis FMS를 구동하여 비행체의 자세를 구현한다. 한편 조종장치는 조종장치내의 탑재 컴퓨터에 내장된 유도명령, AD100에서 전달된 가속도와 FMS에 장착된 sensor로 부터 측정된 각속도, 롤 위치등을 이용하여 조종명령을 계산하여 구동장치를 구동한다. 한편 가속도계는 지상에서 실제 비행체의 가속도를 측정할 수 없으므로 실제 하드웨어를 사용하지 않고 수학적인 모델로 표현하여 AD100에서 소프트웨어 모델로 시뮬레이션 하였다.

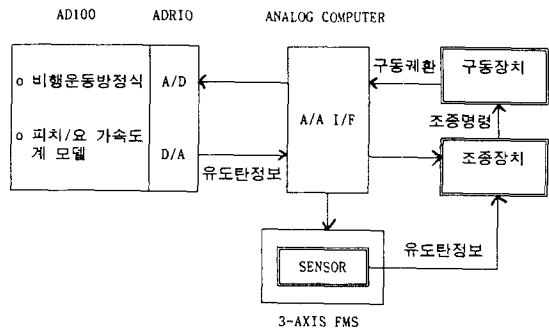


그림 6. 조종장치 + 구동장치 HILS 구성도

4.3 결과 및 검토

그림 7은 AD100 소프트웨어 시뮬레이션 결과이며, 그림 8은 HILS 결과이다. 그림의 기호 설명은 다음과 같다.

- Az : 피치 가속도 응답
- Ay : 요 가속도 응답
- PHI : 롤 각

P, Q : 롤 각속도, 피치 각속도

DEL1c, DEL3c : 1, 3번 구동날개 구동명령

DEL1, DEL3 : 1, 3번 구동날개 제환 신호

조종장치와 구동장치 하드웨어의 성능평가를 위한 HILS 수행 결과 나타난 사항은 AD100에서 비행운동방정식을 계산하기 위한 구동장치의 구동제한 신호의 통신선로상에 발생되는 noise 및 DC offset에 의한 영향으로 롤이 유발되므로 인하여 피치/요 각속도 응답 결과에 롤 영향이 나타났으나 전체적으로 소프트웨어 결과와 거의 일치하는 HILS 결과를 얻으므로 해서 시스템 성능 사양에 맞게 조종장치 및 구동장치가 설계/제작 되었음을 확인하였다.

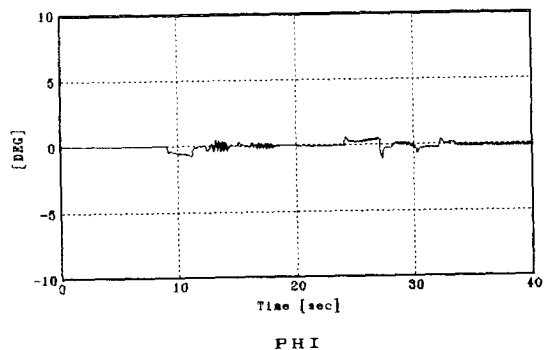
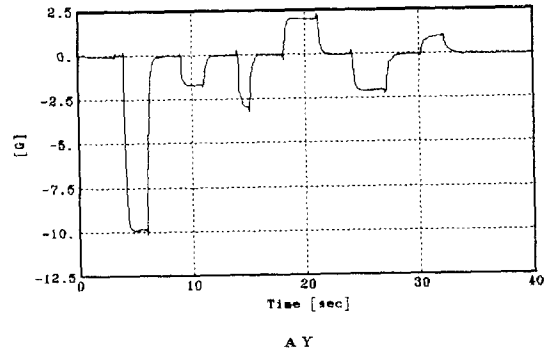
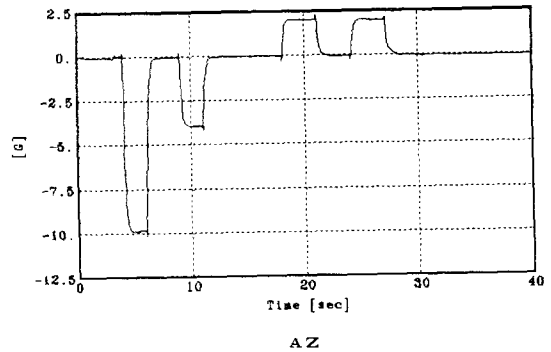
5. 결론

