

석사학위논문

동작기반 리모트 컨트롤러 및 인식강도와  
전력소비에 최적화된 모바일기기의  
진동설계에 관한 연구

정재훈 (鄭在勳)

정보통신학과 (가상현실 전공)

포항공과대학교 정보통신대학원

2006



동작기반 리모트 컨트롤러 및 인식강도와  
전력소비에 최적화된 모바일기기의  
진동설계에 관한 연구

**A Study on a Motion-Based Remote  
Controller and Vibration Feedback for  
Mobile Device Optimal to Low Power  
Consumption and High Perceived  
Intensity**



**A Study on a Motion-Based Remote  
Controller and Vibration Feedback for  
Mobile Device Optimal to Low Power  
Consumption and High Perceived  
Intensity**

by

Jaehoon Jung

Department of Computer and Communications Engineering  
POSTECH Graduate School of Information Technology  
(Virtual Reality)

A thesis submitted to the faculty of POSTECH Graduate School of Information Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Computer and Communications Engineering

Pohang, Korea  
December 27, 2006  
Approved by  
Seungmoon Choi  
Major Advisor



동작기반 리모트 컨트롤러 및  
인식강도와 전력소비에 최적화된  
모바일기기의 진동설계에 관한 연구

정 재 훈

위 논문은 포항공과대학교 정보통신대학원 석사학위논문으로  
학위논문심사위원회를 통과하였음을 인정합니다.

2006년 12월 27일

학위 논문 심사 위원회	위원장	최 승 문 (인)
	위 원	김 정 현 (인)
	위 원	한 성 호 (인)

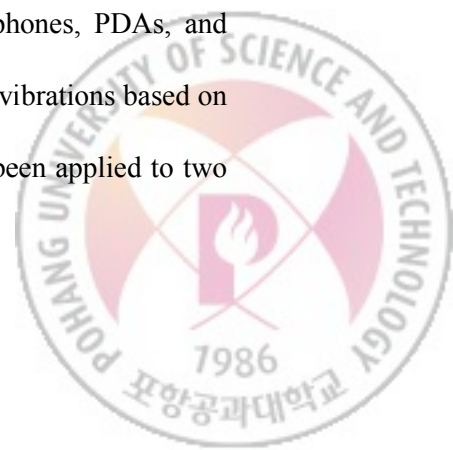


MCC  
20052624

정재훈, Jaehoon Jung, 동작기반 리모트 컨트롤러 및 인식강도와 전력소비에 최적화된 모바일기기의 진동설계에 관한 연구, A Study on a Motion-Based Remote Controller and Vibration Feedback for Mobile Device Optimal to Low Power Consumption and High Perceived Intensity, 정보통신학과 (가상현실 전공), 2006, 86P, Advisor : Seungmoon Choi. Text in Korean

## ABSTRACT

First, this thesis presents a study on the design and implementation of a remote controller that can recognize the user's motion for more intriguing hand-held applications. The developed platform of the remote controller has a motion sensor (3D accelerometer) and vibration motors, and communicates with a server that processes complicated computations in a distributed manner. The server can recognize simple gestures of the user based on the motion-sensor data. An adequate software suite was also developed, along with four applications using the motion-recognizing remote controller. Second, this thesis introduces a systematic method for designing the driving condition of a vibration motor with a better understanding of its power consumption and the perceived magnitude of resulting vibratory stimulation. The vibration motor is widely used in the hand-held devices such as cell phones, PDAs, and remote controllers. A method to predict the user's perceived magnitude of vibrations based on the physical characteristics of a vibration motor was developed, and has been applied to two

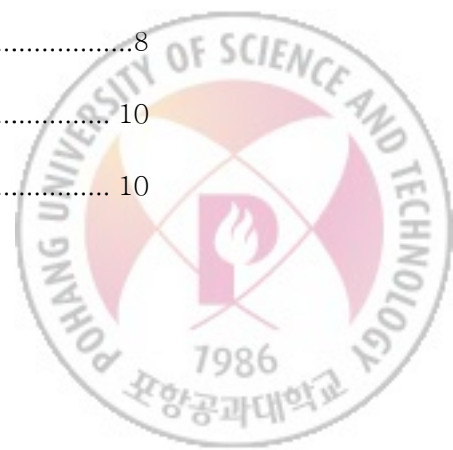


cases: a vibration motor attached on the thenar eminence and a cell phone with a vibration motor. The results indicate that the high voltage region that is often used for vibration feedback in the hand-held devices is not necessarily advantageous in terms of perceived magnitudes despite its high power consumption, and that the method can be useful for determining a driving condition considering its power consumption and resulting perceived vibration intensity.

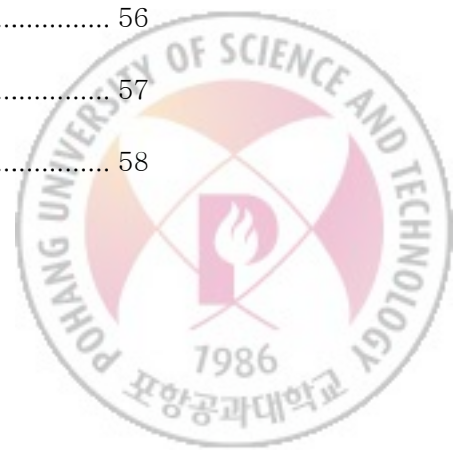


# =- 목 차 =-

ABSTRACT	i
목차	iii
그림 목차	vi
표 목차	viii
1. 서론.....	1
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 목적 .....	2
1.3 논문의 구성.....	2
2. 관련 연구 및 배경지식 .....	4
2.1 체험형 핸드헬드 인터페이스.....	4
2.1.1 Hand-held Virtual Reality .....	4
2.2 피부의 감각기 (Sensory reception at the skin) .....	4
2.2.1 Sense of touch.....	4
2.2.2 Sensory reception. ....	5
2.3 진동의 인식 (Perception of vibration).....	7
2.3.1 Detection Threshold.....	7
2.3.2 Frequency discrimination .....	7
2.3.3 Localization.....	7
2.3.4 Duration.....	8
2.3.5 Perceived Intensity .....	8
3. 체험형 모션 리모트 컨트롤러 플랫폼.....	10
3.1 하드웨어 플랫폼 .....	10



3.2 소프트웨어 구조 .....	14
3.2.1 Update Thread .....	14
3.2.1 Game Thread .....	16
3.3 Application Program Interface (API) .....	17
3.4 모션인식 .....	20
3.4.1 궤적 추적 .....	20
3.4.2 모션인식 .....	23
3.5 어플리케이션 .....	28
4. 씨나 에미넌스(Thenar Eminence)에서의 진동 최적화 .....	36
4.1 핸드헬드 기기의 그리핑 포스 .....	37
4.1.1 실험방법 .....	38
4.1.2 결과 .....	39
4.2 진동모터의 구조 .....	41
4.3 진동모터의 특성 .....	42
4.3.1 실험방법 .....	42
4.3.2 실험결과 .....	44
4.4 Perceived Intensity .....	48
4.5 Absolute Magnitude Estimation of The Thenar Eminence .....	51
4.5.1 실험방법 .....	51
4.5.2 결과 .....	52
4.6 결론 및 토론 .....	54
5. 모바일 기기에서의 진동 최적화 .....	56
5.1 모바일기기의 진동 특성 .....	57
5.1.1 실험방법 .....	58



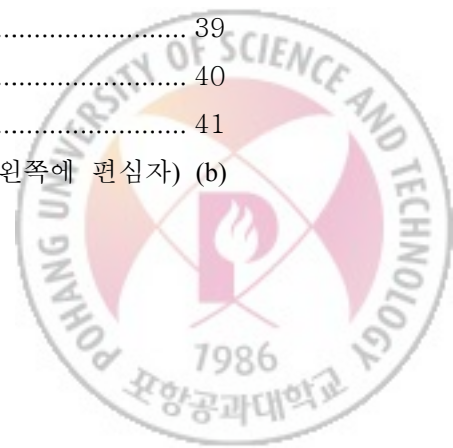


5.1.2 결과 .....	59
5.2 모바일기기의 진동 Detection Threshold .....	63
5.2.1 실험방법 .....	63
5.2.2 결과 .....	67
5.3 모바일기기의 Contact Area .....	68
5.3.1 실험방법 .....	68
5.3.2 결과 .....	69
5.4 Perceived Intensity .....	70
5.5 Absolute Magnitude Estimation of Controller.....	72
5.5.1 실험방법 .....	72
5.5.2 결과 .....	73
5.6 결론 및 토론 .....	73
6. 결론 및 향후 과제 .....	75
== 참고 문헌 == .....	76
A. 부록 .....	78
A.1 체험형 모션리모트 컨트롤러의 회로도 .....	78



## -=- 그림 목차 -=-

그림 1. 피부의 해부도 [2].....	6
그림 2. 체험형 리모트 컨트롤러의 시스템 개념도.....	10
그림 3. 체험형 리모트 컨트롤러 하드웨어 구조.....	11
그림 4. 체험형 리모트 컨트롤러 프로토 타입.....	11
그림 5. Wireless PosFactor V2.....	13
그림 6. 소프트웨어의 구조.....	14
그림 7. 디지털 필터링을 통한 노이즈 제거.....	15
그림 8. Z축의 중력가속도 성분 제거.....	16
그림 9. CController class의 구조.....	17
그림 10. 모션 인식함수의 작동 방향.....	19
그림 11. 화면 표시 함수.....	20
그림 12. 단방향 동작에서의 이상적인 가속도의 변화.....	22
그림 13. 단방향 동작에서의 가속도의 변화.....	22
그림 14. 중력 가속도를 이용한 틸트 계산.....	24
그림 15. 방향입력 동작에서의 가속도와 스테이트 변화.....	25
그림 16. 사용된 스테이트 머신의 다이어그램.....	26
그림 17. 모션인식을 이용한 권투게임.....	29
그림 18. 권투 게임에 적용된 모션 인식 방법.....	30
그림 19. 자동차 드라이빙 시뮬레이션.....	31
그림 20. 자동차 드라이빙 시뮬레이션에 적용된 모션 인식 방법.....	32
그림 21. 모션인식을 이용한 탁구 게임.....	33
그림 22. 탁구 게임에 적용된 모션 인식 방법.....	33
그림 23. 체험형 리모트 컨트롤러를 이용한 테트리스.....	34
그림 24. 체험형 리모트 컨트롤러를 이용한 테트리스의 조작법.....	35
그림 25. Thenar eminence의 진동 최적화 실험순서.....	37
그림 26. 씨나 에미넌스 (Thenar Eminence).....	37
그림 27. Flexiforce 와 PDA.....	38
그림 28. Flexiforce Amplifier Board 회로도.....	39
그림 29. 그리핑 포스의 시간에 따른 변화.....	40
그림 30. 피실험자 각각의 그리핑 포스.....	41
그림 31. 진동모터의 타입 (옆면과 윗면) (a) 실린더형 진동모터(왼쪽에 편심자) (b)	



코인형 진동모터 .....	42
그림 32. 자화전자 JHV-12C1-L20 코인형 진동모터 .....	43
그림 33. 진동모터 드라이빙 보드 .....	43
그림 34. 씨나 에미넌스에 의해 진동 감쇠된 진동모터의 가속도.....	44
그림 35. 진동 감쇠된 진동모터의 가속도 파워스펙트럼 .....	45
그림 36. 씨나에미넌스에 의해 진동 감쇠된 진동모터의 전압 대비 주파수 .....	45
그림 37. 씨나에미넌스에 의해 진동 감쇠된 진동모터의 전압 대비 전력 .....	46
그림 38. 씨나에미넌스에 의해 진동 감쇠된 진동모터의 전압대비 가속도.....	47
그림 39. 씨나에미넌스에 의해 진동 감쇠된 진동모터의 전압대비 진폭 .....	48
그림 40. 전압대비 진폭과 Detection Threshold .....	49
그림 41. 전압대비 센세이션 레벨 .....	50
그림 42. 전력대비 센세이션 레벨 .....	51
그림 43. 씨나에미넌스에 대한 진동강도에 대한 Subjective Magnitude .....	53
그림 44. 센세이션 레벨에 대한 Subjective Magnitude(Verrillo 1975) [10].....	54
그림 45. KH1000의 진동최적화 실험 순서 .....	57
그림 46. 실험에 사용된 모바일기기 LG전자 KH-1000.....	58
그림 47. 진동 감쇠된 KH-1000의 시간에 따른 가속도 .....	59
그림 48. 진동 감쇠된 KH-1000의 가속도 파워스펙트럼 .....	60
그림 49. 피부에 의해 진동 감쇠된 KH1000의 전압대비 주파수 .....	61
그림 50. 피부에 의해 진동 감쇠된 KH1000의 전압대비 가속도 .....	62
그림 51. 피부에 의해 진동 감쇠된 KH1000의 전압대비 진동크기 .....	63
그림 52. Detection threshold 실험에 사용된 Shaker와 Enclosure .....	64
그림 53. 실험 환경 .....	65
그림 54. KH1000의 Detection Threshold.....	67
그림 55. 측정된 AL과 다른 연구의 Detection Threshold 비교 .....	68
그림 56. KH1000의 접촉영역을 측정한 종이 .....	69
그림 57. KH1000의 전압대비 Detection Threshold와 진동크기 .....	70
그림 58. KH1000의 전압대비 Sensation Level .....	71
그림 59. KH1000의 Magnitude Estimation 실험 .....	72
그림 60. 진동강도에 대한 Subjective Magnitude .....	73
그림 61. 전력대비 Sensation Level .....	74



-=- 표 목차 -=-

표 1. Mechanoreceptor의 특징 ..... 6

표 2. Thenar Eminence Detection Threshold ([10] R. T. Verrillo and A. J. Capraro 1975)  
..... 49

표 3. Detection Threshold 실험참가자의 KH1000 Contact Area..... 69



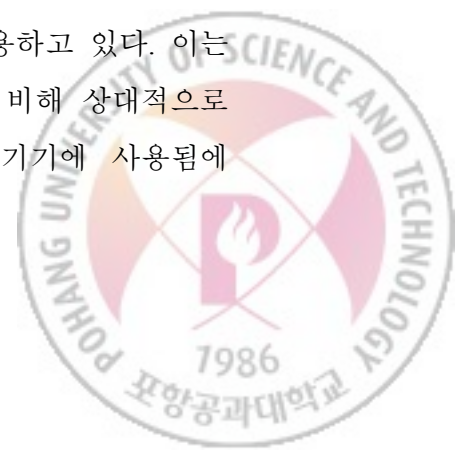
# 1. 서론

## 1.1 연구 배경

체험형 인터페이스는 WIMP (Windows, Icon, Mouse, Pointer) 기반의 현 컴퓨터 인터페이스를 개선 할 차세대 기술로서 HCI, 컴퓨터 비전, 가상 현실 등의 분야에서 오래 동안 연구 되어 왔다. 최근 이러한 인터페이스 기술이 더욱 각광을 받고 있는데, 이는 컴퓨터의 소형화 및 저가화, 센서 기술의 발전 및 특화, 임베디드 시스템의 보편화, 디지털 콘텐츠의 발전에 대한 소비자의 요구, 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 도래, 기술의 컨버전스화에 의하여 대중화의 가능성이 많이 높아 졌기 때문이다. 모션 기반 혹은 체험형 인터페이스는 모션 센서를 이용하는 방법, 카메라를 이용한 비전 기반의 방법, 그리고 그 밖에 기타 다른 모달리티와 통합된 형태의 방법으로 크게 분류 할 수 있다. 또한 최소한의 리소스로 개발 되어야 하는 리모트 컨트롤러 플랫폼에서, 택타일 피드백을 진동모터를 통해서 간편하게 제공할 수 있다.,

Handheld 체험형 인터페이스 영역에서의 종합적인 연구는 우리나라에서 아직 찾아 볼 수 없다. 일부 대학교에서 가상현실이나 데스크탑/아케이드 게임과 관련된 체험형 인터페이스, 비전 인터페이스 등의 연구는 되고 있으나, Handheld 플랫폼에 대한 종합적인 연구는 매우 드물다. 그러나 국외의 경우, 핀란드의 노키아는 이미 다양한 형태의 다중양식 인터페이스 기반의 체험형 휴대폰기술에 열을 올리고 있다. 2004년부터 진행되고 있는 MONA(Mobile, multi-modal, Next generation Applications) 프로젝트는 기존의 휴대폰에 각종 센서와 다양한 디스플레이를 통하여 길 안내, 게임, 멀티모달 메세징서비스와 같은 응용소프트웨어 개발을 시도하고 있다. 또한 유럽에서 사용되는 핸드폰에 내장된 운영체제, Symbian OS를 이용한 컴퓨터 비전 라이브러리와 증강현실 엔진이 뉴질랜드의 HITLab NZ의 Mark Billinghurst 박사, 독일 바이마르 대학 Oliver Bimer 교수팀에 의해 개발되었다.

대부분의 핸드헬드기기들은 진동모터를 진동 액추에이터로 이용하고 있다. 이는 값이 싸고 작으며 다른 진동 액추에이터(피에조, 보이스코일)에 비해 상대적으로 강한 진동을 발생시키기 때문이다. 하지만 진동모터는 휴대용기기에 사용됨에



있어 2가지의 단점을 가지고 있다. 첫째로, 모바일기기의 다른 전자장치들에 비해 많은 전력을 소비한다 이는 모바일기기의 사용시간을 줄이게 된다 둘째로, 진동크기와 주파수를 분리해서 진동 파형을 만드는 것이 불가능하다. 이런 진동모터의 문제점을 고려하여 핸드헬드기기에서 진동을 최적화 하는 방법이 존재하지 않는다.

## 1.2 연구 목적

체험형 모션리모트 컨트롤러의 기본 플랫폼을 정의하고 개발, 구현한다. 첫째로, 하드웨어의 최소조건을 정의하고 이를 바탕으로 하드웨어 플랫폼을 설계한다. 둘째로, 완성된 하드웨어 플랫폼을 이용하여 소프트웨어와 API를 개발하고 동작인식 알고리즘을 제안한다. 이를 바탕으로, 체험형 디지털 콘텐츠를 제작하여 볼것이다.

현재의 핸드헬드 기기(모바일, PDA, 모션리모트 컨트롤러, 등)는 택타일 피드백을 제공할 때 사람의 인식강도를 고려하지 않은 채 설계되어 있다. 이는 필요 없는 전력을 소비하여 진동을 제시하게 되며 전력소비에 효율이 굉장히 낮은 진동을 제공하며 심지어는 전력만을 더 소비하고 진동의 인식강도는 높아지지 않는 경우도 발생한다.

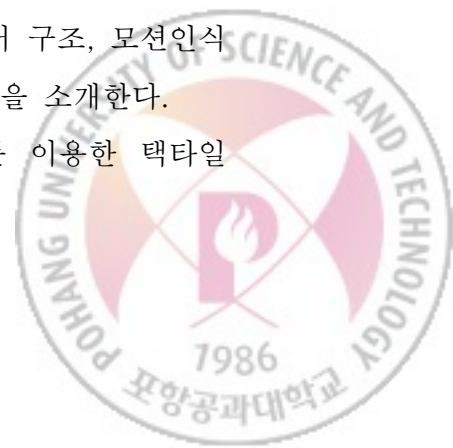
이러한 문제점들은 인식강도, 진동모터의 특성, 전력소비의 관계를 체계적으로 분석하여 해결할 수 있다. 본 논문에서는 체계적인 분석을 통해 택타일 피드백을 주는 모바일기기, 핸드헬드기기, 체험형 모션리모트 컨트롤러에서 정확한 인식강도에 기반한 택타일 피드백을 제공하여 전력소비를 최소화하여 배터리 사용시간을 연장할 수 있는 방법을 제시한다.

## 1.3 논문의 구성

2장에서는 본 논문을 이해하기 위해 필요한 정신물리학의 배경지식과 핸드헬드 기기의 관련 연구에 대해 소개한다.

3장에서는 체험형 모션리모트 컨트롤러의 하드웨어, 소프트웨어 구조, 모션인식 알고리즘을 설명하고 이를 바탕으로 제작된 체험형 어플리케이션을 소개한다.

4장에서는 특정 신체부위(씨나에미넌스)에 대하여 진동모터를 이용한 택타일



피드백을 제공함에 있어 정확한 인식강도를 제시하는 방법을 제시한다. 또한 인식강도와 전력소비와의 관계를 분석하여 전력소비는 최소화하며 인식강도를 높이기 위한 분석 방법을 설명하고 결과를 제시한다.

5장에서는 휴대용 기기에서 진동모터를 사용할 함에 있어 정확한 인식강도를 제시하고 전력소비를 줄이기 위한 분석방법을 제시한다. 그 과정에서 핸드폰에 대한 특성분석 결과, 핸드폰의 진동 Detection Threshold의 측정값, 인식강도 실험의 결과를 보인다. 마지막으로 6장에서는 본 연구의 의의와 향후 과제에 대해 논의한다.



## 2. 관련 연구 및 배경지식

### 2.1 체험형 핸드헬드 인터페이스

#### 2.1.1 Hand-held Virtual Reality

최근에 Handheld device는 새로운 VR 플랫폼으로서의 가능한 대안이 되었다. 데스크탑 컴퓨팅 환경과는 달리 Handheld device는 Sensing과 Display 능력이 부족하다 하지만 Handheld device는 휴대가 가능하며 오늘날 대부분의 사람들이 휴대폰, PDA와 같은 Handheld 기기를 가지고 있다. 또한 성능과 기능이 놀랍도록 향상되어가고 있다. 이런 시점에서 VR을 구현하기 위한 Handheld 기기에서의 최소 조건이 정의 되어 있지 않다.

2006년 Jane Hwang의 연구[1]에서는 Handheld 기기에서 VR 플랫폼을 구축하기 위하여 갖춰야 할 기본 조건을 정의하고 저가의 VR플랫폼 디바이스를 설계하고 구현하였다. 또한 이 플랫폼에서 모션기반의 인터페이스를 가능하게 하였다. Jane Hwang의 연구에서는 3가지 visual, aural, tactile 감각을 경험할 수 있도록 하였다. 또한 이 플랫폼을 기반으로 기본적인 VR application을 구현하였다. 구현된 어플리케이션은 3가지로 가상현실 공간을 모션기반 인터페이스를 이용하여 걸어 다닐 수 있도록 구현하였다. 멀티미디어 콘텐츠를 Browsing과 Manipulation을 모션기반으로 가능하도록 하였다. 마지막으로, 모션기반 드라이빙 시뮬레이션을 구현하였다.

### 2.2 피부의 감각기 (Sensory reception at the skin)

#### 2.2.1 Sense of touch

Touch는 환경 상에서 사물과 물리적인 접촉을 뜻한다. Active touch의 경우 특정한 움직임의 패턴을 통해 사물의 촉감의 특성을 알아낸다 예를 들어, 물체를 눌러봄으로써 물체의 Stiffness를 알아낼 수 있고, Contour Following을 통해 물체의 모양을 인식할 수 있다.





Passive Touch의 경우 움직임을 배제하고 사물과 접촉하는 경우를 뜻한다.

Sense of touch에는 2가지의 신경체계가 존재한다. Cutaneous System은 피부의 진동의 변화를 느끼는 역할을 한다. Kinesthetic system은 근육 내에 존재하며 감각기에 의해 몸의 위치가 어디 있는지를 전달한다. 그리고 Haptic system은 이 두 가지 System을 입력으로 이용하는 시스템이다.

### 2.2.2 Sensory reception.

물리적인 자극이 피부에 전해지면 피부는 변형되고 이 변형은 피부 내에 있는 mechanoreceptor들에 의해 탐색된다. Sensory reception을 기준으로 피부는 2가지로 분류 된다. Hairy skin과 Glabrous skin이다. Glabrous skin은 대표적으로 손바닥과 발바닥과 같이 털이 없고 평평한 피부를 뜻한다. 반대로 Hairy skin은 복부, 가슴등과 같은 부위의 피부를 뜻한다. 그림 1는 두 가지 타입의 피부에 분포한 mechanoreceptor의 차이점을 보여준다.

4가지의 Mechanoreceptor는 피부 안에 있으며 Pacinian corpuscles, Meissner's corpuscles, Merkel's discs and Runffini endings 라고 부른다. Glabrous skin은 hairy skin에 비해 mechanoreceptor의 분포밀도가 높다. 이로 인해 진동자극에 대한 강도와 Localization 능력에서 매우 민감하다. 간단한 예를 들면 핸드폰을 진동으로 해두고 바지 포켓에 넣어 본적이 있을 것이다. 그런 경우 진동을 못 느껴 전화를 못 받은 경우가 간혹 있을 것이다 하지만 손에 잡고 있을 때 그런 경우는 없었을 것이다.

Sensory receptor들은 자극을 신경계에 전달하는 역할을 한다. 자극이 주어지면 receptor들의 전기적 특성이 바뀌게 되고 이 것이 신경 임펄스로 바뀌게 되어 중앙신경계에 전달된다. 임펄스의 주파수는 자극의 크기를 나타낸다.

Sensory receptor들의 특징에 대해서는 표 1 에 정리되어 있다.



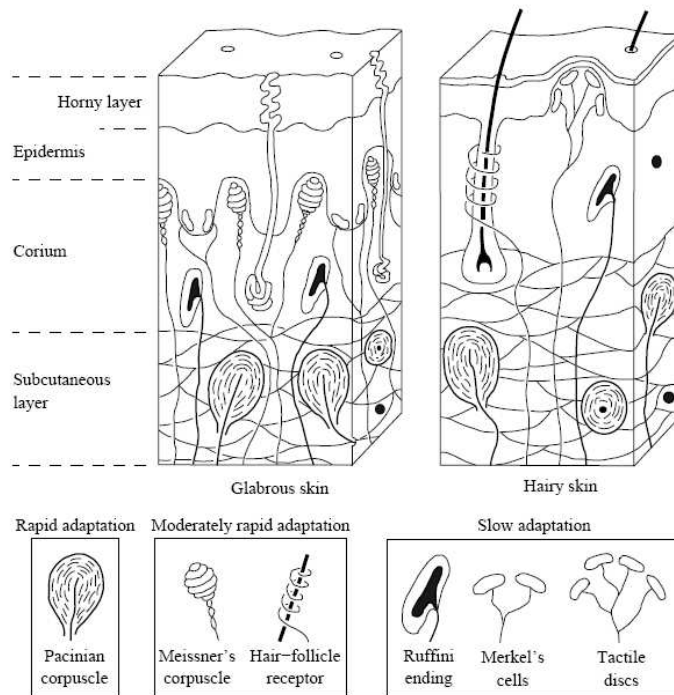


그림 1. 피부의 해부도 [2]

	Merkel Disc	Meissner Corpuscle	Ruffini ending	Pacini Corpuscle
Frequency Range	0.3 - 3hz	3 - 40 hz	15 - 400hz	10 - 500 Hz
Perceiving Property	Pressure	Flutter	Stretching	Vibration
Receptive Field size	Small	Small	Large	Large
Sensory Adaptation	SA1	RA1	SA2	RA2
Neural Channel	NP III	NP I	NP II	PC

표 1. Mechanoreceptor의 특징



## 2.3 진동의 인식 (Perception of vibration)

### 2.3.1 Detection Threshold

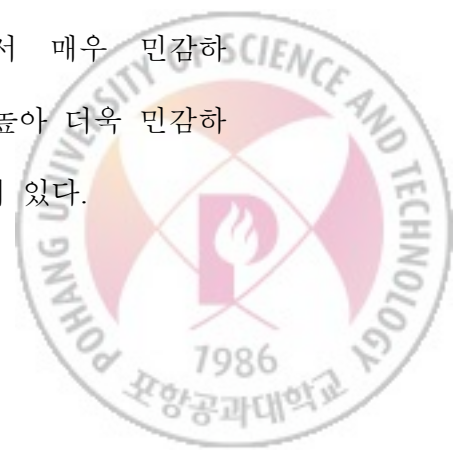
Detection Threshold는 사람이 인식할 수 있는 가장 작은 자극의 크기를 지칭한다. 이는 Human perception에서 가장 기본적인 측정 척도이다. Sinusoidal 진동 (vibrotactile) 크기의 변화에 따른 Detection threshold의 Curve는 크게 두 부분으로 이해할 수 있다. 먼저 non-Pacinian 채널과 관련된 저주파 부분과 Pacinian 채널과 관련된 고주파 부분이다. 고주파 부분의 Pacinian 채널에서 진동에 민감하여 진동 크기에 대한 Detection threshold가 급격하게 감소하여 U-shape의 Curve를 형성한다. Detection threshold는 실험환경에 따라 좌우 될 수 있다. 예를 들면, Contact Area, Contact Force, Contact Location, Stimulus Duration, Rigid Surround, Age 등에 좌우 될 수 있다. 그러나 대개 200~300hz 범위에서 가장 민감하다.

