

# 로드 노이즈 능동제어 시스템

유 용길

# 목차

---

- 개요
- 제어 알고리즘
- 모의 검증 실험
- 실차 시험
- DSP 적용

# 개요

---

## ▶ 연구 필요성 및 목적

### ▶ 연구 배경

차량 주행시 발생하는 로드 노이즈는 운전자가 차량을 운전함에 있어 큰 불편함을 줄 수 있으나, 수동적인 방법을 이용하여 차단하게 되면 차량 무게 증가로 인한 문제가 발생

### ▶ 연구 목적

차량 스피커를 이용한 능동형 로드노이즈 제어 기술 개발

## ▶ 연구 목표

100~500Hz 대역의 노이즈를 최대 3dB 이상 절감

## ▶ 활용 방안 및 기대 효과

차량의 연비를 유지하면서 로드노이즈를 절감하여 탑승자에게 쾌적한 환경을 제공

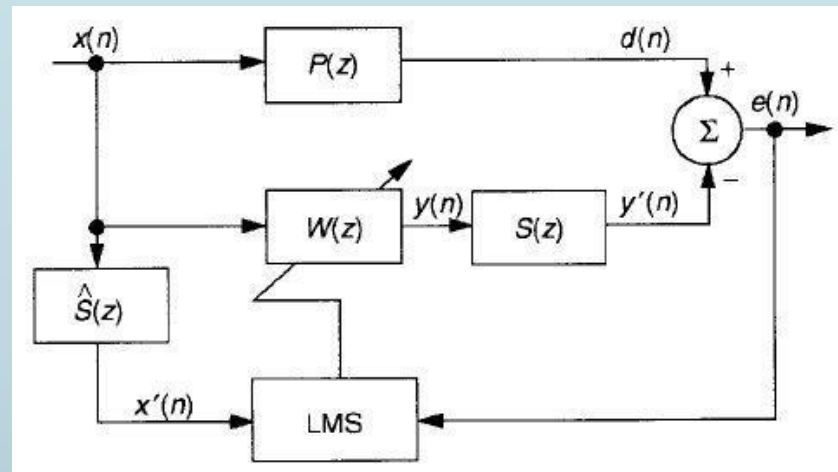
# 제어 알고리즘

## ▶ Filtered-x LMS Algorithm

- ▶ Feedforward 제어
- ▶ FIR 필터를 기반으로 Secondary Path 및 제어기 설계
- ▶ FXLMS 알고리즘을 통하여 에러를 줄이는 방향으로 제어기가 Update