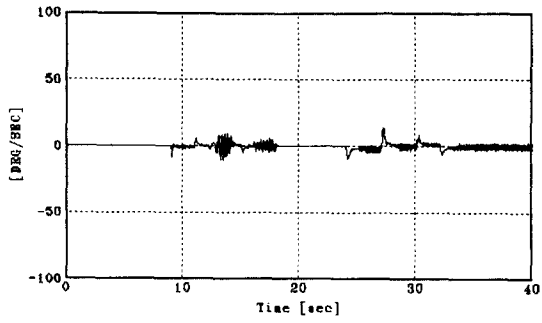
이 논문에서는 유도무기체계의 유도조종장치에 대한 성능평가 기법에 대하여 기술하였다. 제안된 모의비행시험(HILS) 기법으로 단거리 유도탄의 핵심 부분인 유도조종장치의 조종장치와 구동장치에 대하여 성능평가를 수행한 결과 제4장에서 언급한 내용과 같이 소프트웨어 시뮬레이션 결과와 거의 일치한 결과를 얻었다. 이 결과 조종장치와 구동장치는 소프트웨어 설계에 따라 제작되었음을 알 수 있다. 또한 조종, 구동장치간에 통신체계가 잘 이루어지고 있음을 알 수 있고 각각의 부체계간의 성능확인용 비행 시험을 수행할 필요가 없어 예산 절감의 효과가 있음을 알 수 있다. 본 논문에서 언급하지 못한 탐색기 및 레이더가 포함되는 복합구조로된 유도조종장치에 대한 HILS 기법은 추후 연구 과제로 남겼다.

참 고 문 헌

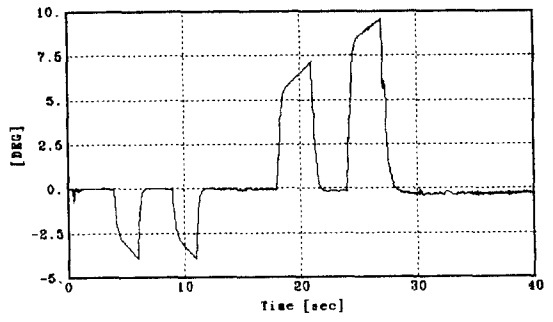
- [1] Paul Luker, "Proceedings of the 1992 Summer Computer Simulation Conference", Twenty-fourth Annual Summer Computer Simulation Conference(SCS), pp 811-892, July 27-30, 1992.
- [2] Emil J. Eichblatt, "Test and Evaluation of the Tactical Missile", vol 119 Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA Tactical Missiles Series, 1989.
- [3] ADI, Proceedings of ADIUS 87, Annual Meeting of ADIUS, June 21-24, 1987.
- [4] P. Garnell, Guided Weapon Control Systems, 1977
- [5] L. G. Minor, "General Purpose Six-Degree-of-Freedom Terminal Homing Missile", AD-754543.
- [6] W. M. Holmes, An Overview of Missile System Simulation Capability in the NATO Alliance the Proceedings of the 1982 Summer Computer Simulation Conference, 1982.

- [7] D. C. Montgomery and L. Greene, "Methods for Validating Computer Simulation Models of Missile System", J. Spacecraft May-June, 1983.
- [8] George R. Pitman, Inertial Guidance, 1962.
- [9] W. P. Albritton, "Guidance and Control Systems Simulation and Validation Technology", AGARD-AG-273, 1988.
- [10] ADI, ADSIM Reference Manual, Mar., 1990.
- [11] ADI, ADRIO Reference Manual, Mar., 1990.
- [12] CARCO, 3-Axis Motion Simulator, Oct., 1974.
- [13] EAI, 781 Parallel Analog Processor, Sep., 1974.