### 2.3.2 Frequency discrimination

진동 자극의 주파수는 사람의 인식에 영향을 준다. 실제로, 다른 파라미터 (Intensity, Duration)은 일정하게 유지하고 주파수만 변경할 경우 사람은 이를 분간할 수 있다. 진동 자극이 50ms 이상 지속될 때 70-130hz의 주파수 영역에서 difference threshold(DL)은 17hz 이다. 주파수 영역이 높아질수록 분간할 수 있는 능력은 급격히 떨어진다.[3]

### 2.3.3 Localization

진동에서의 Localization은 신체부위에 따라 다르다. 특히 여러 가지 물체를 찾는 데 많이 사용되어 접촉이 많은 부위 일수록 그렇지 않은 부위에 비해 더욱 민감하다. 실제로 손은 텍스처를 느끼는데 자주 사용 되어져서 매우 민감하다.(Glabrous skin) 그 중에서도 손가락은 신경분포 밀도가 매우 높아 더욱 민감하다. 다시 말해 Localization은 신경분포 밀도와 매우 밀접한 관계에 있다.



손가락(Index Finger)의 경우 진동에 대하여 공간적으로 0.5 $\mu$ m 떨어진 차이까지 찾아낼 수 있다. [4]

### 2.3.4 Duration

진동이 일정시간 이상 지속되면 진동의 강도를 인식하는데 영향을 미친다. 이런 현상을 Temporal Summation이라고 한다. 부위별로 약간의 차이는 있지만 1000ms까지는 Temporal Summation에 의한 영향이 계속해서 증가한다. 하지만 1000ms 이상에서는 Temporal Summation의 영향이 일정하게 유지된다.

### 2.3.5 Perceived Intensity

#### Weber-Fechner Law

사람의 감각의 크기는 주어진 자극에 대수(logarithm)에 비례해서 증가한다는 개념이다. 다시 말해 자극과 인식강도는 대수 관계라는 것이다. 이 대수적 관계에 의해 자극의 변화가 기하학적이라면 지각은 산술적으로 변화한다는 뜻이다. Weber-Fechner Law의 식은 2.1과 같다.  $S_0$  는 자극의 Detection Threshold이다.  $S$ 는 주어진 자극이다.  $k$ 는 실험을 통해 알아내야 할 상수이다.

$$p = k \ln \frac{S}{S_0}. \quad (2.1)$$

#### Steven's Power law

Stevens' Power law는 물리적 자극의 크기와 인식강도 사이의 관계를 새롭게 정의한 것이다. 이 법칙은 Weber-Fechner Law에 비해 더 많은 감각에 대해 적용이 가능하여 현재는 Weber-Fechner Law를 많은 범위에서 대체하고 있다.



$$\psi(I) = kI^a \quad (2.2)$$

I는 물리적인 자극의 크기,  $\psi$ 는 Psychophysical function이다. (인식강도). Magnitude estimation을 통해 얻은 Subjective Magnitude를 의미한다. a는 power exponent로서 자극의 종류에 따라 결정되는 값이다. K는 상수로 자극이나 단위에 따라 결정된다. Stanley Smith Stevens(1906~1973)는 이 아이디어를 통해 많은 power exponent(a)를 구하였다. 손가락의 60hz의 진동크기에 대한 Exponent는 0.95이며 250hz에 대해서는 0.6이다.

### Magnitude Estimation

Magnitude Estimation은 사람이 느낀 감각의 크기를 쉽고 빠르게 결정하는 실험적인 테크닉이다. S.S Stevens는 최초로 정량적으로 감각의 크기를 Magnitude estimation을 이용하여 측정하였다.

Magnitude Estimation에는 2가지 주 방법이 있다. 먼저 한가지는 기준이 되는 자극을 피실험자에게 주고 값을 예를 들어 10이라고 준다. 이후 자극을 주고 기준이 되는 자극의 값에 비해 상대적으로 현재의 자극이 몇 정도의 값을 가지는지를 말하게 한다. 또 다른 방법은 기준이 되는 값을 주지 않고 피실험자가 자유롭게 자극에 대해 값을 수로 매긴다. 이와 같이 자극에 대한 셋을 무작위로 순서를 정하여 총 3번의 피실험자에게 점수를 매기도록 한 후 2번과 3번째 세션만을 Geometric mean이나 median을 취하여 값을 구한다.



### 3. 체험형 모션 리모트 컨트롤러 플랫폼

체험형 모션 리모트 컨트롤러는 리모트 컨트롤러 그 자체는 입력장치로서의 기능만을 수행하며 입력신호(버튼, 모션)를 서버로 전송한다. 이 신호를 전송 받은 서버는 신호처리와 모션인식과정을 거쳐 사용자에게 그래픽 렌더링, 텍타일 렌더링을 출력으로서 보내게 된다. 체험형 모션리모트 컨트롤러의 시스템개념도는 그림 2와 같다.

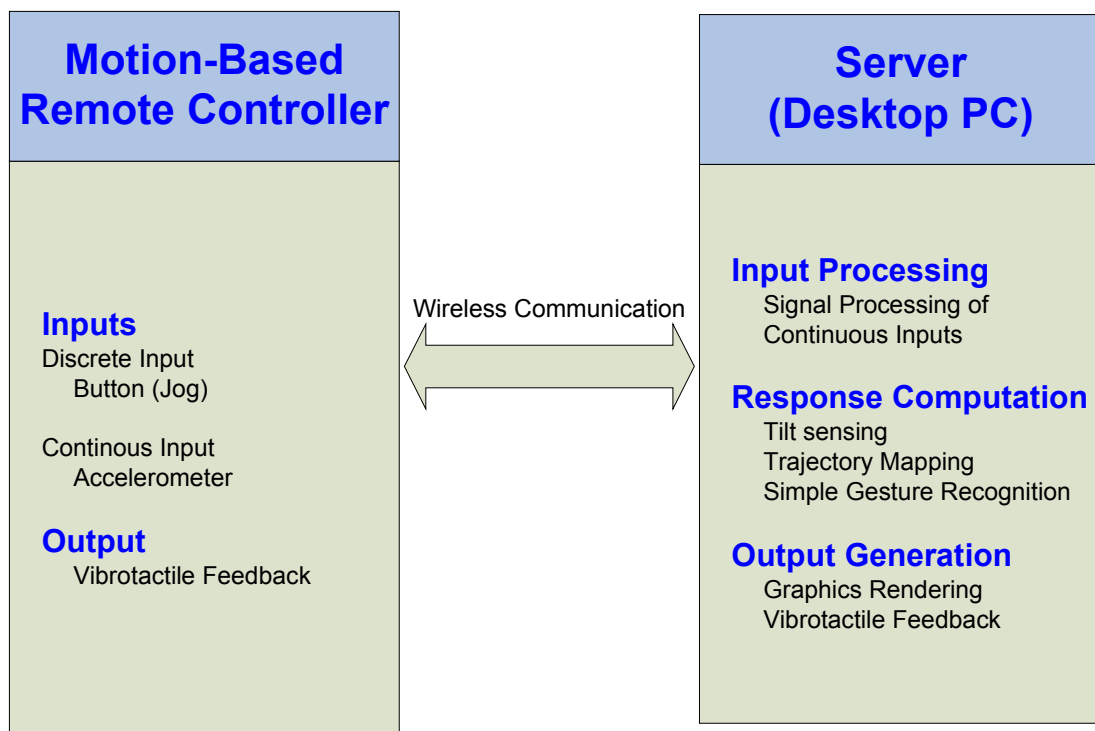


그림 2. 체험형 리모트 컨트롤러의 시스템 개념도

#### 3.1 하드웨어 플랫폼

“체험형” 모션 리모트 컨트롤러를 구성하기 위하여 갖추어야 할 H/W 조건은 아래와 같다. 첫째, 소형화가 가능 해야 한다. 둘째 소비전력이 낮아야 된다. 셋째, 사용자의 모션을 인식하기 위한 센서를 갖추어야 된다. 넷째, 양방향 무선통신이 가능해야 한다. 다섯째, 기존의 리모트 컨트롤러의 기능(버튼 입력)을 포함해야 한다. 이 다섯 가지의 기본 요건을 만족하는 체험형 리모트 컨트롤러의 구조는

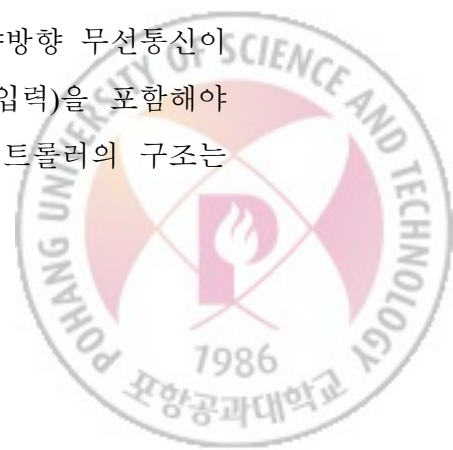


그림 3와 같다.

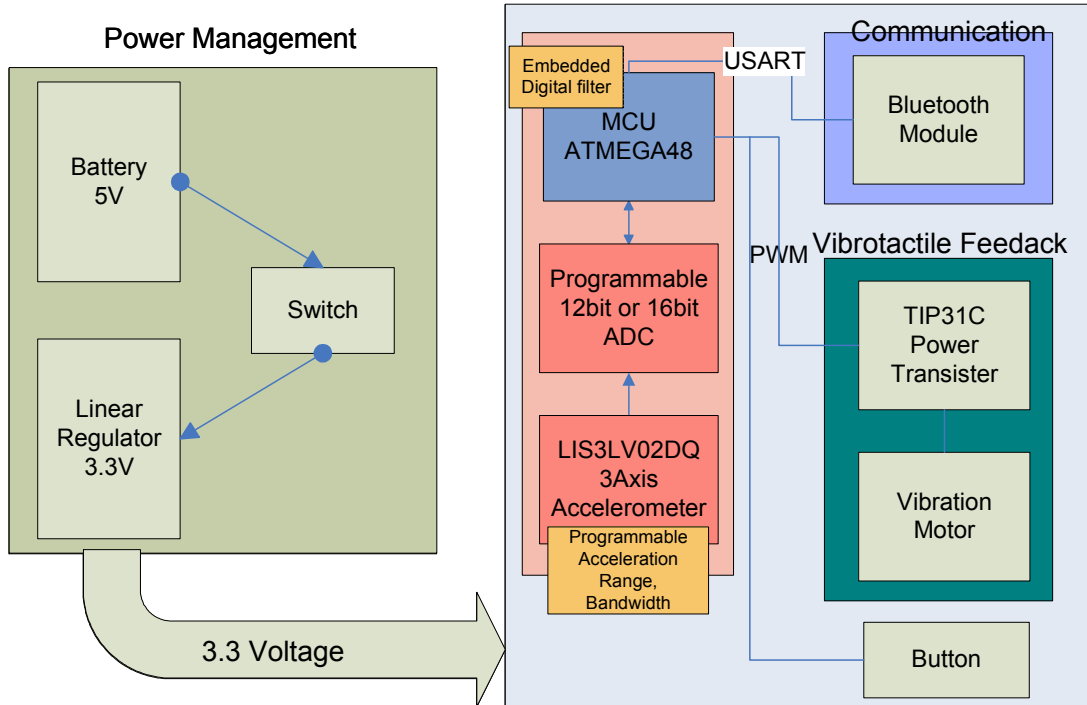


그림 3. 체험형 리모트 컨트롤러 하드웨어 구조

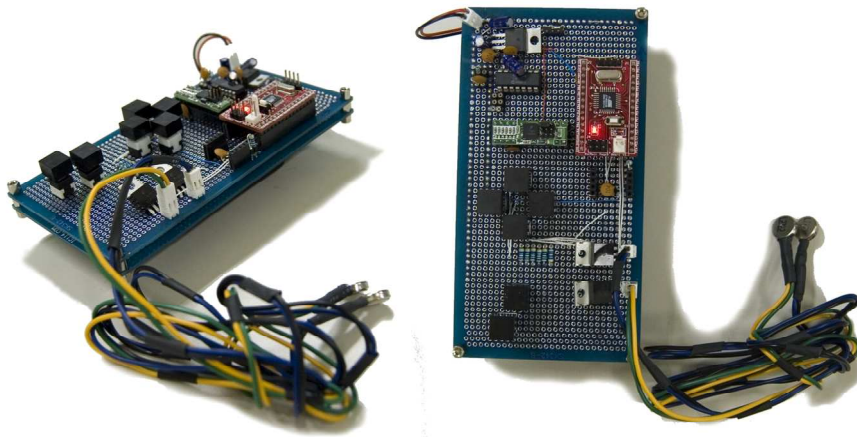


그림 4. 체험형 리모트 컨트롤러 프로토타입

양방향 무선 통신은 블루투스 모듈과 게임서버(데스크탑)의 블루투스 동글을 이  
 용한다. 통신속도는 115200bps로 고정되어 있으며 윈도우 API에서 지원하는 시



리얼타임 라이브러리와 호환이 가능하므로 개발에 있어 확장성과 편의성을 증대시킬 수 있다. 블루투스 모듈의 통신 지연시간은 평균 24ms로 사람이 모션과 Display상의 차이를 인지하기 시작하는 지연시간 83ms[5] 보다 작으므로 통신으로 인한 지연이 컨트롤러를 이용함에 있어 지장을 초래하지 않는다. 블루투스 모듈은 이런 문제점에 대한 해결방안으로 레지스터를 이용하여 Latency 와 Throughput의 우선권을 조정할 수 있도록 프로그래밍 되어있다.

MCU(Microcontroller Unit)는 ATMEGA48을 이용하였다. 20Mhz로 동작하며 20MIPS의 처리속도를 가지므로 모션 신호의 디지털 필터링과 통신을 실시간에 할 수 있다. 또한 블루투스 모듈과 연결할 UART와 디지털 센서와의 통신을 위한 I2C, SPI 통신포트를 지원한다. 3개의 카운터와 진동모터를 제어하기 위한 6개의 PWM channel을 가지고 있다.

전원은 휴대용 건전지에 적합한 마이크로칩사의 TC1264-3.3V 전압조정기를 사용하였다. 매우 적은 전압강하 특성을 지녀 전압조정을 통한 전력소비를 최소화 할 수 있다. 최대 출력 전류는 800mA 이고 출력전압의 정확도는 3.3V+ - 0.5%를 보장한다.

진동제어를 위해서 MCU의 PWM포트와 Power Transistor를 사용하였다. 총 3개의 진동모터를 제어하여 다양한 진동 감각과 방향성을 표현할 수 있다. 진동의 강도를 조절하기 위해서는 0 - 255 단계로 인가전압을 조절하여 진동모터를 제어한다. 제어방식은 PC측의 게임서버로부터 명령에 따라 MCU가 3개의 진동모터를 개별적으로 제어한다. 이 진동모터 제어방식은 VRLAB에서 제작 된 Wireless Postactor V2 (그림 5)의 동작 방식과 동일하다





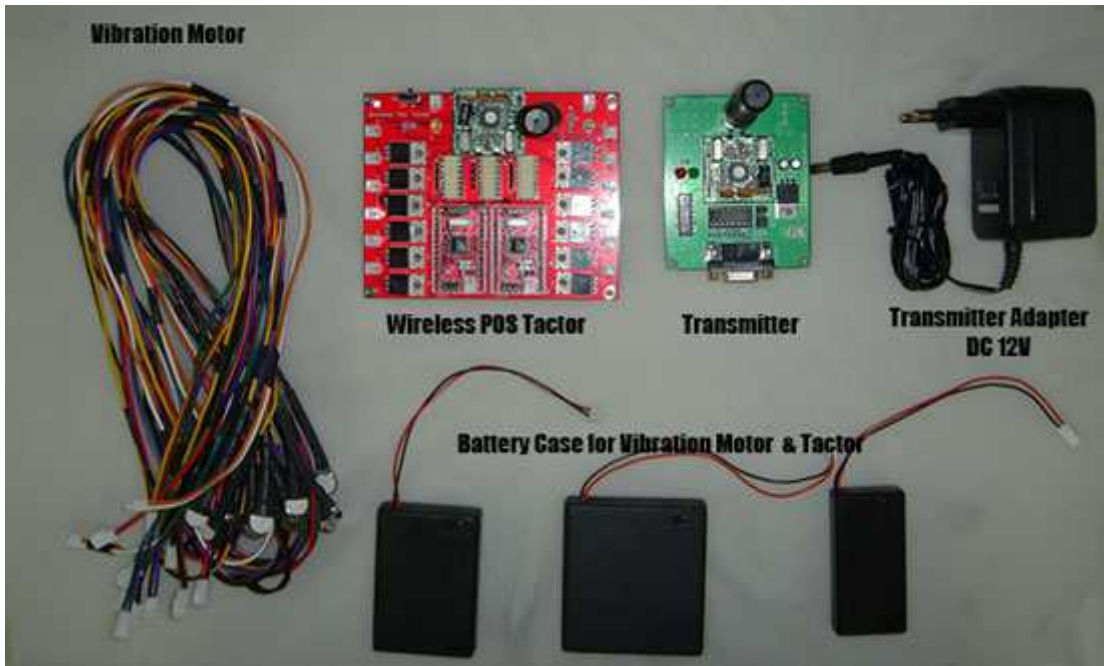


그림 5. Wireless PosFactor V2

모션을 인식하기 위한 센서로는 STMicroelectronics사의 LIS3LV02DQ 3축 가속도계가 사용되었다. Gyro, 지자계 센서등과 같이 센서들을 복합적으로 사용할 수 있으나 가격과 성능을 고려해 보았을 때 3축 가속도계가 가장 효율적이다. 이 센서를 이용하여 모션을 인식할 때 Application에 따라 중력의 Range를 2g와 6g 중 선택하여 사용할 수 있도록 제작하였다. 가속도계의 Bandwidth와 정확도는 트레이드오프 관계에 있다. Bandwidth를 높이면 정확도는 낮아지고 Bandwidth를 낮추면 정확도가 높아지게 된다. 체험형 모션 리모트 컨트롤러에서는 Application에 따라 서버로부터 신호를 받아 Bandwidth를 조절 할 수 있도록 제작 되었다.

기존의 마우스, 프레젠테터의 기능 또는 게임 조이스틱의 기능을 포괄하기 위하여 버튼이 장착되었다. 총 8개의 버튼이 연결되어 있으며 아답터를 이용하여 별도의 버튼(조이스틱, 조그, 다이얼)이 연결 가능하다. 8개의 버튼의 동시입력이 확인 가능하므로 빠른 변화 환경의 어플리케이션에 적용가능하며 8개의 버튼의 상태는 1Byte로 가속도 정보와 함께 게임서버로 실시간 전송된다.



### 3.2 소프트웨어 구조

소프트웨어는 크게 두 부분으로 이루어져 있다. 컨트롤러에 들어갈 임베디드 프로그램과 서버에 들어갈 메인 프로그램이다. 임베디드 프로그램에서는 가속도 센서와 버튼으로부터 값을 읽어 블루투스를 통해 보내고, 서버로부터 데이터를 받아 택터를 작동시켜 사용자에게 택타일 피드백을 준다. 서버의 메인 프로그램은 여러 가지 다른 작업들을 동시에 수행해야 하므로, multi threaded 프로그램으로 구성되었으며, 컨트롤러로부터 데이터를 받아서 처리하는 Update thread와 처리된 데이터를 사용하여 게임에 적용하는 Game thread로 나누어진다. 소프트웨어의 구조는 그림 6와 같다.

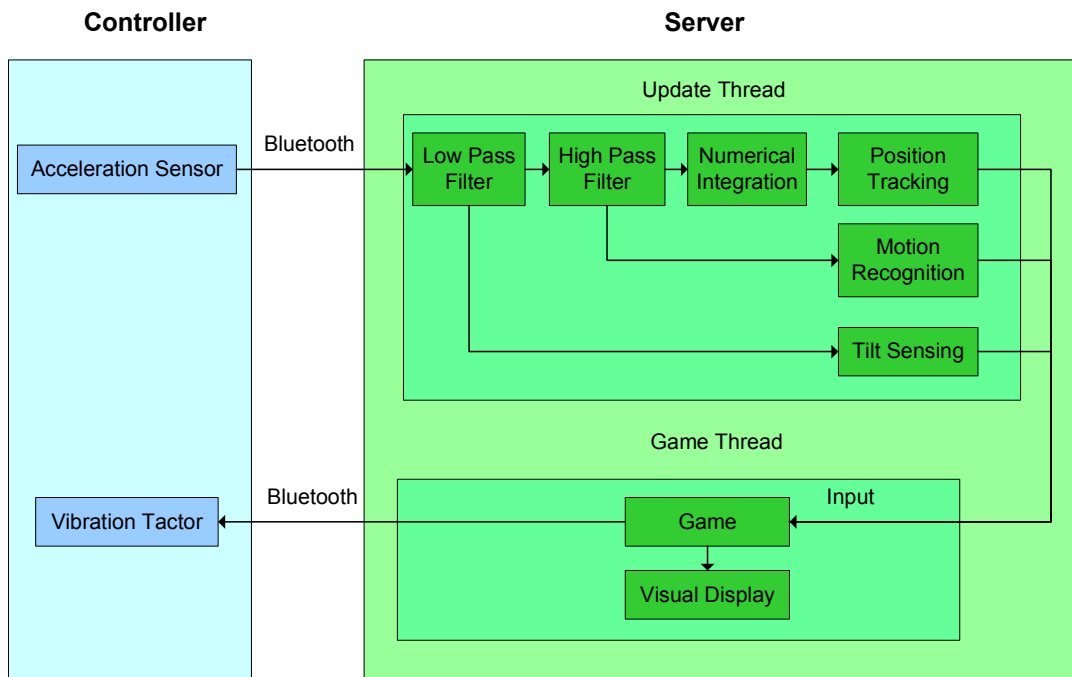


그림 6. 소프트웨어의 구조

#### 3.2.1 Update Thread

Update Thread는 컨트롤러로부터 네 개의 값 (3자유도 가속도와 버튼의 상태)을 전달받는다. 이때 전달받은 가속도 값은 센서의 특성상 값이 될 수도 있다. 이러한 값을 그대로 사용하면, 위치 추적이나, 모션 인식에서 문제가 발생할 수도 있



으므로, 디지털 필터링을 통해서 오류를 줄여 준다.

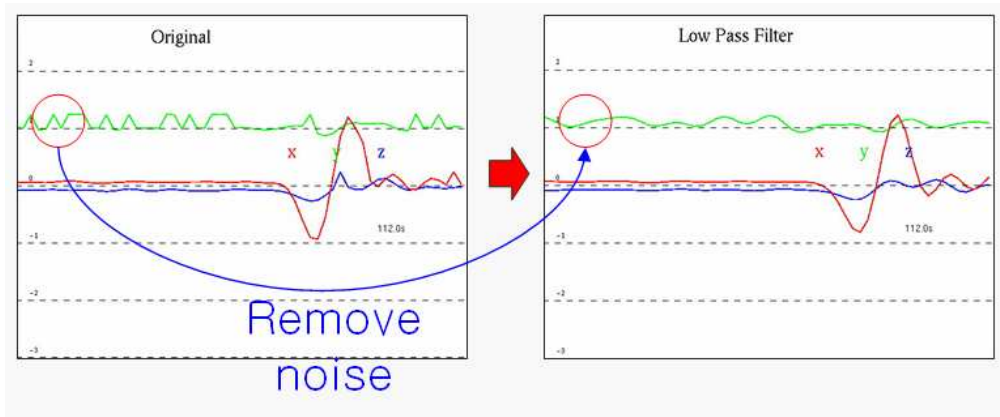


그림 7. 디지털 필터링을 통한 노이즈 제거

그림 7과 같이 디지털 필터링을 거치고 나면, 노이즈가 현저하게 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

디지털 필터링에서 계수를 선택하는 문제가 중요하다. 차수를 높이면 Noise를 보다 정확하게 제거할 수 있지만, 반응속도, 즉, 실제 움직임 뒤에 프로그램에서 결과로 반영되는데 시간이 오래 걸리게 되므로(Phase 특성), 적절한 값을 찾는 것이 중요하다. 본 프로그램에서는 Application에 따라 필터의 종류와 계수를 선택할 수 있도록 Direct-Form II 구조를 이용 하였다.

컨트롤러가 전송하는 가속도 값을 살펴보면, 사용자로 인해 발생하는 가속도와 중력가속도로 인해 발생하는 가속도가 합쳐져 있다. 모션 인식과 위치 추적을 위해서는 중력가속도를 제외하고 사용자로 인해 발생하는 가속도만을 뽑아낼 필요가 있다. 그러므로 본 프로그램에서는 High Pass Filter를 통해 중력가속도를 제거한다.



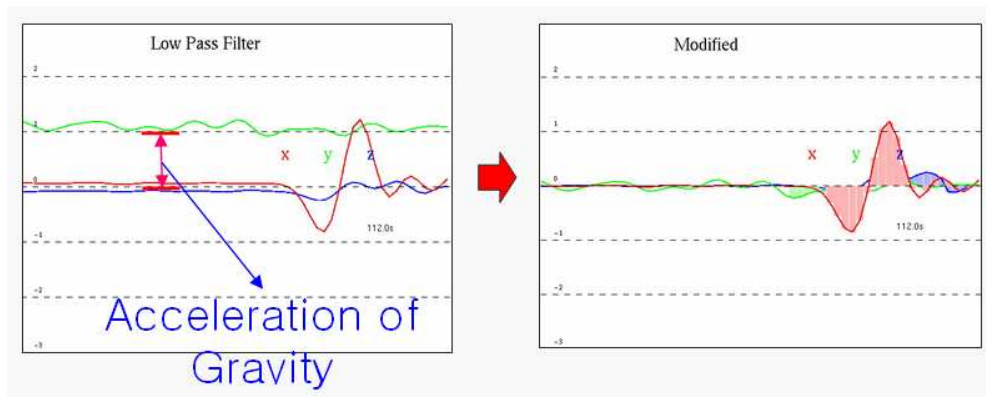


그림 8. Z축의 중력가속도 성분 제거

High Pass Filter를 거치고 난 뒤 가속도 값은 모션 인식에 사용되거나, 적분을 통해 위치추적을 하는데 사용될 수 있다. 컨트롤러로부터 전달된 가속도 값은 적절한 필터링을 거쳐 기울기 측정, 모션 인식, 위치 추적에 사용되며, 각각의 결과는 Game Thread에 전달되어, 실제 어플리케이션에 적용되게 된다.

### 3.2.1 Game Thread

Update Thread에서 Game Thread로 값을 전달하는 방법은 크게 두 가지로 분류된다. 위치 추적과 기울기 측정 결과는 미리 정의된 전역 변수에 값이 저장되어 각각의 Thread에서 값을 저장하고 읽어올 수 있다. 모션 인식 결과는 하나의 모션이 발생하였을 때, 이에 매칭되는 키보드 값을 이벤트로 발생시키는 방법을 사용한다.

Game Thread에서는 이렇게 전달받은 위치 정보, 모션 정보, 기울기 값을 사용하여 적절하게 현재 어플리케이션에 적용시키고, 필요한 경우, 현재 게임의 Visual Display를 수행하고, 블루투스를 통해 컨트롤러에 택터 값을 전달하여 사용자에게 택타일 피드백을 느낄 수 있도록 한다.



### 3.3 Application Program Interface (API)

프로그램에 필요한 모든 API들은 CController class에 정의되어 있고, CController class에는 크게 네 부분으로 나누어 진다.