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu \mathbf{x}'(n)e(n)$$

$$\mathbf{x}'(n) = \hat{s}(n) * \mathbf{x}(n): \text{Filtered } x$$

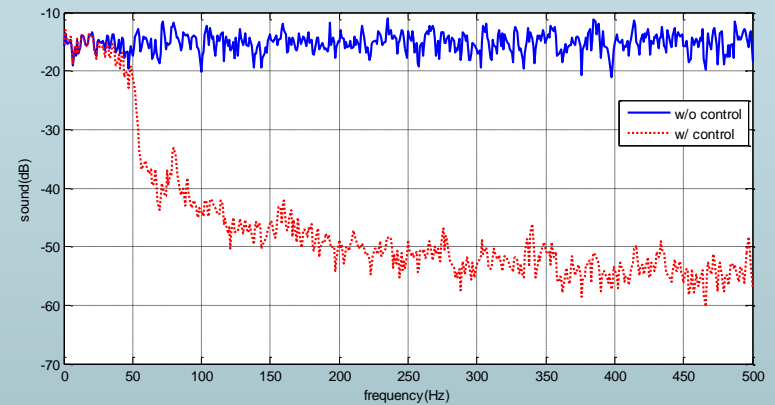
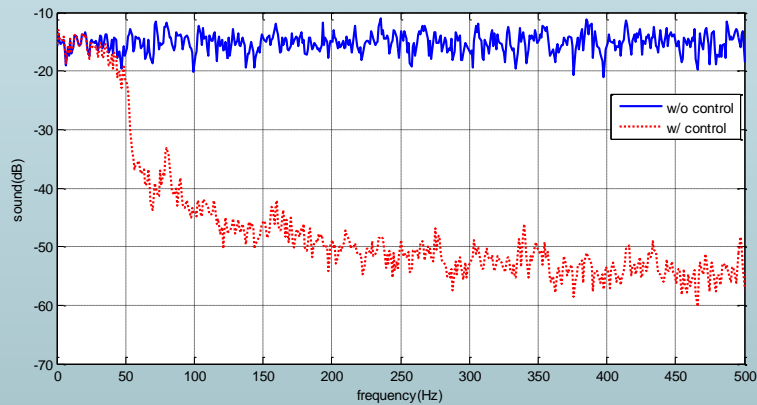
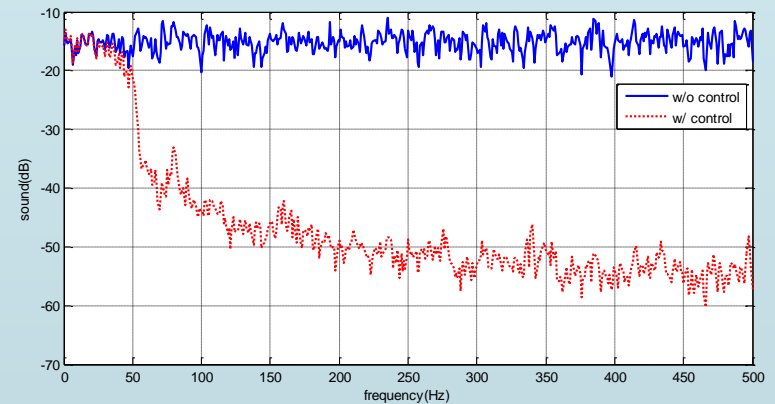
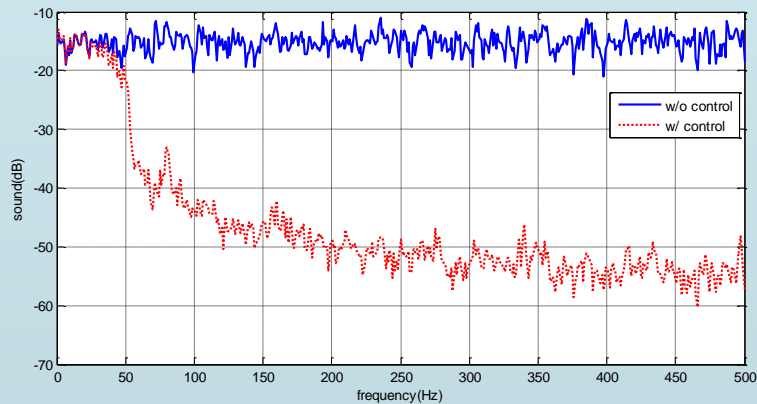


