creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학석사 학위논문

고속 능동진동제어기 및 PILS 시스템의 실험적 연구

Experimental Study of High Speed Active Vibration Controller and PILS System

지도교수 최 형 식

2011년 2월

한국해양대학교 대학원

기 계 공 학 과

서 해 용

本 論文을 徐海龍의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

위 원 장 박 권 하 (인)

위 원 왕 지 석 (인)

위 원 최 형 식 (인)

2011 년 2 월

한국해양대학교 대학원

목 차

Abstract 5

그 림 목 차 6

표 목 차 8

제 1 장 서론 9

제 2 장 고속능동 제어기의 개요 12
2.1 System의 개요 및 구성 12
2.2 System의 개발목표 15

제 3 장 제어기 하드웨어 구성 17
3.1 압전소자의 구조 17
3.1.1 압전소자의 수학적 모델링 17
3.1.2 압전소자의 특성 19
3.1.2 MFC 작동기 20
3.2 제어시스템의 구성 21
3.2.1 제어시스템 블록 21
3.2.2 제어프로세서의 구성 22
3.2.3 High speed analog to digital converter의 구성 23
3.2.4 High speed digital to analog converter의 구성 26
3.2.5 전원분리회로의 구성 28
3.2.6 High speed amplifier의 구성 30
3.3 축소잠수함모델의 설계 및 모드해석 35

제 4 장 알고리즘 개발 및 검증 40
4.1 System개발 단계 40
4.2 Parameter estimation 44
4.3 PILS(Processor in the loop simulation) 49

4.4 Code generation using matlab simulink 55
4.5 Applying algorithm using matlab simulink 59

제 6 장 결론 60

참 고 문 헌 61

감사의 글 63

Experimental Study of High Speed Active Vibration Controller and PILS System

Seo, Hae Yong

Department of Mechanical Engineering

Graduate School of
Korea Maritime University

Abstract

This thesis deals with the experimental study of the vibration suppression of the smart structures. First, a new high-speed active control system is presented using the DSP320C6416T microprocessor. A peripheral system developed is composed of a data acquisition system, A/D and D/A converters, piezoelectric (PZT) actuator/sensors, and drivers using PA 95 for fast data processing. Next, the processing time of the peripheral device is tested and the corresponding test results are provided. Since fast signal data processing and algorithm is important for the active vibration control of the structures, achieving of the control system were focused hardware and algorithm. The control algorithm using PD controller in addition to FIR filter is implemented. Finally, numerous experiments were carried out on the aluminum hull to validate the superior performance of the vibration control system at hardware.

그 림 목 차

Fig.2. 1 System of active vibration control system.....14
Fig.2. 2 Schematic diagram of the submarine combat 15
Fig.2. 3 The purpose of the system 16
Fig.3. 1 MFC's primary structure 20
Fig.3. 2 Control system configuration.....21
Fig.3. 3 DSP6416DSK's configuration, and memory structures 22
Fig.3. 4 Circuit of ADS7805.....23
Fig.3. 5 Logic of 74138 decoder 24
Fig.3. 6 Logic of DAC712.....26
Fig.3. 7 Circuit of power disconnect 28
Fig.3. 8 Circuit of TMS320C6416DSK and AD/DA.....28
Fig.3. 9 Interface of pa95.....31
Fig.3. 10 Pin array of pa95 31
Fig.3. 11 Basic circuit of pa95.....32
Fig.3. 12 amplitude at 1V input.....32
Fig.3. 13 Circuit of H-Bridge 33
Fig.3. 14 Figure of the Amplifier Kit 34
Fig.3. 15 Design of construction hull 35
Fig.3. 16 1st mode test at 292Hz 36
Fig.3. 17 2nd mode test at 426Hz 36
Fig.3. 18 3rd mode test at 523Hz.....37
Fig.3. 19 4th mode test at 771Hz 37
Fig.3. 20 The graph of natural frequency 38
Fig.3. 21 Position of MFC sensor and actuator 39
Fig.4. 1 Matlab's system design using V cycle.....40
Fig.4. 2 Matlab simulink verify using 3step 41
Fig.4. 3 Bench for simulink test.....42
Fig.4. 4 PILS for verification of system configuration 43
Fig.4. 5 Function generator input signal at 514Hz 44

Fig.4. 6 Sensor output signal at 514Hz 45
Fig.4. 7 Dynamics for parameter estimation 45
Fig.4. 8 Data for parameter estimation at 523Hz 46
Fig.4. 9 Graph of real sensor data 46
Fig.4. 10 Graph of simulation sensor data 47
Fig.4. 11 Graph of real data and simulation data 47
Fig.4. 12 Interlocking Matlab with CCS 49
Fig.4. 13 Architecture of Processor in the loop simulation 50
Fig.4. 14 Language setup for simulink 51
Fig.4. 15 Configuration parameter for PILS 51
Fig.4. 16 Block of PILS 52
Fig.4. 17 Algorithm for PILS verify 53
Fig.4. 18 Compare with simulation data and real data 54
Fig.4. 19 Compare tradition software design with code generation 55
Fig.4. 20 Test of weighted moving average filter 56
Fig.4. 21 Design of code generation block using simulink 58
Fig.4. 22 Result of at 523Hz 59
Fig.4. 23 Result of at 771Hz 59

표 목 차

Table 1 Parameters of PZT sensor 17
Table 2 Parameter compare estimated with experimented parameters 48

제 1 장 서론

구조물에 대한 진동은 운송수단이나 전자제품 같은 경량 유연 구조물에 있어서 지속적인 문제점으로 부각되어 왔다. 이런 진동을 제어하기 위하여 여러 가지 연구가 진행되어 왔는데 구조물에 감쇠를 증가시키거나, 질량을 증가시키는 기존의 수동적인 진동제어 방법은 제어 할 수 있는 진동의 범위나 제어 효율에서 단점을 가지게 된다. 이런 이유로 과거에는 개념 단계에 있던 Smart skin 형태의 압전 소자를 이용한 능동 제어 시스템의 설계 및 개발에 대한 관심이 증가 하고 있다. 능동제어 시스템은 구조물에 다수의 센서 및 액츄에이터, 제어기를 삽입해서 진동을 제어하는 복합적인 진동제어 시스템으로 압전 소자의 성능이 향상되고, 다수의 액츄에이터를 동시에 제어할 수 있을 정도로 제어기의 속도가 향상 되어 이에 대한 연구가 시작되고 있다.

이러한 제어 시스템은 다수의 센서, 액츄에이터 및 제어기를 필요로 하기 때문에 Multi-input Multi-output(MIMO) 제어 시스템으로 구성하는 Hardware 설계기술이 중요하다. 현재까지 Smart skin용 MIMO 제어 시스템에 대한 연구 결과는 보고된 바가 없고, 이의 기초가 될 수 있는 두 개 이하의 입출력(BIBO)을 갖는 시스템을 구성하여 외팔보나 박판보의 능동제어를 수행한 연구 결과는 다수 존재한다.

국외에서는 센서, 액츄에이터 및 제어기를 구성한 대표적인 연구들로 센서 및 구동기로 압전 액츄에이터/센서를 적용하고 실시간 제어를 위해 VMEbus 제어기를 사용하여 박판의 능동제어를 성공적으로 구현한 연구가 있다[1]. 또한, ADSP21062 EZKIT인 DSP 프로세서와 EZ_ANC II의 프로세서를 적용한 실시간 제어를 수행하여 사각 강판의 능동진동 제어를 수행한 실험적 연구가 있었다[2]. 그리고 미국의 Reinhorn은 DSP TMS320C40 DSP 보드를 이용한 실시간 능동제어 시뮬레이터를 구현하였다[3]. 한편, 원통 Shell의 능동 제어를 위해 PZT 구동기를 다양한 형태로 설치하고 TMS320C30 DSP 제어기에 PPF, Filter-x LMS제어기를 적용한 연구가 있었다[4].

국내에서도 능동 진동 제어 연구로 340x300x0.5[mm] 강철판의 진동 제어를 위하여 DSP320C30 DSP 프로세서를 사용하여 다중 적응 Feedforward 제어 입력을 갖는 Feedback 제어 알고리즘을 구성하여 제어한 연구가 있다[5].

또한, 270x180x0.6[mm]의 유연한 평판을 TMS320C30 DSP 프로세서를 이용한 제어시스템에 Filtered-X LMS 제어 알고리즘을 구성하여 제어하고[6], 선박 상부구조의 종 진동을 저감하기 위해서 DSP320C32-60을 이용하여 위상 제어기를 구성하여 능동제어한 결과가 있었다[7].

한편, 진동의 주파수가 상대적으로 느린 외팔보의 경우에는 제어 시스템을 구성하는

데 있어서, One-chip 마이크로프로세서를 이용한 소형저가의 설계방법을 이용하여 연구를 수행한 결과들이 있었다. One-chip 마이크로프로세서의 일종인 PIC87f시리즈로 구성된 컨트롤러를 이용해 외팔보의 능동진동제어기를 구현한 연구[8]와 80c196 One-chip 마이크로프로세서로 구성된 컨트롤러를 이용한 외팔보의 능동진동제어기를 구현한 연구가 있었다[9]. 그리고 비교적 낮은 주파수를 갖는 외팔보의 매우 단순한 형태의 능동 제어를 위해 A/D 및 D/A 변환기를 PC의 CPU와 Interface하여 단순한 되먹임 제어 시스템을 구성하여 제어한 결과가 있고[10], 고정된 평판에 충격을 MFC 작동기와 PPF 알고리즘을 이용하여 고유진동주파수위 성분을 감소시킨 연구와[11], 실린더 쉘(shell)에 MFC 작동기를 부착하고, PPF 알고리즘을 이용한 능동진동제어 실험을 성공하였다.[12]

능동진동제어 연구의 발전으로 구조물에 하나의 진동 성분을 제어하는 것을 넘어 다수의 진동 성분을 제어하는 연구 단계이다. 구조물에 다수의 PZT 와 그것을 제어하기 위한 여러 가지 부가 장치들이 필요하다. 그러나 다수의 PZT를 제어하기 위해서는 많은 수의 프로세서가 필요하였고, 이것으로 인해 실험장비가 복잡해지고 비효율적이며 고비용이 큰 걸림돌이 되어 왔다. 이것을 해결하기 위해서는 뛰어난 성능을 가진 하나의 메인 컨트롤러를 사용하여 중앙 집중적인 방식으로 다수의 PZT를 동시에 제어하는 MIMO 시스템을 구축하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 하나의 메인 컨트롤러를 사용하여 다수의 센서, 액츄에이터와 외부장치를 제어하는 MIMO 형태의 능동제어 시스템을 개발하였다. 다수의 입출력을 제어하기 위해서는 고성능 DSP 프로세서인 TMS320C6416TDSK를 메인 컨트롤러로 사용하였고, 센서로부터 신호를 받고, 액츄에이터를 제어하는 고속 A/D 및 D/A Interface 회로, PZT 구동을 위한 고전압 Amp를 하나의 Control cell부분으로 만들어 Main Controller와 상호 정보 교환(Interface)할 수 있도록 하였다.

입력에 따른 출력 신호는 공급되는 전압 및 소자에 따라 다른 특성을 보이게 된다. 그래서 여러 특성의 액츄에이터에 따라 다양하고 유동적인 시스템의 설계가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 상황을 고려하여 적용할 수 있도록 가변 Transformer(Slidac), Gain adjuster, DC-DC Converter의 세 개 전원을 선택적으로 사용할 수 있게 설계하였다. 물론 DC-DC Converter의 경우는 DC 입력에 따라 출력이 일정한 특성을 가지고 있다.

기존의 평판과 쉘(Shell)를 이용한 실험에서는 고 전압 Amp인 PA 97의 경우에 외부 노이즈와 전류의 영향으로 인하여 심한 발열 현상과 함께 심한 경우 Amp가 파손되는 경우가 다수 발생하였으나[13], 전류의 제한이 가능하며, 부 노이즈에 비교적 강한 PA 95 Amp를 적용하여 실험 함으로서 시스템의 안정성 여부를 검증하였다. 또한 전원부에서 발생하는 근본적인 노이즈를 줄이기 위하여 디지털과 아날로그를 분리하여 시스

템을 제작하였고, 원 칩을 비롯한 A/D, D/A의 경우는 Transformer나 DC-DC Converter 보다는 비교적 저 전압에 속하므로 이 전원 또한 분리하여 각각의 입출력 상태를 확인하였다.

능동제어 대상 시스템의 고유진동수의 주파수가 빠르기 때문에 제어 시스템의 Algorithm은 시스템의 성능에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 진동 발생시 Algorithm에 따른 능동제어의 성능을 검증하기 위하여 Hull구조물에서 공진 모드 제어로 시스템의 실시간 제어 성능을 검증하였다.

제 2 장 고속능동 제어기의 개요

2.1 System의 개요 및 구성

능동제어에 대한 연구들은 대부분 압전 액츄에이터를 사용하여 센싱과 구동을 하는데 압전 액츄에이터는 전기를 입력 에너지로 하여 변위 또는 발생력을 출력하는 전기식 액츄에이터이다. 즉, 압전 액츄에이터를 구성하는 압전 세라믹스에 전계를 인가하면 늘어나거나 수축하는 성질을 이용하는 것이 다. 압전 엑츄에이터의 특징으로는 미소 변위의 고 정밀 제어가 가능하다는 점과 발생력이 크다는 점이다. 또한 응답성이 빠르며 에너지 변환 효율이 높다는 성질을 가지고 있다. 그리고 전자적인 간섭이 없고 형태의 영향이 적다.

이와 같은 압전 소자를 이용한 Smart skin 형태의 능동 제어시스템을 구성하기 위해서는 Hull 구조물의 표면에 능동 액츄에이터를 다수 설치하여야 한다. 따라서, 적용할 다수의 능동 액츄에이터의 수에 해당하는 제어 시스템을 구성해야 하는데, 입력 주파수 혹은 공진 주파수를 제어할 수 있는 범위 내에서 제어 Chip과 구동 드라이버 및 센서로 구성된 Controller 보드의 모듈 수를 최적으로 구성해야 하며, 이러한 시스템은 다수의 센서와 상응하는 다수의 입출력 액츄에이터로 구성하는 Multi-Input Multi-Output(MIMO) 시스템이 된다.

이러한 MIMO 제어 시스템에는 기존의 BIBO 이하의 능동 진동제어의 결과를 바탕으로 하고 있지만 시스템의 구성 방법에 있어서는 기존의 방법과는 차이점을 보인다. 즉, 고가의 고성능 DSP 제어기와 고가의 구동 드라이버로 구성된 제어 시스템을 구성하여 Smart skin 형태의 제어 시스템을 구성하기에는 비용적인 면과 공간적인 면에서 상당한 어려움이 따르게 된다. Smart skin 형태의 제어 시스템을 구성하기 위해서는 신호처리 속도는 빨라야 하고, 저가이며 부피가 작아야 한다. 그러기 위해서는 저가의 One-chip 마이크로프로세서, 구동기 및 센서를 한 개의 Control Cell로 구성하고 이들을 총괄 제어하는 형태의 제어 시스템을 구성해야 한다. 이러한 시스템의 장점은 저가이며 다수의 액츄에이터 중에서 고장이 나더라도 고장의 진단과 교체가 용이하다는 것이다.

그리고MIMO 제어시스템의 다른 방법은 보다 고성능의 프로세서를 사용하여 제어 시

스템을 구성하는 것이다.

최근 마이크로프로세서 기술의 눈부신 발전으로 과거에 능동 진동 제어에 사용하던 TMS320C31/32 DSP 프로세서들의 50 배 이상의 연산 처리가 가능한 프로세서들이 출현하였다. 이러한 발전에 따라 고성능 프로세서를 주 제어기로 사용한 다수의 드라이버와 센서를 모듈로 구성하는 방법이 가능하게 되었다.

구체적으로는 Controller(H/W)의 설계는 One-Chip 마이크로프로세서와 DSP 프로세서를 각각 이용하여 진동을 감지하는 센서로부터의 신호를 받아 제어알고리즘을 구현하여야 한다. 그러기 위해선 구동 드라이버에 명령을 내리는 고속 Controller를 설계하는 기술을 확립하여야 하며 이러한 Controller를 바탕으로 고속 연산이 가능한 여러 채널의 A/D와 D/A 컨버터, 각각의 압전 소자를 구동시킬 수 있는 앰프(Amp)등이 필수 요건이다. 이러한 시스템을 통해서 하나의 프로세서는 다수의 센서 및 구동 드라이버로 구성된 제어 모듈을 제어하게 되고, 모듈에 개발된 제어 알고리즘을 적용시켜 완전한 형태의 제어 시스템이 개발 되게 된다.