#### CController class

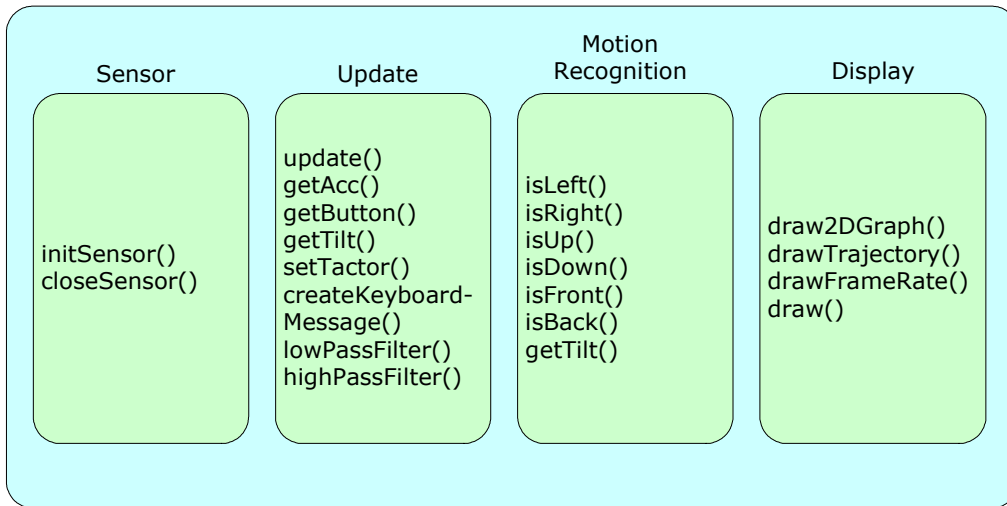


그림 9. CController class의 구조

프로그램의 설정을 위해 기본적으로 생성자에 정의되어야 하는 변수로는 블루투스 통신포트를 가르키는 PortName, 컨트롤러로부터 값을 받는 업데이트 속도를 정의하는 UPDATE\_RATE, 데이터 값을 파일로부터 읽을 지 리모트 컨트롤러로 읽을지를 설정하는(Default 센서 모드) mode, OPEN\_GL을 이용하여 visual display를 할 때 Workspace의 크기와 일치시키기 위해 변경해야 되는 WORKSPACE\_SCALE이 있다.

Sensor 부분에서는 프로그램의 시작과 종료 시에 센서의 연결과 해제를 위해 initSensor()와 closeSensor()가 불러져야 한다.

Update 부분에서는 update()는 파일 모드 인 경우, 파일에서 값을 읽어오고, 센서 모드인 경우, 블루투스 모듈을 통해 값을 받아온다. 1/UPDATE\_RATE 초 마다 함수가 한 번씩 불리며, 가속도 값을 읽어오고, 필터링을 하고, 적분을 통해 추정된 위치 정보와 기울기 정보를 업데이트하고, 모션 인식 함수를 부른 다음, 모



션이 일어난 경우, 이벤트를 발생시킨다. `getAcc()`는 컨트롤러로부터 블루투스 모듈을 통해 가속도 값을 받은 다음 중력가속도 값으로 변환한다. 컨트롤러의 좌표계와 프로그램에서 사용하는 좌표계가 다르기 때문에, 값을 받아올 때, 좌표계를 변환하여 저장한다. `getButton()`은 컨트롤러로부터 버튼 정보를 전송받아 변수에 저장한다. `getTilt()`는 가속도 값을 사용하여 컨트롤러의 현재 기울기를 계산한 다음, 이를 변수에 저장한다. `setFactor()`는 컨트롤러에 텍터의 계산된 강도를 보내어 텍터가 설정한 강도와 속도로 움직이게 한다. `createKeyboardMessage()`는 모션 발생한 뒤, 이 함수를 이용하여 키보드 이벤트를 발생시키는데 이용한다. `lowPassFilter()`는 가속도 값에서 Noise를 제거할 때 사용하며 계수와 오더의 설정을 이 가능하다. `highPassFilter()`는 Z축의 가속도 값에서 중력가속도를 제거한다.

Motion Recognition에서 `isLeft()`, `isRight()`, `isUp()`, `isDown()`, `isFront()`, `isBack()` 함수는 각각 컨트롤러가 그림 10 와 같이 움직일 때, 이벤트를 발생시킨다.



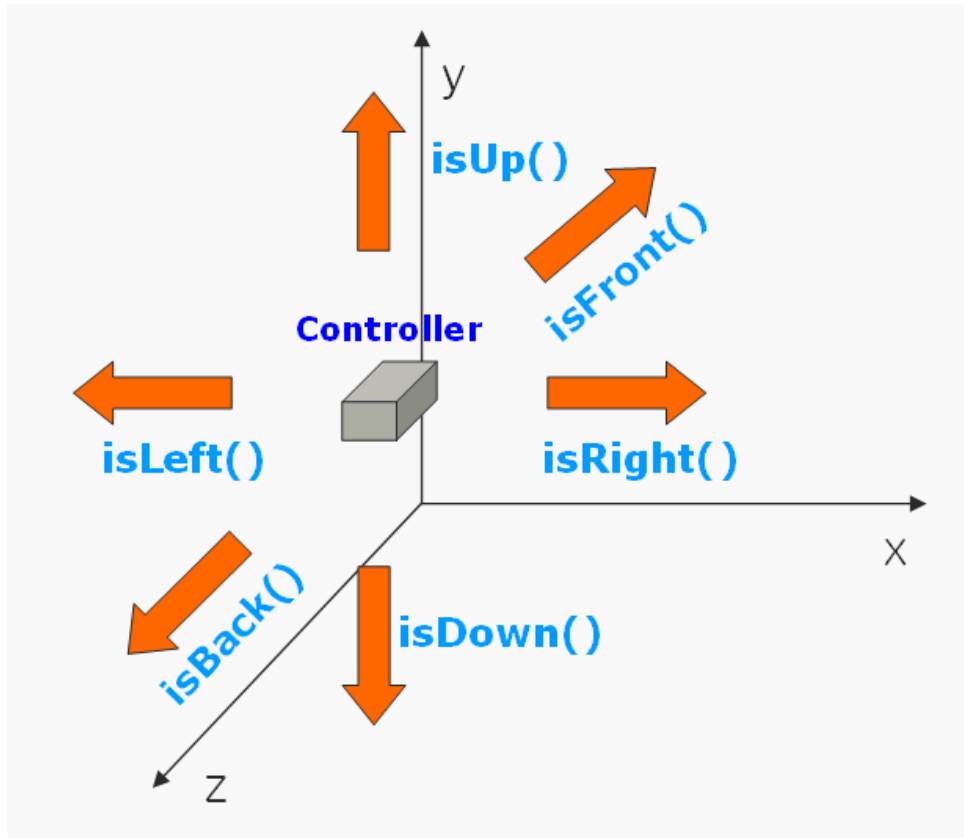


그림 10. 모션 인식함수의 작동 방향

Display부분에서는 컨트롤러로부터 받아온 가속도 값과, 필터링을 거친 후의 가속도 값, 추정된 컨트롤러의 현재 위치를 시각화 하기 위한 부분으로, GLUT를 기반으로 작성되었다



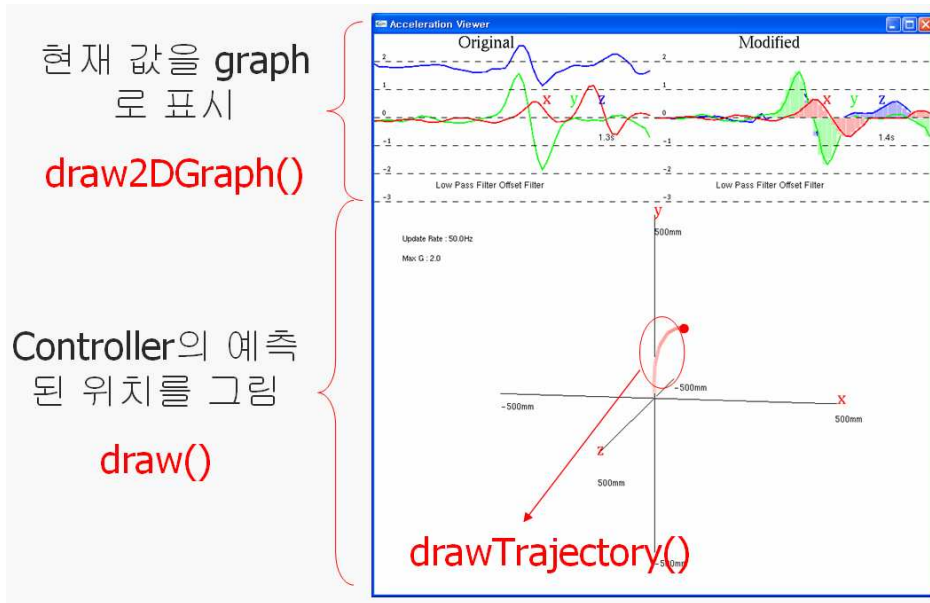


그림 11. 화면 표시 함수

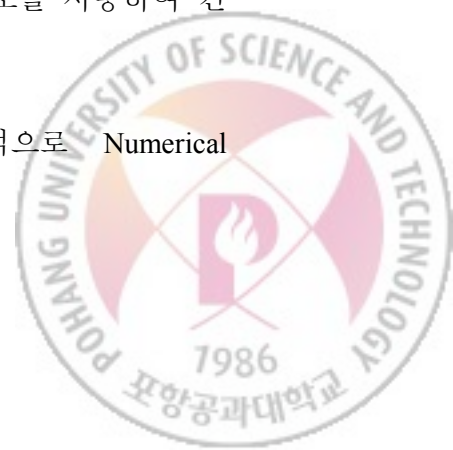
`draw2DGraph()`는 화면에 상단에 위치하는 현재 값들의 그래프로 그려주는 함수이다. `drawTrajectory()`는 컨트롤러의 예측된 위치와 궤적을 그려주는 함수이다. `drawFrameRate()`는 화면의 frame rate를 표시해주는 함수이다. `draw()`는 화면 하단의 메인 윈도우를 그려주는 함수로써, 월드 좌표계와 컨트롤러의 예측된 위치 변화를 표시한다.

### 3.4 모션인식

#### 3.4.1 궤적 추적

컨트롤러로부터 전송되는 가속도를 이용하여, 컨트롤러의 현재 위치를 추적할 수 있다. 우선 컨트롤러로부터 전송된 가속도에 low pass filter를 적용하여 noise를 제거해준다. Noise를 제거한 다음, 다시 high pass filter를 적용하여 Z축의 중력가속도를 제거한 뒤, 순수하게 사용자의 움직임으로 인해 발생된 가속도를 사용하여 컨트롤러의 위치를 추적한다.

컨트롤러의 가속도로부터 위치를 추적하기 위해서 기본적으로 Numerical





Integration을 사용하여 아래 식과 같이 가속도를 시간에 대해서 두 번 적분하여 위치를 찾아내게 된다.

$$\vec{P} = \iint \vec{A} dt \quad (3.1)$$

lowpass filter를 적용한 뒤에도 중력성분이 포함되거나 센서상의 분해능의 한계로 인하여 가속도 값이 정확한 값이 아니기 때문에, 필터링된 가속도 값을 바로 적분하여 위치를 계산하면, 많은 오차가 발생한다. 따라서 임계값을 두고, 가속도가 이 임계값을 넘어선 경우에만, 적분시켜 위치 값을 계산한다. 현재 프로그램에서는 임계값이 0.05g로 설정되어 있고, 이 값은 CController 클래스의 ACC\_THRESHOLD 변수를 통해 설정할 수 있다.

임계값이 넘는 가속도를 사용하여 적분을 하더라도, 가속도 값 자체가 정확하지 않기 때문에 두번의 적분을 통해 계산되는 위치 값은 오차를 가진다. 특히, 사용자가 동작을 실행하고 멈췄을 때 생기는 가속도를 모두 합하면 이론상 0이 되어야 한다. 하지만 실제 가속도를 모두 더해보면, 중력가속도 성분의 방해와 임계값을 넘는 가속도 값만이 적분에 포함되기 때문에 생기는 오류로 인해 실질적으로는 0이 아닌 값이 된다. 이렇게 사용자가 움직임을 멈췄을 때, 가속도의 합이 0이 아니면, 속도가 초기값(0)으로 돌아가지 못하게 되고, 그로 인해 위치 값은 무한대로 가게 된다. 이러한 가속도 센서 자체의 한계를 극복하고, 컨트롤러의 위치를 적절하게 추적하기 위하여 초기 가속도 보상 알고리즘을 사용하였다.

사용자의 움직임에 따른 가속도 값을 살펴보면, 대부분 그림 12와 같은 움직임을 보인다. 즉, 움직임이 시작될 때 가속도 값이 증가하고, 움직임이 멈춰질 때 가속도 값이 반대 방향으로 증가한다.



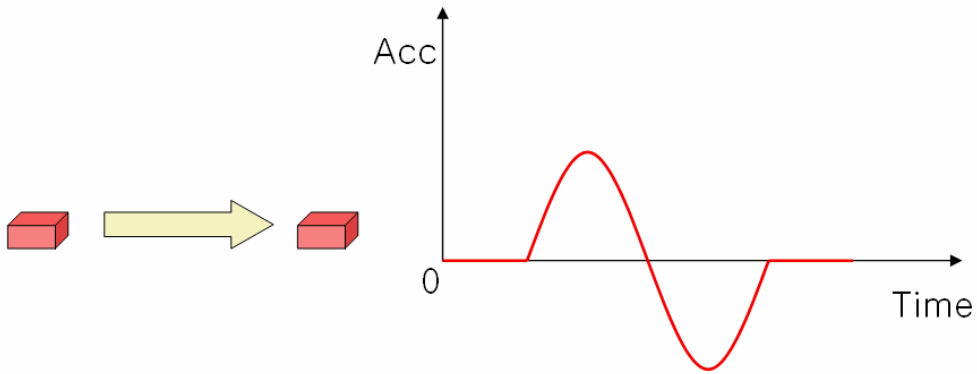


그림 12. 단방향 동작에서의 이상적인 가속도의 변화

하지만, 앞서 말한 센서 자체의 오류와 중력 가속도의 방해로 인해 대부분 그림 13와 같이 움직임이 시작될 때의 가속도의 합과 움직임이 끝날 때의 가속도의 합이 다르게 관찰되었다. 그러므로 실제 컨트롤러의 움직임을 멈추었을 때도, 계산된 위치 값은 계속 변화하여, 결국은 무한대로 증가하는 오류가 발생하였다.

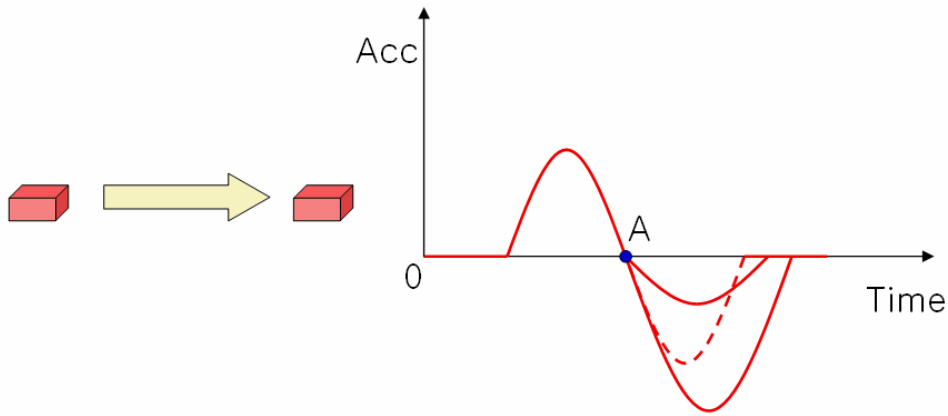
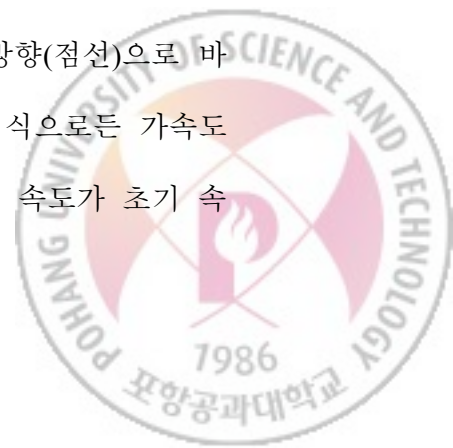


그림 13. 단방향 동작에서의 가속도의 변화

초기 가속도 보상 알고리즘이란, 움직임이 시작될 때 생기는 가속도의 궤적을 저장하고, 가속도가 반대 방향으로 전환되는 순간(점A)부터 센서로부터 전달되는 가속도(실선)는 무시하고, 이전에 저장했던 가속도의 궤적을 반대방향(점선)으로 바꾸어 그대로 적용하는 방법이다. 이 알고리즘을 사용하면, 어떤 식으로든 가속도가 발생한 경우, 똑 같은 가속도가 반대방향으로 적용이 되므로, 속도가 초기 속



도(0)로 돌아가게 되고, 위치값이 무한대로 가는 경우는 없어진다. 또한 실제 움직임과 비슷한 위치를 추적해 낼 수 있다. 이렇게 계산된 위치는 CController class의 pos[3] 변수에 저장된다.

### 3.4.2 모션인식

응용 프로그램의 성격에 따라 사용자가 자연스럽게 느끼며 몰입감을 느낄 수 있는 동작도 달라지게 된다. 예를 들면 야구 게임에서는 공을 던지는 동작이나 배트를 휘두르는 동작을 가장 자연스럽게 느낄 것이고, 펜싱 게임이라면 손에 쥐고 찌르는 동작을 가장 자연스럽게 느낄 것이다. 입력을 위한 동작이 얼마나 자연스럽게 사용자가 쉽게 받아들일 수 있는지에 따라 사용자의 응용 프로그램에 대한 몰입도가 결정된다.

정확한 위치 정보를 얻어낼 수 있다면 쉽게 높은 신뢰도를 가지는 동작 인식을 할 수 있겠지만 높은 가격과 추가로 외부 장치를 필요로 하는 문제가 있으므로 적절한 알고리즘을 이용하여 가속도 데이터만으로 사용자의 동작을 파악 한다.

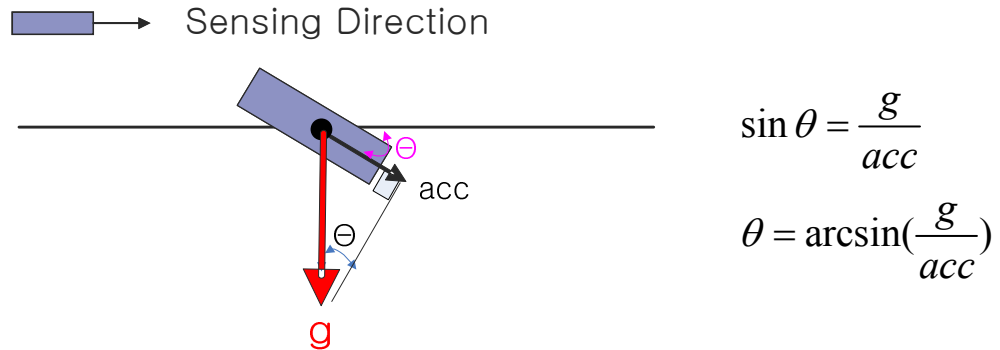
자동차 드라이빙 시뮬레이션과 같이 연속적으로 매끄럽게 이어지는 입력이 필요한 어플리케이션에 적용할 수 있는 모션 인식 방법으로 중력 가속도를 이용한 틸트센싱을, 테트리스 게임과 같이 명령이 각각 구분되는 비연속적인 입력이 필요한 어플리케이션에 적용할 수 있는 모션 인식 방법으로 가속도의 Threshold에 기반한 스테이트 머신을 각각 개발하였다.

#### 가) 중력 가속도를 이용한 틸트 센싱

지표면에서는 항상 지면과 수직 방향으로 약  $9.8\text{m/s}^2$  크기의 중력 가속도가 작용하고 있기 때문에 이 중력 가속도의 성분이 리모콘에 내장된 가속도 센서의 x, y, z 세 축에 어떻게 나뉘어 들어가는지 살펴보는 것으로 리모콘이



지면에 대해서 기울어진 각도(틸트)를 알아낼 수 있다.



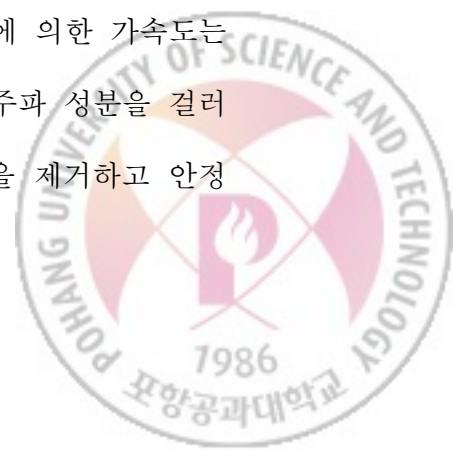
$$\sin \theta = \frac{g}{acc}$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{g}{acc}\right)$$

그림 14. 중력 가속도를 이용한 틸트 계산

그림 14에서 리모컨의 좌우 방향을 x축, 상하 방향을 y축이라고 할 때 리모컨이 지면과 평행하게 정지한 상태에서는 y축 자체가 지면에 수직한 방향이 되므로 y축에서 측정되는 가속도의 크기가 약 9.8m/s<sup>2</sup>이 되고 다른 축의 가속도는 0이 된다. 그러나 위의 그림 14에서와 같이 리모컨이 상하로 기울어지게 되면 가속도는 x축과 y축 성분으로 나눌 수 있게 되어 그 기울어진 각도를  $\theta$ 라고 했을 때 가속도 센서의 y축에서 측정되는 가속도의 크기는 약  $9.8\text{m/s}^2 \times \cos\theta$ 가 되고, x축에서 측정되는 가속도의 크기는 약  $9.8\text{m/s}^2 \times \sin\theta$ 가 된다. 따라서 이 측정된 가속도를 가지고 삼각함수의 역함수로 계산하면 기울어진 각도  $\theta$ 를 계산해 낼 수 있다.

단, 사용자가 급격하게 리모컨의 위치나 각도를 변화시키는 경우에 중력 가속도 이외에 사용자의 움직임에 의한 가속도 성분이 측정될 수 있다. 이러한 경우 계산해 낸 기울어진 각도의 값이 실제보다 크거나 작게 나올 수 있는데 사용자의 움직임에서는 움직임을 시작할 때와 끝마칠 때 순간적으로 가속도가 크게 나오고 움직이는 도중에는 사용자의 움직임에 의한 가속도는 거의 측정되지 않는 것이 보통이므로, 빠르게 변화하는 고주파 성분을 걸러내는 로우패스 필터를 이용하여 이러한 원하지 않는 값들을 제거하고 안정



적인 데이터를 얻어낼 수 있다.

틸트센싱 방법은 중력가속도를 이용하는 방법이므로 리모컨 전후의 상하 기울기, 리모컨 좌우의 상하 기울기의, 2축 기울기 값을 알아내어 입력에 활용할 수 있다. 기울기 값이 일정 각도를 넘어서면 입력한 것으로 판단하게 하여 디지털 버튼을 대체할 수도 있고 기울기 각도가 크면 큰 값의 입력을, 기울기 각도가 작으면 작은 값의 입력을 하도록 하여 아날로그 버튼의 입력을 대체할 수도 있다.

#### 나) 가속도의 Threshold에 기반한 스테이트 머신

상하좌우의 네 방향의 비연속적인 입력이 필요한 응용 프로그램에서 사용자가 자연스럽게 리모컨을 들고 움직임을 통해 입력하는 실험을 해 본 결과 각각의 입력에 대한 가속도의 크기는 일반적으로 그림 15의 그래프와 같이 나타난다.

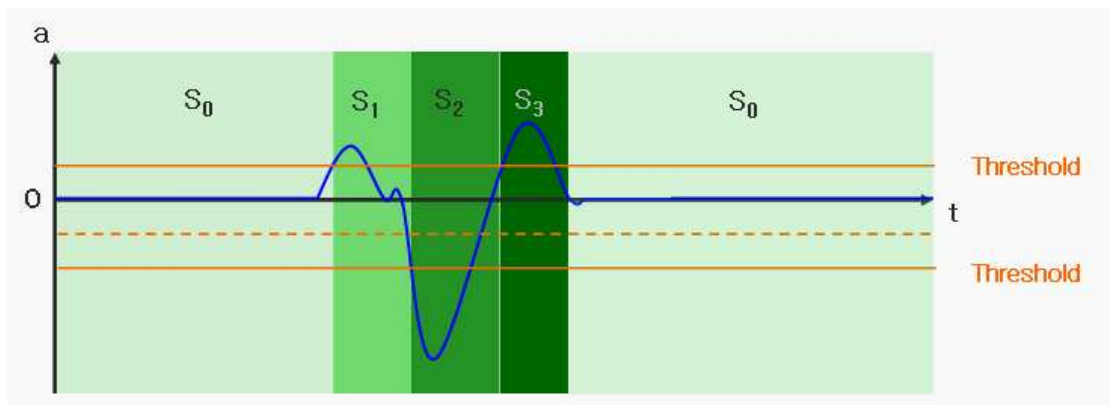
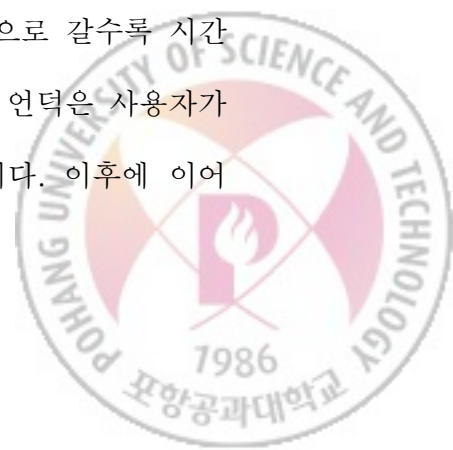


그림 15. 방향입력 동작에서의 가속도와 스테이트 변화

그래프의 위쪽은 (+)방향의 가속도를 나타내고 아래쪽이 (-)방향의 가속도를 나타낸다. 그래프의 좌우 축은 시간을 나타내며 오른쪽으로 갈수록 시간이 많이 경과되었음을 나타낸다. 처음 나타나는 (+)방향의 언덕은 사용자가 원하는 방향으로 움직임을 시작할 때에 나타나는 가속도이다. 이후에 이어



서 나타나는 (-)방향의 큰 골은 사용자가 움직임을 멈추고 다음 동작을 입력하기 위해서 원위치로 돌아오기 위해 힘을 줄 때에 나타나는 것이다. 하나의 입력에 대하여 사용자가 움직이는 폭이 크지 않기 때문에 앞서 움직임을 시작할 때 나타나는 언덕과 멈추고 돌아올 때 나타나는 골 사이에 중간 과정이 거의 없이 바로 이어서 나타난다. (-)방향의 골이 끝나고 나타나는 (+)방향의 언덕은 다음 동작을 준비하기 위해 사용자가 입력을 시작하기 전의 원위치로 돌아와서 움직임을 멈출 때에 나타나는 것이다. 다만 이 언덕은 사용자의 동작 성향에 따라 (돌아오는 움직임이 빠르지 않은 경우) 그 형태가 잘 보이지 않기도 한다.

그림 15의 가속도 그래프에 따라 하나의 입력을 크게 네 단계로 나누고 이 단계의 변환에 의해서 사용자의 동작을 인식하도록 하였다. 각각의 상태는 그림 16에서와 같이 전환되며 다음과 같은 의미를 갖는다.

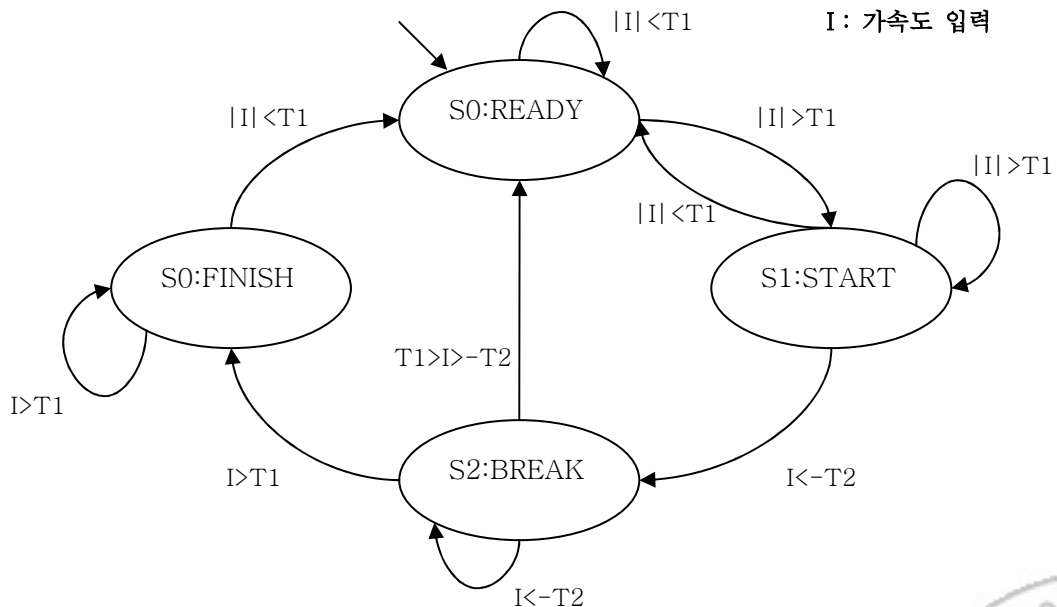


그림 16. 사용된 스테이트 머신의 다이어그램

S0: 동작을 기다리는 대기상태(Ready)로 프로그램의 시작이나 다른 동작의



끝에서부터 정해진 임계값 T1을 넘는 가속도 입력이 들어와서 S1 상태로 넘어가기 전까지의 상태이다.