<Filtered-x LMS Algorithm>

# 제어 알고리즘

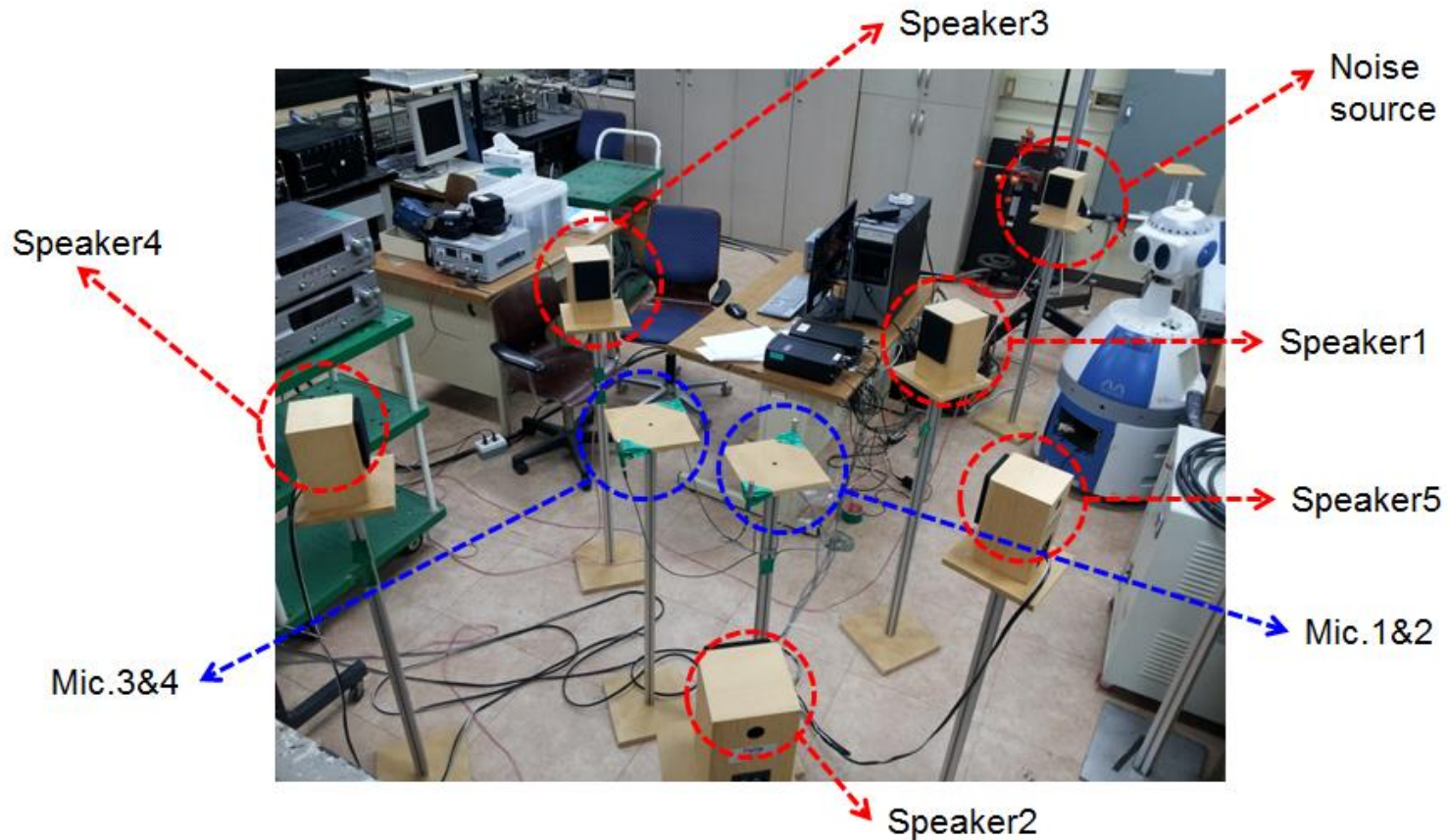
## ▶ 시뮬레이션 결과

- ▶ 50Hz 이상의 대역에서 제어에 성공



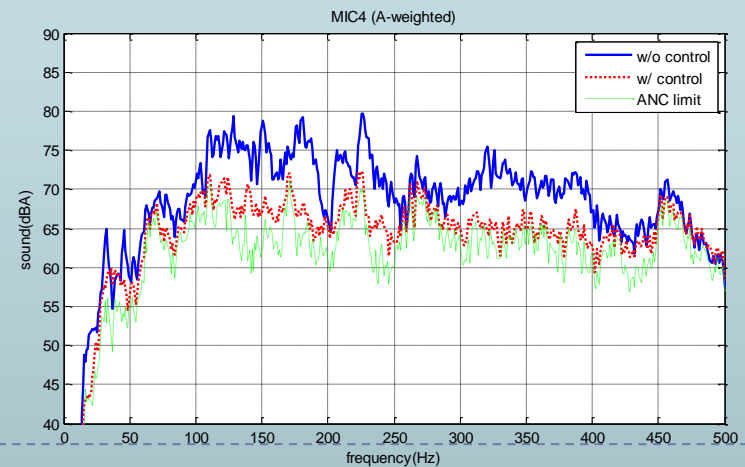
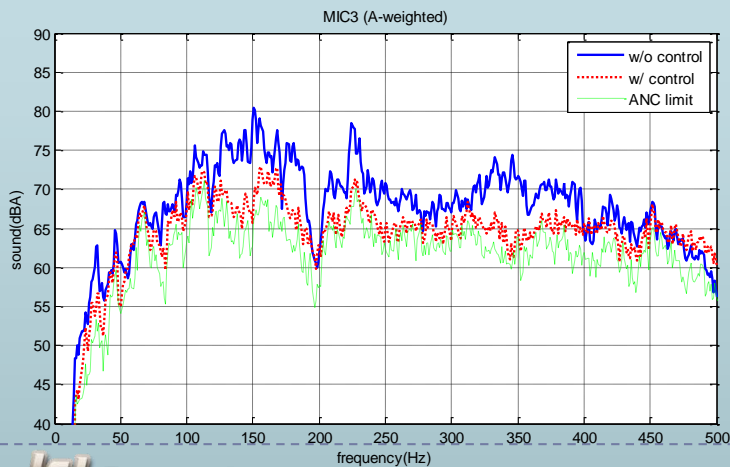
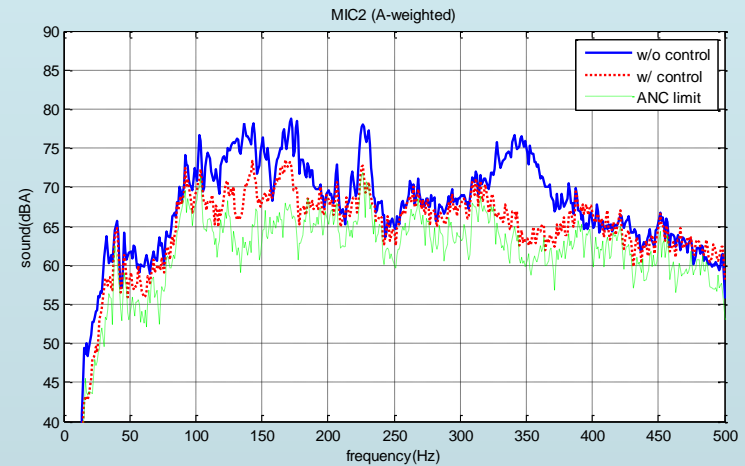