디지털 입력명령을 증폭하여 PZT 액츄에이터에 가하는 구동용 드라이버의 성능은 제어시스템의 성능에 큰 영향을 미치게 되므로 소형이며, 저가인 드라이버를 구성하기 위해 적절한 드라이버의 개발은 필수적이다. 또한 액츄에이터의 증폭된 전압을 Switching 할 때 발생하는 시간 지연 역시 제어 시스템의 특성에 큰 영향을 미치게 되므로 이를 위한 연구도 행해져야 한다.

Shell 구조물에서 발생하는 미세한 진동을 고속으로 감지하기 위해서는 PZT Sensor가 적합하다. 하지만 이 PZT Sensor는 노이지 발생, 비선형, 저 전류 구동이라는 특성을 가지고 있으므로 노이즈 필터링에 대한 알고리즘 연구와 외부의 Interface 연구 또한 선행 되어야 한다.

본 연구에서는 Smart skin 형태의 제어 시스템을 구성하기 위해 상대적으로 저가이며 고속 신호처리가 가능한TMS320C6416 프로세서 한 세트와 Controller Cell인 센서 및 PZT구동기로 이루어졌다.

각종 Interface와 다수의 모듈로 구성된 새로운 형태의 능동 제어 시스템을 Fig 2.1과 같이 구성하였고, DSP 프로세서와 같은 속도의 해상도를 갖는 A/D 및 D/A 변환소자를 선별하여 전체적인 시스템에 적용시켰다.

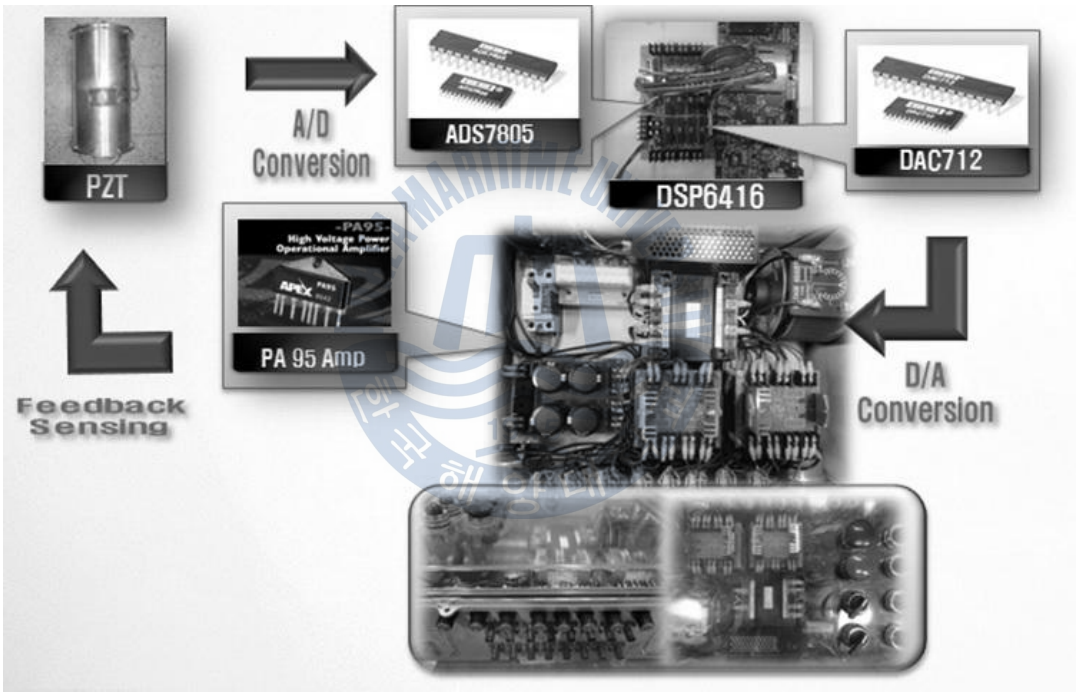


Fig.2. 1 System of active vibration control system

2.2 System의 개발목표

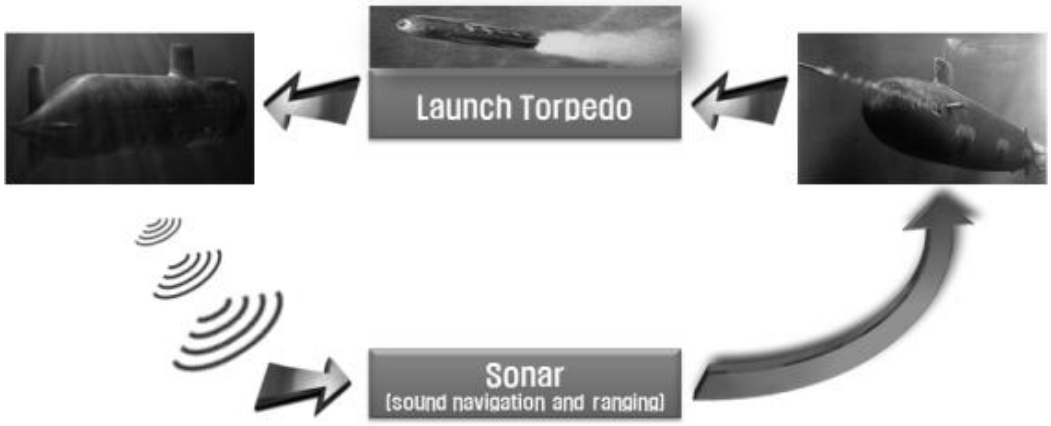


Fig.2. 2 Schematic diagram of the submarine combat

Fig.2.2는 잠수함 전투 체계에서 필수가 되고 있는 전투 체계의 계략도이다. 현대의 군사 무기에 있어서 은밀 기동을 위한 스텔스 능력은 필수적인 요소가 되어가고 있으며, 잠수함에 있어서는 액추에이터에서 발생하는 진동의 감쇠 여부가 스텔스 능력의 핵심이 되며, 곧 대잠 전투 능력 향상의 핵심이 된다고 할 수 있다.

Fig.2.3에서와 같이 본 시스템의 목표는 잠수함과 같은 수중 구조물의 액추에이터에 의한 진동을 제어 시스템을 통해 감쇠 시키는 것에 있으며, 이를 위하여 초고속의 프로세서인 TMS320C6416을 Main으로 하는 시스템을 구성하였다. 시스템의 구성을 위해 APEX사의 고전압 고성능 앰프인 PA95를 적용하였으며, AD변환과 DA변환을 위하여 10μs의 샘플링 속도를 갖는 칩인 ADS7805와 DAC712를 적용하고 Matlab simulink를 이용한 시스템 검증 및 알고리즘을 적용하고 성능을 평가하였다.

Fig.2. 3 The purpose of the system

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

제 3 장 제어기 하드웨어 구성

3.1 압전소자의 구조

3.1.1 압전소자의 수학적 모델링

압전소자의 전기적 및 기계적 특성은 용도에 따라 달리 표현할 수 있는데, PZT에 적용된 응력에 비례해서 발생하는 전하량과 역으로 PZT를 액추에이터로 사용할 경우 입력된 전기적 에너지에 비례해서 발생하는 물리적 에너지의 관계를 일반적인 압전기본식으로 살펴보면 다음과 같다.

$$S = s_E T + dE \quad (1)$$

$$D = dT + \varepsilon_T E \quad (2)$$

Table 1 Parameters of PZT sensor

S	Strain	E	단위길이 당 전압을 나타내는 전계강도
T	응력	D	전속밀도, 즉 표면전하밀도이며
s_E	전계가 일정하거나 Zero일 때와 응력이 일정하거나 Zero일 때의 영률*의 역수인 탄성 Compliance*		
ε_T	전계가 일정하거나 zero일 때와 응력이 일정하거나 Zero일 때의 유전률		

*영률 (Young's modulus) : 물체를 양쪽에서 잡아 늘일 때, 물체의 늘어나는 정도와 변형되는 정도를 나타내는 탄성률

*Compliance : 힘을 받았을 때 물건의 탄력성·유연성

위 식에서 T=0, E=0의 경우에는 다음 식과 같이 표현된다.

T=0인 경우 : $S = dE, D = \varepsilon E$

즉 전계에 비례한 Strain, 응력에 비례한 전계가 얻어지는 식으로 표현된다. 이것은 정적 응력과 정전계를 가한 경우의 표현이다.

3.1.2 압전소자의 특성

압전소자의 전기를 발생 시키고, 변형을 발생시키는 특징은 공학적으로 엄청난 분야에 있어서 기여를 할 수 있을 것으로 보이며, 압전소자의 특징은 다음과 같다.

① 미소 변위의 고정밀 제어가 가능하다.
② 발생력이 크다.
③ 응답성이 빠르다.
④ 에너지 변환 효율이 높다.
⑤ 전자적인 간섭이 없다.
⑥ 형태의 영향이 적다 등이 있다.

본 시스템에서 요구하는 수중 구조물의 경우 대부분 일반적으로 수중에서의 저항 감소를 위한 유선형 구조를 채택하는 경우가 일반적이며, 현재 이러한 굴곡면에 대해서는 적용할 수 있는 능동액츄에이터의 경우 Thunder 액츄에이터와 MFC 액츄에이터가 있다.

Thunder 액츄에이터는 Monomorph 형태의 액츄에이터로서 PZT 웨이퍼를 스테인레스 스틸에 접착하고 이를 큐어링(경화)하여 제작된다. 이 과정에서 열팽창 계수의 차이로 인해 최종적인 액츄에이터는 자연스럽게 곡면을 가지는 형태를 가지게 되는데 이 곡면의 반경을 제어하는 것은 불가능하다. 따라서 쉘 구조물에 적용하는데 한계가 있다. MFC 액츄에이터는 곡면을 가지는 구조물에 쉽게 부착할 수 있는데, 직사각형 단면으로 만들어져 있는 한 방향 압전세라믹 파이버를 폴리머 매트릭스에 삽입하여 캡톤시트사이에 샌드위치 형태로 제조되어 있는 구조를 가지고 있다. MFC는 기존의 압전세라믹 액츄에이터와는 달리 압전세라믹 파이버에 Interdigitated 전극을 가지고 전압을 가동하여 d31, d33의 압전 상수를 활용할 수 있도록 만들어져 있다. 기존의 압전세라믹 액츄에이터에 비해 높은 변형율을 만들어 낼 수 있다.

MFC 액츄에이터는 헬리콥터 로터 블레이드, 전투기의 꼬리 날개, 몰핑(Morphing) 윙, 통신 위성과 같은 경량 구조물의 성능을 향상시키는데 무한한 잠재력을 가지고 있다. 이 액츄에이터를 중첩하여 사용하면 중량 구조물의 성능을 향상시키는데 사용될 수 있을 것으로 보인다.

3.1.2 MFC 작동기

본 연구는 NASA Langley 연구소에서 개발하였고, Smart Material 사에서 상용화하여 유통되고 있는 MFC(Macro Fiber Composite) 작동기를 전제로 하여 구성하였다.

MFC 작동기는 압전 소자인 세라믹 파이버를 기초로 하여 기존의 소자들과는 달리 곡면 형상의 구조물에도 적용이 용이하며 압전 상수를 사용하여 큰 작동 효율을 낼 수 있고, 이방성 구동이 가능하다. MFC 작동기는 사각형의 압전 세라믹 파이버를 정렬하고, 맞물림 전극 (Interdigitated electrode)을 사용하였으며, 파이버와 파이버 사이, 파이버와 전극 사이에는 에폭시를 삽입하여 서로 접착하는 것과 동시에 파이버를 보호할 수 있도록 하였다. Fig.3.1에서 MFC 작동기의 기본 구조도를 나타내었다.

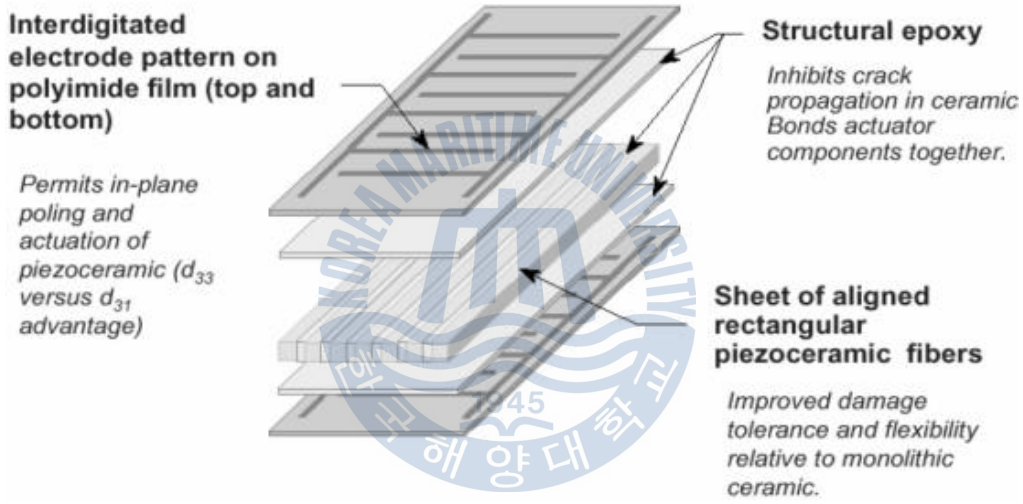


Fig.3. 1 MFC's primary structure

3.2 제어시스템의 구성

3.2.1 제어시스템 블록

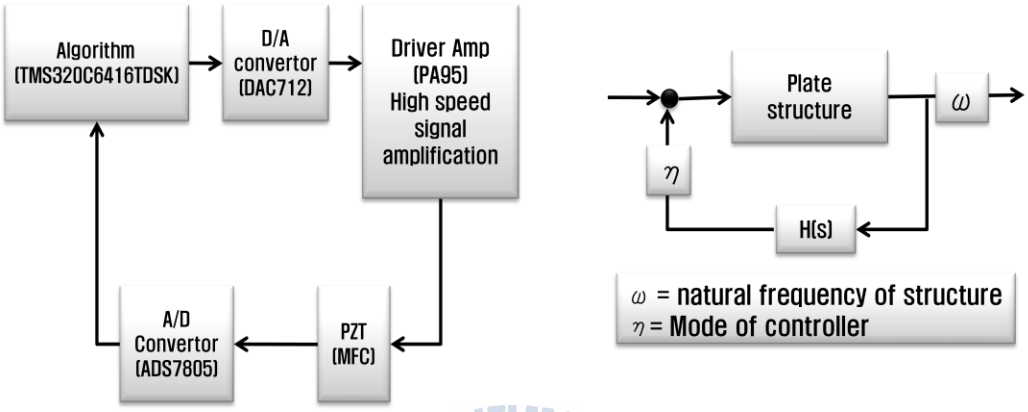


Fig.3. 2 Control system configuration

제어 시스템의 구성을 위한 블록선도를 나타내었다. 여기서 MFC 압전 소자의 경우 가진, 센서, 제어 세 가지의 역할을 하도록 기능에 맞는 MFC를 선정하여 구성하였다.

3.2.2 제어프로세서의 구성

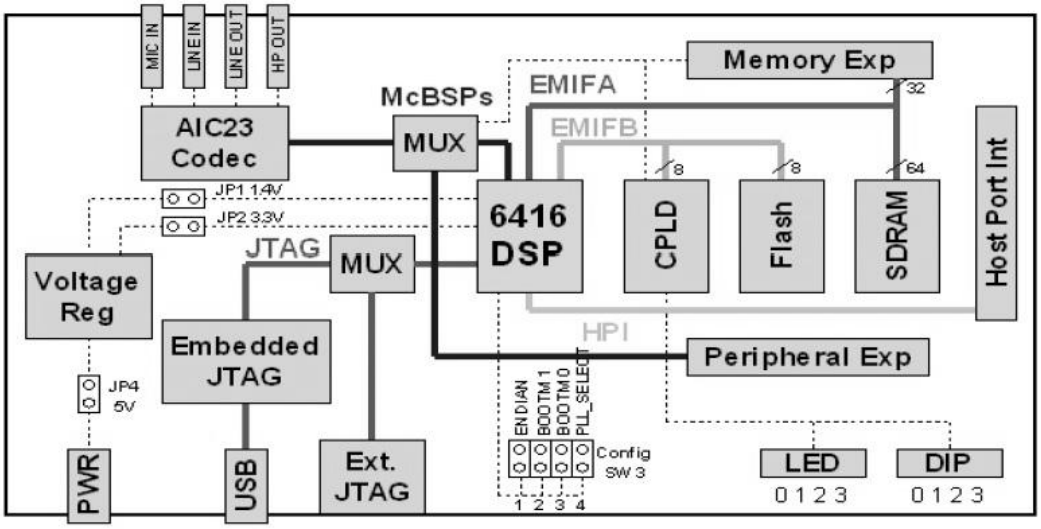


Fig.3. 3 DSP6416DSK's configuration, and memory structures

Fig.3.3 은 TMS320C6416DSK Starter kit 의 구성과 메모리 구조이다. USB를 이용한 Embedded JTAG를 장착하고 있으며, AIC23 코덱을 이용하여 오디오 입출력을 받을 수 있도록 구성되어 있다. 1Ghz의 CPU, 2Mbytes x 64의 SDRAM과 512Kbytes 의 비휘발성 플래시 메모리를 가지고 있으며, 본 연구에서는 Memory Exp 와 Peripheral Exp를 사용하여 AD 및 DA 변환 회로인 ADS7805와 DAC712을 주변 장치로 사용할 수 있도록 구성하였다.