S1: 동작하려는 방향으로 가속도를 주는 상태(Start)로 S0에서 임계값 T1을 넘는 가속도 입력이 들어오면 이 상태로 넘어오게 된다. 처음 임계값을 넘어서 S1 상태에 들어왔을 때와 같은 방향으로 임계값 T1을 넘는 가속도 입력이 들어오는 동안 이 상태가 유지되며, 일정시간동안 이 조건을 유지하지 못하면 사용자의 손 떨림이나 센서에서 나오는 노이즈로 인해 발생한 데이터로 판단하여 대기상태인 S0 상태로 돌아가게 된다.

S2: 움직임을 멈추고 원위치로 돌아오기 위해 반대방향으로 가속도를 주는 상태(Break)로 S1 상태로 들어갈 때 인식된 가속도의 반대방향으로 임계값 T2를 넘는 가속도 입력이 들어오면 이 상태로 넘어오게 된다. S2 상태에서는 S1 상태에서 들어온 사용자의 움직임을 실제 어플리케이션에 방향키 입력 이벤트로 전달해 준다. 역시 같은 방향으로 임계값을 넘는 가속도 입력이 들어오는 동안 이 상태가 유지되며, 일정시간동안 임계값을 넘지 못하면 대기상태인 S0 상태로 돌아가게 된다.

S3: 원위치에서 움직임을 멈추기 위해 가속도를 주는 상태(Finish)로 이미 사용자의 동작은 입력으로 응용 프로그램에 전달되었지만 입력을 위한 동작이 연속되는 경우에 다음 동작과 혼동되는 것을 피하기 위하여 가속도의 크기가 임계값 T1 아래로 내려갈 때까지 S3 상태에서 기다리게 된다. 가속도가 임계값 T1 아래로 내려가면 다음 입력을 받아들이기 위해 S0, 즉 대기 상태로 넘어가게 된다.



S2 상태까지 진행되면 사용자가 의도한 정상적인 입력으로 인식하고 실제 키보드 이벤트를 발생시켜 응용프로그램에 방향키 입력이 들어가게 하며 S0를 제외한 각각의 단계에서 일정 시간 동안 상태가 유지되는 조건이나 다음 단계로 넘어갈 조건을 만족시키지 못하는 경우에는 S0 상태로 돌아가도록 하였다.

일반적으로 사용자가 방향 입력 동작을 시작할 때보다 멈추고 원위치로 돌아올 때 가속도의 크기가 더 크므로 임계값 T1보다는 T2의 크기를 크게 하여 보다 분명하게 입력을 받아들이도록 하였다. 임계값 T1과 T2의 크기는 실제 사용성 평가를 통해 중력가속도의 0.2배 정도로 결정되었으나 보다 쉽고 정확한 동작 인식을 위해서는 아직 약간의 조정이 필요한 것으로 생각한다. 혹은 사용자에 따라 동작에서 발생하는 가속도의 크기가 다를 수 있으므로 프로그램을 시작할 때에 사용자의 동작을 미리 받아들이고 여기에서 측정된 값에 따라 임계값을 조정하는 것도 좋을 것이다.

현재 개발된 프로그램은 키보드의 방향키를 입력했을 때와 같은 이벤트를 발생시키는 형태이므로 방향키 입력을 사용하는 어떠한 프로그램에도 사용할 수 있으며 방향키뿐만 아니라 마우스나 키보드의 다른 키 입력 이벤트를 발생시키는 것으로 변환도 가능하다.

### 3.5 어플리케이션

체험형 모션리모트 컨트롤러와 API를 이용하여 모션을 이용하여 재미를 증대시킬 수 있는 어플리케이션에 적용해 보았다.

#### 가) 권투

모션리모트 컨트롤러를 이용하여 가상의 캐릭터와 권투를 하는 프로그램이





다.

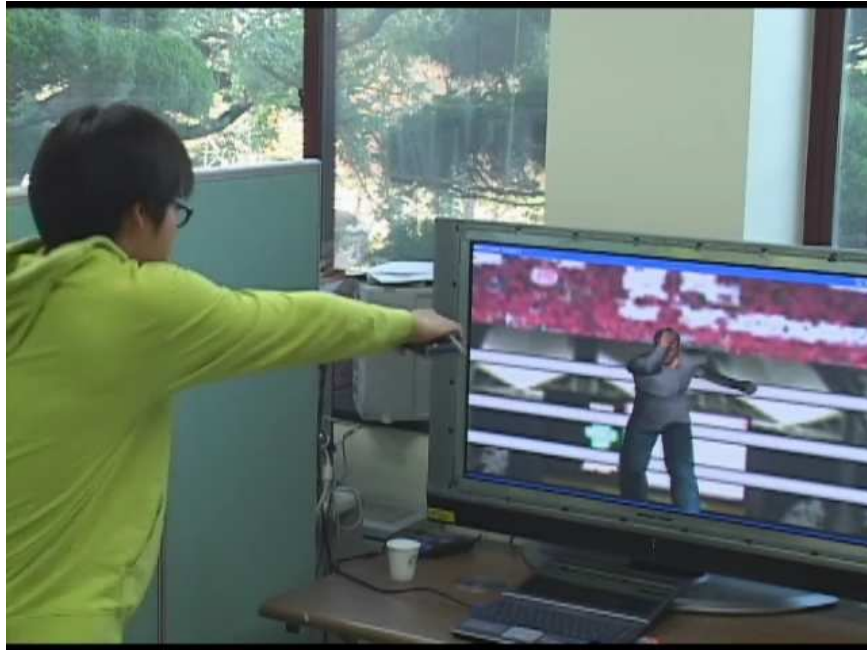


그림 17. 모션인식을 이용한 권투게임

사용자가 컨트롤러를 잡고 주먹을 앞뒤로 내지르면, 컨트롤러가 가속도 센싱을 통해 동작을 인식하여 상대방 캐릭터에게 펀치를 날린다. 상대방 캐릭터가 사용자에게 펀치를 날리면 컨트롤러는 사용자에게 진동 피드백을 통해 펀치의 강도를 알린다.



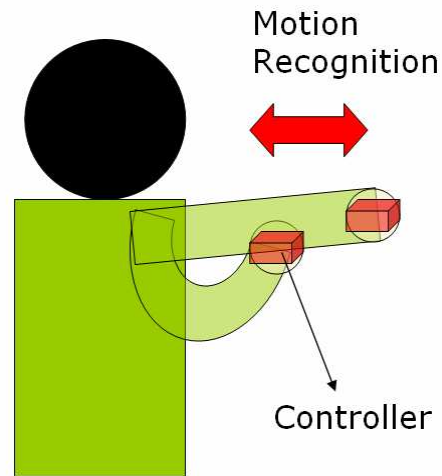


그림 18. 권투 게임에 적용된 모션 인식 방법

#### 나) 드라이빙 시뮬레이션

사용자가 리모트 컨트롤러를 들고 도시 맵 안에서 자동차를 운전해볼 수 있는 프로그램이다. 사용자의 움직임을 이용하여 가속, 감속, 좌우 회전의 입력을 할 수 있으며 컨트롤러에 장착된 버튼을 사용하여 화면의 시점 변환, 기어 변환 등이 가능하다. 또한 내장된 진동 모터를 이용하여 다른 차나 건물과 충돌했을 때 진동 피드백을 준다.



그림 19. 자동차 드라이빙 시뮬레이션

자동차 드라이빙 시뮬레이션의 동작 인식 방법으로는 앞서 설명한 틸트 센싱을 이용하였다. 리모트 컨트롤러를 세운 상태에서 좌우로 기울임에 따라 차의 조향각을 좌우로 바꿔주도록 하였으며 기울인 각도가 클수록 조향각의 변화도 크도록 하였다. 리모트 컨트롤러를 앞으로 기울인 경우에는 자동차의 가속을, 뒤로 기울인 경우에는 감속의 효과가 나타나도록 하였으며 역시 기울인 각도가 클수록 그 효과가 더 크도록, 즉 페달을 세게 밟은 효과를 낼 수 있도록 하였다.





그림 20. 자동차 드라이빙 시뮬레이션에 적용된 모션 인식 방법

사용자가 운전하는 차량이 다른 자동차나 건물에 부딪혔을 때에는 충돌 당시 자동차의 속도에 비례하는 크기의 진동을 주고 진동의 크기는 시간에 따라 일정한 비율로 감소하도록 하였다

다) 탁구

사용자의 움직임을 이용하여 간단히 탁구 게임을 즐길 수 있도록 개발된 프로그램이다. 기본적인 규칙은 일반적인 탁구 게임의 룰을 따른다.





그림 21. 모션인식을 이용한 탁구 게임

중력 가속도를 이용한 기울기 측정과 사용자의 움직임에 의한 가속도를 측정하여 앞서 설명한 스테이트 머신에 따라 동작을 판단하도록 하였다. 즉 컨트롤러를 잡고 스윙을 하거나 앞으로 기울이면 라켓이 앞으로(반시계방향) 돌아가고 뒤로 기울이면 뒤로(시계방향으로)돌아가 원위치가 된다.

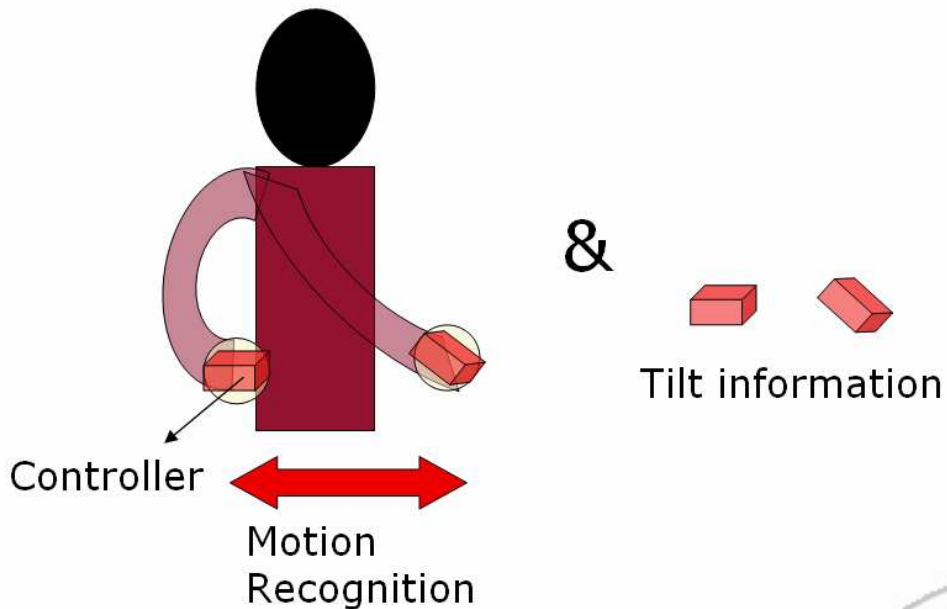


그림 22. 탁구 게임에 적용된 모션 인식 방법



## 라) 테트리스

테트리스를 하기 위해 필요한 입력은 좌우 이동, 떨어뜨리기와 회전 이렇게 총 네 가지가 필요하다. 각각의 입력에 대해 리모트 컨트롤러의 특정 동작을 대응 시켜야 하므로, 네 가지 동작을 지정해야 한다.

손쉽게 생각할 수 있는 동작에는 가속도 기반 방식과 기울기 기반 방식을 생각할 수 있다(그림 24). 리모트 컨트롤러를 특정 방향으로 움직이면 이동 방향으로 가속도가 발생하므로, 이를 가속도 센서를 통해 리모트 컨트롤러의 상하좌우 이동 방향에 테트리스에 필요한 각각의 동작을 대응시킬 수 있다. 즉, 좌로 움직이면 좌로 이동, 우로 움직이면 우로 이동, 위로 움직이면 회전, 그리고 아래로 움직이면 떨어뜨리기를 수행하도록 할 수 있다.

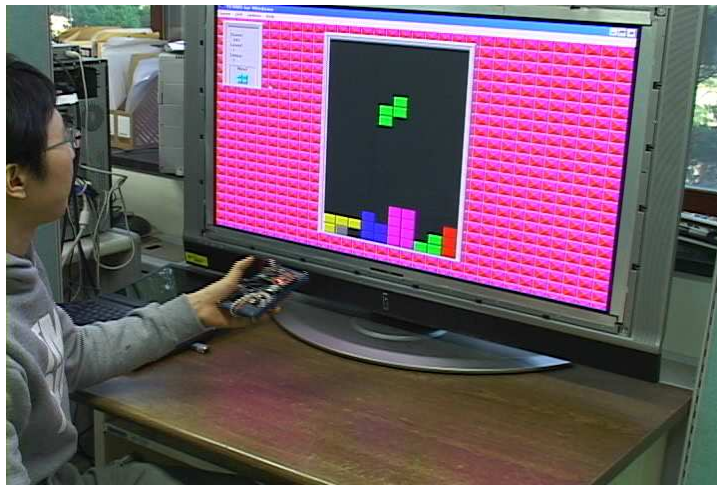


그림 23. 체험형 리모트 컨트롤러를 이용한 테트리스

기울기 기반 방식은 자동차 운전 시뮬레이터에서의 조작법과 비슷한 방식이다. 리모트 컨트롤러를 전후좌우로 기울이면 발생하는 경사의 정도를 가속도 센서에서  $x$ ,  $y$ ,  $z$  축 방향에 전해지는 중력가속도를 분석하여 측정할 수 있는데, 이를 위에서 가속도 기반 방식과 마찬가지로 각각의 동작에 대응시키면 리모트 컨트롤러를 좌로 기울이면 좌로 이동, 우로 기울이면 우로 이동,



뒤로 기울이면 회전, 앞으로 기울이면 떨어뜨리기를 수행하도록 할 수 있다.

응용 프로그램을 개발하면서 두 가지 방법을 모두 적용시켜 보았는데 사람에 따라 선호하는 방식이 달랐다.

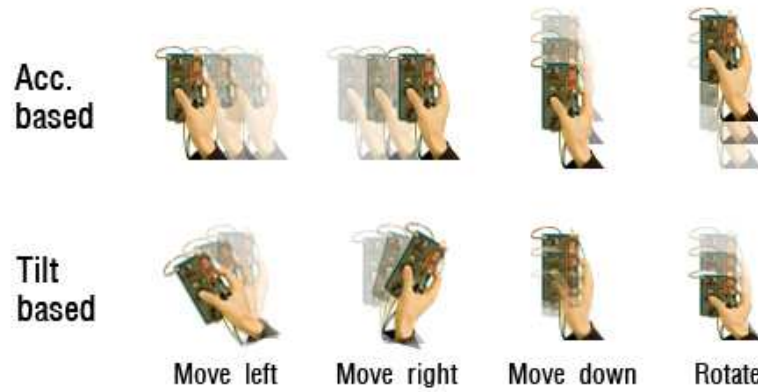


그림 24. 체험형 리모트 컨트롤러를 이용한 테트리스의 조작법



#### 4. 씨나 에미넌스(Thenar Eminence)에서의 진동 최적화

오늘날 핸드폰, PDA, 휴대용 게임기기등과 같은 핸드헬드기기가 때와 장소를 가리지 않고 널리 사용되고 있다. 이 핸드헬드기기들은 진동모터를 진동 액추에이터로 이용하고 있다.

진동모터가 휴대용기기에 선호되는 이유는 값이 싸고 작으며 다른 진동 액추에이터에 비해 상대적으로 강한 진동을 발생시키며 사용 방법 또한 간단하다. 하지만 진동모터는 휴대용기기에 사용됨에 있어 2가지의 단점을 가지고 있다. 첫째로, 모바일기기의 다른 전자장치들에 비해 많은 전력을 소비한다 이는 모바일기기의 사용시간을 줄이게 된다. 둘째로, 진동크기와 주파수를 분리해서 진동 파형을 만드는 것이 불가능하다. 즉, 진동크기는 주파수와 연관되어 있다. 이런 진동모터의 한계(주파수와 진동의 연관) 때문에 주파수를 고정하여 진동크기를 조절하여 강도를 제공할 수가 없다. 이와 같은 특성으로 인해 진동모터는 전압이 증가함에 따라 꼭 인식강도가 높아진다고 볼 수 없다.

본 장에서는 진동모터의 전력소비와 인식강도에 대한 실험을 통해 체계적인 진동 드라이빙 환경을 설계하는 방법을 제시하여 씨나에미넌스에 진동모터를 이용함에 있어 전력소비를 최소화하며 정확한 인식강도를 제공하는 택타일 피드백 환경의 기반을 마련한다.

수행된 실험의 순서는 다음과 같다. 먼저 Gripping Force를 측정하여 일반적으로 모바일기기를 사용할 때 씨나 에미넌스에 어느 정도의 힘이 작용하는지를 확인하고 확인된 결과를 이용하여 진동모터를 씨나 에미넌스 Gripping Force만큼 압박하여 전압변화에 따른 진동모터의 특성(주파수,진동크기)을 측정하였다. 씨나 에미넌스의 Detection threshold 값을 구하여 진동모터의 진동크기와 Detection threshold를 이용, Sensation level을 구하였다. 마지막으로 Subjective Magnitude 측정을 통해 전력에 따른 Sensation level을 인식강도로 볼 수 있는지를 Sensation level과 Subjective Magnitude의 결과의 유사성을 통해 확인한다. (그림 25)





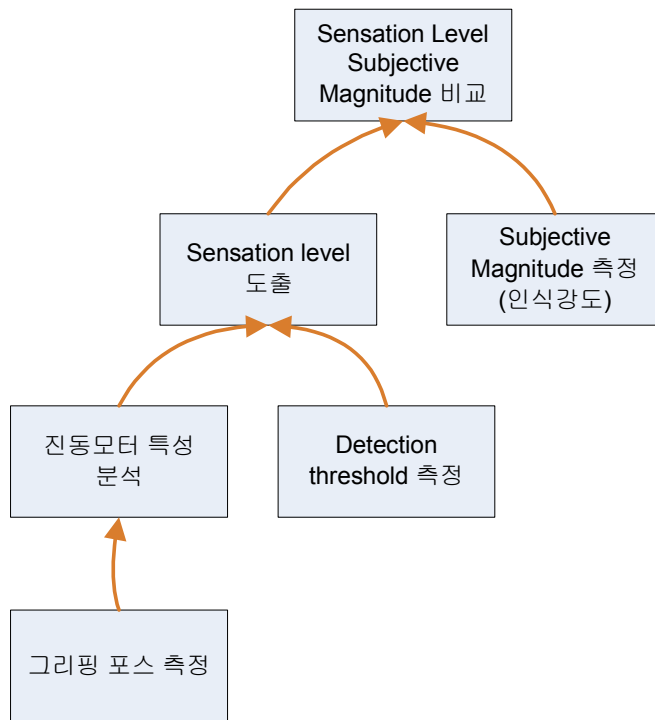


그림 25. Thengar eminence의 진동 최적화 실험순서

#### 4.1 핸드헬드 기기의 그리핑 포스

씨나 에미넌스는 핸드헬드 기기, 게임 조이스틱, 셀룰러폰과 같이 진동피드백을 제공하는 장치에 가장 많은 접촉 부위를 가지므로 진동피드백에 인지에 있어 중요한 역할을 한다.

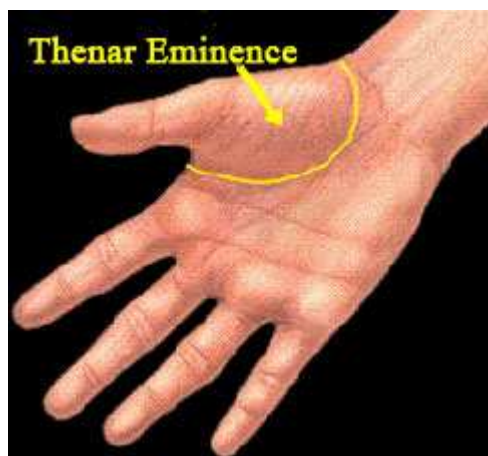


그림 26. 씨나 에미넌스 (Thenar Eminence)



Lamore and Keemink는 씨나 에미넌스에 1.5cm<sup>2</sup> Contactor를 이용한 Detection threshold 실험을 수행하였다. 이 실험에서 Contact Force가 진동을 인지하는 민감도에 있어 큰 연관성이 있음을 발견하였으며 이는 파치니안 시스템에 의한 것으로 보고 있다.[6] 이처럼 진동에 대한 감각은 Contact Force[7]의 영향을 받으므로 통상적으로 모바일기기를 잡을 때 씨나에미넌스에 가해지는 Contact Force를 측정하여 인식강도(Perceived Intensity)를 보다 정확하게 분석 해야 한다.

#### 4.1.1 실험방법

##### 실험장비

실험장비는 다음과 같다. 포스 센서는 쉽게 휘어 지고 얇아서 씨나에미넌스 부위만의 힘을 측정할 수 있는 Flexiforce(Tekscan)를 이용하였고 Flexiforce의 저항 값을 전압으로 변환하여 Data Acquisition Board로 읽어 드리기를 위하여 Flexiforce Amplifier 보드(그림 28)를 제작하였다. Data Acquisition Board(National Instruments PCI-6229, Austin, Texas)를 이용하여 Flexiforce 센서로부터 값을 읽어 들였다.



그림 27. Flexiforce 와 PDA



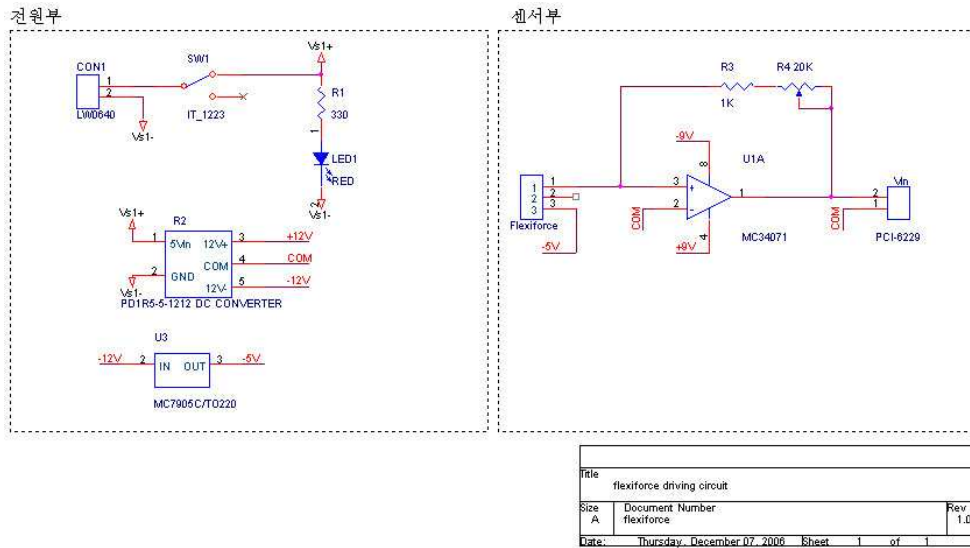


그림 28. Flexiforce Amplifier Board 회로도

### 실험 절차

10 명의 대학원생(평균 연령 24세)을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험 시작 전에 1.1cm<sup>2</sup>의 원형 추를 이용하여 포스센서의 캘리브레이션을 마친 후 피실험자의 Thenar emience에 포스센서를 테이프로 고정시켰다. 이후 스마트폰(HP RW6100)을 쥐게 한 후 1000자 가량의 글을 읽도록 하였다. 중간 중간 새로운 글을 읽도록 하며 스마트 폰을 다시 놓았다 쥐도록 반복하였다 이를 총 10번 반복하였다. 포스센서의 값은 500hz로 2500 sample을 10번 측정하였다.

### 4.1.2 결과

Data Acquisition Board를 통해 피실험자의 Contact Force를 측정한 값은 그림 29과 같다.



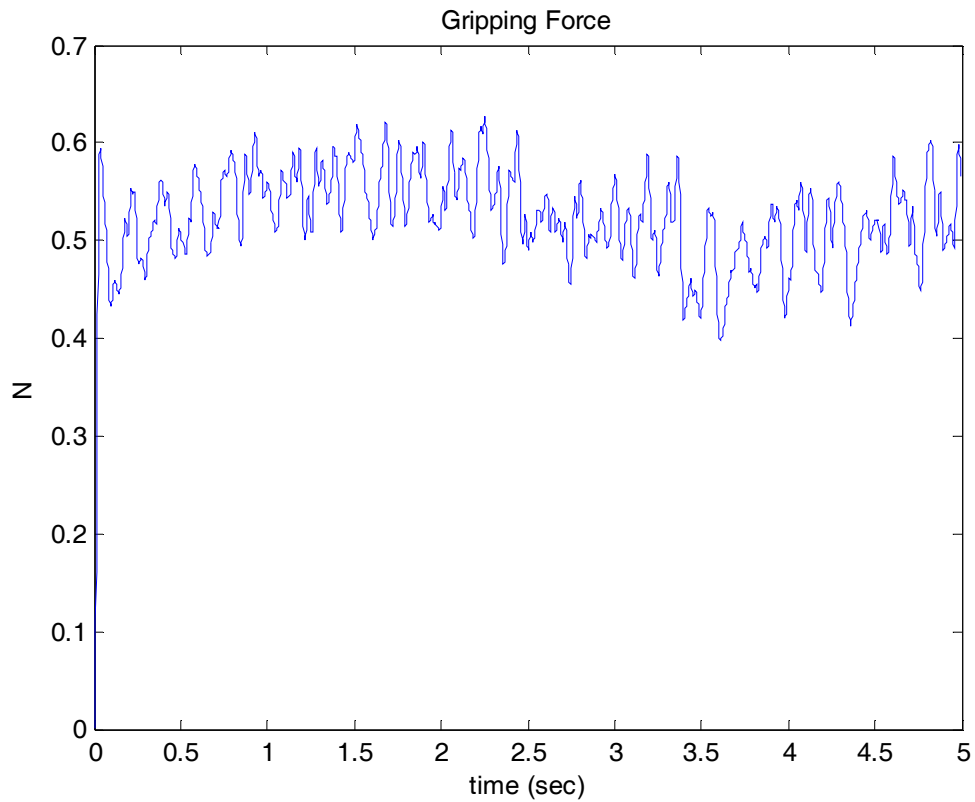


그림 29. 그리핑 포스의 시간에 따른 변화

그림 29은 피실험자의 시간에 따른 힘의 변화를 측정된 값이다. 10명의 실험자 모두에게서 동일한 현상이 나타났는데 일단 스마트 폰을 잡은 이후에 초기 힘 값은 일정하게 유지되었다.