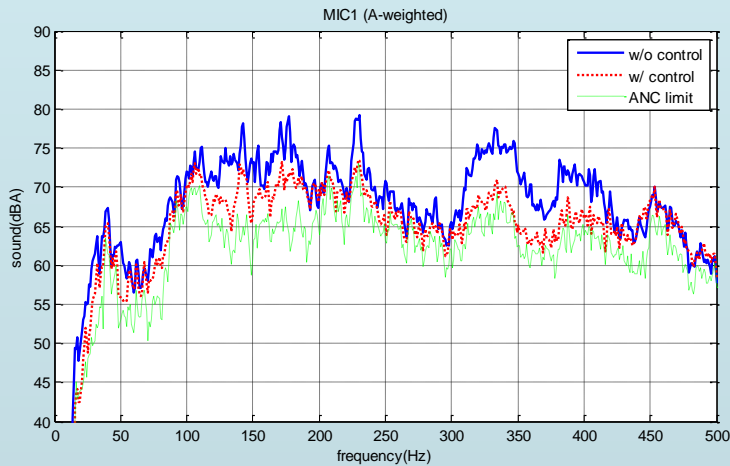
# 모의 검증 실험

## ▶ 실험 세팅



# 모의 검증 실험

## ▶ 실험 결과



# 실차 시험

---

## ▶ I차 시험

### ▶ 시스템 셋팅

- ▶ 계측 및 제어 기기 - AutoBox(DSI005)
- ▶ Sensor Conditioner
- ▶ Accel Sensor
- ▶ Mic Conditioner
- ▶ Mic
- ▶ Speaker Amp
- ▶ Sampling Freq = 1KHz