3.2.3 High speed analog to digital converter의 구성

본 연구에서는 16bit의 고 분해능과 10㎲의 고속의 샘플링 속도를 갖춘 AD변환 회로인 ADS7805를 이용하여 인터페이스 회로를 구성하였다.

Fig.3.4는 ADS7805의 Basic circuit이다. 회로에서 저항의 경우 입력 단에서 발생하는 offset 전압을 조정하기 위한 것이다. 센서로 사용한 MFC의 경우 저 전류 출력을 가지는 특성 때문에 입력에서의 전압 강하 현상이 발생하였으며, 이러한 저 전류 문제를 해결하기 위하여 연산 증폭기를 이용한 Voltage follower 회로를 사용하여 전류 증폭회로를 구성하였다. 커패시터의 경우 Op-amp의 전류 증폭시 발생한 DC 성분을 제거하기 위해 사용되었다.

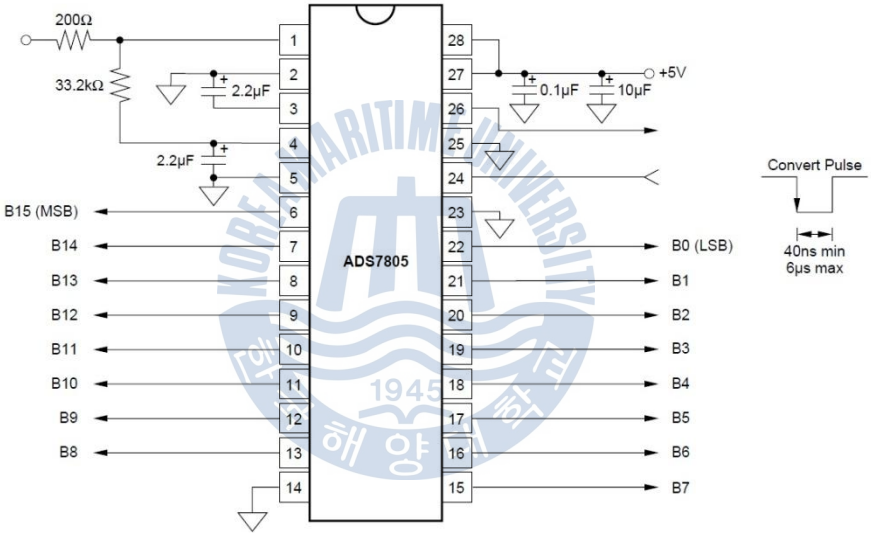


Fig.3. 4 Circuit of ADS7805

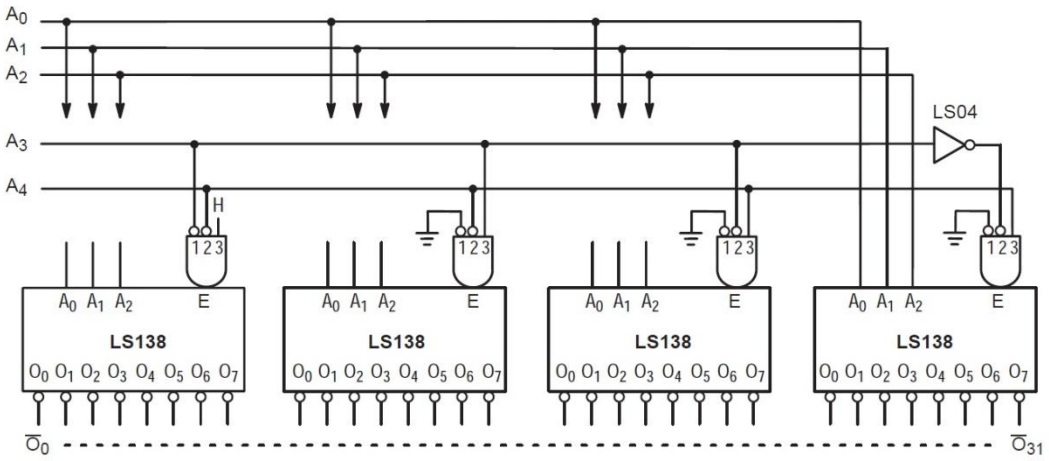


Fig.3. 5 Logic of 74138 decoder

본 인터페이스 회로에는 74138을 이용한 어드레스 디코딩과, TMS320C6416DSK의 어드레스 버스와 데이터 버스, GPIO 핀을 사용하였다. 어드레스 핀으로는 디코더를 컨트롤하여 각 칩 마다 /RC 신호와 /CS 신호를 인가한다. GPIO핀은 AD의 /BUSY핀을 체크 하는데 이용하였다.

데이터 주소의 할당 예시

```
#define ADC0    *(unsigned volatile int *)0xA0000300
#define ADC1    *(unsigned volatile int *)0xA0000304
#define ADR0    *(unsigned volatile int *)0xA0000200
#define ADR1    *(unsigned volatile int *)0xA0000204
```

Fig.3.3의 메모리 구조에서 CE2부분을 사용할 것이므로, 주소 할당은 0xA0000000부터 하도록 한다. 671x 계열의 다른 프로세서와의 호환성을 위하여 어드레스 버스는 EA2부터 시작하므로, 어드레스 버스의 2~9번 까지를 각각의 기능에 맞도록 74138 디코더의 1~3번 핀과 6번 핀에 할당하여 각각의 어드레스에 맞는 출력과 현재 사용할 디코더를 선택할 수 있게 하였다.

ADC는 ADS7805에 입력된 전압을 컨버트(Convert)를 시작하기 위한 것이며, ADR은 컨버트 된 값을 데이터 라인으로부터 읽어 드리기 위한 것이다. ADR은 각각 ADS7805의 변환 시작과 Read 타이밍을 제어 하기 위하여 할당한 것이다.

메인 소스 예시

```
ADC0 = 0;
ADC1 = 0;
while((GPVAL & 0x0080) == 0);
ad_data0 = ADR0;
ad_data1 = ADR1;
```

메인 소스에 'ADCx = 0' 의 값을 선언하면, 어드레스 버스에서는 미리 할당된 주소의 값이 출력되며, 데이터 버스에서 0을 출력하게 되고, 74138에서의 어드레스 디코딩을 통해 ADS7805의 변환을 시작하게 된다.

While 문의 경우 GPIO를 사용하여 BUSY 체크를 할 수 있도록 구성한 것이며, 이 소스를 통해 한번의 AD 변환이 끝났는지 체크하게 되고, 'ad_datax = ADRx' 으로 선언해 줌으로써 변환 값을 읽어드리면서 변수 ad_datax에 저장하게 된다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

3.2.4 High speed digital to analog converter의 구성

본 연구에서는 16bit의 고 분해능 10㎲의 고속의 샘플링 속도를 갖춘 DA변환 회로인 DAC712의 주변 인터페이스 회로를 구성하였다.

16bit 데이터 핀들은 TMS320C6416dsk 의 데이터 핀과 각각 연결 하고, 74138을 이용한 어드레스 디코딩으로 각 주소 값의 출력에 따라 /WR 핀을 제어 하도록 하였다. /A0~1의 경우 GPIO와 연결하여 DAC의 입력과 래치를 제어할 수 있도록 하였다.

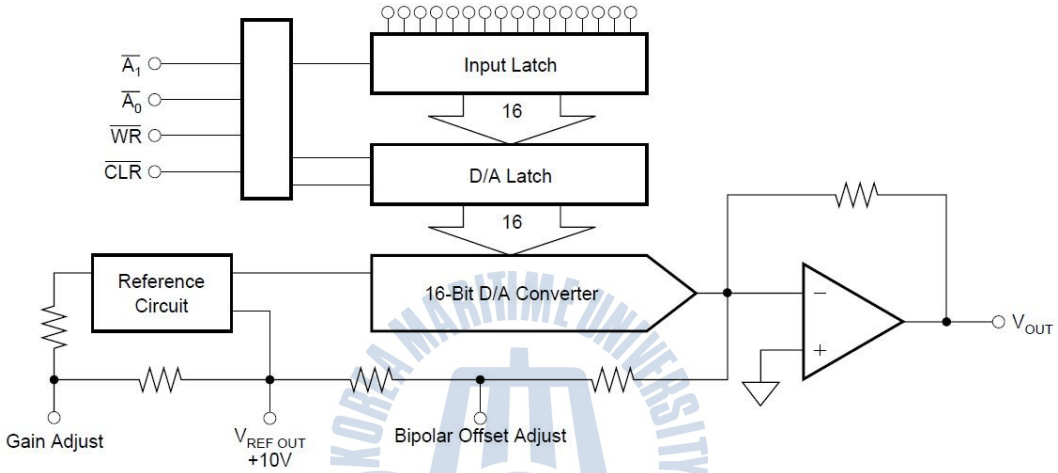


Fig.3. 6 Logic of DAC712

데이터 주소의 할당 예시

```
#define DAW0   *(unsigned volatile int *)0xA0000214
#define DAW1   *(unsigned volatile int *)0xA0000218
#define DAC_INPUT      GPVAL &= 0xFFEF
#define DAC_LATCH      GPVAL &= 0xFFDF
#define DAC_NOC        GPVAL |= 0x0030
```

여기서 DAWx는 DAC712의 /WR핀의 상태를 변경해주는 역할을 하고, GPIO의 4~5번 핀을 이용하여 /A0~1의 상태를 제어할 수 있도록 GPIO의 Value 조정 레지스터인 GPVAL의 값을 정의 하였다.

메인 소스 예시

```
DAC_INPUT;//DAC
DAW0 = Function0(ad_data0);
DAW1 = Function1(ad_data1);
DAC_NOC;
DAC_LATCH;
DAW0 = Function0(ad_data0);
DAW1 = Function1(ad_data1);
DAC_NOC;
```

DAC_INPUT 명령을 하게 되면, 아래 표의 Load input Latch 의 상태로 A0~1의 상태가 변하게 되면서 /WR 핀의 상태가 변하기를 기다리는 상태가 된다. 이후 DAWx의 주소에 값을 쓰는 것으로 어드레스 버스의 상태가 변하게 되고, 입력의 디지털 값을 아날로그로 변환하여 DAC712의 래치에 기록한다.

DAC_NOC를 사용해 변환된 값을 계속 유지 하도록 하고, DAC_LATCH해주면 DAC712의 래치에 기록된 값이 데이터 핀을 통해 출력되고, 다시 DAWx를 사용함으로써 DAC712의 /WR 핀에 신호를 인가하면 아날로그 값이 데이터 버스를 통해 출력된다.

3.2.5 전원분리회로의 구성

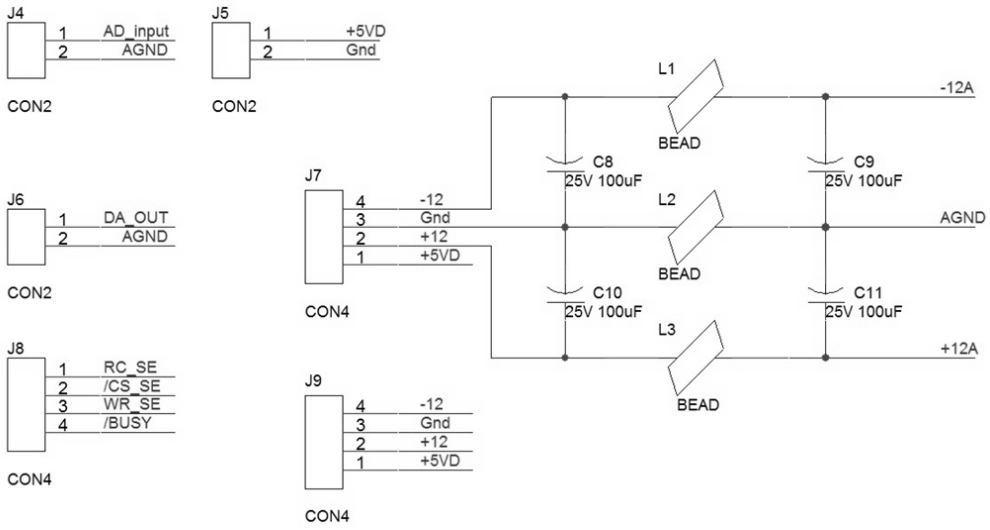


Fig.3. 7 Circuit of power disconnect

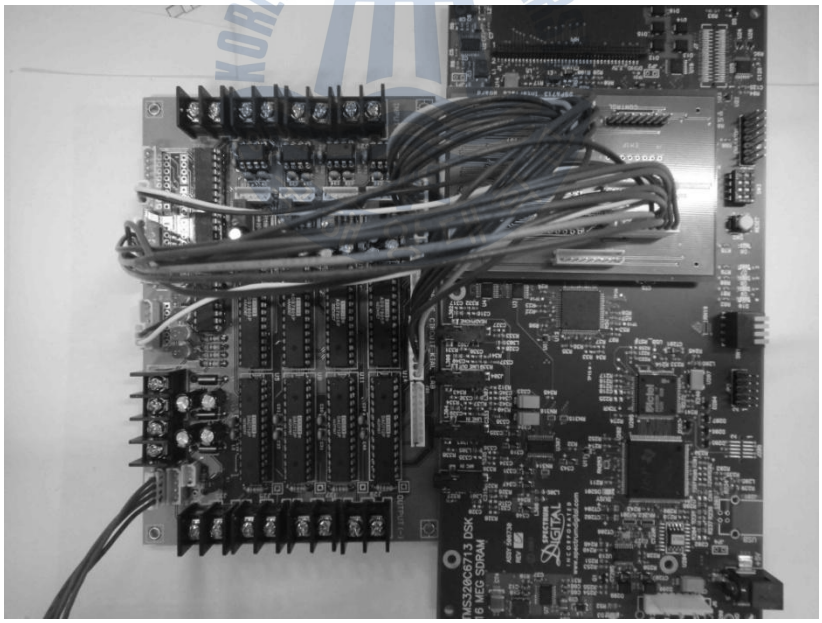


Fig.3. 8 Circuit of TMS320C6416DSK and AD/DA

Fig.3.7은 Bead를 사용하여 구성한 Power 회로이다. 아날로그와 디지털 부분의 전원의 분리와 같은 역할을 하며, 발생할 수 있는 고주파 성분이나 잡음에 대한 필터의 기능도 한다. 또한 전원부의 리플을 줄이기 위한 캐패시터를 장착하였다.

Fig.3.8은 완성된 컨트롤 셀의 모습이다. 4채널의 AD/DA변환이 가능하도록 구성하였으며, 8채널의 변환이 가능하도록 구성하였다

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

3.2.6 High speed amplifier의 구성

APEX 사의 고전압 및 고성능 Operational Amplifier 의 회로구성 MFC의 경우 최대 -500~+ 1500V의 작동전압을 필요로 하며, 본 연구에서는 ±400V가량의 출력이 가능한 앰프를 구성하였다.

Supply Voltage는 공급 전압 +Vs 와 -Vs 의 절대값의 합에 대한 최대치를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 최대 ±450V의 Reference 입력이 가능하고, 0.1A의 Output current를 갖는 PA95를 사용하여 반전 증폭이 가능한 증폭 회로를 구성하여 성능을 확인하였다.

Fig.3.11과 같이 구성한 PA95의 반전 증폭 회로에서 다이오드 D1, D2는 입력 신호에 따른 고속 스위칭에 따른 노이즈를 방지하기 위한 정류 회로이다. PA95의 경우 외부 저항 접속을 통한 전류 제한 기능을 제공하는데 PA95의 전류제한 기능을 사용하지 않고 앰프를 구동할 경우 시스템에 손상이 발생할 가능성이 크다. 본 연구에서는 RCL의 저항 20Ω을 사용하여 30[mA]로 전류를 제한하였으며, 테스트를 통하여 안정성을 확보하였다.