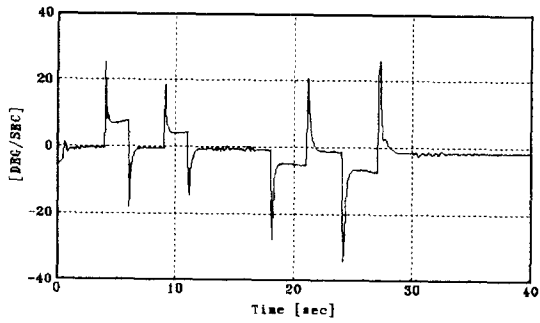




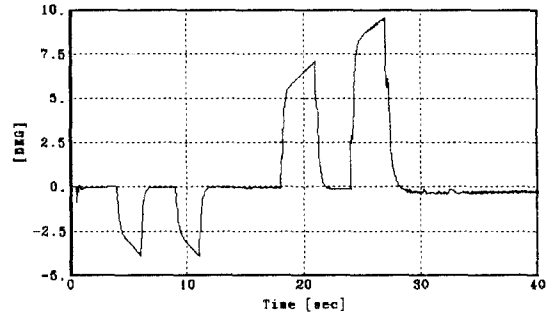
P



DEL3C

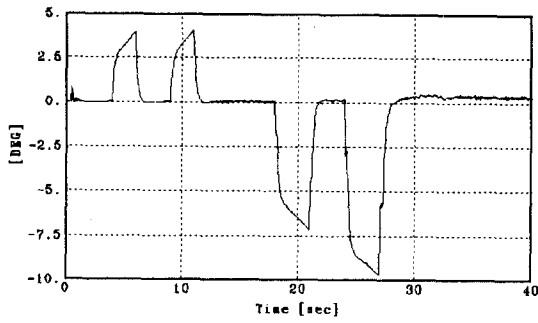


Q

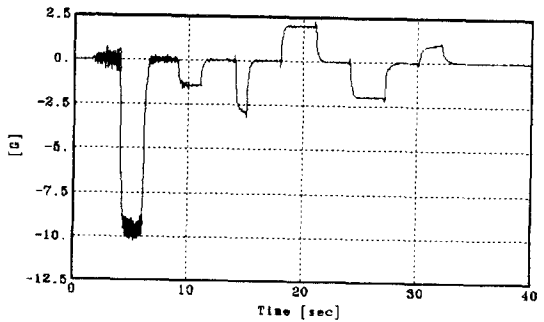


DEL3

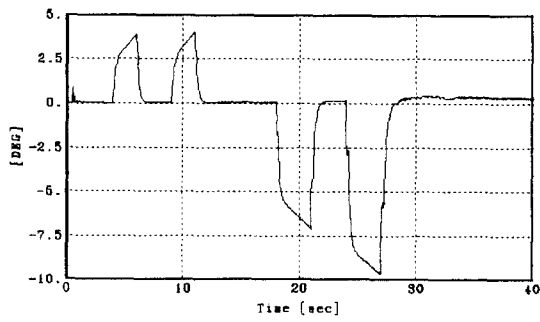
그림 7 AD100 소프트웨어 시뮬레이션



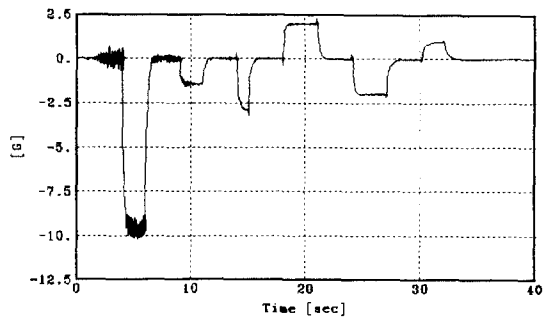
DEL1C



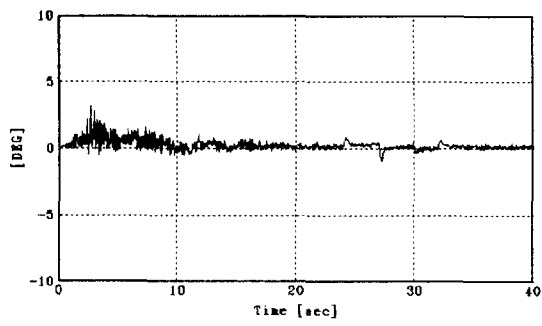