### ▶ 실험 결과

- ▶ Accel Sensor Noise로 인해 실험 불가



# 실차 시험

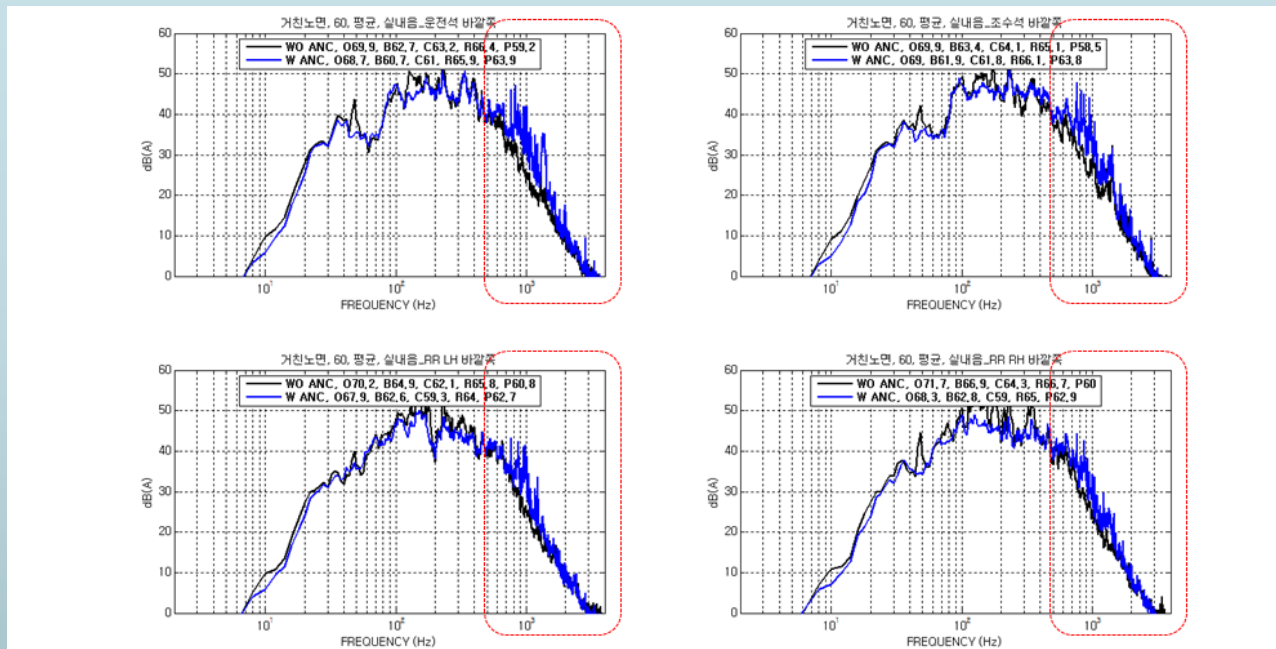
## ▶ 2차 실험

### ▶ 시스템 셋팅

#### ▶ 1차와 동일

### ▶ 실험 결과

- ▶ 500Hz 이상 대역에서 잡음 발생 및 이하 대역에서 1~3dB 성능 확인
- ▶ AutoBox 성능 부족으로 인한 출력 잡음 제거 및 Sensor Aliasing 방지 전용 장비 필요성 확인 → Signal Ranger 제작 결정.