PA95는 ±50~300V의 전압 공급을 필요로 하며, 전류 제한 기능이 있으며, 30V/㎲의 Slew rate를 가진 고전압 및 고성능의 연산 증폭기이다. 시스템의 성능 테스트를 위하여 구성한 앰프 회로에는 20배의 반전 증폭을 사용하였으며, 실제 성능 테스트에서 20배의 증폭률을 나타내는 것을 알 수 있었다.

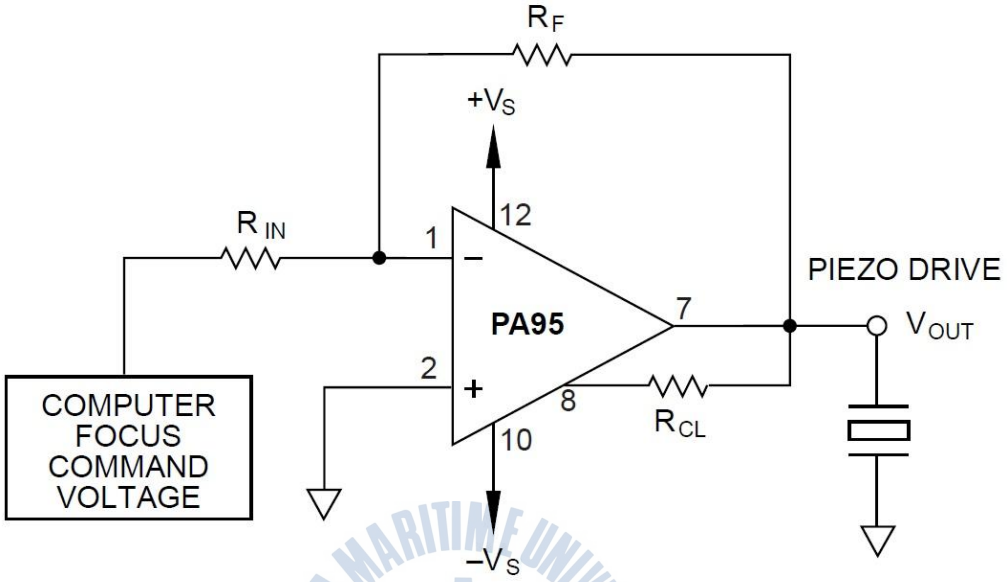


Fig.3. 9 Interface of pa95

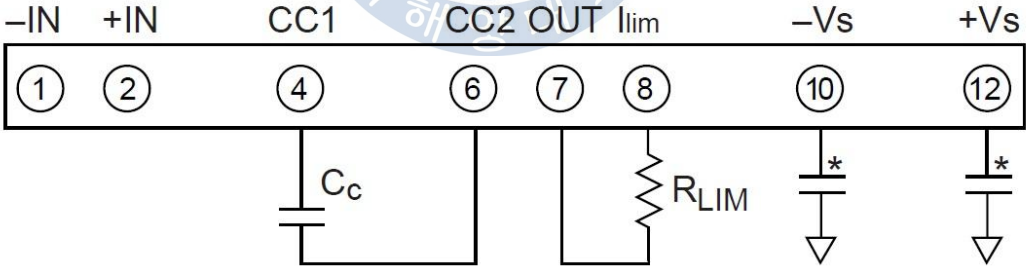


Fig.3. 10 Pin array of pa95

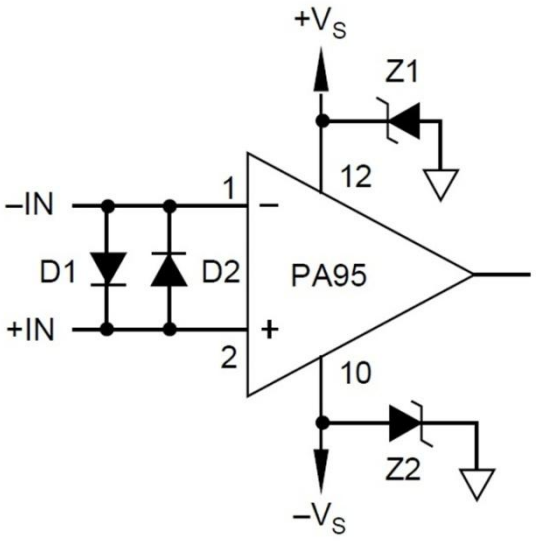


Fig.3. 11 Basic circuit of pa95

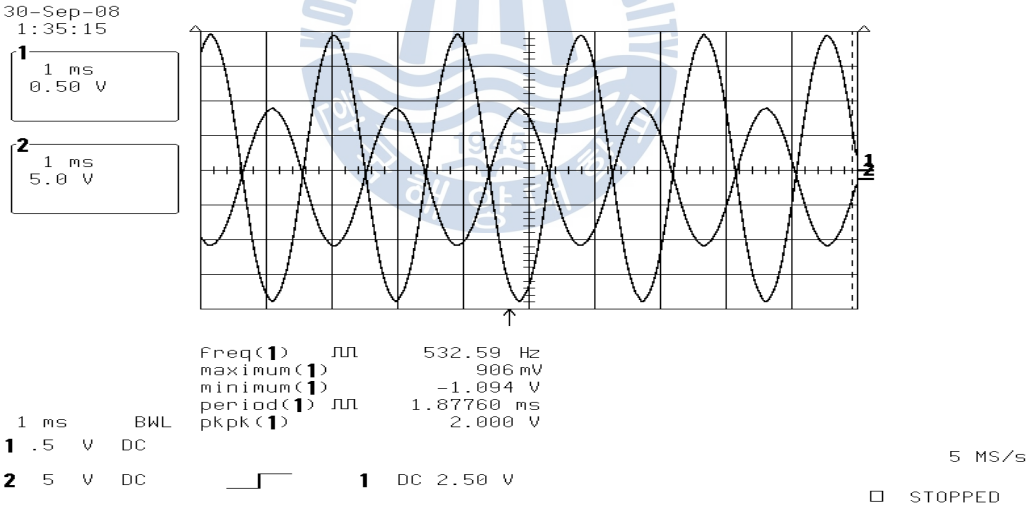


Fig.3. 12 Amplitude at 1V input

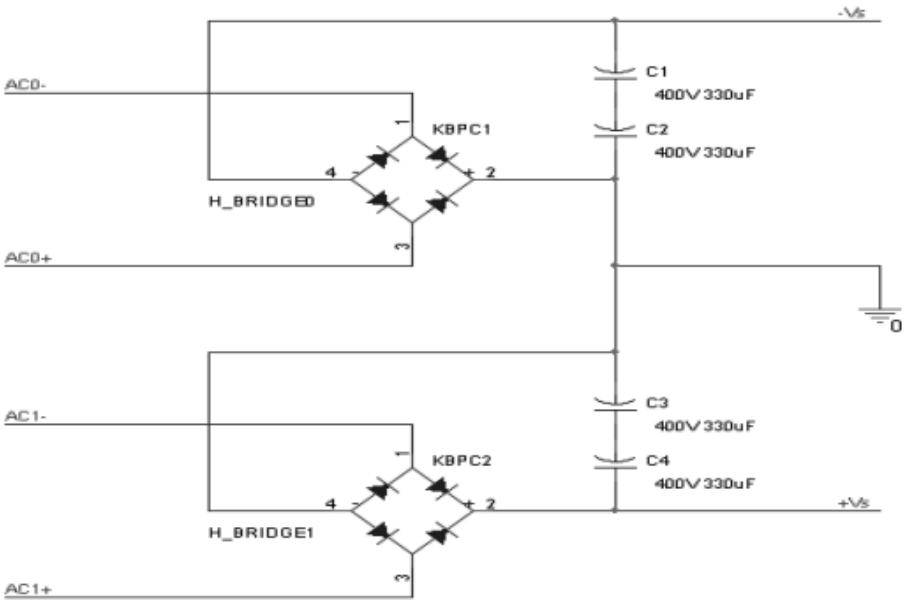


Fig.3. 13 Circuit of H-Bridge

전원공급회로 및 전원증폭회로 구성을 이용하여 모듈화된 PCB 기판을 제작하였으며, Fig.3.14의 Control box를 구성하였다. 시스템의 접지가 용이하도록 하여, 60Hz의 전원 노이즈로 인한 시스템의 장애가 발생하는 것을 방지하였다.

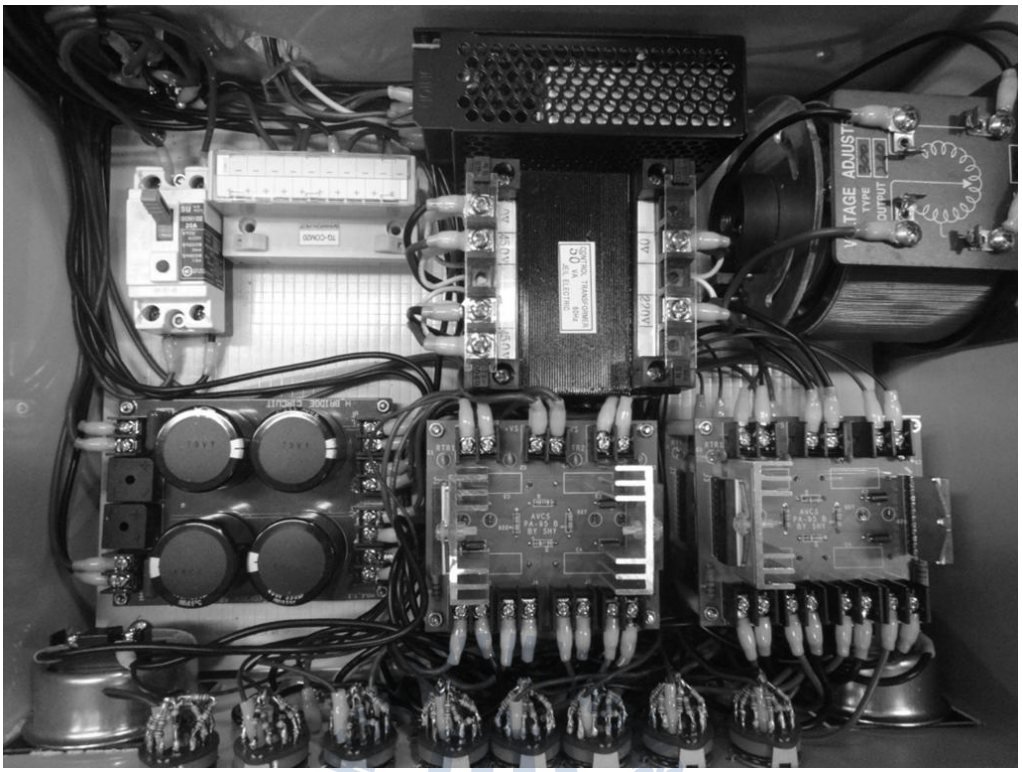


Fig.3. 14 Figure of the Amplifier Kit

Fig.3.14는 전원분리회로 및 증폭회로가 하나의 Control box로 구성된 모습이다. 총 8 채널로 확장된 Amplifier는 독립채널 및 이득 조절이 가능한 가변 저항이 포함되어 소프트웨어적인 이득 조절이 불가피 할 경우 수동으로 대폭의 이득조절이 가능하도록 설계하였다.

3.3 축소잠수함모델의 설계 및 모드해석

제어 할 대상인 수중운동체의 모델을 만들기 위해 알루미늄 재질의 원형 구조물을 설계하고, Modal test를 통한 모드해석 및 MFC의 부착 위치를 선정하였다.