AZ



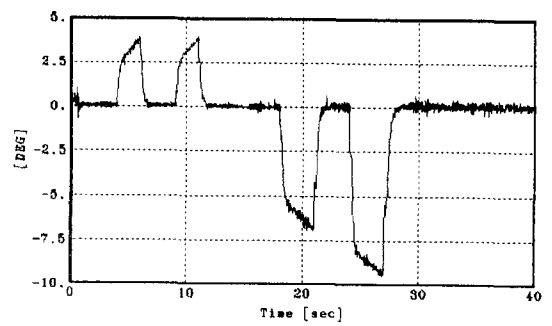
DEL1



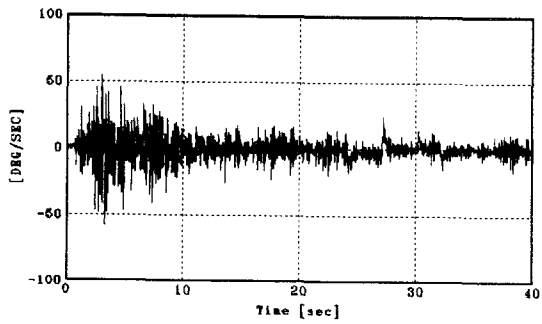
AY



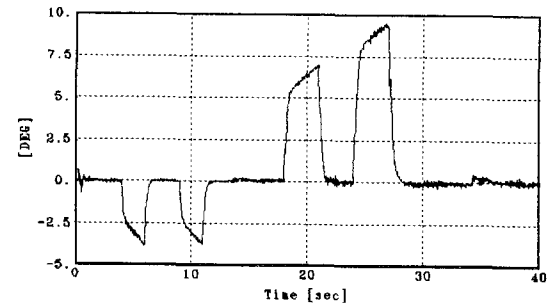
PHI



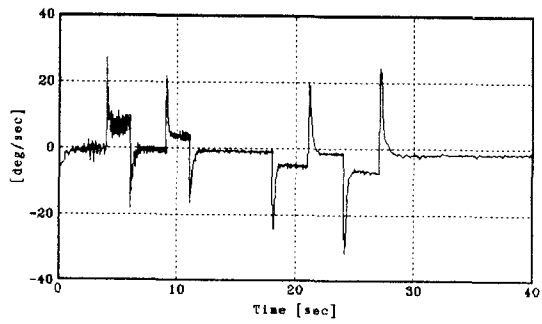
DEL1



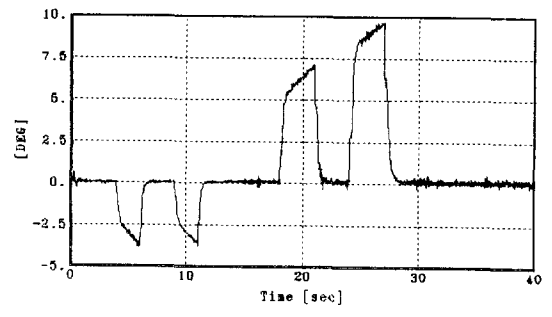
P



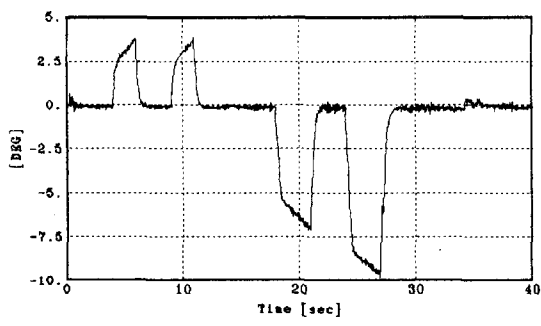
DEL3C



Q



DEL3



DEL1C

그림 8 HILS 결과