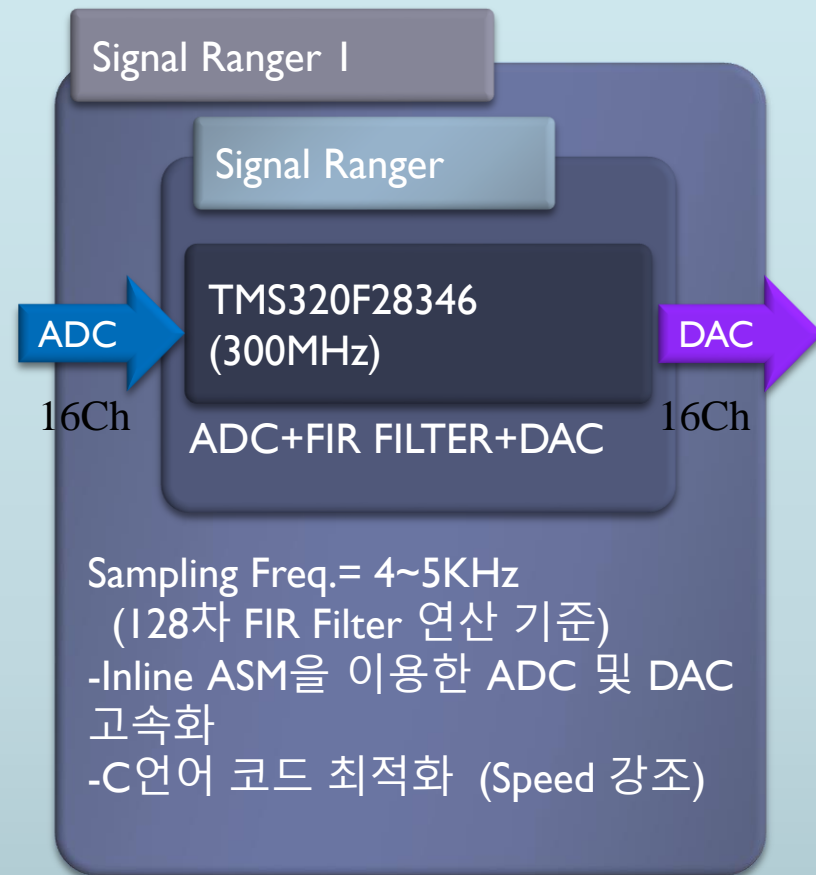


# 실차 시험

## ▶ Signal Ranger

### ▶ 설계 고려사항

- ▶ Prefilter 역할 수행.
- ▶ 제어 불가능 대역 제거.
- ▶ ADC를 이용한 기존의 실험 장비와의 호환성.
- ▶ Sampling Freq와 Cut off Freq의 수정 용이성.
- ▶ 고차 FIR 필터 연산이 가능한 처리 속도.
- ▶ Speaker Amp 일체화 (Analog type)
- ▶ Speaker output signal Analog Filter → First-order Analog (Cut-off 1kHz)



# 실차 시험

## ▶ 3차 실험

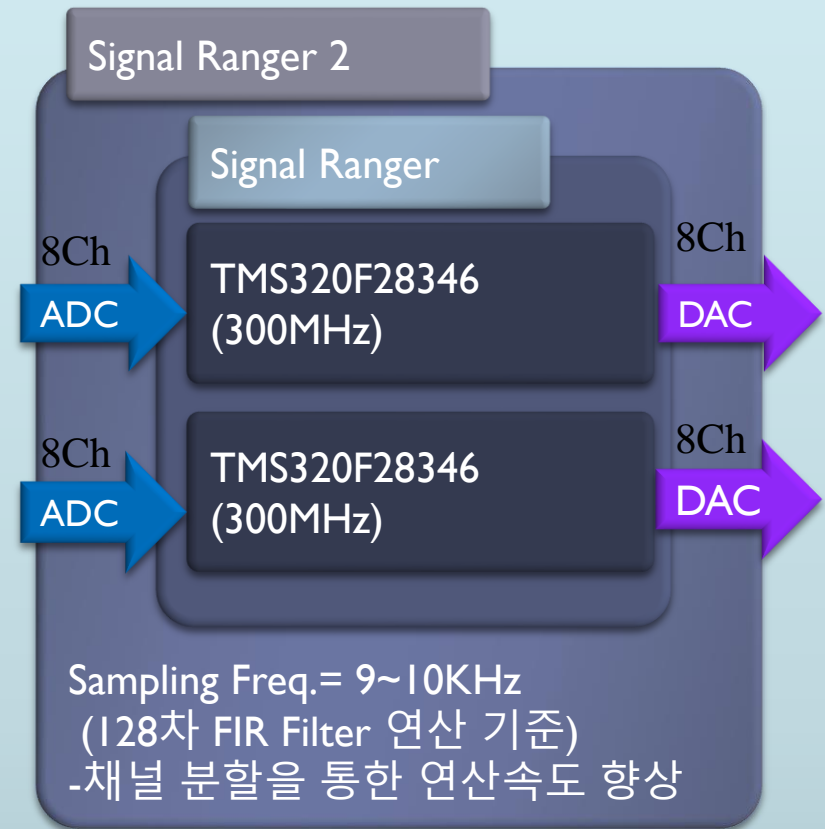
- ▶ 시스템 세팅
  - ▶ Speaker output에 Signal Ranger 장착.
- ▶ 실험 결과
  - ▶ LMS 필터 계수 발산.
  - ▶ Sensor Aliasing이 원인으로 추정.
  - ▶ Signal Ranger Upgrade 결정.