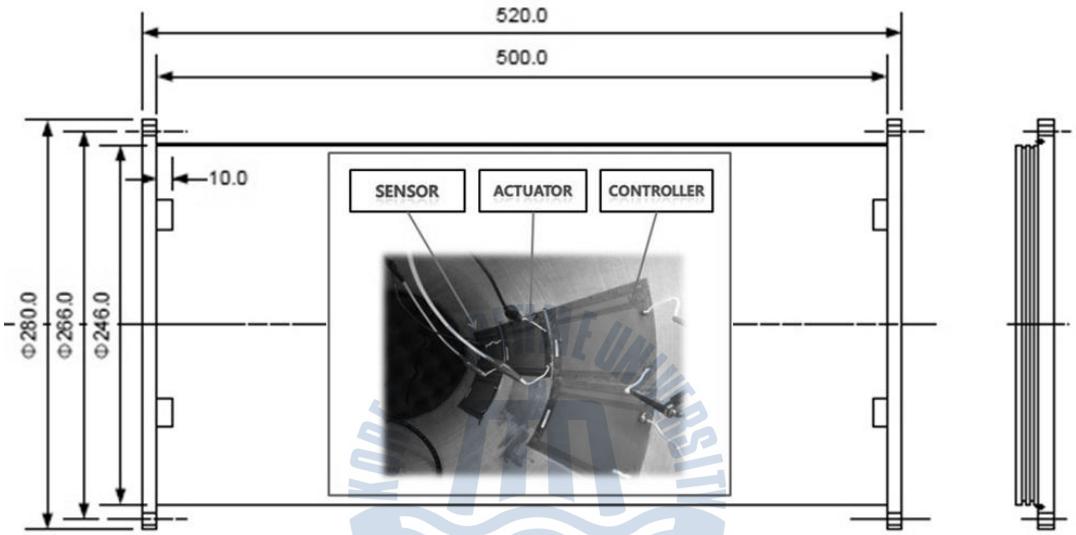


Fig.3. 15 Design of construction hull

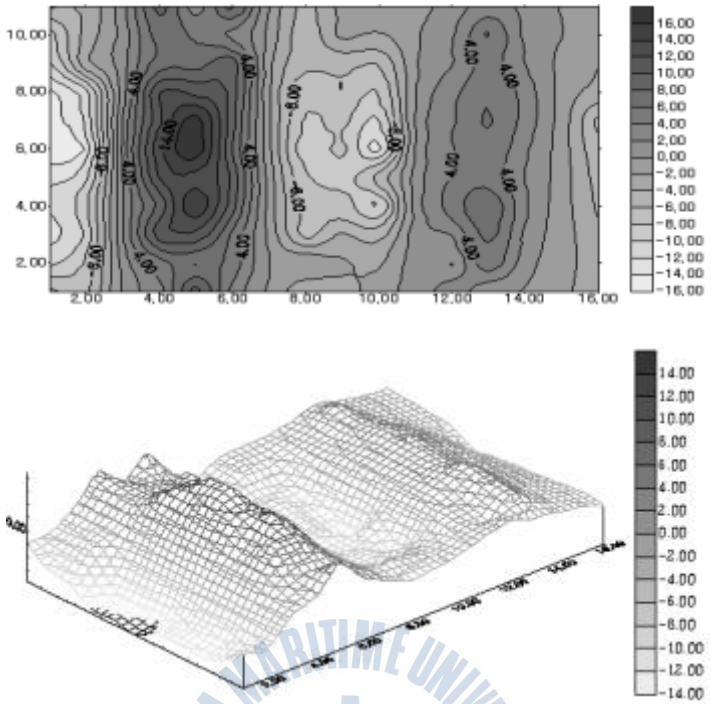


Fig.3. 16 1st mode test at 292Hz

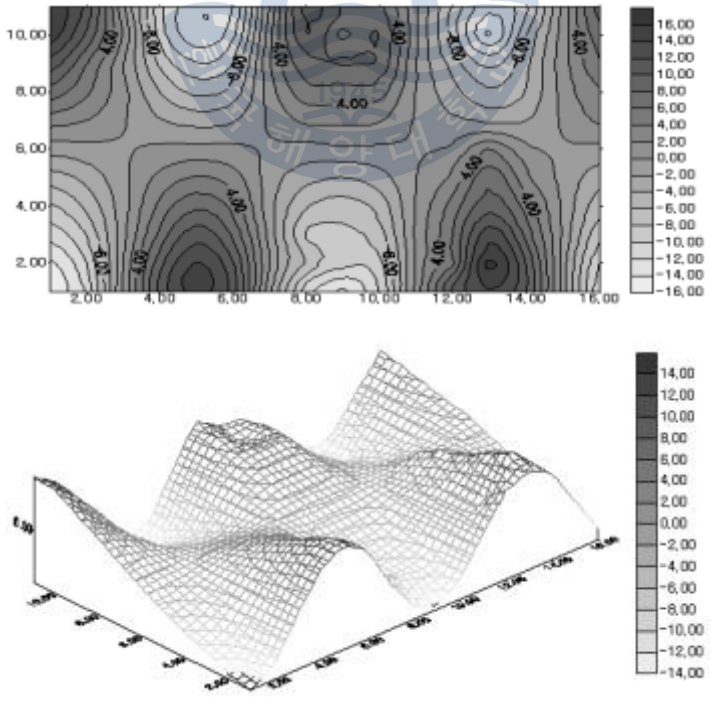


Fig.3. 17 2nd mode test at 426Hz

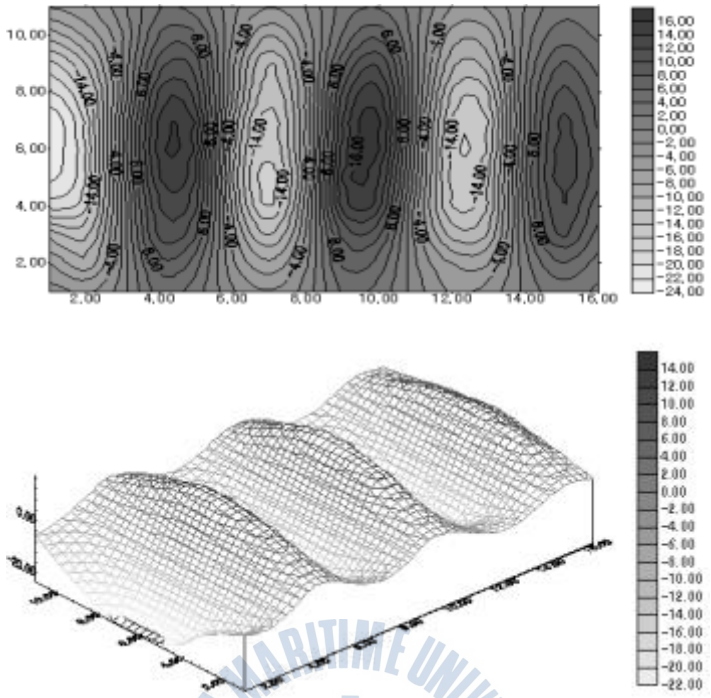


Fig.3. 18 3rd mode test at 523Hz

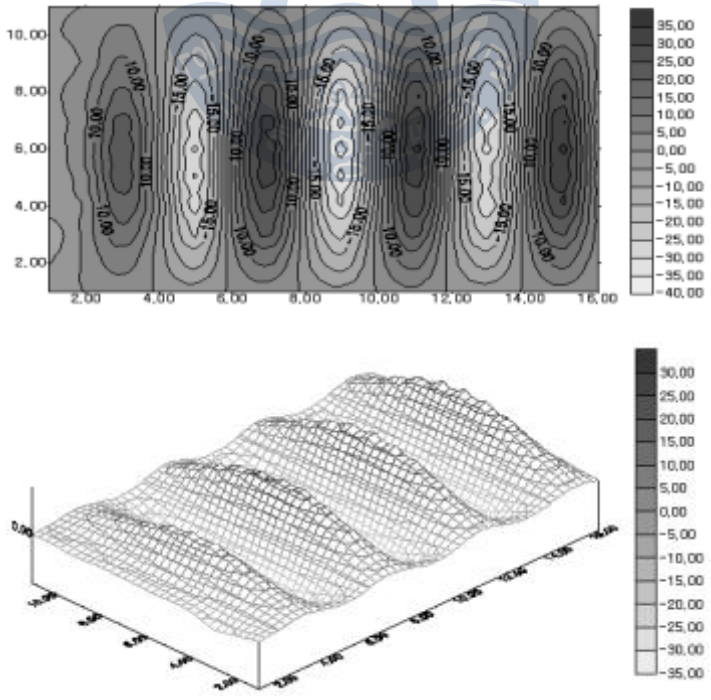


Fig.3. 19 4th mode test at 771Hz

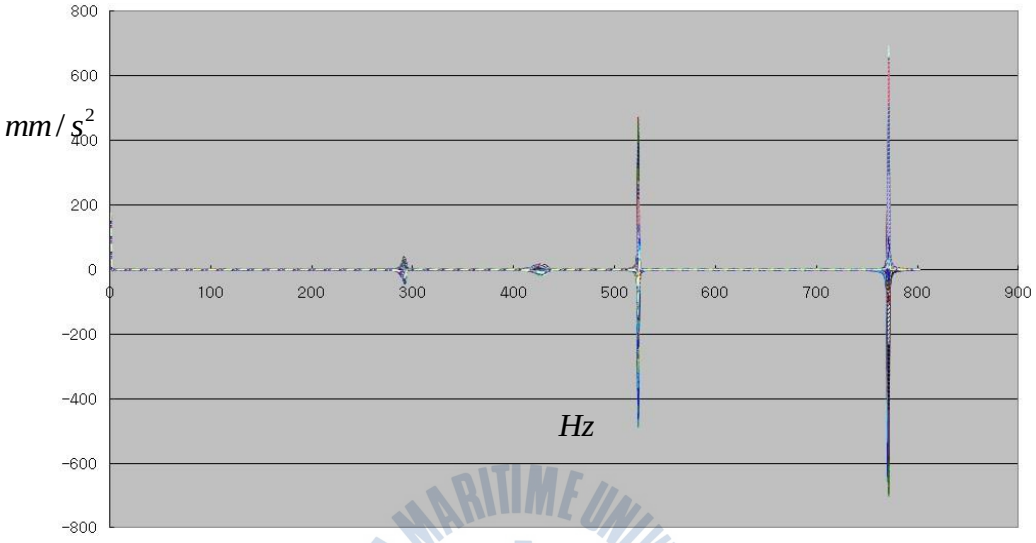


Fig.3. 20 The graph of natural frequency

Modal test의 결과 진동제어에 가장 효율적인 위치는 3차, 4차 모드가 중복되는 위치이다. 본 연구에서는 3, 4차에서 중복되는 좌표 15.00횡으로 MFC 를 부착해 실험했다.

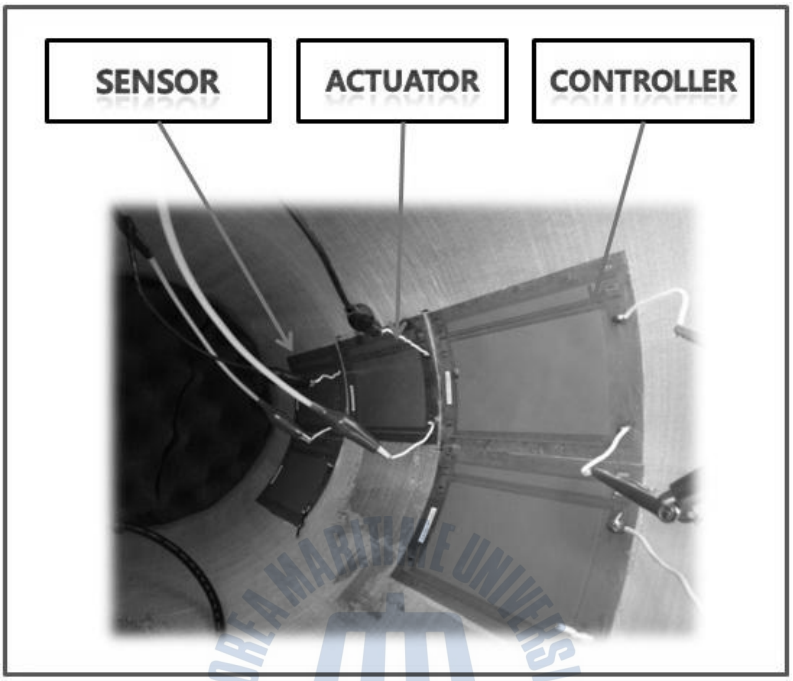


Fig.3. 21 Position of MFC sensor and actuator

MFC는 Actuator, Sensor, Controller로 이루어지고, Actuator MFC 는 Function generator 의 신호를 증폭해 구조물을 가진 시키고, Sensor MFC 는 구조물의 진동특성을 AD/DA 를 통해 신호를 전달하고, Controller MFC 는 진동을 제어하기 위한 용도로 쓰이게 된다. Modal test로 분석된 진동특성에 따라 MFC의 위치를 선정하였다.

제 4 장 알고리즘 개발 및 검증

4.1 System개발 단계

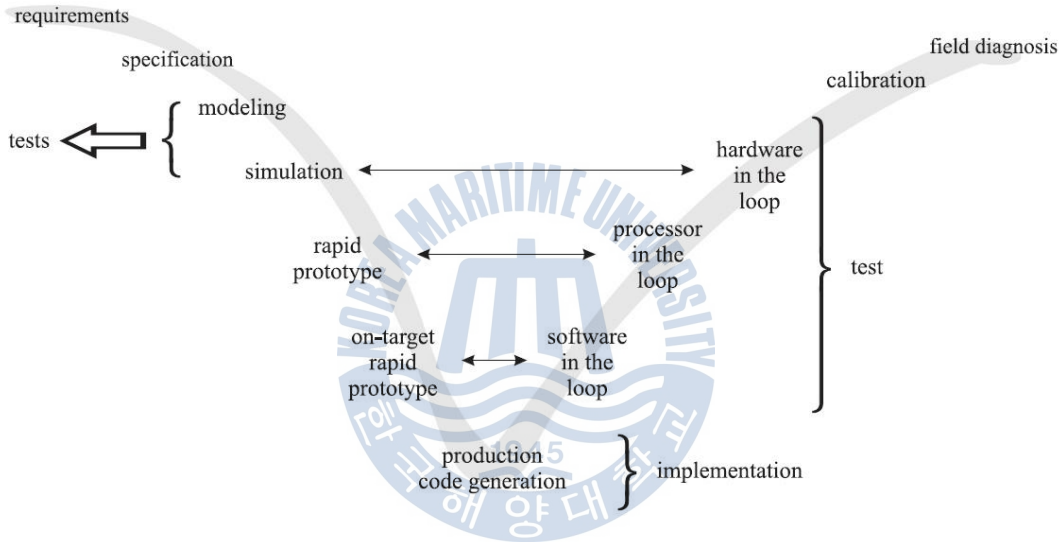


Fig.4. 1 Matlab's system design using V cycle

시뮬레이션은 새로운 시스템을 개발하고 검증하는데 있어서 신속하고 경제적인 툴이다. 개발된 시스템의 성능평가 및 검증은 매우 중요한 부분이며, 실제 시스템에 탑재하기 전까지 정확한 성능시험 및 평가를 필요로 한다.

이를 위해 사용되는 방법 중에 대표적인 것이 Processor In The Loop Simulation(PILS) 및 Hardware In The Loop Simulation(HILS) 성능평가라고 할 수 있다. Fig.4.1은 Mathworks社에서 제공하는 시스템 설계 방법이다.

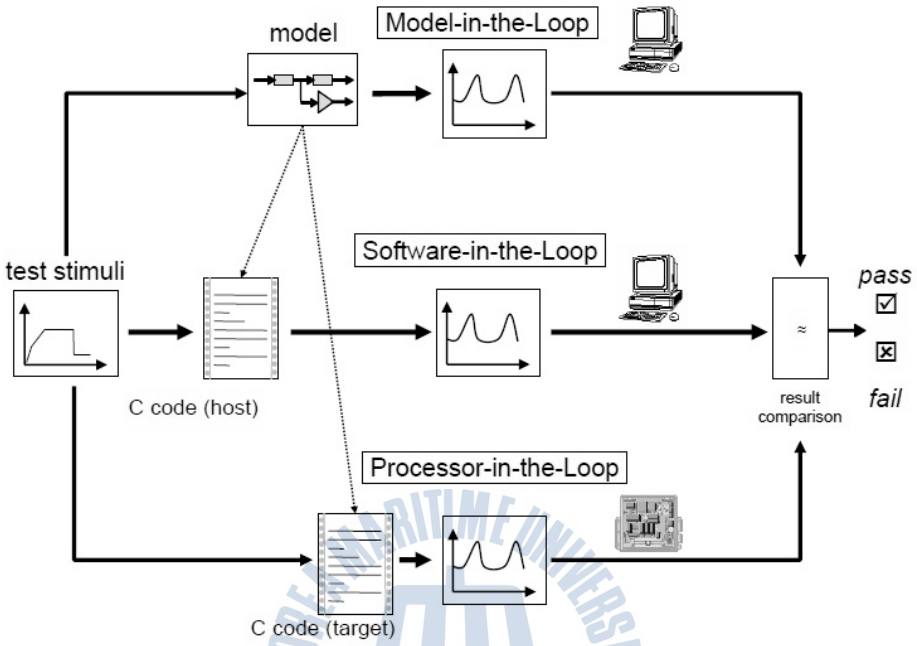


Fig.4. 2 Matlab simulink verify using 3step

Fig.4.2에서 PILS는 가상의 독립적인 프로세서들을 유사하게 실시간 시뮬레이션 하는 것으로 정의되며, 반면에 HILS 는 실제 시스템의 하드웨어를 적용하여 실시간 시뮬레이션 하는 것이다. 위의 두 가지 성능평가 모두 중요하며 일반적으로 PILS 시스템을 이용한 성능평가를 수행 한 후 실제 센서 및 비행제어컴퓨터등과 연계하여 HILS 시스템을 이용한 성능평가를 수행하게 된다.

시스템의 검증 단계는 HILS를 최종 목표로 이지만 현 시스템은 HILS를 위한 하드웨어 기반이 준비되지 않았으므로 Modeling 및 PILS를 기반으로 시스템에 적용하여 문제점을 찾고 HILS단계를 거치지 않고 시스템을 구성할 수 있도록 하는 것을 목표로 했다.

PILS 검증을 위해서는 Matlab simulink를 구동할 컴퓨터의 성능이 J-Tag 및 Code composer studio를 통합적으로 처리하고 Nano Sec단위의 연산을 하고 저장하거나 불러들이기에 충분한 속도를 가져야 한다. 이를 위해 Matlab에서는 Bench라는 함수로 성능을 평가하고 실험을 실시하도록 한다. 테스트를 마치고 Bench의 평가기준이 본 연구에서 수행된 Parameter estimation작업 및 Code generation 작업에 일정하게 정해지진 않지만 Dual core CPU를 이용한 실험에서 Estimation 및 PILS검증에서 요구되는 CPU사양은 Bench mark의 50% 이상의 성능을 구현 할 수 있어야 함을 실험적으로 확인되었다.

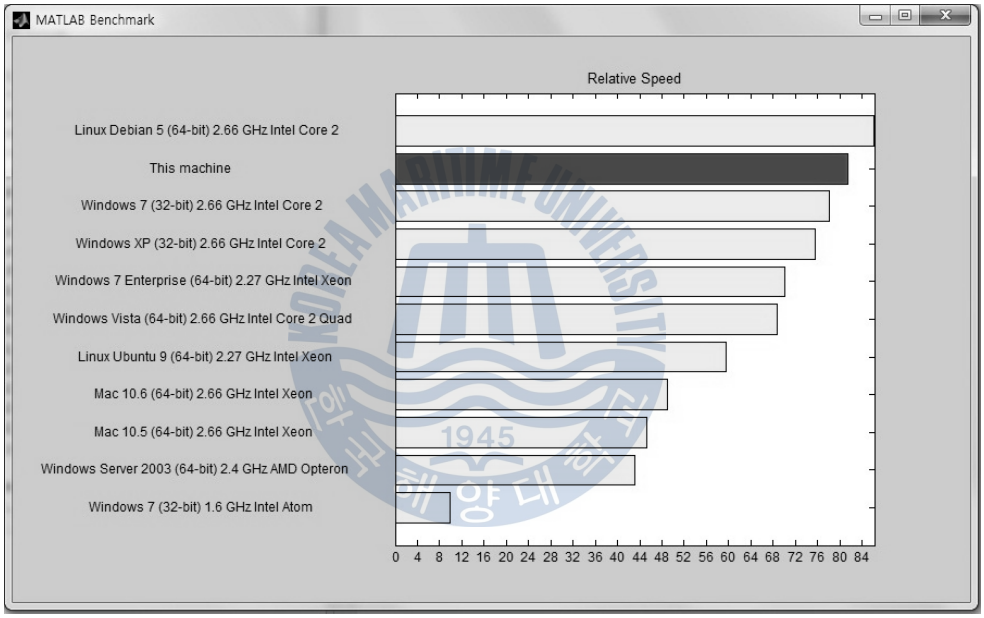


Fig.4. 3 Bench for simulink test

Simulink를 이용한 Modeling에서 PILS검증 및 성능시험을 수행하기 위해 다음과 같은 시스템을 구축하였다.