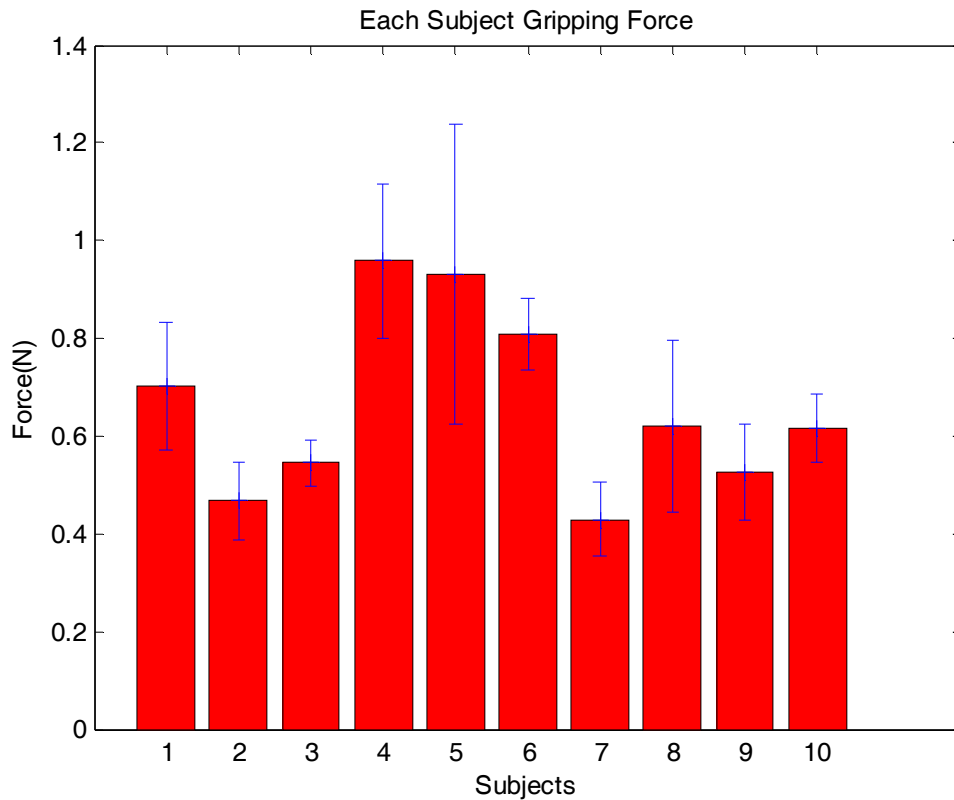


그림 30. 피실험자 각각의 그리핑 포스

피실험자의 전체 평균 컨택포스는 0.66N 이며 표준편차는 0.0772N이었다. 피실험자 마다 표준편차가 큰 이유는 총 10번 스마트 폰을 다시 쥐었다 때는 동작을 반복해서 잡는 방법이 조금씩 변함에 따라 씨나 에미넌스에 작용하는 힘이 달라진 것으로 생각된다.

#### 4.2 진동모터의 구조

진동모터는 사람이 충분히 인식할 수 있을 정도의 큰 진동을 낼 힘을 모바일기기의 보드에 전달한다. 이는 작은 DC모터와 편심자(eccentric mass)의 회전을 통해 수행된다. 진동모터에는 실린더 타입과 코인 타입이 있으며 원리는 모두 같다. 두가지 타입의 형태는 그림 31와 같다. 코인타입은 상대적으로 얇으며 실린더 타입은 두께는 두껍지만 상대적으로 좋은 진동 성능을 나타낸다. 하지만 슬림화 되어가는 모바일기기의 추세로 인해 코인타입의 수요가 업계에서 계속 성장하는 추세다.



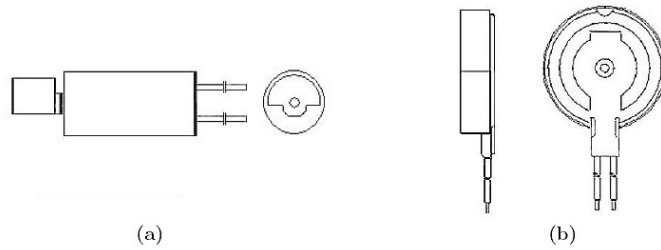


그림 31. 진동모터의 타입 (옆면과 윗면) (a) 실린더형 진동모터(왼쪽에 편심자) (b) 코인형 진동모터

진동모터는 그림 31에서 보는 바와 같이 DC모터(magnet, coil and commuter)와 counterweight라고 불리는 편심자(eccentric mass)로 구성된다. 회전축의 무게의 불균형 때문에, DC모터가 회전할 때 진동을 발생시킨다. 이와 같은 진동모터의 특성(편심자의 회전에 의한 진동발생)때문에 진동모터는 주파수와 진동크기를 분리해서 제어할 수가 없다.

작은모터에서 강한 진동을 발생시키기 위해서는 편심자가 매우 높은 비중을 가져야 하는데 이 때문에 회전자에는 주로 텅스텐이 쓰인다. 진동은 회전자에 수직인 방향과 수평한 방향으로 모두 작용된다.

### 4.3 진동모터의 특성

4.1절에서 측정된 Thenar Eminence의 Contact Force를 이용하여 감쇠된 진동모터의 특성을 알아보았다.

#### 4.3.1 실험방법

##### 실험장비

실험장비는 다음과 같다. 먼저 진동모터는 핸드헬드기기에 많이 사용되는 코인형 진동모터인 자화전자의 JHV-12C1-L20을 사용하였다. 진동모터를 제어할 장비로는 모터드라이빙보드(그림 33)을 제작하여 사용하였다 DAQ보드는 Data Acquisition Board(National Instruments PCI-6229, Austin, Texas)를 이용하여 전압의 출력을 조정하였다. 진동의 특성을 측정하기 위해 가속도계(Kistler 8765A)가 사용되었다.



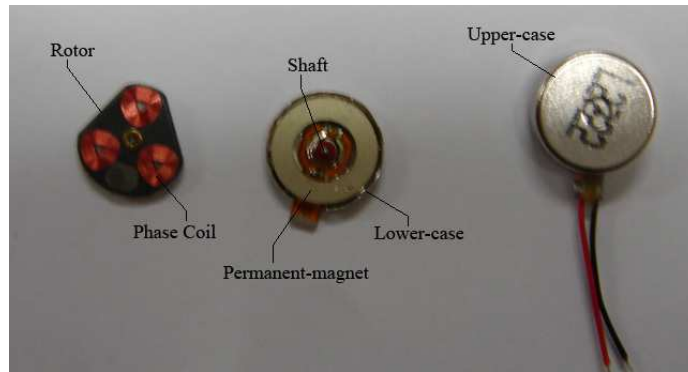


그림 32. 자화전자 JHV-12C1-L20 코인형 진동모터

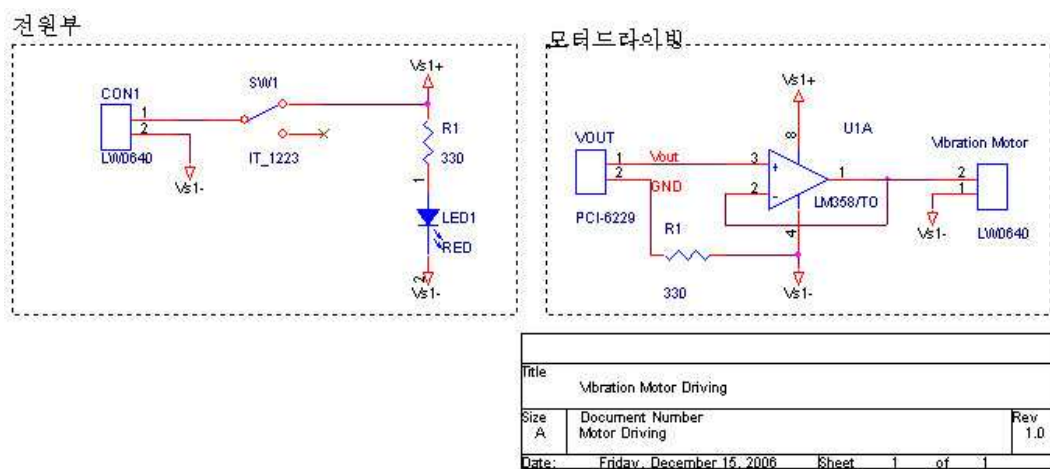
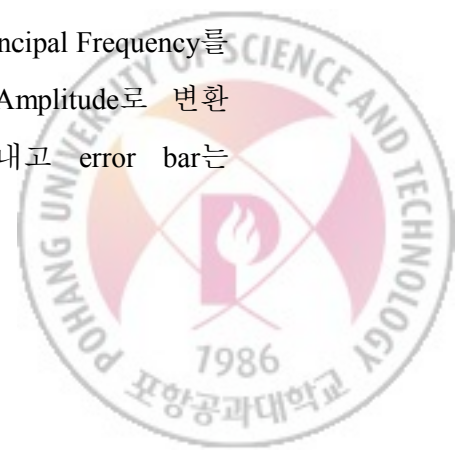


그림 33. 진동모터 드라이빙 보드

### 실험절차

피실험자의 씨나 에미넌스 위에 Flexiforce를 얹고 그 위에 진동모터를 올려 고정 시켰다. 진동모터 위에는 가속도계를 왁스를 이용하여 단단히 고정 한다. 이 상태로 Flexiforce의 값이 0.7N이 나오도록 벨크로 테이프로 진동모터를 씨나에미넌스위에 고정한다. 이후 Flexiforce를 피부에서 분리한다. 피실험자를 대상으로 1V부터 5.5V까지 0.5V 단위로 총 10개의 전압에 대해 20khz의 샘플링 주파수로 1초간 각각 10개의 값을 측정하였다. 측정된 값은 Flat-top Windowing을 통해 Transient effects를 줄이고 Low Pass Filter로 2Khz 대역까지만 통과 시켰다. 진동크기는 Fast Fourier Transform(FFT)을 통해 Principal Frequency를 찾은 후 Principal Frequency 성분을 2번 적분하여 Position Amplitude로 변환 하였다. 각 실험 결과의 총 10개의 샘플은 산술평균을 내고 error bar는



표준편차를 나타내었다.

#### 4.3.2 실험결과

진동모터에 1.5V의 인가전압을 가하였을 때 만들어지는 가속도의 파형은 사인파에 매우 근접한 것을 볼 수 있다.(그림 34)

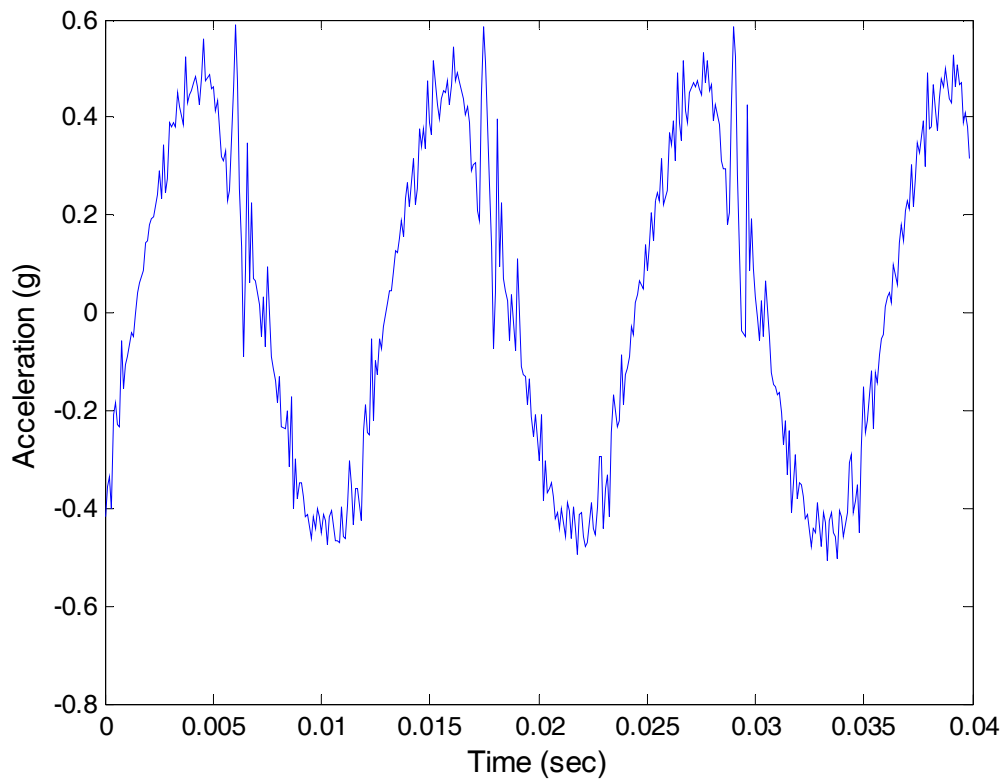


그림 34. 씨나 에미넌스에 의해 진동 감쇠된 진동모터의 가속도





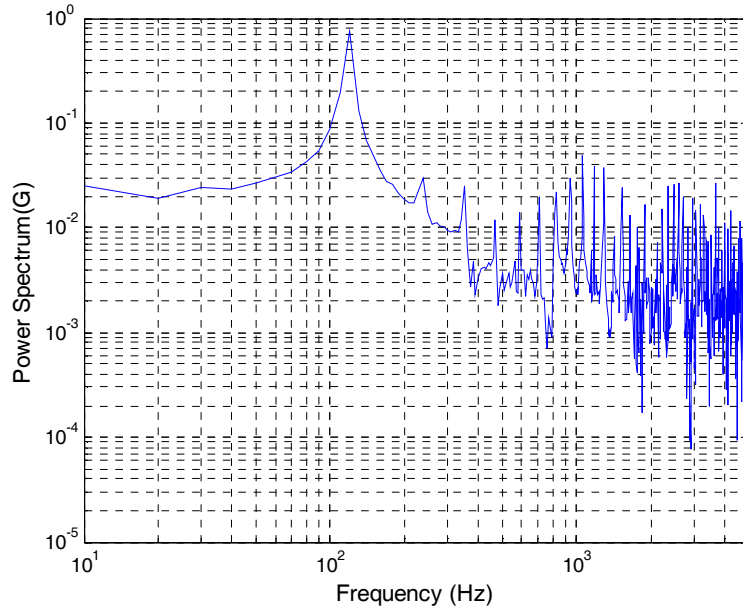


그림 35. 진동 감쇠된 진동모터의 가속도 파워스펙트럼

씨나 에미넌스에 의해 진동 감쇠된 진동모터는 Principal Frequency를 제외한 나머지 주파수 성분은 Principal Frequency의 성분에 비해 매우 미미한 것을 그림 35에서 볼 수 있다. 이런 진동모터의 특성을 이용하여 가속도로부터 진폭을 구해내었다.

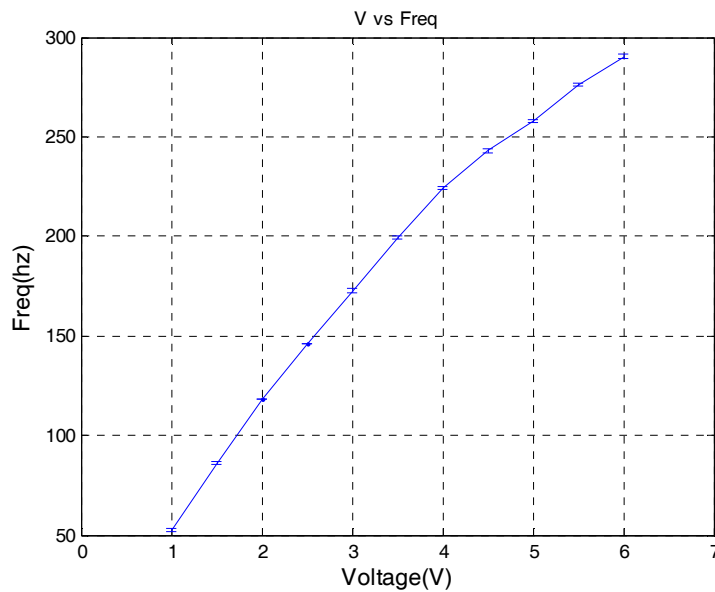


그림 36. 씨나에미넌스에 의해 진동 감쇠된 진동모터의 전압 대비 주파수



진동주파수는 전압에 비례하고 있는 것을 그림 36에서 볼 수 있다. 이는 진동모터의 회전자가 전압이 올라감에 따라 빠르게 회전하기 때문이다.

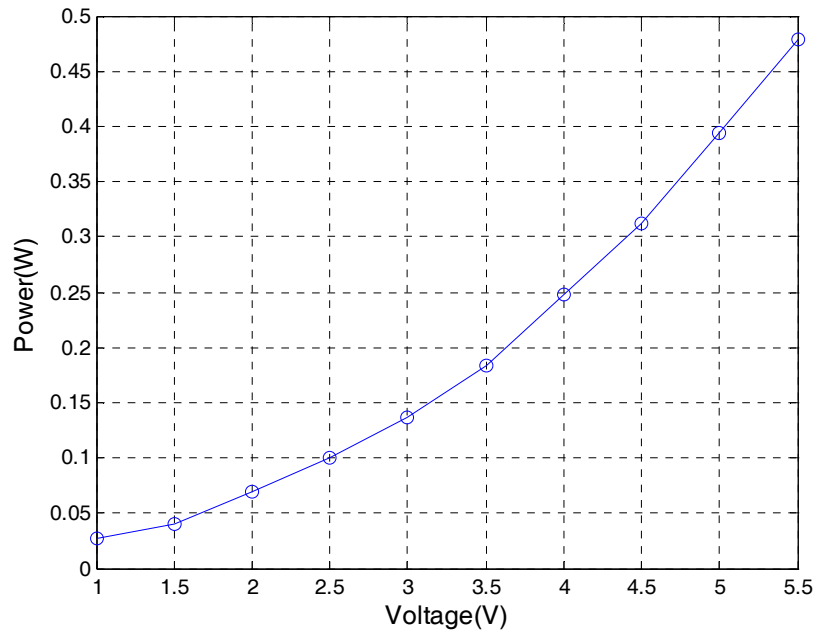


그림 37. 씨나에미년스에 의해 진동 감소된 진동모터의 전압 대비 전력



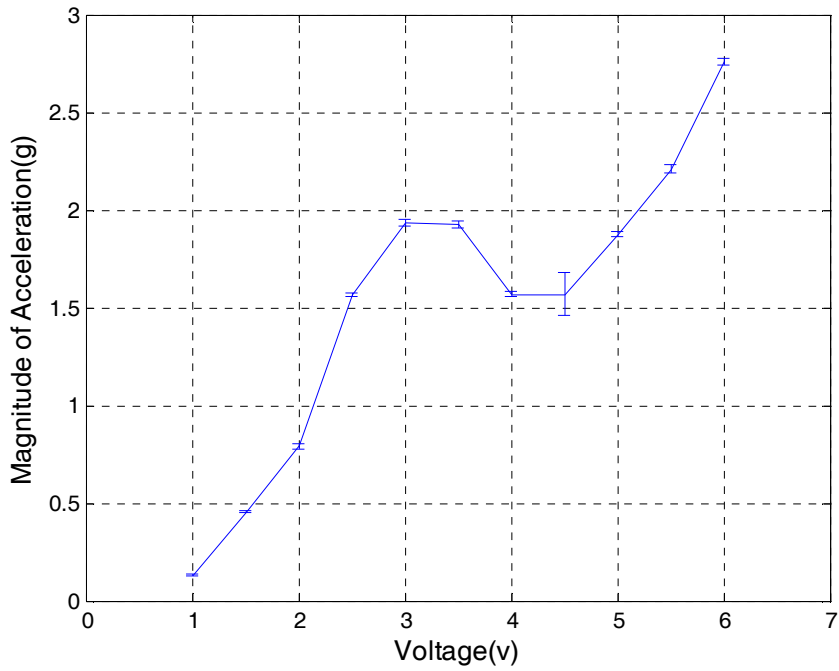


그림 38. 씨나에미넨스에 의해 진동 감쇠된 진동모터의 전압대비 가속도

코인 타입 자화전자의 진동 모터는 3V까지 가속도가 증가하다 3.5V부터 4.5V까지 감소한 후 다시 가속도가 증가하기 시작한다. 또한 주파수의 증가량에 비해 가속도의 증가 폭은 완만하다.(그림 38) 이런 변화는 가속도를 진폭으로 변화하는 과정에서 그림 39과 같이 전압이 증가함에 따라 진폭은 오히려 감소하는 경향을 보인다.



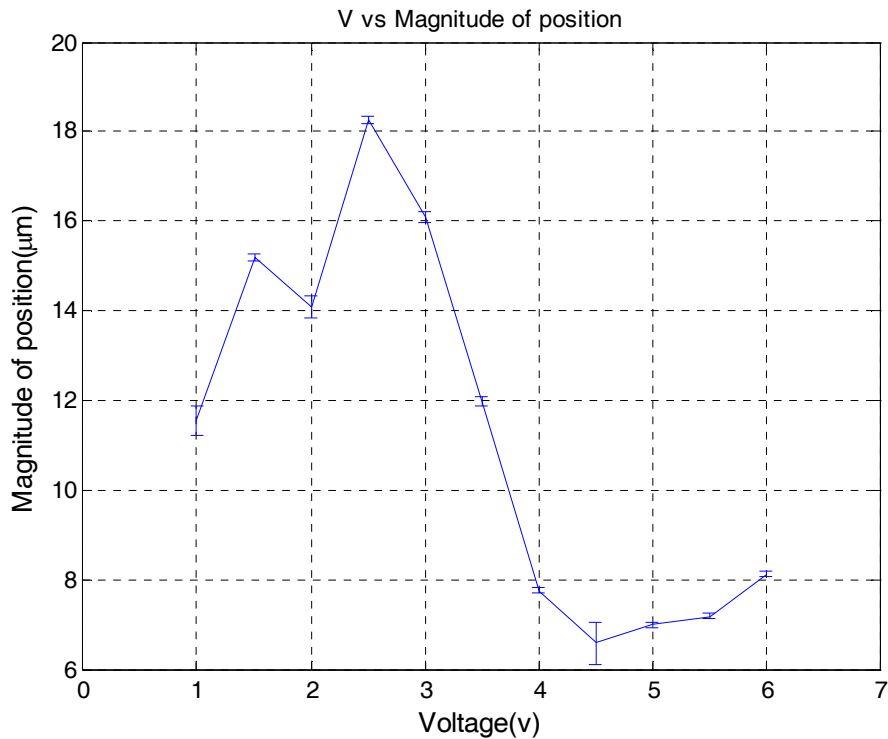


그림 39. 씨나에미넨스에 의해 진동 감쇠된 진동모터의 전압대비 진폭

진폭은 2.5V까지 증가하는 추세를 보이다 2.5V부터 진폭이 계속해서 감소한다. 이는 가속도를 포지션으로 변화하는 과정에서 주파수의 제곱에 반비례하기 때문에 주파수 값의 증가량에 비해 가속도의 증가량이 상대적으로 낮아서 나타나는 현상이다.

#### 4.4 Perceived Intensity

Detection Threshold는 자극 부위에 surround가 되어있는 환경과 아닌 환경에서 차이가 발생한다.[8] 또한 Contactor 사이즈에 따라서도 차이가 발생한다.[9] 하지만 표 2을 보면 알 수 있듯이 surround에 의한 차이는 파치니안 시스템에 대부분 작용하며 이 차이는 60hz~250hz 대역에 거의 비슷하게 나타난다. 즉 이는 surround가 되어 있는 경우와 되어 있지 않은 경우 모두 U-shape 형태의 커브를 형성하고 일정하게 Threshold가 내려간다. [10]



Decibels referred to 1 micron of peak displacement		Frequency	
		60 Hz	250 Hz
Site	Surround	Threshold	Threshold
Thenar	With	+ 13 dB	-6 dB
Thenar	Without	+ 4 dB	-15 dB

표 2. Thenar Eminence Detection Threshold ([10] R. T. Verrillo and A. J. Capraro 1975)

정리하면, 씨나에미넨스의 Detection threshold는 surround가 된 경우와 안된 경우에 차이는 발생하지만 Detection threshold의 감소 경향은 파치니안 채널의 주파수 대역(진동 모터의 작동 주파수)에서는 거의 모두 동일하게 감소(표 2)한다는 것을 확인하였다.

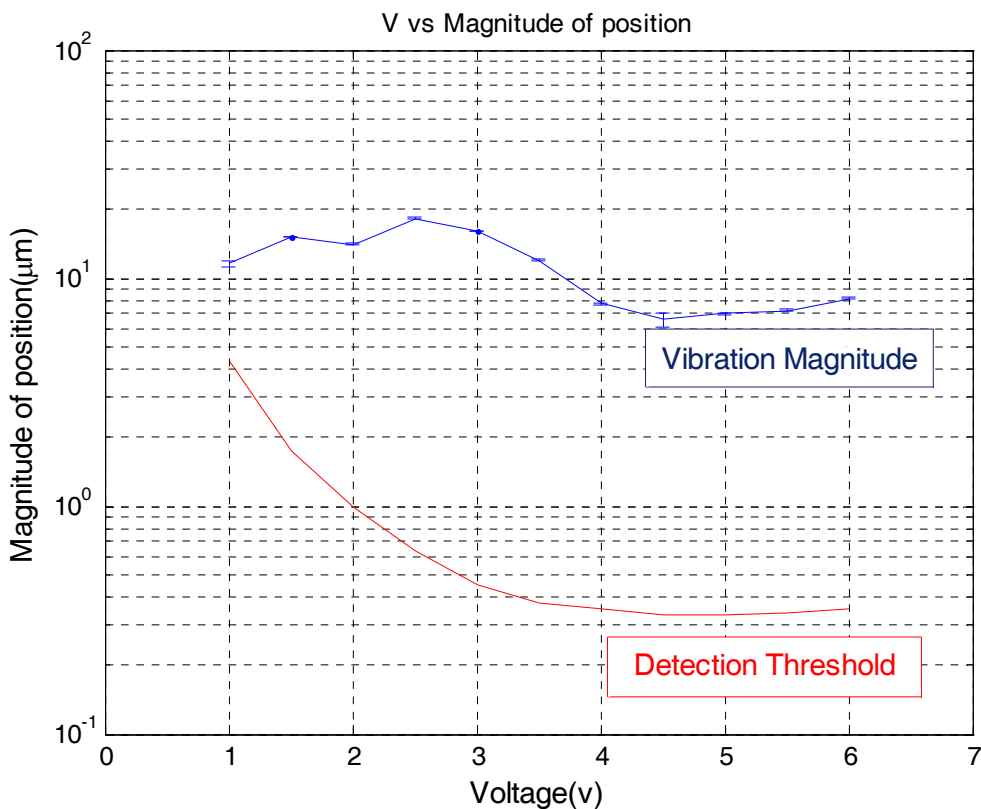
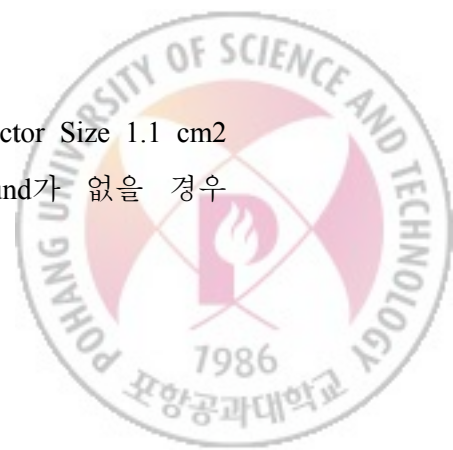


그림 40. 전압대비 진폭과 Detection Threshold

그림 40에 표시된 Detection Threshold는 씨나 에미넨스에 Contactor Size 1.1 cm<sup>2</sup>로 Surround 된 경우의 값이다.[11] 위에서 언급한대로 surround가 없을 경우



Spatial Summation의 영향으로 Detection Threshold는 내려가지만 진동모터가 구동하는 주파수(파치니안 채널) 대역 내에서는 대수적(logarithmic)으로 일정하게 내려감을 확인[7]하였다. 따라서, 대수적으로 일정하게 내려감으로 인해 Sensation level을 구할 때 값의 차이는 있겠지만 진동모터가 구동되는 주파수 대역에서 일정하게 모두 내려가게 됨으로 이로 인해 각 전압 사이의 상대적인 Sensation level의 차이는 발생하지 않으므로 Subjective Magnitude(Perceived Intensity)를 구하여 전압 사이의 인식강도의 크기관계를 확인하는데 문제가 되지 않을 것이다.

### Sensation Level

센세이션 레벨은 주어진 자극이 Detection threshold에 비해 상대적으로 몇 decibel이 높은가를 나타낸다.