## ▶ Signal Ranger Upgrade

- ▶ 설계 고려 사항
  - ▶ 기존의 Signal Ranger보다 빠른 처리 속도.
  - ▶ 더 빠른 Sampling Freq.
  - ▶ Anti-Aliasing Analog Filter 추가. → First-order Analog (Cut-off 1kHz)

## ▶ 4차 실험

- ▶ 시스템 세팅
  - ▶ Sensor input과 Speaker output에 Signal Ranger 2 장착.
- ▶ 실험 결과
  - ▶ 필터 계수 발산
  - ▶ 시스템의 특정 Part 비선형성 내포로 원인을 추정



# 실차 시험

---

## ▶ 5차 실험

- ▶ 시스템 세팅
  - ▶ Speaker Amp 교체. (Analog → Digital)
- ▶ 실험 결과
  - ▶ 제어는 성공 했으나 성능은 악화.
  - ▶ 스피커 출력 잡음에 대한 새로운 가능성 탐색 필요.

## ▶ 6차 실험

- ▶ 시스템 세팅
  - ▶ Signal Ranger에 다양한 형태의 필터를 넣어서 시험.
  - ▶ FIR, IIR, Moving Average 등.
- ▶ 실험 결과
  - ▶ 스피커 잡음 해결 불가.

## ▶ 7차 실험

- ▶ 시스템 세팅
  - ▶ Signal Ranger의 Analog filter cut-off Freq를 4KHz로 교체.
- ▶ 실험 결과
  - ▶ 가속도계 Low Freq Noise 발생 확인.