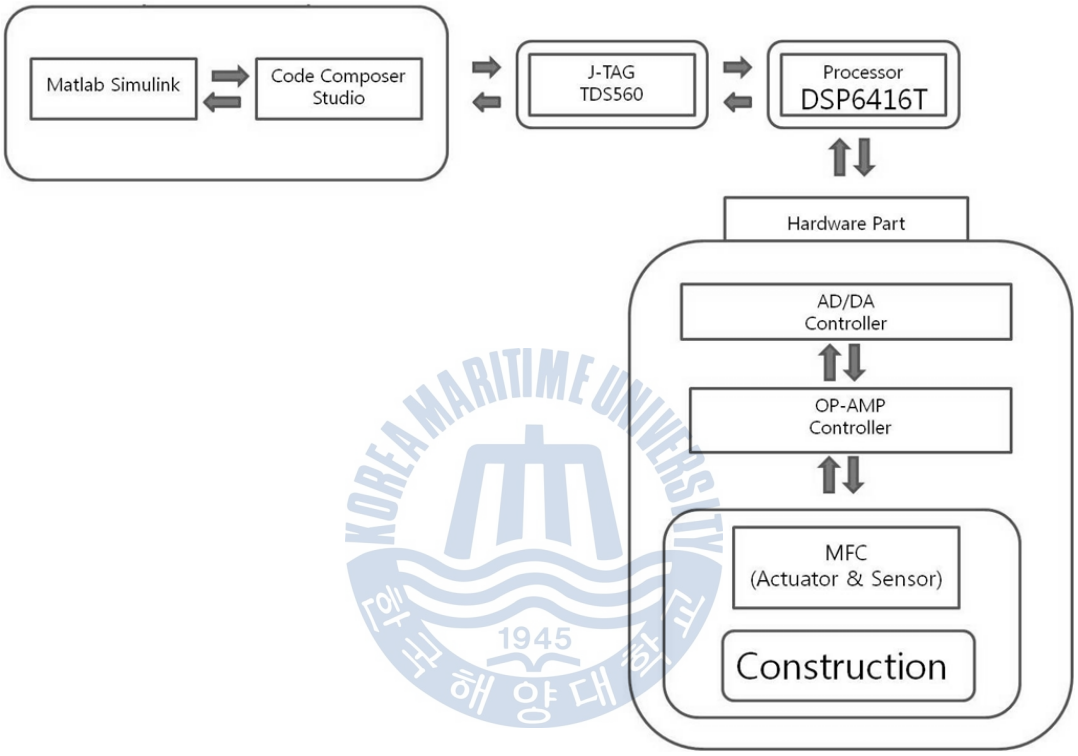


Fig.4. 4 PILS for verification of system configuration

4.2 Parameter estimation

시뮬레이션을 구현하기 위해 잠수함 축소모델을 가상화 시켜야 한다. 이를 위해 Matlab simulink의 Parameter Estimation Tool을 이용해 Parameter 값을 찾고, 모델링 하였다. 잠수함 축소모델을 Actuator MFC를 이용해 3차 공진모드인 523Hz로 진동시킨 데이터를 수집하여 Parameter Estimation을 수행하였다. Fig.4.5는 Function generator로 부터 입력 받은 증폭 신호이며 Fig.4.6은 MFC Sensor로 부터 받은 신호이다.

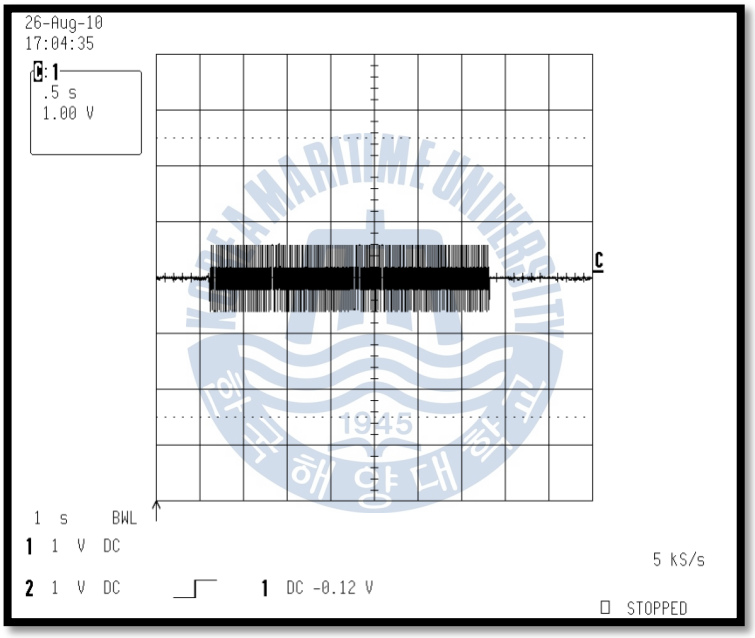


Fig.4. 5 Function generator input signal at 514Hz

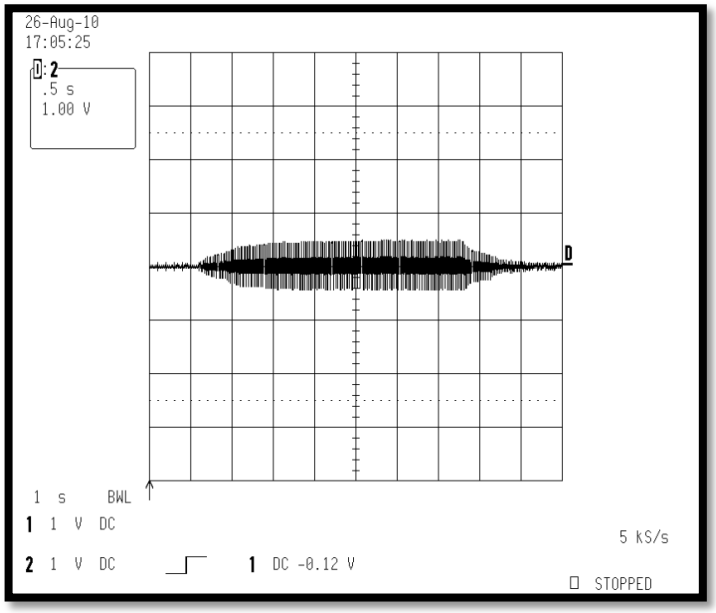


Fig.4. 6 Sensor output signal at 514Hz

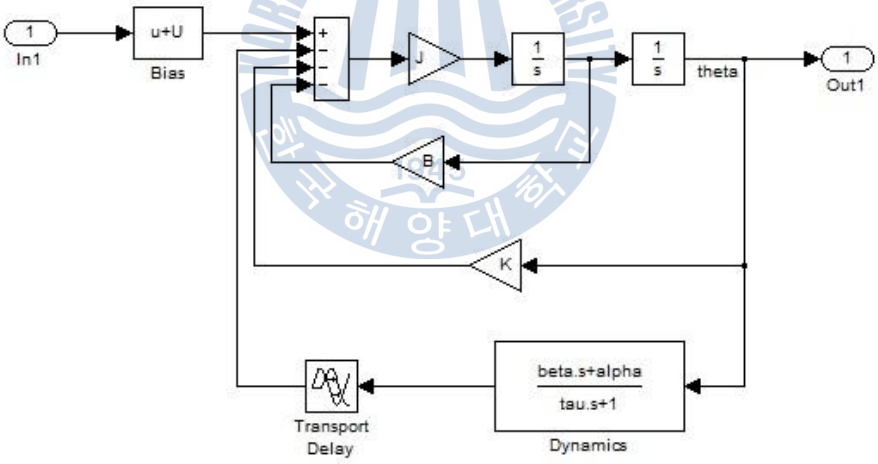


Fig.4. 7 Dynamics for parameter estimation

Fig.4.7은 Simulink를 이용한 Parameter estimation을 수행하기 위한 Block이며, MFC Sensor로부터 1초에 5만개의 데이터를 받아 Matlab Matrix에 저장하여 Parameter Estimation Tool을 이용해 Parameter estimation을 수행 하였다.

Estimation은 위와 같은 Spring damper system 에 Bias와 Transport delay, 1st Order dynamics modeling하고, 이는 구조물에 대한 최대한의 변수를 고려한 실제와 유사한 Parameter를 추정하였다.

Fig.4.8은 Parameter estimation을 하기 위해 실제 데이터를 Matlab에 적용한 그래프이다. Fig.4.9에서는 Output 데이터를 제외한 Sensor 데이터를 실제 값과 Parameter estimation이 완료된 Modeling에 실제 Output 데이터를 입력했을 때 Simulation 된 결과를 비교하였다.

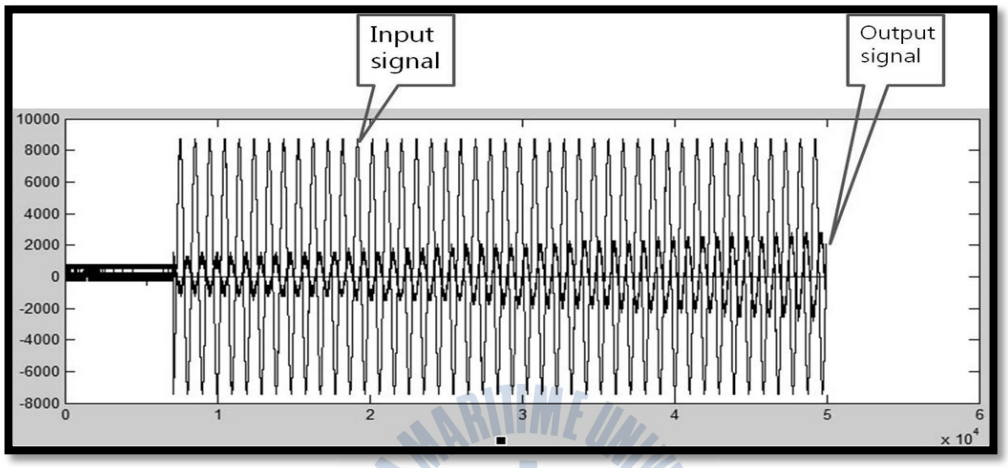


Fig.4. 8 Data for parameter estimation at 523Hz

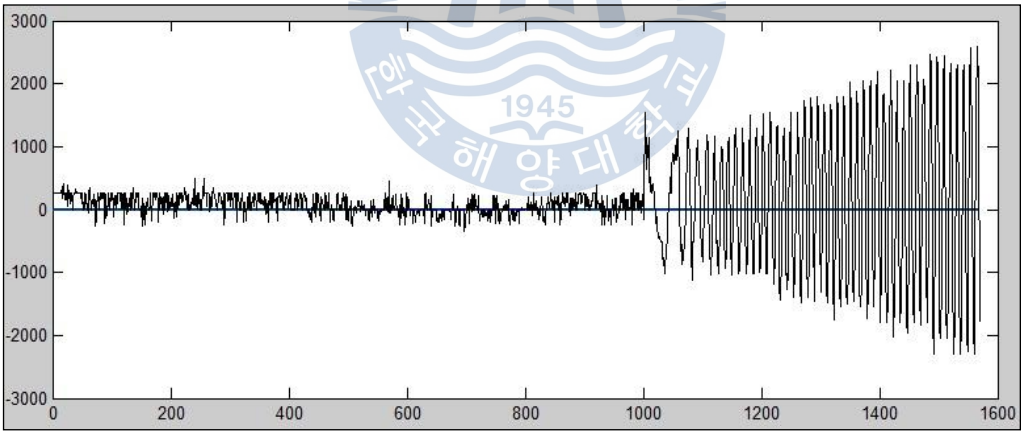


Fig.4. 9 Graph of real sensor data

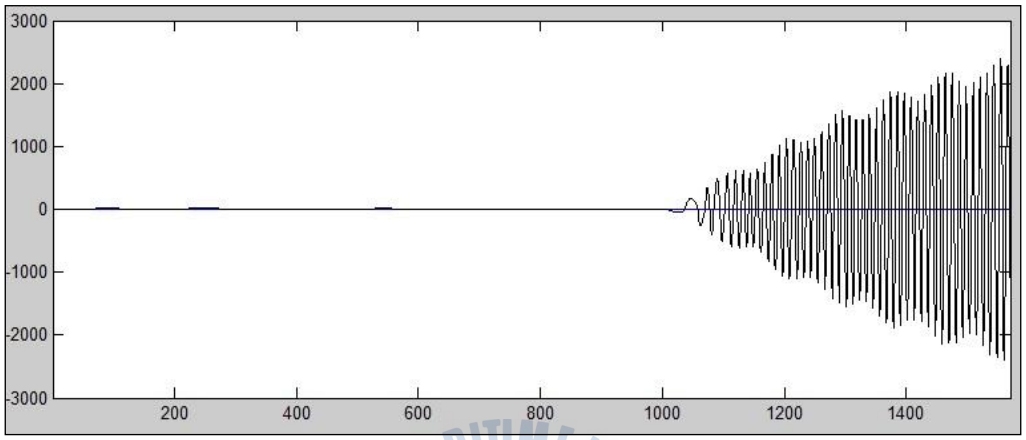


Fig.4. 10 Graph of simulation sensor data

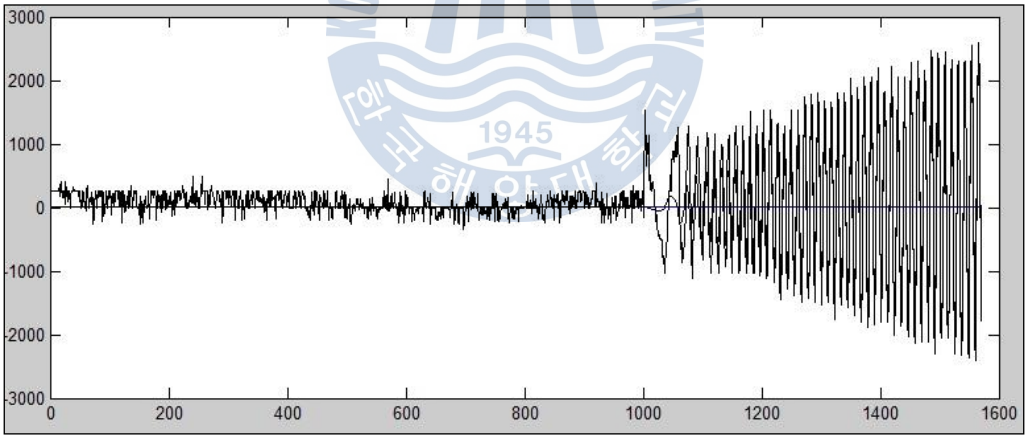


Fig.4. 11 Graph of real data and simulation data

Table 2 Parameter compare estimated with experimented parameters

Parameter / Test type	Estimated parameters	Experimented parameters
M	6.228	5.2
C	0.338	0
K	0.018	0.0001
Td	0.0932	10
U	-3.5949	200
Alpha	13.76	
Beta	-0.12592	
Theta	-0.0091442	

Fig.4.10과 Fig.4.11에서 Parameter estimation을 수행한 결과 실제 값과 Simulation 값은 상당히 유사함을 확인하였다. Table 2에서 추정 값과 실제 값의 차이는 하드웨어적 손실 혹은 이득의 오차로 추정된다. Parameter estimation을 수행한 그래프와 실제 데이터를 수집한 그래프를 비교함으로 Simulation을 하기 위한 원통구조물의 Parameter를 추정, 검증하였다.

4.3 PILS(Processor in the loop simulation)

Process-in-the-Loop (PIL) 시뮬레이션은 버추얼 환경에서 매우 실제적인 실험과 안전성을 보장한 시뮬레이션이다. 임베디드 컨트롤 시스템은 일반적인 기계 시스템의 여러 개의 다른 컴포넌트를 컨트롤하는 데에 있어 중추적인 역할을 한다. 소형 무인 항공기를 위한 오토파일럿을 설계한다고 생각해보자. 설계에서의 작은 오류 하나로 인해 일반 테스팅 중 충돌하면 2억 달러가 소요된다. 실제 테스팅 이전에 시스템의 소프트웨어를 시뮬레이션 하는 것은 실제 아날로그 및 디지털 신호로 리얼타임으로 작동하는 것이 아니기 때문에 도움이 되지 않을 수도 있다. 이러한 딜레마로 인해 최종 배포 이전에 임베디드 컨트롤 시스템 테스트를 위한 표준 방법으로써 PIL(HIL) 시뮬레이션을 채택하게 되었다. Fig.4.12는 Ti社와 Mathworks社의 제품 연동에 대한 블럭도이다.