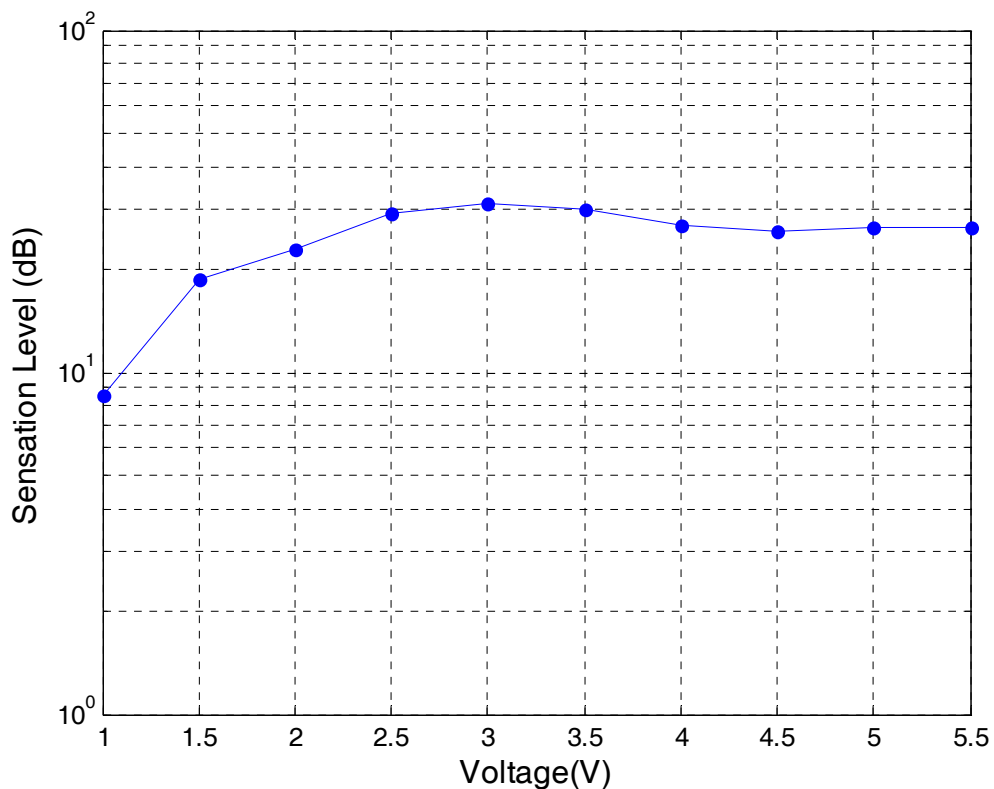
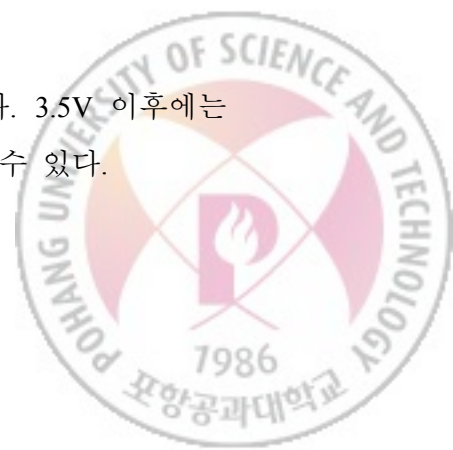


그림 41. 전압대비 센세이션 레벨

그림 41는 진동모터의 전압 대비 센세이션 레벨을 나타내었다. 3.5V 이후에는 Sensation Level이 0.5dB의 차이만을 보이고 있어 거의 같다고 볼 수 있다.



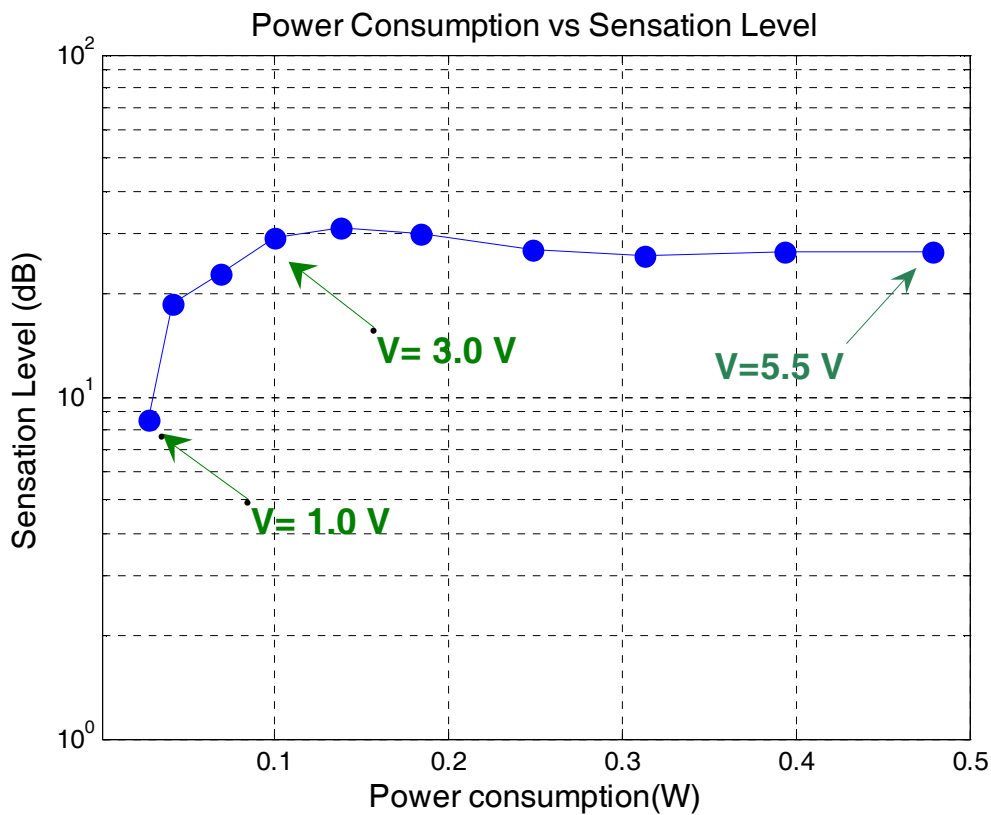


그림 42. 전력대비 센세이션 레벨

그림 42은 진동모터의 전력소비 대비 센세이션 레벨을 나타내었다. 3.5V 이후 Sensation Level이 감소하고 있다. 따라서 센세이션 레벨과 Subjective Magnitude가 일치한다면 3.5V에서 전력소비 대비 인식강도가 제일 높으며 3.5V 이상으로 전압을 높이는 것은 쓸모 없게 될 것이다. 다음 절에서 Subjective Magnitude와 센세이션 레벨과의 관계에 대해 알아본다.

## 4.5 Absolute Magnitude Estimation of The Thenar Eminence

### 4.5.1 실험방법

#### 실험장비

진동모터의 특성 실험에 사용되었던 장비를 그대로 사용하였다. 코인형 진동모터인 자화전자의 JHV-12C1-L20 (Contactor Size 1.1cm<sup>2</sup>)을 사용하였다.



진동모터를 제어할 장비로는 모터드라이빙보드(그림 33)을 제작하였고 Data Acquisition Board(National Instruments PCI-6229, Austin, Texas)를 이용하여 진압 출력을 조정하여 모터드라이빙 보드를 제어한다.

#### 실험방법

10명의 피실험자는 진동모터의 전압이 변함에 따라 느껴지는 인식강도를 Absolute Magnitude Estimation [12]를 이용하여 측정하였다. 피실험자의 연령은 20세에서 33세까지며 평균 연령은 25세이다. 피실험자의 직업은 학생과 연구원이었다.

피실험자에게는 진동 자극에 대해 느끼는 강도를 숫자로 표현하라 지시하였다. 어떤 기준도 제시하지 않았으며 피실험자가 느끼는 그대로를 자유롭게 점수로 매기도록 하였다. 소수점도 가능하도록 하였다. 실험은 1V에서 0.5v 단위로 5.5V까지 총 10개의 샘플을 불규칙한 순서로 순차적으로 나타내도록 하였으며, 총 3세션이 진행된다. 진동자극이 1초간 주어지고 피실험자가 자극의 크기에 대한 느낌을 숫자로 나타내도록 하였다.

테스트 세션은 없는 대신 첫째 세션은 버리고 2번째와 3번째 세션에 대한 응답을 기하평균을 내어 계산한다. 실험이 진행되는 동안에는 진동을 소리로 분간 할 수 없도록 헤드폰을 끼고 화이트 노이즈를 듣도록 하였다.[13] 실험을 통해 얻은 데이터는 표준화한다.(Normalize) 각 피실험자의 세션2와 세션3의 결과값의 기하평균을 구한다. 각 피실험자의 1V~5.5V까지 총 10개의 샘플에 대한 응답의 기하평균을 구한다.(Ms) 그리고 전체 실험자의 모든 응답에 대한 기하평균을 구한다.(Mg) 표준화 요소,  $Mn = Ms / Mg$ 로 표현되며 Mn을 각 피실험자의 실험값에 곱하여 표준화 한다. [14]

#### 4.5.2 결과

총 10명의 피실험자에 대해 Absolute Magnitude Estimation(AME)을 수행한 결과는 그림 43과 같다. 그림 43에 표시된 Error Bar는 총 10명의 피실험자의 결과의 표준편차를 나타낸다.





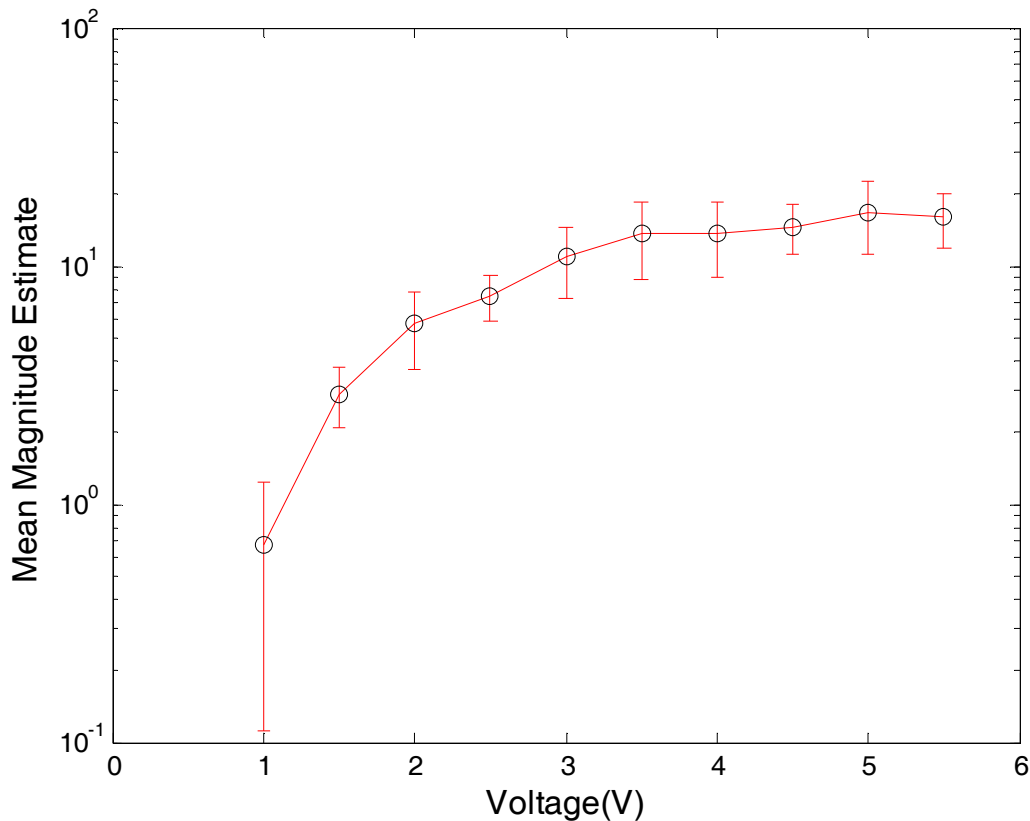
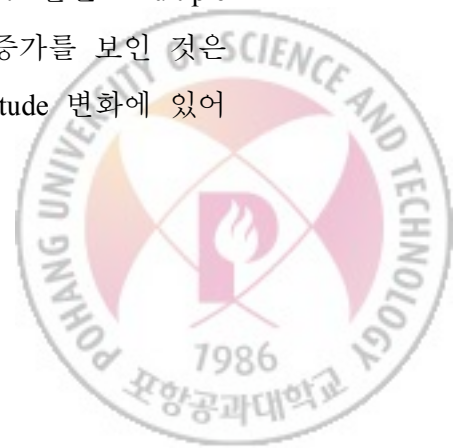


그림 43. 씨나에미넨스에 대한 진동강도에 대한 Subjective Magnitude

Subjective Magnitude는 1V~3V까지는 증가하는 추세를 보인다, 3.5V부터는 경사가 없어진다. 10명의 실험자의 AME 결과에 대하여 Multiple Comparison Test(Tukey's HSD)를 수행하였다. 그 결과 3.5V~5.5V는 같은 그룹으로 분류되었다. 다시 말해 유의하게 다르지 않았다. 결론적으로 3.5V까지의 증가추세와 3.5V 증가하지 않고 평탄함을 보이는 것은 Sensation Level과 Subjective Magnitude가 매우 강한 유사성을 보이는 것으로 볼 수 있다.

그림 41의 Sensation level과 그림 43의 Subjective Magnitude를 비교해보면 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 하지만 Sensation level의 경우 3.5V부터 감소하고 있지만 Subjective Magnitude는 아주 조금이지만 증가하고 있다. 물론 Multiple Comparison Test 수행 결과 유의하게 다르지는 않지만 아주 조금 증가를 보인 것은 주파수 변화(전압 변화)에 따른 센세이션 레벨 대 Subjective Magnitude 변화에 있어 주파수가 높을수록 그 비율이 높아지기 때문인 것으로 보인다.[10]



하지만 그림 44의 결과를 보면 알 수 있듯이 surround가 없을 경우, Subjective Magnitude의 결과의 표준편차를 고려해볼 때 주파수에 따른 차이는 Sensation Level이 10db 이상일 경우, 차이가 있다고 보기 힘들다(그림 44)

그러므로 주파수에 따른 Sensation level대 Subjective Magnitude의 결과는 거의 같다고 볼 수 있다. [18] 이를 뒷받침 하듯이 Multiple Comparison Test에서 3.5V~5.5V는 같은 유의하게 다르지 않았다.

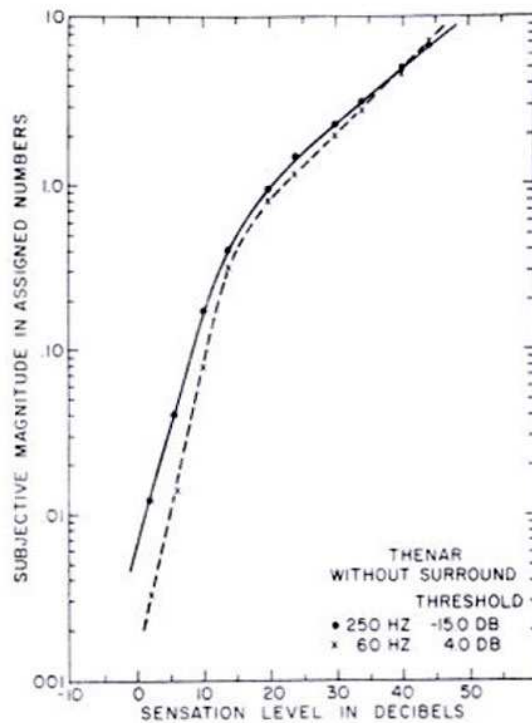
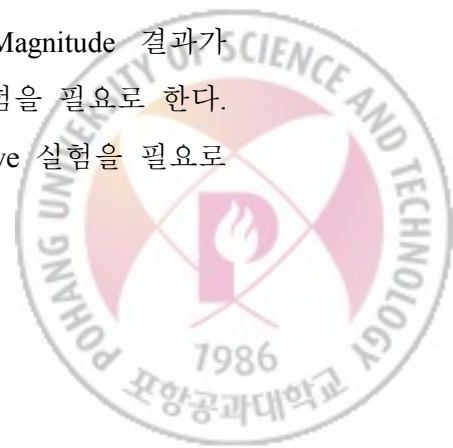


Figure 3. Magnitude estimation curves obtained over the thenar eminence at 60 and 250 Hz without a surround. The slope for 60 Hz is 0.40; the slope for 250 Hz is 0.35.

그림 44. 센세이션 레벨에 대한 Subjective Magnitude(Verrillo 1975) [10]

#### 4.6 결론 및 토론

각 전압에서의 주파수에 따른 Sensation level 대 Subjective Magnitude 결과가 있으면 보다 정확한 인식강도를 알 수 있다. 하지만 이는 많은 실험을 필요로 한다. 진동모터의 종류에 따른 특성 분석과 모든 주파수에 따른 Subjective 실험을 필요로



한다. 하지만 그림 44에서 보듯이 10dB 이상에서는 주파수의 차이가 인식강도의 변화에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 진동모터의 각 전압에 따른 진동 자극에 대해 AME를 수행한 결과(그림 43)도 이를 뒷받침 하고 있다. 따라서 진동모터의 전압에 따른 Sensation Level의 변화는 인식강도 변화(Magnitude Estimation)와 거의 일치함을 확인할 수 있었다. 이 결과는 간단한 실험만으로 전압대비 인식강도의 변화를 알 수 있음을 확인하였다. 따라서 이 연구 결과를 바탕으로 진동모터를 이용한 택타일 장치에서 진동모터의 특성만을 분석하여 사용자에게 정확한 인식강도를 고려하여 강도를 제어할 수 있는 장치를 만들 기반을 제시하였다. 또한 모바일 기기에서는 소비전력은 줄이면서 높은 인식강도를 줄 수 있는 기반을 제시하였다.



## 5. 모바일 기기에서의 진동 최적화

모바일기기에서의 진동모터는 조용한 환경 또는 시끄러운 환경에서 링톤을 대체하는 역할만을 해왔다. 하지만 게임과 같은 어플리케이션이 모바일기기에서 활성화 되면서 택타일 피드백에 대한 관심이 더욱 높아졌으며 점차 그 기능이 중요해지고 자주 사용되고 있다 하지만 모바일 기기에 사용 되는 진동모터는 다른 전자기기에 비해 전력소모가 상대적으로 크다. 그래서 진동피드백에 대한 관심이 높아지고 자주 사용 될수록 모바일기기의 사용시간은 줄어들게 된다.

또한 현재 모바일기기에 사용되는 택타일 피드백은 사람의 인식강도를 고려하지 않은 채 설계되어 필요 없는 전력을 소비하여 진동을 제시하고 정확한 인식강도를 고려하지 않은 채 모터제어 방식을 그대로 사용하여 택타일 피드백을 제시하고 있다. 본 연구에서는 이런 문제점들을 진동택타일피드백의 인식강도와 전력소비에 대한 체계적인 분석을 통해 모바일기기에서 택타일 피드백의 사용에 있어 전력소비는 줄이고 인식강도를 높이는 방안과 Human Perception에 기반한 정확한 인식강도를 제공할 수 있는 방안을 제시할 것이다.

인식강도를 도출하기 위해 일반적으로 모바일기기를 사용할 때처럼 편하게 쥐었을 때 핸드폰(KH1000)에 가해지는 전압변화에 따른 진동특성(주파수,진동크기)을 측정한다.

KH1000을 쥐었을 때의 Detection threshold 값을 구하여 KH1000의 진동크기와 Detection threshold를 이용하여 Sensation level을 구한다.

Subjective Magnitude 측정을 통해 전력에 따른 Sensation level을 인식강도로 볼 수 있는지를 Sensation level과 Subjective Magnitude의 결과의 유사성을 통해 확인한다. 전체 실험순서는 그림 45에 잘 나타나있다.



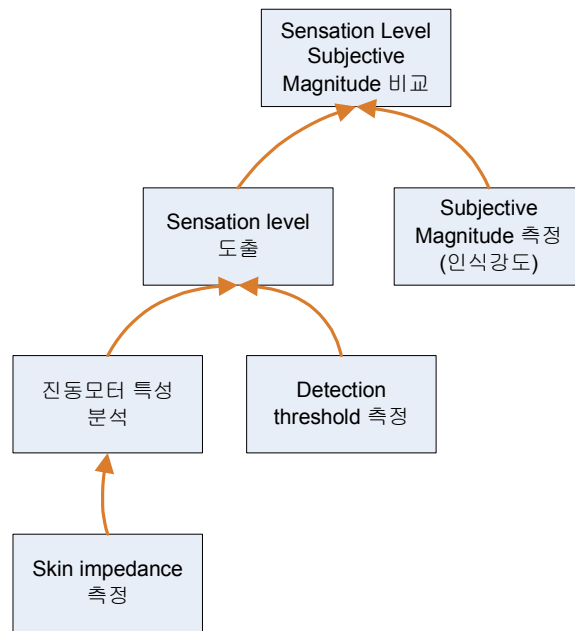


그림 45. KH1000의 진동최적화 실험 순서

### 5.1 모바일기기의 진동 특성

모바일 기기의 대부분은 진동모터를 안에 내장하고 있다. 내장된 진동모터가 구동되면 진동모터의 힘이 케이스로 전달되어 케이스 전체가 진동 하게 된다.

모바일 기기의 진동 특성을 알아보기 위하여 LG전자의 핸드폰(모델명 KH-1000)을 이용하였다.(그림 46) 이 핸드폰의 사이즈는 51.6 x 98 x 22.15 mm (가로x세로x높이)이며 무게는 120g이다. 내장된 진동모터는 사이즈는 0.8cm<sup>2</sup>의 코인 형 타입이며 Nominal 구동전압은 2.85V이다.



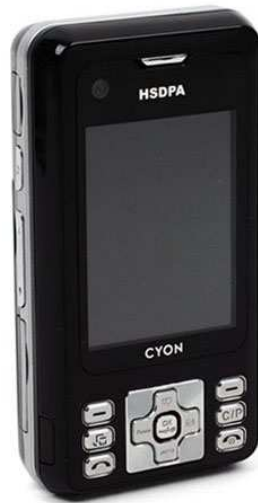


그림 46. 실험에 사용된 모바일기기 LG전자 KH-1000

### 5.1.1 실험방법

#### 실험장비

LG전자의 KH1000(그림 46)에 내장된 진동모터를 진동모터 드라이빙 보드(그림 4-8)와 연결하였다. Data Acquisition Board(National Instruments PCI-6229, Austin,Texas)를 이용하여 전압의 출력을 조정하여 드라이빙 보드를 제어한다. 전압의 샘플링 주파수는 1Khz로 조정하였다. 가속도계(Kistler 8765A)를 Adhesive WAX로 KH1000에 고정하고 진동 특성을 측정하였다.

#### 실험절차

##### 진동 감쇠된 KH1000의 진동 특성 실험

평균연령 24세의 대학원생 3명(오른손잡이,연령범위 22~26)을 대상으로 편하게 평소 모바일 기기를 잡는 손으로 KH1000을 잡도록 하였다. 이는 피부의 임피던스에 의해 진동이 감쇠되었을 때의 특성을 알아보기 위해서다. 각각의 피실험자에게 1V부터 5.5V까지 0.5V 단위로 총 10개의 전압샘플에 대해 20Khz의 샘플링 주파수로 1초간 각각 10개의 값을 측정하였다 측정된 값은 위의 KH1000의 진동특성에서와 동일한 방법으로 측정 및 분석되었으며 3명의 결과의 산술평균과 표준편차를 구하였다. 모든 결과 그래프의 error bar는 표준편차를 나타낸 것이다.



### 5.1.2 결과

#### HumanSkin에 의해 진동 감쇠된 KH1000의 진동특성 실험결과

진동 감쇠된 KH1000이 만들어내는 진동의 파형 또한 사인파에 매우 근접한 것을 볼 수 있다. (그림 47)

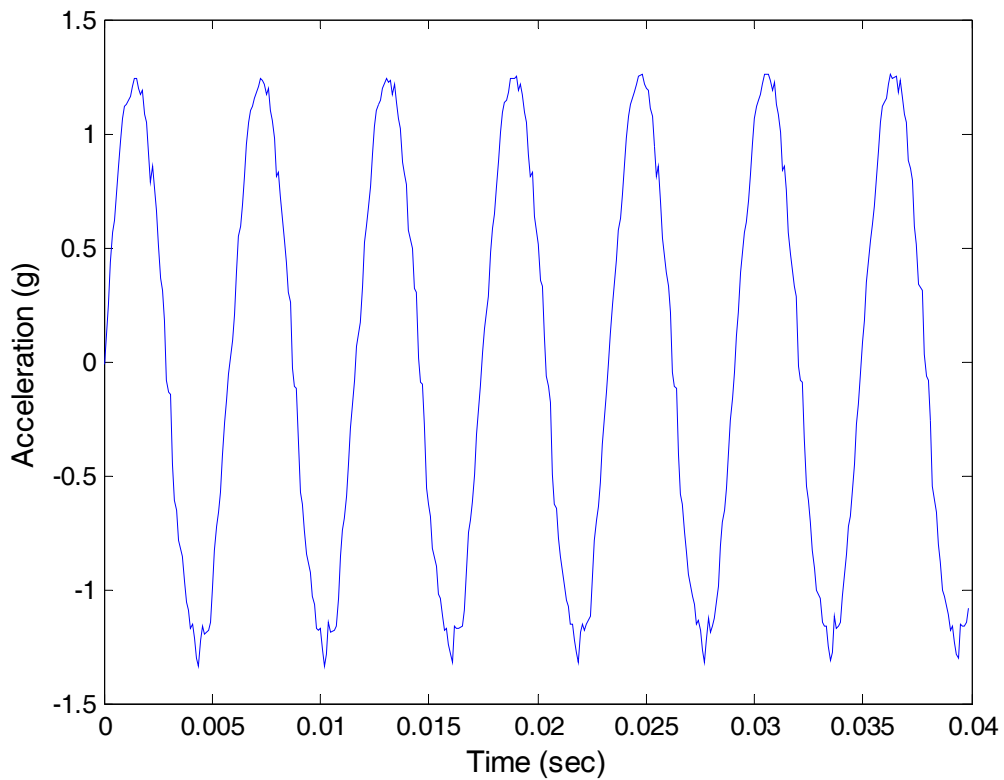


그림 47. 진동 감쇠된 KH-1000의 시간에 따른 가속도



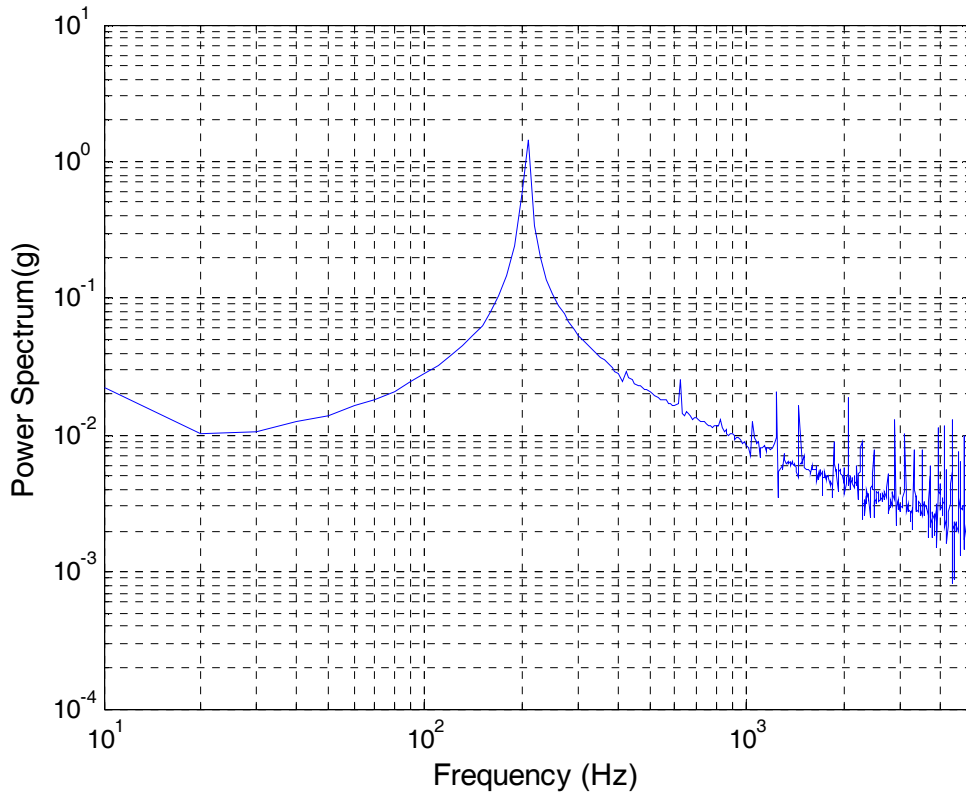


그림 48. 진동 감쇠된 KH-1000의 가속도 파워스펙트럼

진동 감쇠된 KH1000의 진동 특성 또한 Principal Frequency를 제외한 나머지 주파수 성분은 Principal Frequency의 성분에 비해 매우 미미한 것을 그림 48에서 볼 수 있다. 이런 진동 특성을 이용하여 가속도로부터 진폭을 구해낼 수 있다.