# 실차 시험

---

## ▶ 8차 실험

### ▶ 시스템 세팅

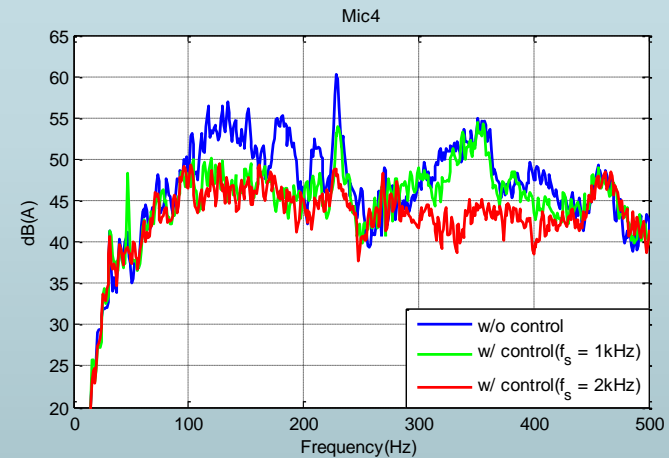
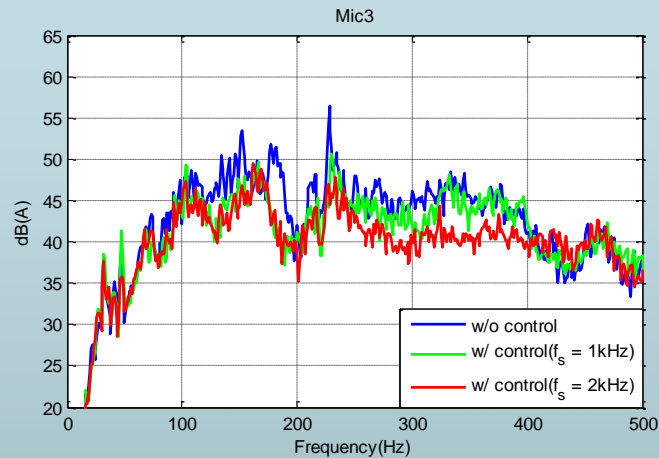
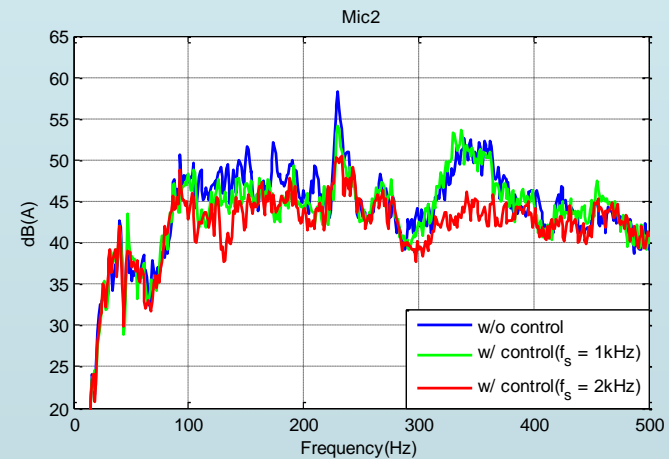
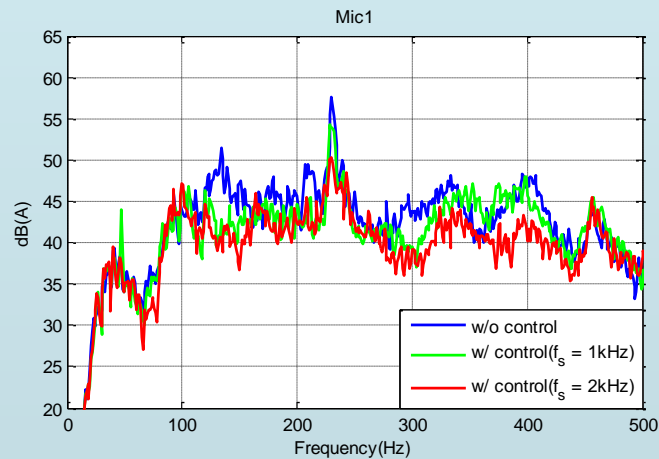
- ▶ FXLMS 내부의 FIR 필터 계수 개수 축소. → 계산량 축소.
- ▶ FXLMS Sampling Freq 높임.
- ▶ High-pass filter 추가.

### ▶ 실험 결과

- ▶ 제어 성공.
- ▶ Sampling Freq가 2KHz일 때 3dB 이상의 제어 성능 확인.

# 실차 시험

## ▶ 최종 결과



# DSP 적용

---

## ▶ 설계 요구 사항

- ▶ Autobox 보다 빠른 연산속도.
- ▶ 이식성이 좋은 C언어를 사용한 개발.
- ▶ System On Ship 형태로 개발.

## ▶ Processor 선정

- ▶ TI 사의 Keystone DSP → TMS320C6657

### TMS320C6657

- 연산속도 - 1.25GHz
- FPU 내장
- CISC Machine

### PPC750GC (Autobox)

- 연산속도 - 933MHz
- RISC Machine

# DSP 적용

---

## ▶ 진행 상황

### ▶ AD/DA – DSP 연동 작업

- ▶ 80% 완료.
- ▶ 연동에 쓰이는 주변장치인 uPP 동작 테스트 완료.
- ▶ 현재 Data in/output을 위한 타이밍 세팅 중.

### ▶ FXLMS 포팅 작업

- ▶ 70% 완료.
- ▶ 기본 알고리즘 포팅 완료.
- ▶ Secondary Path 측정 코드 작성 예정.
- ▶ 코드 검증 예정.



# Q & A