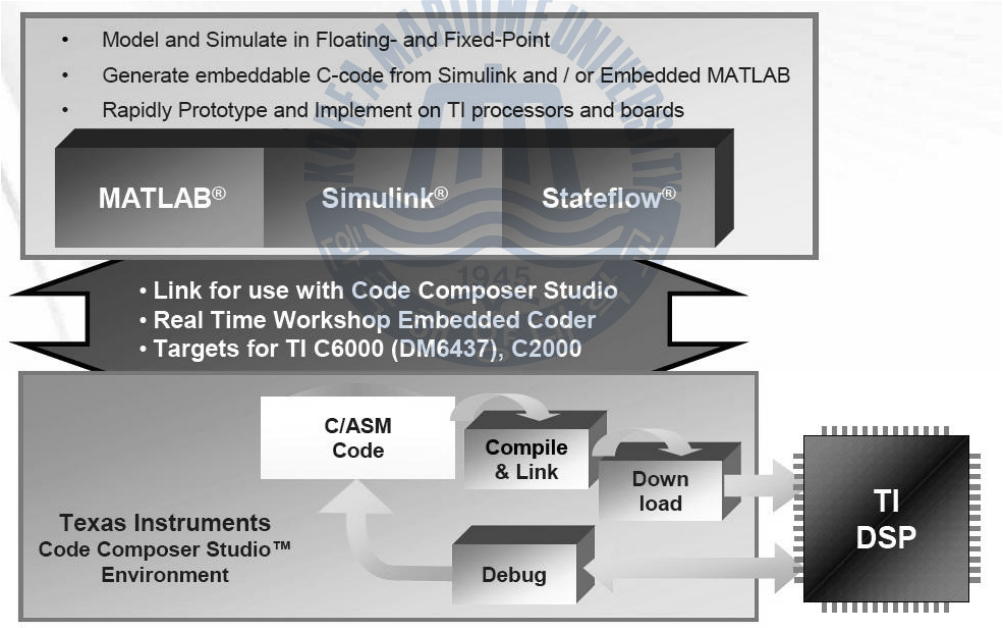


Fig.4. 12 Interlocking Matlab with CCS

Process-in-the-loop (PIL) 시뮬레이션은 버추얼 환경에서 매우 실제적인 기기 시뮬레이션을 구현가능하고 일반적인 PIL 시스템에는 컨트롤 시스템으로부터 데이터 수신을 위한 센서, 데이터 송신을 위한 액추에이터, 데이터 프로세싱을 위한 컨트롤러, HMI(Human Machine Interface) 및 개발 후 시뮬레이션 분석 플랫폼이 있다. 고속프로세스를 사용하면서 다양한 알고리즘을 적용한 프로세서의 검증을 위해서는 PILS 단계를 필수적으로 수행해야 하므로 PILS검증 단계를 수행하였다. PILS 검증을 수행하려면 Real-Time처리를 해야 하므로 Fig.4.13과 같은 실험환경을 구축하였다.

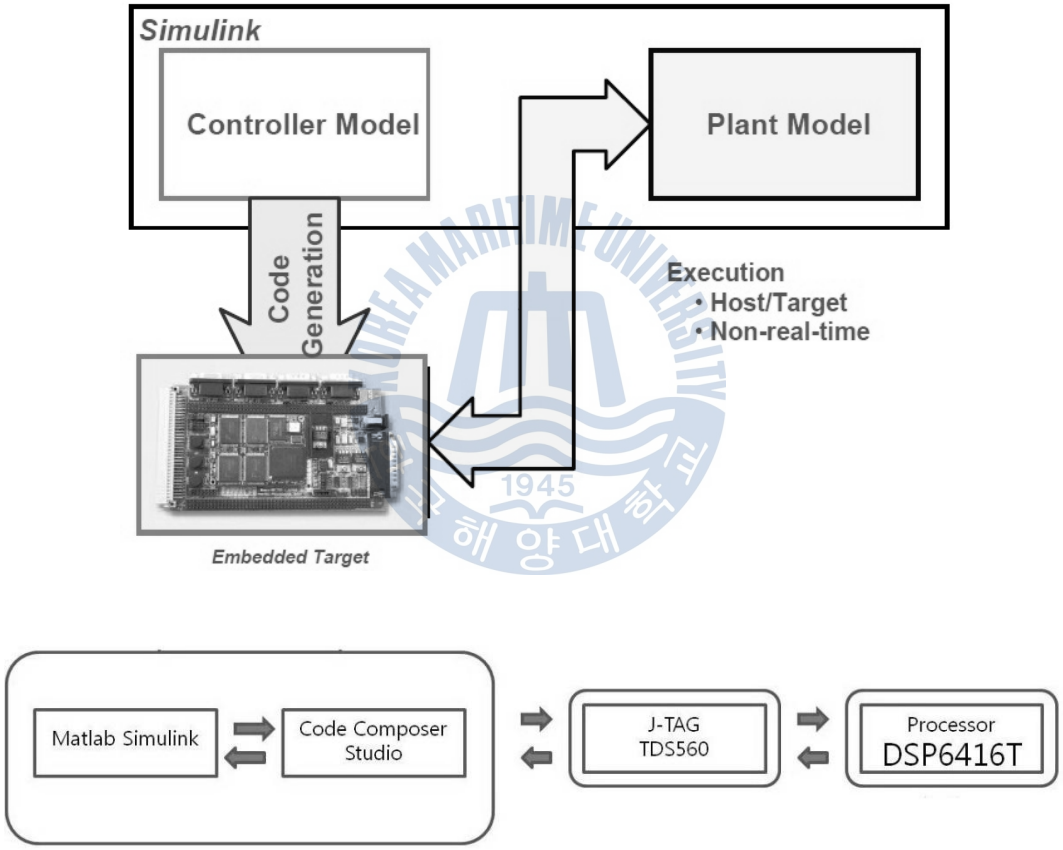


Fig.4. 13 Architecture of Processor in the loop simulation

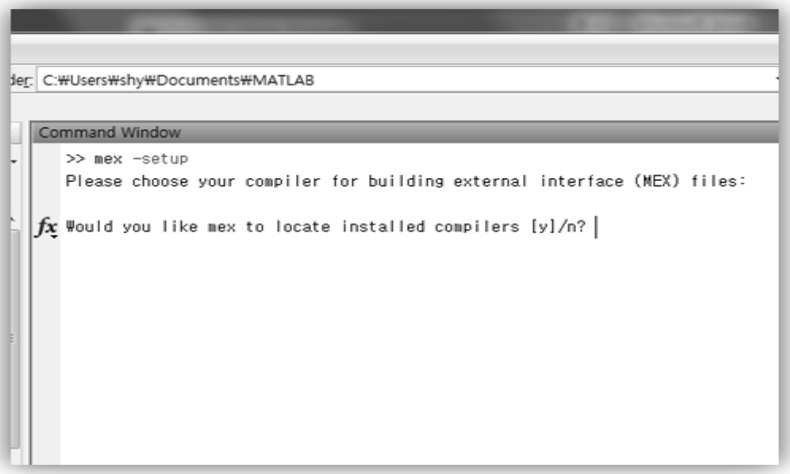


Fig.4. 14 Language setup for simulink

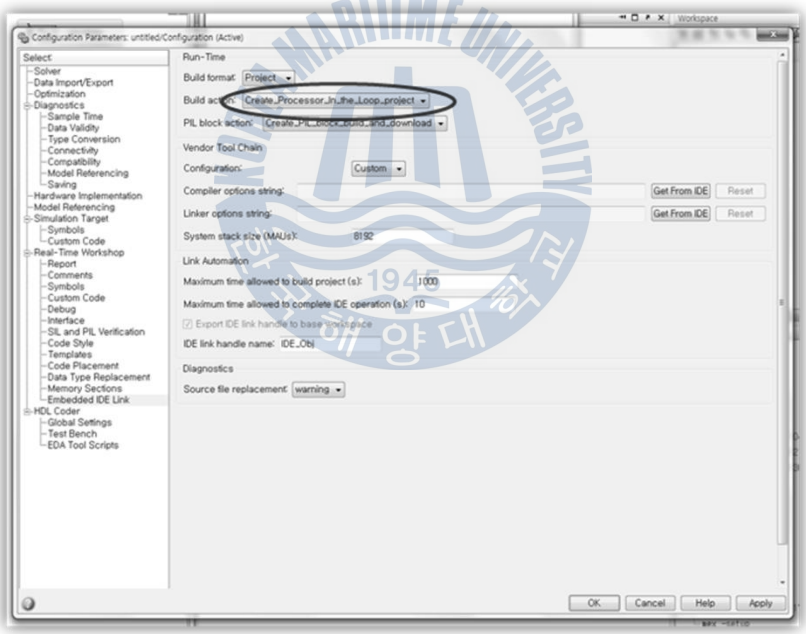


Fig.4. 15 Configuration parameter for PILS

Matlab simulink의 컴퓨터 언어를 지정하기 위하여 Fig.4.15와 같은 필수적인 설정이 필요하다. Matlab의 Max 설정을 이용하여 Windows language를 설정하여 simulink를 이용한 C언어의 활용에 있어서 문제가 생기는 것들을 예방할 수 있다.

PILS 검증을 위해서는 Matlab simulink의 Configuration Parameters setting은 상당히 중요하다. 전체적인 시스템은 Configuration의 setup에 대한 설정 값에 의해 계산되고 PILS block 또한 이를 바탕으로 생성된다. Real-time setup 및 Sampling time은 Code generation 이후 적용되지 않으므로 Discrete solver를 이용한다.

PILS 검증을 위한 Model을 다음과 같이 PILS block과 Simulation block을 실시간으로 비교하였다.

시스템 알고리즘의 검증을 위하여 Sin wave 및 White noise를 PD controller를 이용하여 처리하도록 구성하였다.

PILS검증을 위해는 Fig.4.16과 같은 Block이 필수적이다. PIL block은 CCS를 실행시키고 다음단계를 위한 build, download등의 옵션을 가지며 PIL block이 안정적으로 구성되지 않으면 PILS검증은 불가능하다.

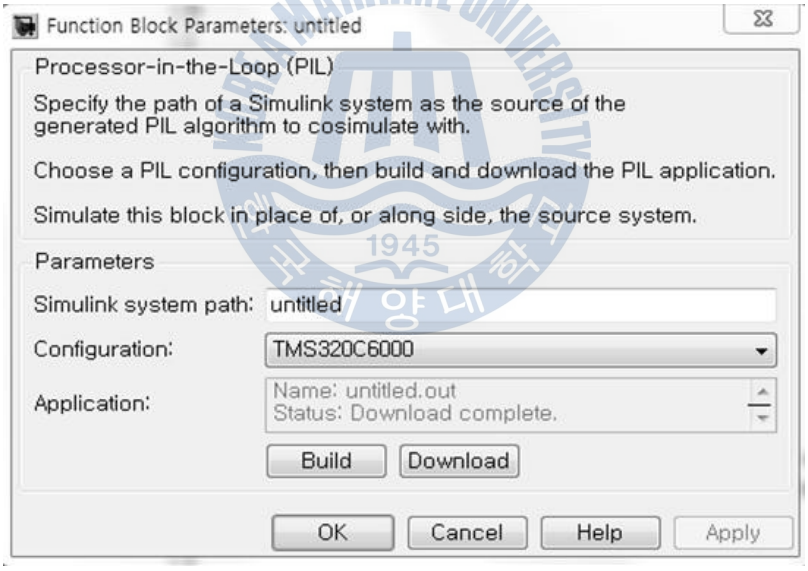
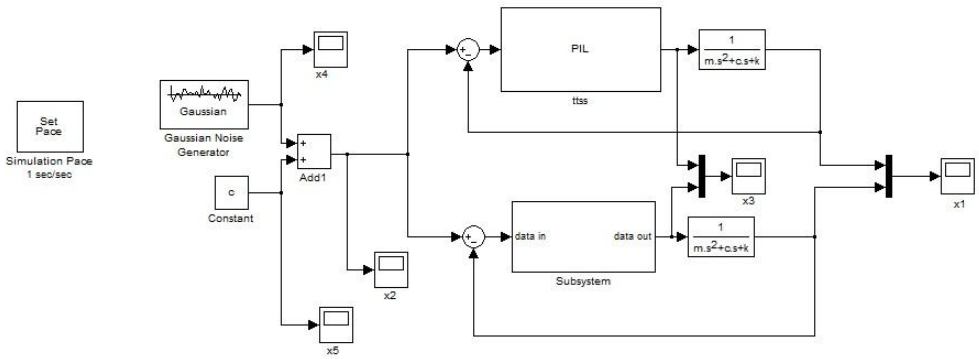


Fig.4. 16 Block of PILS



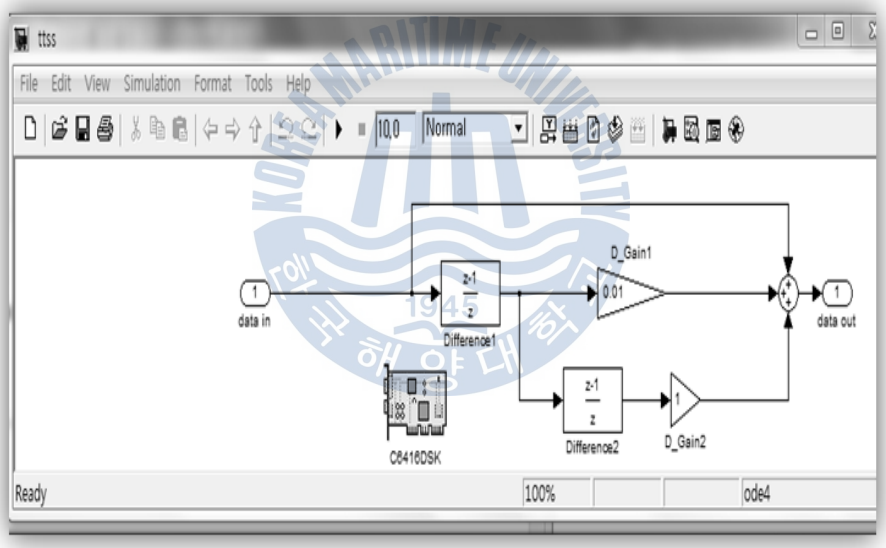


Fig.4. 17 Algorithm for PILS verify

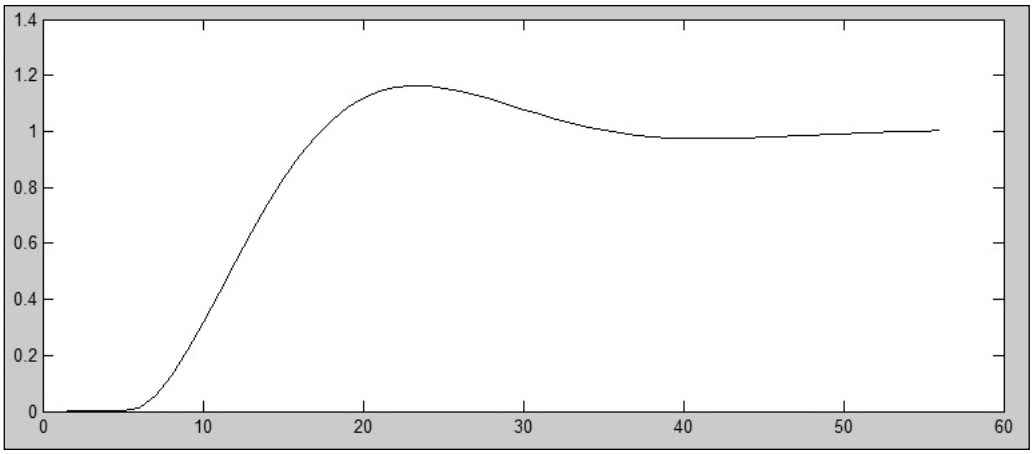


Fig.4. 18 Compare with simulation data and real data

위의 그래프는 Simulation data와 Processor in the loop simulation 결과이다. 두 data의 결과가 일치함으로 Noise와 Sin wave를 결합한 신호를 PID 제어기와 Weighted moving average filter를 적용 및 신호처리가 가능한 성능을 가진 Processor로 검증된 것을 확인 할 수 있다.

4.4 Code generation using matlab simulink

Mathworks社는 Simulink 사용자의 개발환경 효율을 높이기 위하여 Code generation 기법을 적용하였다. Matlab simulink block을 기반으로 Model base인 block들은 모두 C언어, C++로 이루어진 소프트웨어를 자동으로 생성시켜준다.

시뮬레이션을 끝낸 모델은 바로 Code generation 기법에 의해 제작 될 수 있는데 이것을 검증하는 단계가 앞 단계에 소개된 Processor in the loop simulation을 일반 Model base화 된 Simulation과 비교한 것과 유사하다. 다음은 Mathworks社의 Code generation 기법이 적용된 경우와 전통적인 소프트웨어 개발의 경우를 비교한 모식도이다.