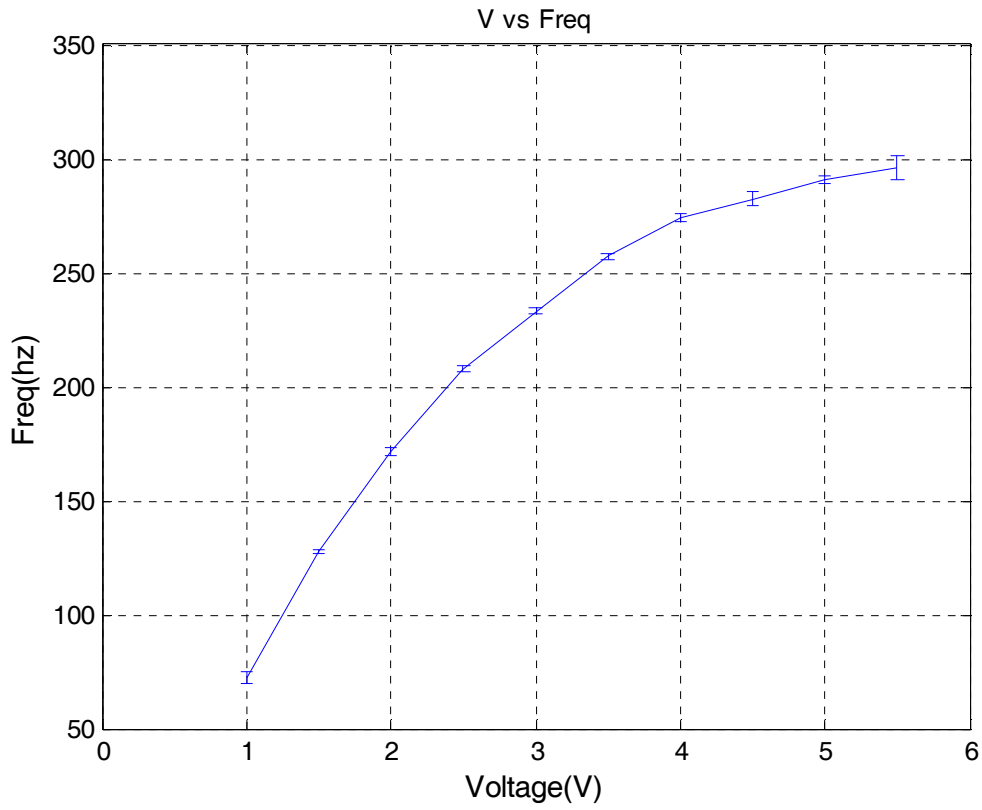


그림 49. 피부에 의해 진동 감쇠된 KH1000의 전압대비 주파수

진동 감쇠된 KH1000의 전압에 따른 주파수 증가량은 전압이 높아질수록 둔화 된 것을 볼 수 있다.(그림 49)



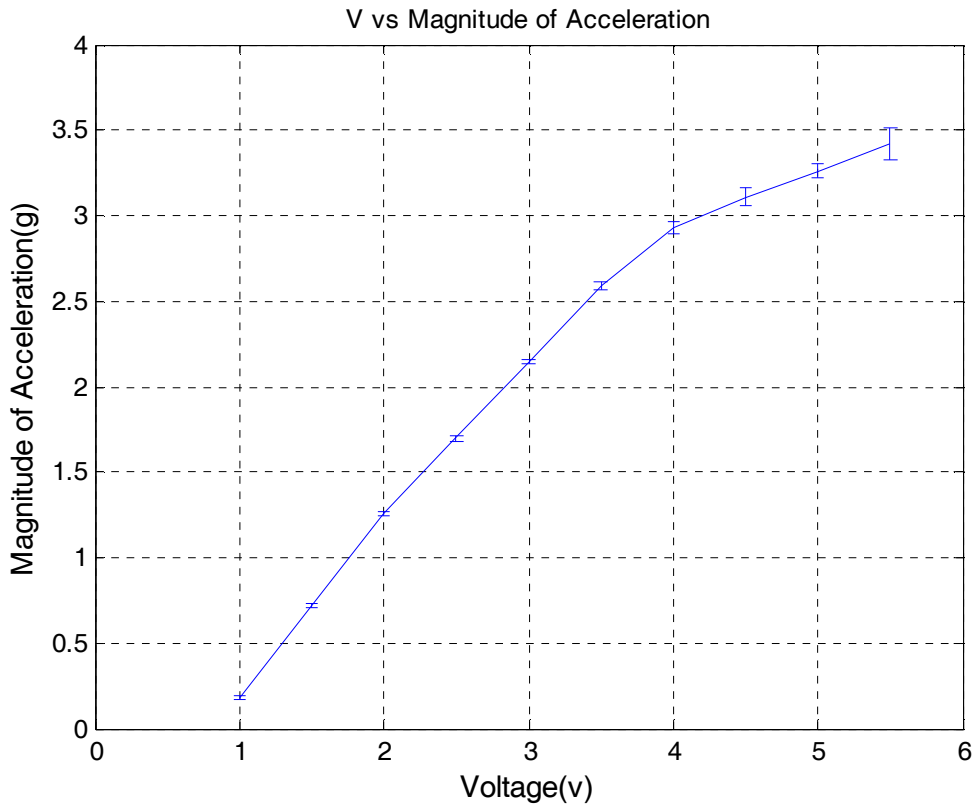


그림 50. 피부에 의해 진동 감쇠된 KH1000의 전압대비 가속도

마찬가지로 진동 감쇠된 KH1000의 전압에 따른 가속도의 증가량 또한 전압이 증가함에 따라 둔화 된 것을 볼 수 있다.(그림 50) 특히, 3.5V-5.5V 구간 즉 고 주파수 구간에서 가속도의 크기가 크게 감쇠되었다.



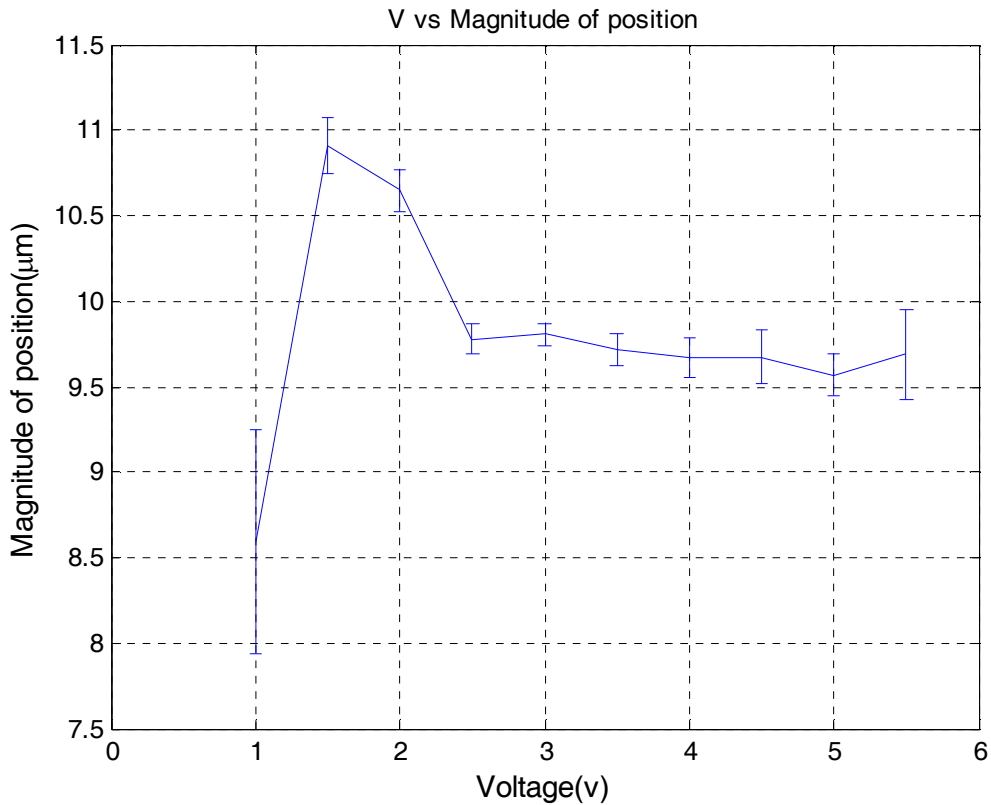


그림 51. 피부에 의해 진동 감쇠된 KH1000의 전압대비 진동크기

human skin impedance로 인해 2.5V ~ 5.5V 사이는 상당히 비슷한 크기로 진동하고 있음을 볼 수 있다.(그림 51)

이처럼 진동모터를 사용하는 핸드헬드기기의 진동특성은 Humanskin impedance에 의해 변할 수가 있다.

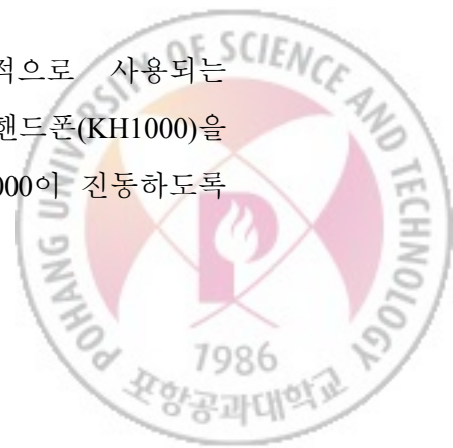
따라서 인식강도(Perceived Intensity)를 분석하기 위해서는 humanskin에 의한 진동특성의 변화에도 유의하여 분석하여야 한다.

## 5.2 모바일기기의 진동 Detection Threshold

### 5.2.1 실험방법

#### 실험장비

모바일기기의 진동 Detection Threshold를 찾기 위해 상업적으로 사용되는 미니쉐이커(Bruel & Kjaer, type 4810)를 이용하였다. LG전자의 핸드폰(KH1000)을 미니쉐이커과 연결하여 미니쉐이커에서 발생한 진동에 의해 KH1000이 진동하도록



하였다. 이는 진동모터에 의해 진동이 발생하는 모바일기기의 진동과 최대한 비슷하도록 환경을 구축하기 위해서다. 가속도계(model 8630C, Kistler Instrument Corp., Amherst, Newyork)를 셰이커와 KH1000사이에서 아답터를 이용하여 고정하였다. (그림 52) 셰이커, 가속도계 KH1000은 아답터를 이용해 단단히 고정되어 있다.

실험시 피실험자의 팔과 팔꿈치를 편하게 받칠 수 있는 폭신한 받침대를 준비하였다.

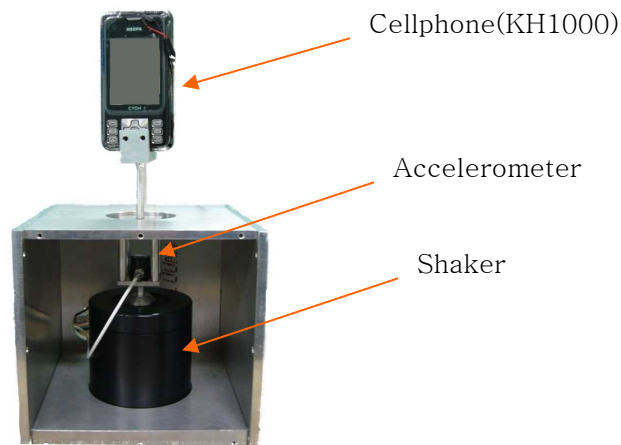
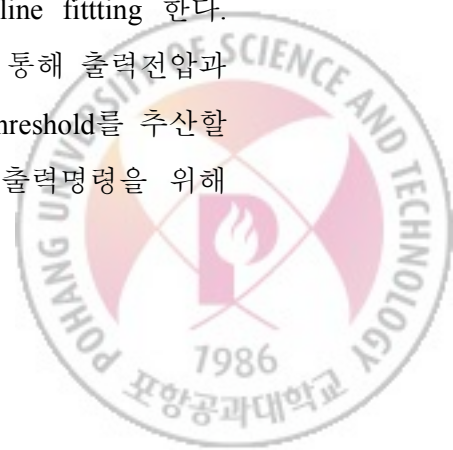


그림 52. Detection threshold 실험에 사용된 Shaker와 Enclosure

이 실험장치들은 Data Acquisition Board(National Instruments PCI-6229, Austin, Texas)에 의해 Open-Loop으로 제어되었다. 신호는 DAQ 보드에서 생성되어 16bit digital to analog converter를 통해 Power Amplifier(Bruel & Kjaer, type 2718)에 전해지고 Power Amplifier의 출력은 minishaker를 진동 시키게 된다. 이 진동은 가속도계를 통해 가속도 데이터가 10khz로 16bit Analog to digital converter 캡춰된다. 이렇게 얻어진 가속도 데이터는 2번 적분하여 position을 추산한다. 이는 이후에 Detection threshold를 찾는 데 사용 된다.

캘리브레이션은 입력과 출력사이의 관계를 통해 이루어진다. 실험을 하려는 주파수에 대해 진동을 만들어내는 전압(V) 샘플들과 가속도계를 통해 측정된 가속도 값으로부터 도출된 포지션 값(mm)을 Least-square straight line fitting 한다. ( $r^2 > 0.99$ ) 이 루틴을 손으로 KH1000을 잡은 상태로 수행한다. 이를 통해 출력전압과 포지션 사이의 관계를 최대한 가깝도록 맞춘다. 실제로 Detection Threshold를 추산할 때는 가속도계로부터 읽어드린 값을 사용하지만 최대한 정확한 출력명령을 위해



캘리브레이션이 필요하다.

### 실험참가자

남자 5명과 여자 5명이 본 실험에 참여하였다. 19~26세 사이의 대학생 및 대학원생이었다. 여성의 평균연령은 21세 이며 남성의 평균연령은 23.5세 이다. 전체 평균연령은 22.5세이다. 10명 중 9명은 오른손 잡이였으며 나머지 한 명은 왼손잡이였다. 또한 참가자 중 5명은 Haptic perception 실험에 참가해본 경험이 있었으며 나머지 5명은 경험이 없었다.

### 실험방법

피실험자를 컴퓨터 모니터 앞에 편하게 앉게 한 후 핸드폰(KH1000)을 오른손으로 편하게 쥐게 하였다. 피실험자의 팔은 준비된 패드를 통해 편하게 지지되어 움직임을 봉쇄한다. 피실험자에게는 핸드폰을 쥘 때 자신이 평소 핸드폰을 쥘 때처럼 편하게 쥐어주기를 사전에 요청하였다.(그림 53)



그림 53. 실험 환경

7개의 주파수(10, 20, 40, 80, 160, 320 and 500 Hz)에서 Detection Threshold를 구하였다. 높은 주파수를 제외하고는 대수적으로 같은 크기만큼의 공간 차를 가지는 주파수를 선택하였다.

실험이 진행될 주파수의 순서는 피실험자마다 랜덤하게 뒤섞었다. 진동자극은



Hanning Windowing을 통해 Transient effect를 줄이고 1초간 주어졌다. Detection Threshold는 3 Interval, Forced-choice, one-up three-down adaptive method[15]를 통해 구해졌다. 이 방법은 3개의 연속적인 정확한 응답은 현재 자극의 크기를 감소시키며 1개의 틀린 응답은 증가시킨다. 증가 또는 감소되는 사이즈는 미리 정해져 있다. 이렇게 구해진 Threshold는 Psychometric function에서 79.4 percetile point가 된다. 각 Trial에서 피실험자에게 250ms의 인터벌을 두고 1초간 총 3번의 자극 구간이 주어진다. 실제로 자극이 있는 구간은 세 곳 중 단 한 곳이며 이는 랜덤하게 각 트라이얼 마다 변한다. 나머지 구간에는 아무 자극도 있지 않다.

처음 주어지는 자극은 Detection threshold에 비해 큰 자극이므로 처음 3번의 Step size는 4dB로 하였으며 이후 나머지 12번은 1dB로 정하였다. 이는 큰 자극에서는 빠르게 Threshold에 수렴하도록 한 것이다. 한 트라이얼에서 3번의 자극의 위치는 모니터를 통해 표시하였다. 피실험자가 장치의 소리를 통해 답을 맞출 수 없도록 이어폰을 통해 핑크노이즈를 듣게 하였으며 헤드폰으로 귀를 차폐하였다.

7개의 주파수에 대해 Detection threshold를 찾았으며 1 주파수의 Detection threshold를 실험을 하는데 약 5~7분의 시간이 걸렸으며 1 주파수에 대한 실험이 끝나면 5분간의 휴식시간을 가졌다. 전체 실험을 하는데는 약 1시간 30분 정도의 시간이 걸렸다.

### 실험분석

각 주파수 별로 처음 4dB씩 증가 또는 감소 한 것을 제외하고 나머지 1dB씩의 12개의 변화(6 증가 와 6 감소) 피실험자의 7개 주파수에 대한 실험 데이터를 바탕으로 총 6개의 Peak-Valley쌍의 중간 값들의 평균을 내어 Detection Threshold로 계산하였으며 이의 표준편차를 구하였다. 7개의 주파수에 대한 6쌍의 Peak-Valley는 출력전압으로부터 추산하지 않고 가속도계로 실제 측정된 값을 사용하여 최대한 정확도를 높이려 노력하였다.



## 5.2.2 결과

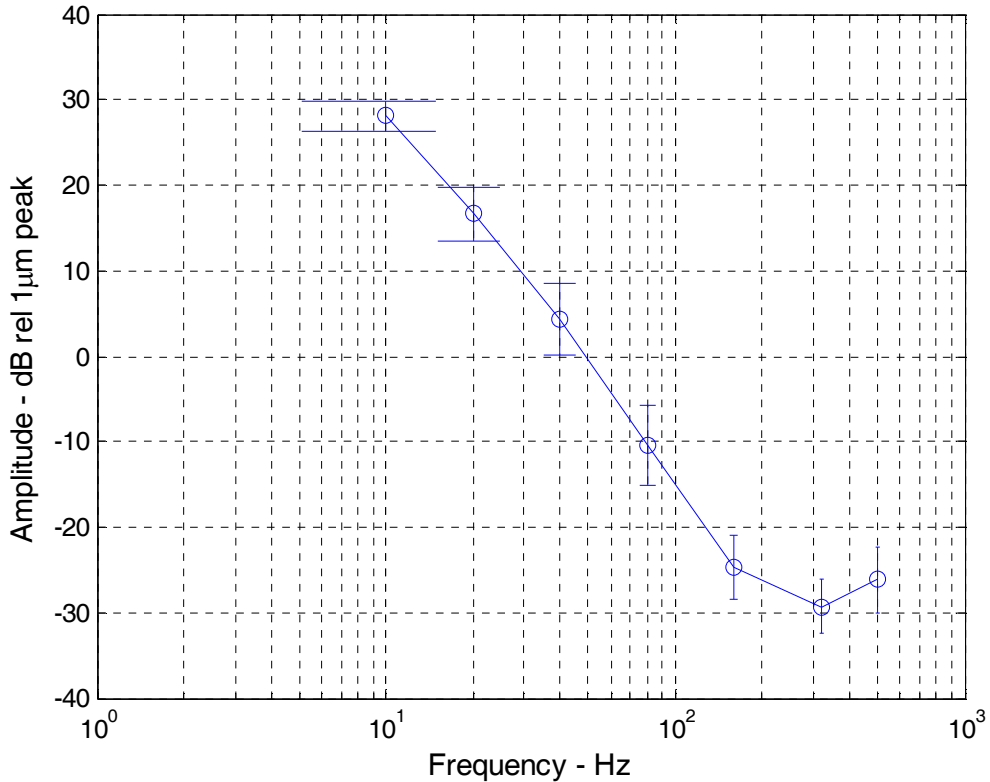
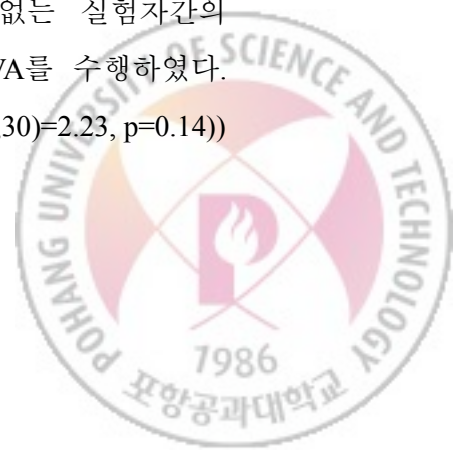


그림 54. KH1000의 Detection Threshold

그림 54의 결과는 KH1000에 대한 피실험자의 결과를 산술 평균을 내어 나타낸 것이다. 표시된 Errorbar는 표준편차를 표시하고 있다. Detection threshold가 씨나에미넨스에 비해(그림 40) 훨씬 민감함을 볼 수 있다 이는 핸드폰을 잡을 때 손가락도 진동을 감지하는데 많은 역할을 하고 있음을 나타낸다. 씨나에미넨스는 손가락에 비해 민감도가 떨어진다.

주파수와 피실험자를 독립변수로 두고 Two-way ANOVA를 수행한 결과. 주파수와 피실험자 사이의 관계는 유의한 것으로 나타났다.(주파수  $F(6,5160)=764$ ,  $p<0.0001$ ; 피실험자  $F(9,51)=7.53$ ,  $p<0.0001$ )

Haptic perception에 참가했던 경험이 있는 실험자와 경험이 없는 실험자간의 차이를 알아보기 위해 주파수와 경험유무에 대해 Two-way ANOVA를 수행하였다. 그 결과 둘 사이에는 유의한 차이가 없는 것으로 확인 되었다. ( $F(1,30)=2.23$ ,  $p=0.14$ )



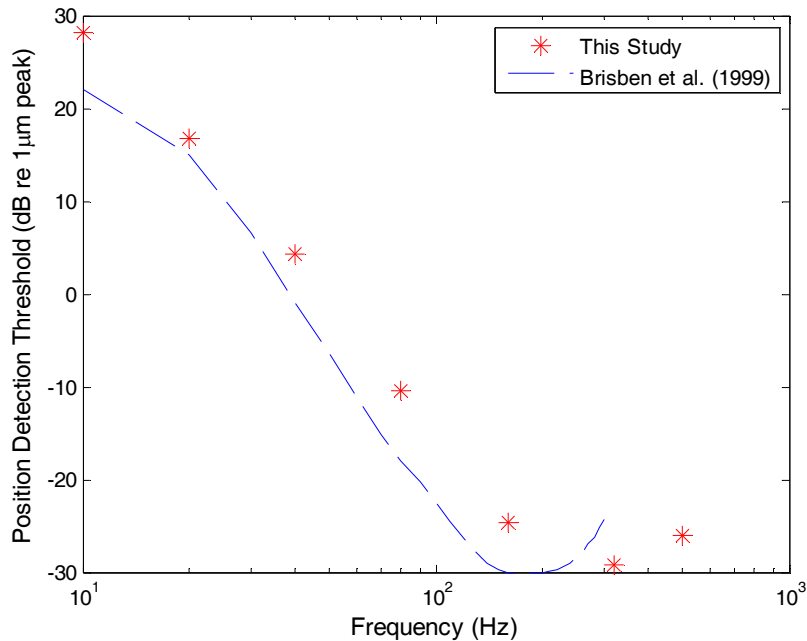


그림 55. 측정된 AL과 다른 연구의 Detection Threshold 비교

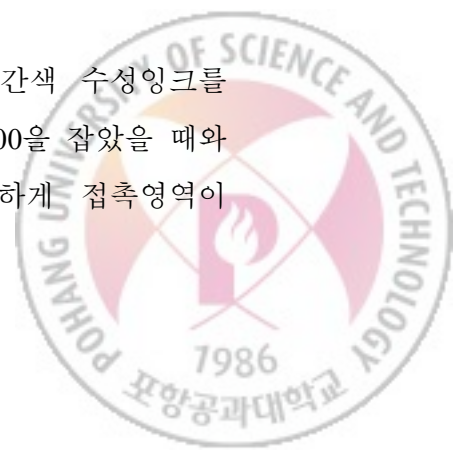
브리스벤의 연구[16]에서는 160mm의 길이와 32mm의 지름을 가진 아크릴 실린더에 대한 Detection threshold 측정하였다.(그림 55) 본 연구에서의 결과와 비교해볼 때 실린더의 그림이 좀 더 민감한 것으로 나타났다. 이는 핸드폰의 그림과 실린더의 그림에 차이에서 발생한 것으로 보인다. 실린더의 그림이 핸드폰의 그림에 비해 접촉 부위가 좀더 크기 때문에 Spatial Summation에 영향이 더 크게 작용한 것으로 보인다. 또한 브리스벤의 연구에서는 Two interval Forced choice를 사용하였으므로 실험 방법의 차이에서도 크게 영향을 미쳤으리라 본다.

### 5.3 모바일기기의 Contact Area

KH1000의 진동에 대한 Detection Threshold 실험 이후에 Detection threshold 실험에 참가 했던 피실험자를 대상으로 KH1000과 실험자의 손 사이의 접촉 영역을 측정하였다.

#### 5.3.1 실험방법

KH1000에 같은 사이즈의 종이로 감싸고 피실험자의 손에 빨간색 수정잉크를 롤러를 이용해 빈틈없이 발랐다. Detection Threshold 실험 때 KH1000을 잡았을 때와 같이 편하게 KH1000을 잡도록 하였다. 몇 초간 잡아서 적절하게 접촉영역이





나왔다고 생각 되었을 때 손을 조심스레 떼도록 하였다. 측정은 스캐너를 이용하여 1200DPI로 접촉영역이 잉크로 묻은 종이를 이미지로 읽어들이 잉크가 묻은 픽셀 수를 세어 영역을 측정하였다.



그림 56. KH1000의 접촉영역을 측정한 종이

### 5.3.2 결과

단위 mm <sup>2</sup>	최소	최대	평균
남	3049	5661	4498
여	2610	4829	3710
전체	2610	5661	4160

표 3. Detection Threshold 실험참가자의 KH1000 Contact Area

성별차이에 의해 접촉영역의 차이가 있었으나 신장에 의한 차이가 더 큰 것으로 생각된다. 대부분의 여성 피실험자는 남성보다 신장이 작았다. 손의 크기, 모양, 살집의 정도에 의해서도 피실험자 개개인에 따라 편차가 크게 나타났다.