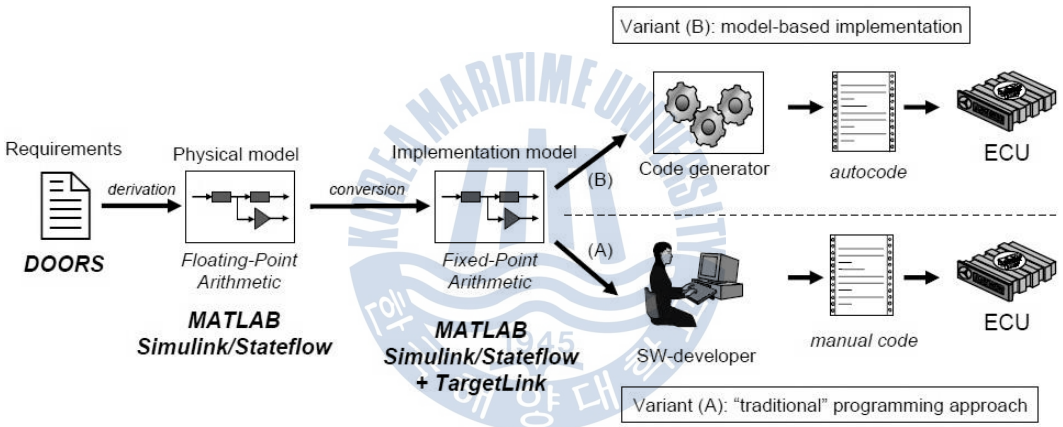


Fig.4. 19 Compare tradition software design with code generation

본 연구에 사용될 소프트웨어 개발을 위해 진동시스템에 대한 특성을 파악하였다. 구조물을 가진 후 Sensor로 전달될 값과 하드웨어를 거쳐서 프로세서로 전달되는 구간에 생길 잡음 필터링을 하기 위하여 Weighted moving average filter를 사용하였다.

Weighted moving average filter는 Digital filter로 사용되면 Lowpass filter와 유사한 기능을 가지지만 값을 저장하고 다시 예측하는것에 있어서 성능이 뛰어나고 AD/DA 시스템을 가지는 본 시스템에 적당하다고 판단하였다. 다음은 Sin wave에 Weighted moving average filter를 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우의 실험 결과이다.

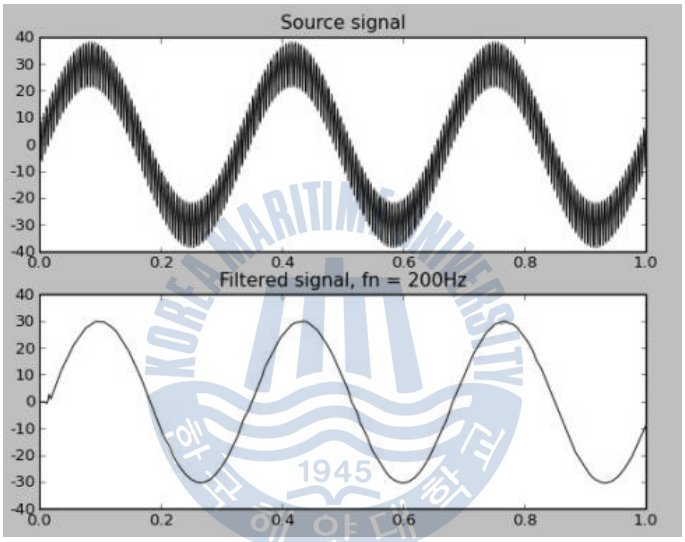


Fig.4. 20 Test of weighted moving average filter

위의 그래프와 같이 상단에 있는 Signal은 Weighted moving average filter 를 적용하지 않았을 경우이다. 구조물과 하드웨어를 거치면서 잡음이 발생했지만 Weighted moving average filter를 사용한 결과는 하단에 있는 signal과 같이 평균값을 유지하면서 출력되는 것을 확인 할 수 있다. 다음은 Weighted moving average filter의 기본식이다.

$$
\begin{aligned}
&y(n) = b_0 x(n) + b_1 x(n-1) + \cdots b_{M-1} x(n-(M-1)) \\
&= \sum_{k=0}^{M-1} b_k \cdot x(n-k) = \sum_{k=0}^{M-1} h(k) \cdot x(n-k) \\
&\Rightarrow b_k = h(k) \\
&0 \le k \le M-1
\end{aligned}
\qquad (3)
$$

Weighted moving average filter는 100Khz의 Sampling time에 해당하는 AD/DA 를 20step으로 나누어 공진 523hz, 771hz에서 LPF나 이외의 FIR filter 보다 구조물의 정해지지 않은 Noise로부터 영향이 적고 필터의 적용이 간단하며, 고속제어에 있어서 적합함을 실험적으로 확인하였고, 진동제어에 널리 사용되며 적용이 용이한 PD Controller를 Weighted moving average filter와 함께 DSP GPIO를 통한 MFC 제어를 하기 위한 Simulink code generation을 위한 다음과 같은 System을 Simulink tool을 이용하여 설계하였다.

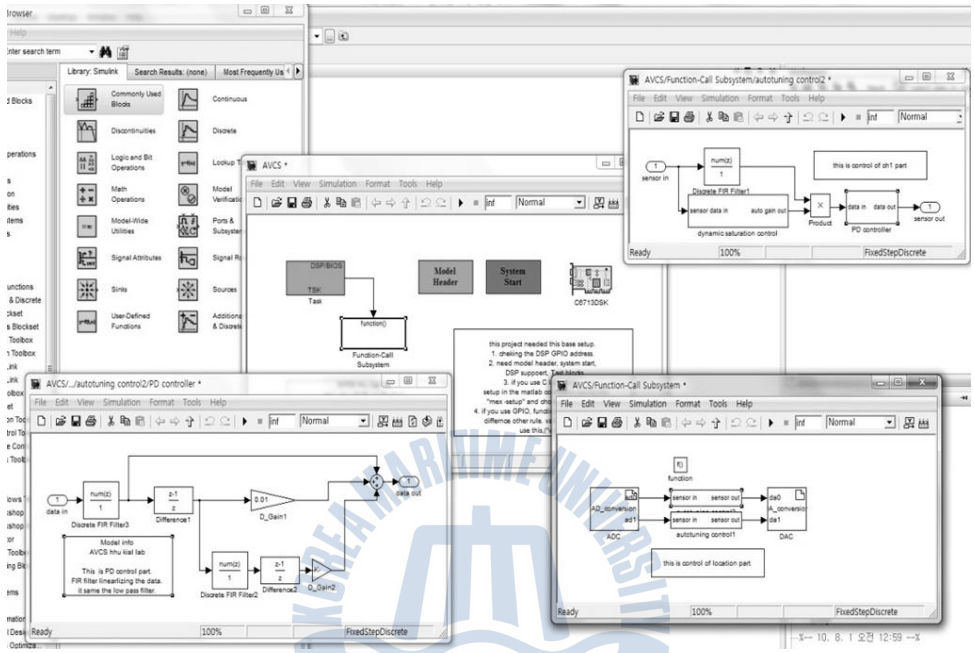


Fig.4. 21 Design of code generation block using simulink

4.5 Applying algorithm using matlab simulink

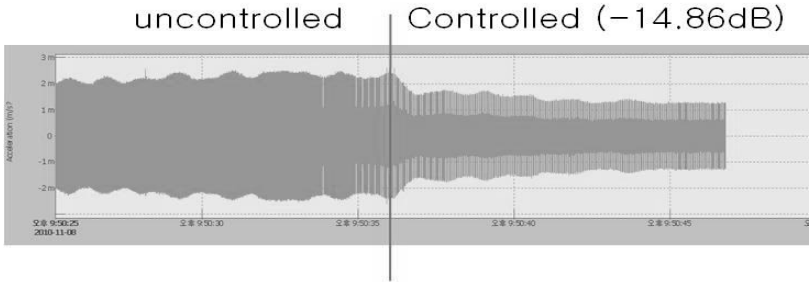


Fig.4. 22 Result of at 523Hz

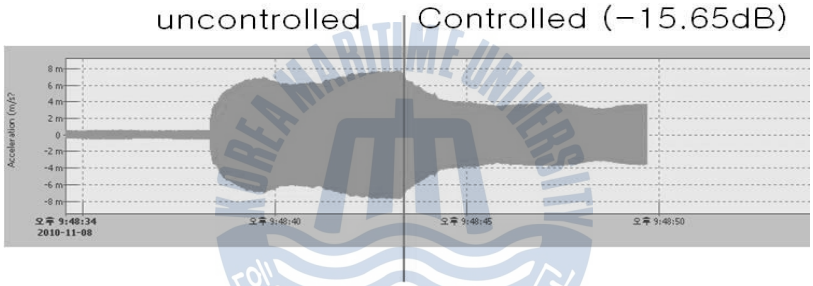


Fig.4. 23 Result of at 771Hz

Simulink block으로 구성된 알고리즘을 DSP6416DSK와 연동하여 3차, 4차의 공진모드에서 가진만 했을 경우에서 제어를 하여 진동을 저감했을 때의 데이터를 Fig.4.22와 Fig.4.23에 나타내었다. 진동저감은 평균 15.3bB의 성능을 가졌다.

제 6 장 결론

본 연구에서는 초고속의 원 칩 DSP 프로세서인 TMS320C6416과 MFC 센서를 구동하기 위한 PZT 액츄에이터 형태의 능동 진동 제어시스템을 구성하였다. 그리고 PZT 액츄에이터를 구동하기 위하여 필수적인 고 전압 Amp와 센싱에 의하여 입력 되는 신호 처리를 위해 A/D와 D/A Converter의 Interface 회로를 설계 적용 하였다. 이들 각각의 회로들은 모듈화 하여 디버깅이 손쉽게 가능하도록 전체적으로 소형화 하였다. 또한 시스템의 모듈화와 소형화에 따라 하나의 Control Box로 구성이 가능해졌고, 선택적이고 가변적인 전원에 따라서 최적의 실험 조건들을 구축 및 실험할 수 있었다. 아날로그 전원과 디지털 전원, 고 전원과 저 전원을 분리하여 각 영역에 대한 부분들을 보다 안전하게 관리하였다. 하드웨어 및 소프트웨어의 검증을 위하여 Parameter estimation, Processor in the loop simulation을 수행하였고, 알고리즘의 적용을 신속하고 효과적으로 하기 위하여 Code generation 기법을 이용하여 Moving average filter, PD controller, Gain saturation 의 알고리즘을 적용하여 잠수함 축소모델의 15.3dB의 진동이 줄어든 결과를 얻었다.

또한 기존의 공기 중 실험의 결과를 바탕으로 수중의 Hull 구조물 내에서 실제적인 실험을 바탕으로 한 시스템을 개발할 계획이다. 공기 중이 아닌 수중의 경우 구조물이나 센서에 대한 고유의 진동수 및 물성치가 변할 수 있기 때문에 그에 따라 전체적인 시스템의 알고리즘을 재구성 할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] M. Strassberger 외, "Active noise reduction by structural control using piezo-electric actuators“, Mechatronics 10, pp.851-868, (2000)

[2] S. D. Snyder 외, "Acoustic-centric modal filter deign for active noise control" , Control Engineering Practice 12, pp.1055-1064, (2004)

[3] S. Y. Chu, T.T. Soong, A.M. Reinhorn, “Real-time active control verification via a structural simulator”, Engineering Structures 24(3), pp.343-353, (2002)

[4] Sumali. H., "Demonstration of active structural acoustic control of cylinders", MS. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, (1992)

[5] 김영식, 이철, 김인수, “압전작동기/가진기를 이용한 평판의 혼합용 능동 진동 제어 기술”, 한국소음진동공학회 10(6), pp.1048-1058, (2000)

[6] 박수홍, 김홍섭, 홍진석, 오재응, “피에조 세라믹을 이용한 평판의 능동제어”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회, pp.434-439, (1997)

[7] 조대승외 7 인, “선박의 상부구조 진동 저감을 위한 능동형 제어장치의 실용화 연구”, 대한조선학회논문집 41(4), pp.77-84, (2004)

[8] 곽문규 외, "마이크로 컨트롤러를 이용한 디지털 PPF 제어기의 구현과 실험“, 한국소음진동공학회, pp.148-152, (2003)

[9] 홍이표, "마이크로 컨트롤러를 이용한 디지털 PPF 제어기의 구현과 실험”, 항공대 석사논문, (2001)

[10] 강영규, 최진영, 김재환, “능동구속감쇠 기법을 이용한 보의 능동 제어”, 한국소음진동공학회 11(4), pp.52-57 (2001)

[11] 조성덕, “DSP Processor 를 이용한 고속 Active Control System 개발”, 한국해양대학교 석사논문 (2006)

[12] 배병찬, 곽문규, 정문산, “MFC 작동기를 이용한 실린더 쉘의 능동진동 제어 실험”, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, 13-04 (2006)

[13] 고동연, “DSP320C6713 을 이용한 고속 다중 능동 진동제어 시스템 개발”, 한국해양대학교 석사논문 (2007)

[14] 곽문규, 수중 운동체 특화센터 SM33 과제 중간보고서(2005)

[15] 박전수, “Matlab 프로그래밍 언어”(2001)

[16] Thomas L. Floyd, “Electronic Devices”(2005)

감사의 글

가장먼저 하나님께 영광을 돌립니다.

그리고 사랑하는 부모님 누나들 미아.. 기도해 주시고 지켜봐 주셔서 감사합니다.

학부시절 같이 공부했던 영민이, 태웅이, 재은이, 성민이.. 도서관에서 밤 새며 애써왔던 기억이 아른거립니다. 그 누구 하나도 빠트리지 않고 큰 힘이 되어 주었습니다.

지능로봇 및 자동화 실험실에 생활을 시작하면서 최형식 교수님, 조용성 교수님께 많은 것들을 배우고 나갑니다. 제 인생에 있어서 새로운 길을 보여주신 교수님들께 감사 드리며 앞으로도 저의 영원한 은사님으로 남으실 겁니다.

제 4 영도교회 주영훈 목사님, 박해섭 목사님, 이순흠 목사님 감사합니다. 목사님들께 앞으로 눈물로 중보 하겠습니다. 그리고 잊지 않겠습니다.

학부 시절 저를 많이 아껴주시고 사랑해주신 사수 재관 형님, 그리고 졸업 하신 모든 선배님들께서 해 주신 이야기들이 얼마나 큰 도움이 되었는지 모른답니다.

대학원 시절 함께 했던 동기들 정말 행복했습니다. 동기들이 아니었다면 대학원 생활 정말 힘들었을 것입니다. 우리 동기들은 이세상 최고의 개그맨 이라고 해도 과언이 아닙니다.

졸업반이 되면서 함께했던 부 사수 Huy 호치민에서 함께 했던 시간들 잊지 못할 것입니다. 그리고 영어로 대화 하면서 많은 감정과 정을 느낄 수 있었다는 자체가 우린 정말 괜찮은 콤비였던 것 같습니다.

나의 소중한 후배님들, 아껴주지 못해 아쉬운 것들이 한 둘이 아닙니다.
지금부터라도 도움을 줄 수 있다면 최선을 다 해 노력하겠습니다. 항상 잘 따라주고, 함께 웃고 울 수 있어서 행복했습니다. 우리 후배님들은 앞으로의 비전이 남다르게 밝아 보입니다. 지금처럼만 서로 아끼고 사랑하고 이해한다면 학교를 나가서도 그렇게 될 것입니다. 사회에서도 성실하며, 자신의 관리에 꾸준하고 사람들의 관심을 받는 사람이 되십시오.

저의 첫 번째 직장인 한국전기연구원 산업전기연구본부 전동력 연구센터에서 저를 아껴주시고 잘 챙겨주시는 김종무 박사님 때론 아버지 같아서 정말 좋습니다. 저와 같은 방을 쓰시며, 족구 못해도 유일하게 구박 안 하신 이기창 선임님, 술자리에 항상 분위기 메이커이신 김지원 선임님, 영어발음 죽여주고 잘 챙겨주시는 옆집 버지니아공대! 승렬 형, 다른 회사로 떠나셨지만 여전히 옆 동에 계신 정 많으신 진국이형, 우리 팀 홍일점 경진씨 그리고 모든 센터 분들께 감사 드립니다.

영도에서 태어나 열악한 환경에서 많은 일들을 경험하고 좋은 사람들을 만났습니다.
사람들과 웃고 울면서 깨닫게 된 한 가지는 그 누구도 가치 없는 사람이 없고, 모두가 나 자신만큼 소중하고 존경 받아야 한다는 것입니다. 저는 이 말을 죽는 그 순간까지 마음에 새겨 인생의 목표 중 하나로 삼고 여러분 모두를 기억하겠습니다.

-2010.12.27 늦은 11 시-