## 5.4 Perceived Intensity

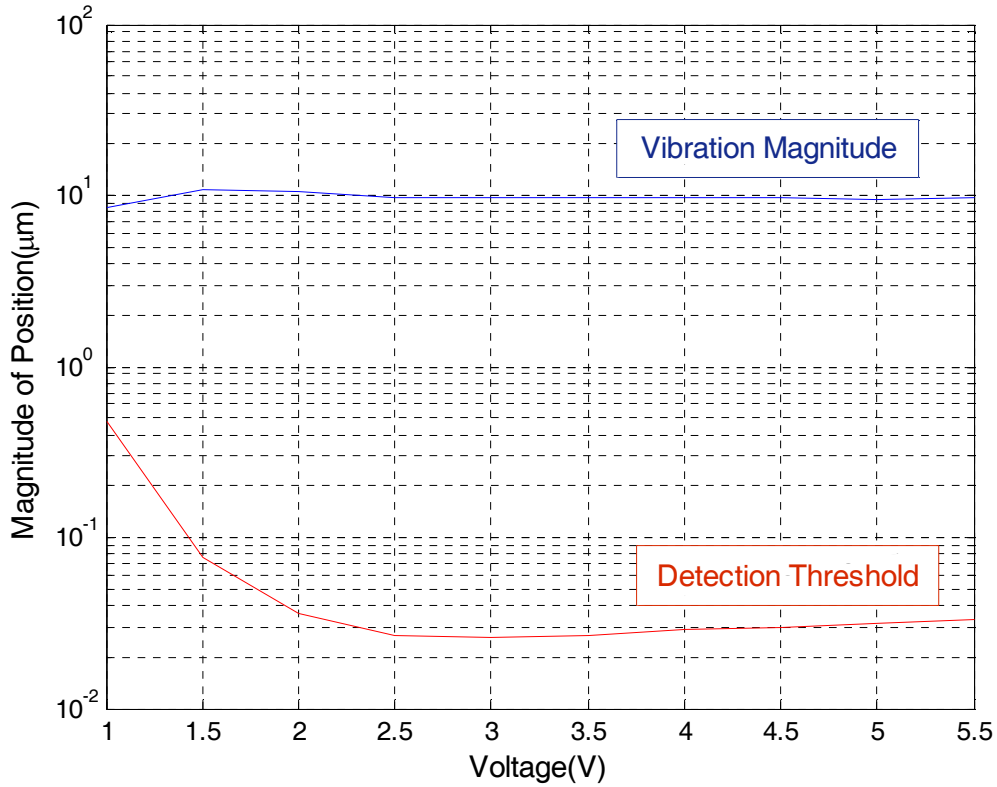


그림 57. KH1000의 전압대비 Detection Threshold와 진동크기

그림 57에 표시된 Vibration Magnitude는 핸드폰(KH1000)을 쥐고 있을 때의 진동의 크기를 측정한 값이고 Detection Threshold는 5.2절에 구한 핸드폰을 쥐었을 때의 값이다. 5.2절에 구한 주파수에 따른 Detection Threshold를 Cubic polynomial curve fitting ( $r^2=0.99$ )을 통해 진동모터의 각 전압의 주파수에서의 Detection threshold 값을 구하였다. 전압에 따른 Vibration Magnitude와 Detection threshold를 바탕으로 전압에 따른 KH1000의 Sensation level을 구하였다. (그림 58)



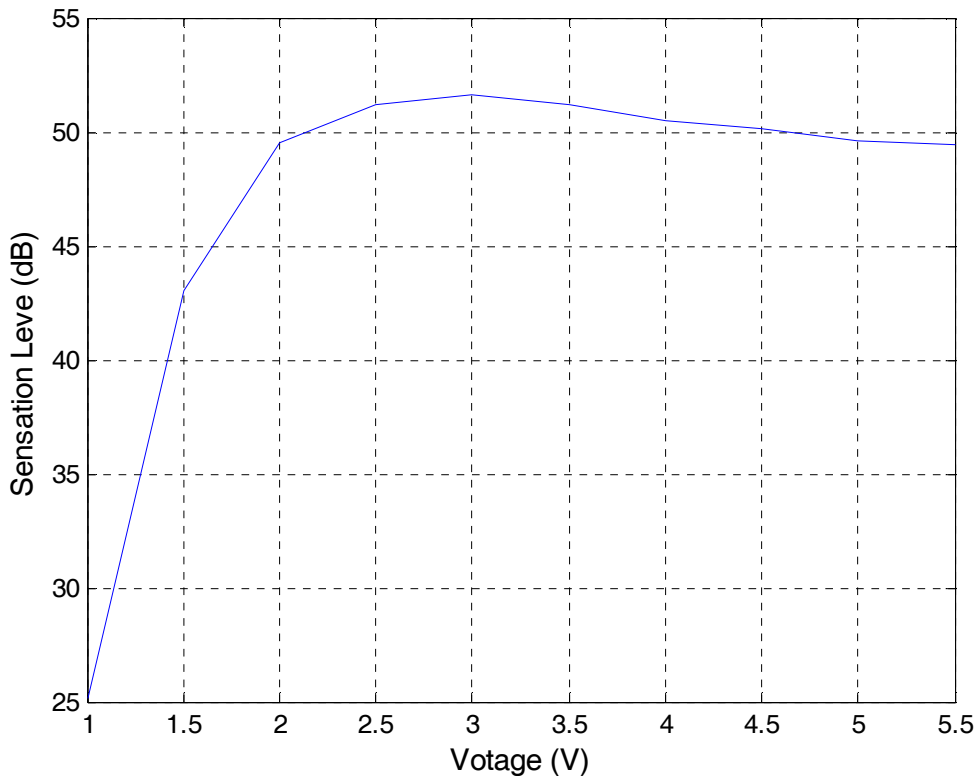


그림 58. KH1000의 전압대비 Sensation Level

씨나에미넌스에 대한 진동모터의 Sensation Level(그림 41)과 비교해보면 비슷하게 3~3.5v사이에서 감소하기 시작한다. 그러나 비슷한 그래프의 형태를 보이는 것과 달리 Sensation Level의 크기에 있어서는 확연하게 차이가 난다. 이는 씨나에미넌스에서 구해진 Sensation level이 Surround가 되어있는 씨나에미넌스의 Detection threshold를 쓴 영향도 조금 있겠지만 대부분은 핸드폰을 질 경우는 손가락과 같은 예민한 부분과 손바닥 전체의 Temporal, Spatial Summation의 영향을 전체적으로 받기 때문에 상대적으로 둔감한 씨나에미넌스 부위에 비해 큰 Sensation Level을 보인다.

이 결과를 통해 알 수 있는 것은 KH1000과 같은 형태의 기기에 있어 진동의 강도를 위해 많은 전력을 소비할 필요가 없음을 알 수 있다. 1~1.5V사이에서의 Sensation Level의 급격한 증가가 이를 뒷받침할 근거이다.

이제 Subjective Magnitude 측정을 통해 이 Sensation Level을 Subjective Magnitude와 비교하여 Sensation Level을 인식강도로 볼 수 있는지 확인하여 본다.



## 5.5 Absolute Magnitude Estimation of Controller

### 5.5.1 실험방법

10명의 피실험자를 대상으로 Cellphone(KH1000)의 입력 전압이 변함에 따라 느껴지는 인식강도를 Absolute Magnitude Estimation [12]를 이용하여 측정하였다. 피실험자의 연령은 19세에서 26세 까지며 평균 연령은 22.5세였다. 피실험자의 직업은 학생이었다.

먼저 피실험자에게는 진동 자극에 대해 느끼는 강도를 숫자로 표현하라 지시하였다. 어떤 기준도 제시하지 않았으며 피실험자가 느끼는 그대로 자유롭게 점수로 매기도록 하였다. 진동자극에 대해 소수점도 가능하도록 했다. 실험은 1V에서 0.5V 단위로 5.5V까지 총 10개의 샘플을 랜덤하게 순서를 정하고 정해진 순서대로 순차적으로 1초간 진동 자극을 준 후 점수를 매기도록 하였다. 이와 같은 방법으로 총 3 세션이 진행하였다.

테스트 세션은 없고 대신 첫째 세션은 버리고 2번째와 3번째 세션에 대한 응답을 기하평균을 내어 강도를 계산한다. 실험이 진행되는 동안에는 진동을 소리로 분간할 수 없도록 헤드폰을 끼고 화이트 노이즈를 듣도록 하였다. [13].

실험을 통해 얻은 데이터는 표준화된다(Normalize). 각 피실험자의 세션2와 세션3의 결과값의 기하평균을 구한다. 각 피실험자의 1V~5.5V까지 총 10개의 샘플에 대한 응답의 기하평균을 구한다.(Ms) 그리고 전체 실험자의 모든 응답에 대한 기하평균을 구한다.(Mg) 표준화 요소,  $Mn = Ms / Mg$ 로 표현되며 Mn을 각 피실험자의 실험값에 곱하여 표준화 하였다. [14]



그림 59. KH1000의 Magnitude Estimation 실험



## 5.5.2 결과

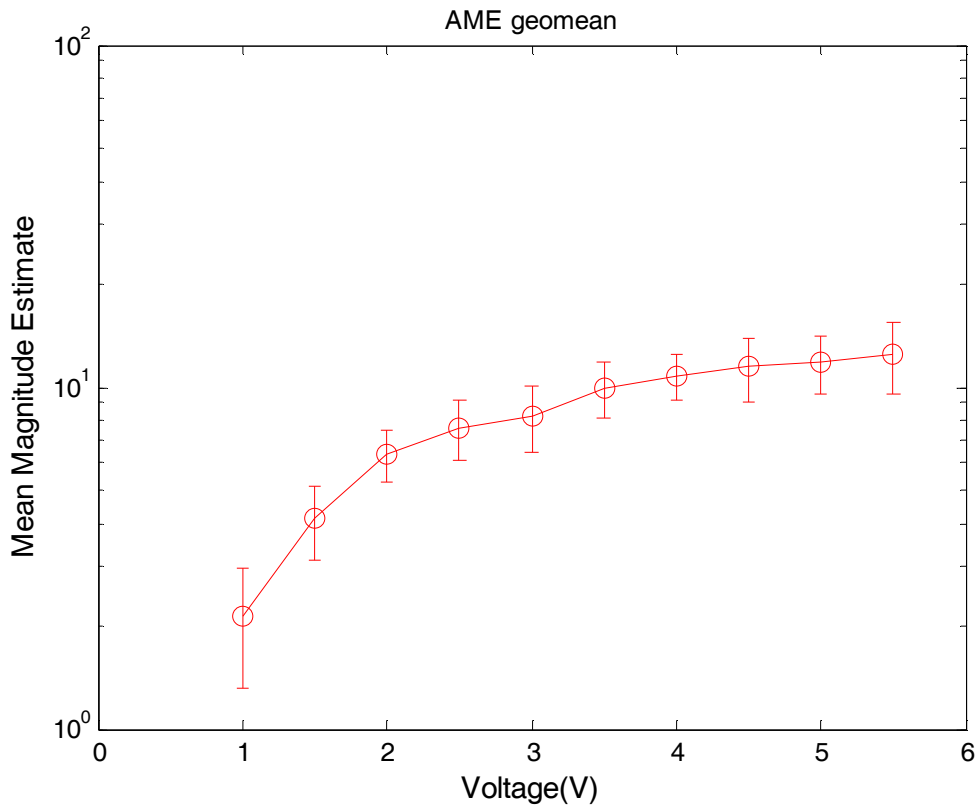
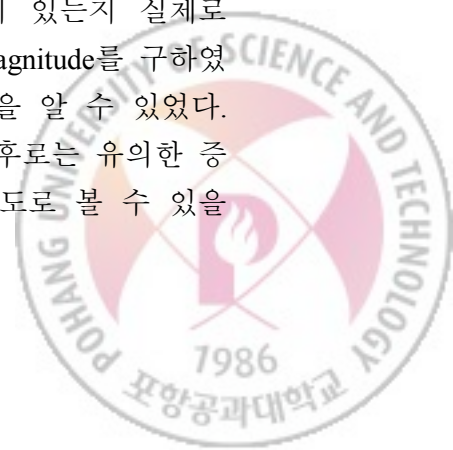


그림 60. 진동강도에 대한 Subjective Magnitude

그림 1의 1V-2V까지의 Subjective Magnitude의 증가비가 Sensation Level의 증가비가 유사함을 알 수 있다. (그림 58) 또한 Sensation Level의 경우 3V부터는 매우 조금씩 감소하는 경향을 보인다. Subjective Magnitude의 경우 3V부터 조금씩 증가하고 있다. 하지만 Multiple comparison test(Tukey's HSD)의 결과 3.5V - 5.5V 까지는 같은 그룹으로 분류되어 유의하게 다른 차이를 보이지 않는 것으로 나타나 Sensation Level의 결과와 일치하고 있음을 보여준다.

## 5.6 결론 및 토론

핸드폰(KH1000)의 진동특성을 구하였다. 실제 시판되고 있는 핸드폰을 이용하여 Detection Threshold를 구하였다 이를 바탕으로 전압에 따른 핸드폰의 진동의 Sensation level을 구하였다. 이 결과가 인식강도와 어떠한 관련이 있는지 실제로 Absolute Magnitude Estimation을 통해 진동강도에 대한 Subjective Magnitude를 구하였다. 이 결과 Sensation Level과 Subjective Magnitude과 매우 유사함을 알 수 있었다. 특히 Sensation Level, Subjective Magnitude는 3V까지 증가하다 그 이후로는 유의한 증가가 없는 점이 일치하였다. 이를 근거로 Sensation level을 인식강도로 볼 수 있을



것이다.

핸드폰에 대한 Detection Threshold 값을 본 실험을 통해 구하였으므로 이 데이터를 이용한다면, 핸드폰의 진동특성 만을 가속도계를 이용하여 구하여 Subjective Magnitude estimation과 같은 Subjective 실험 없이 사람의 인식강도와 전력소비를 고려하여 진동의 강도를 조절할 수 있는 Device의 제작이 가능할 것이다. (그림 61)

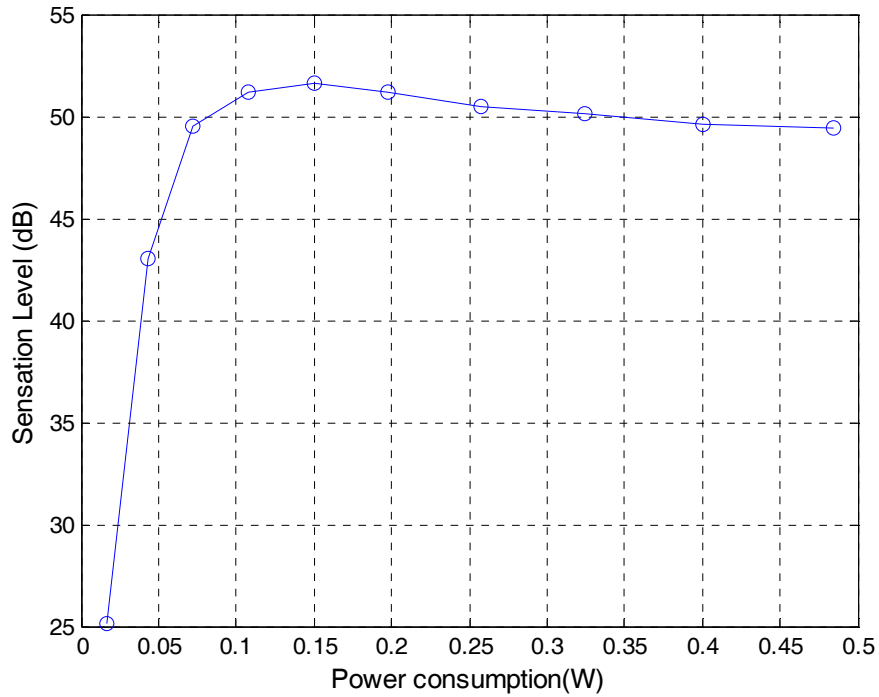


그림 61. 전력대비 Sensation Level



## 6. 결론 및 향후 과제

체험형 모션 리모트 컨트롤러의 플랫폼을 정의하고 구현하였다. 또한 이를 통하여 다양한 어플리케이션을 제작하였다. 우선 모션 리모트 컨트롤러가 가져할 기본적인 하드웨어 요구사항을 정의하고 기본이 되는 하드웨어를 구현 하였다. 모션리모트 컨트롤러와의 인터랙션을 위한 소프트웨어 플랫폼을 정의하고 구현하였다. 센서를 통한 간단한 모션인식 알고리즘을 구현하였다. 이를 바탕으로 Application Program Interface를 제작하였다 이를 이용하여 복싱, 드라이빙 시뮬레이션, 탁구, 테트리스와 같은 Application을 제작하여 체험형 모션 리모트 컨트롤러의 가능성을 확인해 보았다.

체험형 모션 리모트 컨트롤러의 기본 플랫폼은 정의 하였으나 부가적인 센서의 사용으로 보다 정확한 모션인식 기능의 필요성이 대두되었다. 추가적인 센서의 융합으로 보다 복잡한 모션 패턴의 인식을 가능하게 하고 지역적으로 한정적인 곳에서는 IR(Infra red)필터, 카메라, IR Diode를 이용하여 3차원 포지션 트래킹을 가능하게 하여 다양한 인터랙션을 가능하게 하여 모션리모트 컨트롤러의 활용성과 견고함을 높인다. 또한 여러 개의 모션 리모트 컨트롤러와의 인터랙션 방법에 대한 연구도 진행되어야 한다.

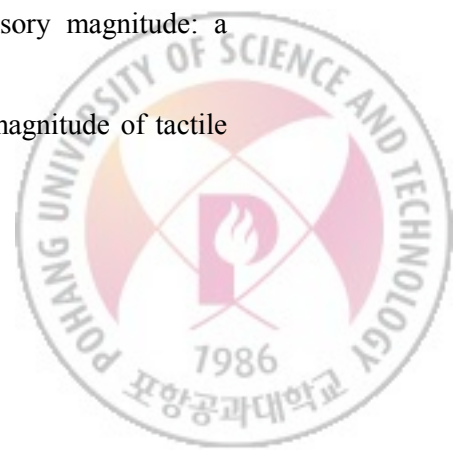
모션 리모트 컨트롤러와 휴대용기기의 진동 피드백에 관한 연구에서는 기기의 진동 특성을 측정하였고 Detection Threshold를 Adaptive Method를 이용하여 측정하였다. 또한, 전력소비에 따른 진동의 Sensation Level을 구하였다. Absolute Magnitude Estimation을 이용하여 진동에 대한 Subjective Magnitude를 구하고 Sensation Level과 비교 분석하였다. 이를 바탕으로 전력 소비에 따른 인식강도(Perceived Intensity)를 구하였다. 이 결과는 모바일기기의 진동피드백에 있어 가속도계를 이용한 진동특성의 분석만을 통해 전력소비 대비 높은 인식강도를 찾는 방법을 제시하였다. 인식강도를 고려한 진동피드백의 정확한 드라이빙을 가능하게 하였다. 이는 현재 인식강도를 고려하지 않은 휴대용 기기에 있어 간단한 실험을 통해 사용자에게 정확한 인식강도를 줄 수 있는 방법과 전력소비를 최소화할 방안을 제시하였다.

이에 더하여 휴대용기기의 진동의 각 주파수대에 대하여 Sensation Level 대비 Subjective Magnitude의 값을 실험을 통해 구한다면 다양한 진동 액추에이터에 대해서도 가속도계를 이용하여 모터특성 구하는 것으로 보다 정확한 인식강도를 구할 수 있을 것이다.



-=- 참고 문헌 -=-

- [1] J. Hwang, J. Jung, S. Yim, J. Cheon, S. Lee, S. Choi, and G. J. Kim, "Requirements, Implementation and Applications of Hand-held Virtual Reality," International Journal of Virtual Reality, vol. 5, pp. 59-66, 2006.
- [2] R. F. Schmidt, Fundamental of Sensory Physiology: Springer-Verlag, 1986.
- [3] B. Cohen and J. H. Kirman, "Vibrotactile frequency discrimination at short durations.," Journal of general psychology, pp. 179-186, 1986.
- [4] K.-U. Kyung, M. Ahn, D.-s. Kwon, and M. A. Srinivasan, "Perceptual and biomechanical frequency response of human skin: implication for design of tactile displays," presented at WHC 2005, 2005.
- [5] C. Jay and R. Hubbard, "Delayed Visual and Haptic Feedback in a Reciprocal Tapping Task," IEEE Computer Society, 2005.
- [6] P. Lamore and C. Keemink, "Evidence for diferent type of mechanoreceptors from measurement of th psychophysical threshold for vibrations under different stimulation conditions," J Acoust Soc Am, vol. 83, pp. 2339-2351, 1988.
- [7] M. Morioka and M. J. Griffin, "Thresholds for the perception of hand-transmitted vibration: Dependence on contact area and contact location," Somatosensory and Motor Research, vol. 22, pp. 281-297, 2005.
- [8] R. T. Verrillo and S. C. Chamberlain, "The effect of neural density and contactor surround on vibrotactile sensation magnitude. ," Perception & Psychophysics, vol. 11, pp. 117-120, 1972.
- [9] R. T. Verrilo, "Vibrotactile intensity scaling at several body sites.," In F.A Geldard(Ed.), Cutaneous communication systems and devices. Austin. Tex: The Psychonomic Society, 1974, 1974.
- [10] R. T. Verrillo and A. J. Capraro, "Effect of stimulus frequency on subjective vibrotactile magnitude functions," Perception and Psychophysics, vol. 17, pp. 91-96, 1975.
- [11] R. T. Verrilo, "Effect of contactor area on the vibrotactile threshold," J. Acoust Soc. Am., vol. 35, pp. 1962-1966, 1963.
- [12] J. J. Zwislocki and D. A. Goodman, "Absolute scaling of sensory magnitude: a validation.," Perception & Psychophysics, vol. 28, pp. 28-38, 1980.
- [13] R. T. Verrillo, S. J. Bolanowski, and F. P. Mcglone, "Subjective magnitude of tactile roughness," Somatosensory and Motor Research, vol. 16, pp. 352-360, 1999.





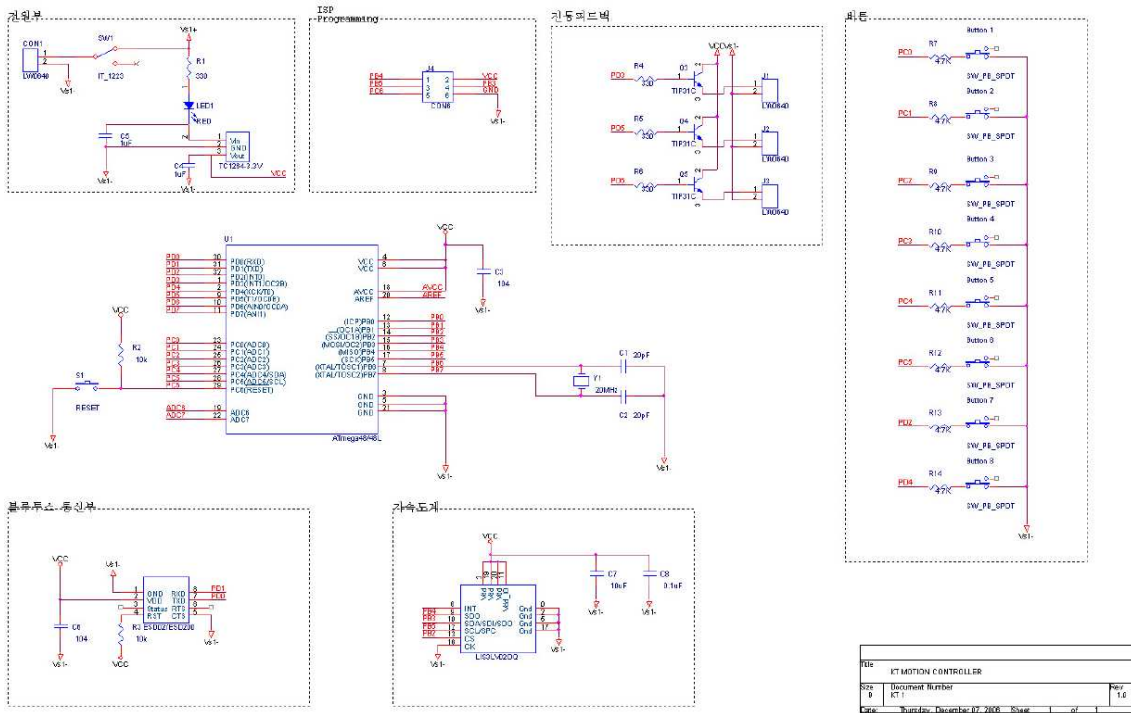
- [14] A. M. Murray, R. L. Klatzky, and P. K. Khosla, "Psychophysical Characterization and Testbed Validation of a Wearable Vibrotactile Glove for Telem Manipulation," *Presence*, vol. 12, pp. 156 - 182, 2003.
- [15] H. Levitt, "Transformed up-down methods in psychoacoustics," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 49, pp. 467-477, 1971.
- [16] A. J. Brisben, S. S. Hsiao, and K. O. Johnson, "Detection of Vibration Transmitted Through an Object Grasped in the Hand," *Journal of Neurophysiology*, vol. 81, pp. 1548-1558, 1999.
- [17] O. Franzen, "The dependence of vibrotactile threshold and magnitude functions on stimulation frequency and signal level," *Scandinavian Journal of Psychology*, vol. 10, pp. 289–298.
- [18] R. T. Verrillo, A. J. Fraoli, and S. R.L., "Sensation magnitude of vibrotactile stimuli," *Perception and Psychophysics*, vol. 7, pp. pp.366-372, 1969.
- [19] S. S. Stevens, "Tactile vibration: Change of exponent with frequency. ," *Perception & Psychophysics*, vol. 3, pp. 223-228, 1968.
- [20] S. S. Stevens, "Tactile vibration: Dynamics of sensory intensity.," *Journal of Experimental Psychology*, vol. 57, pp. 210–228, 1959.
- [21] A. Israr, S. Choi, and H. Z. Tan, "Detection Threshold and Mechanical Impedance of the Hand in a Pen-Hold Posture," presented at IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and Systems, Beijing,China, 2006.



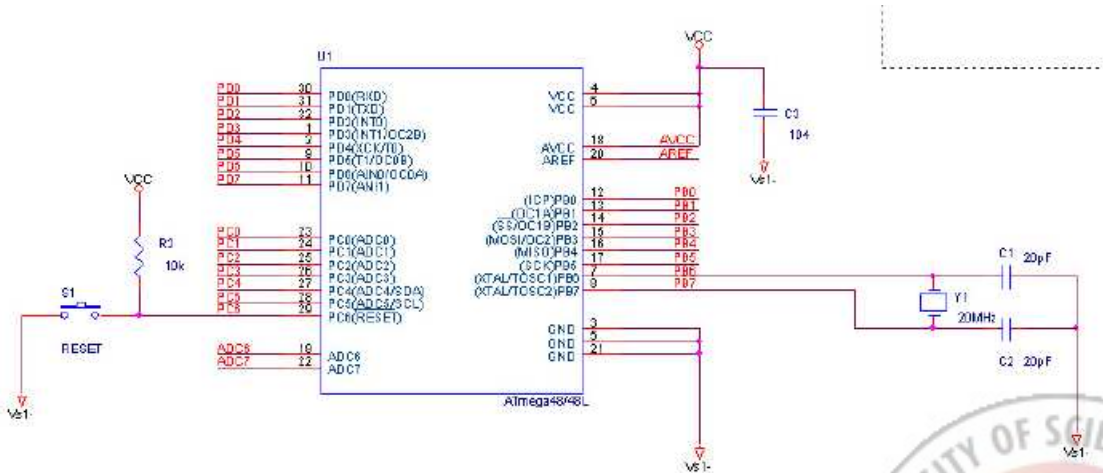
## A. 부록

### A.1 체험형 모션리모트 컨트롤러의 회로도

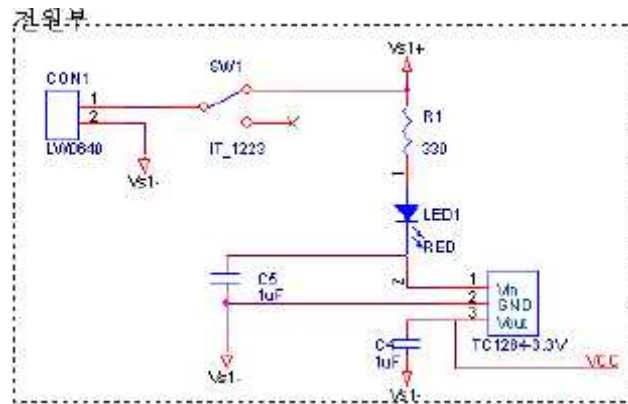
#### A. 전체회로도



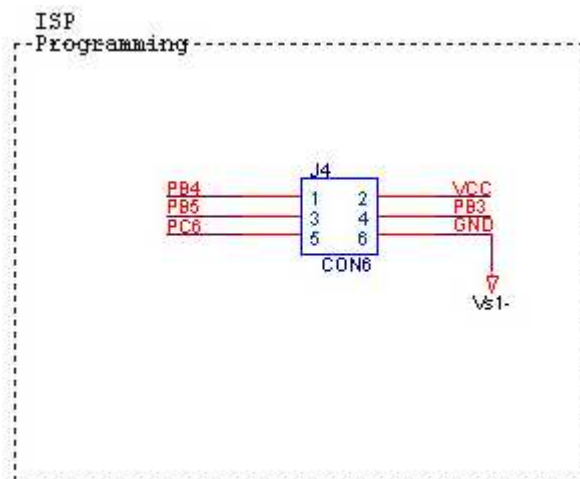
#### B. MCU



C. 전원부

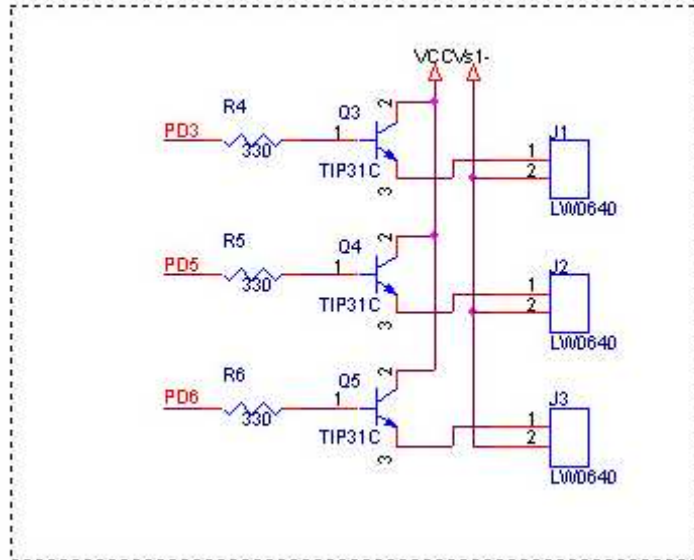


D. ISP PROGRAMMING



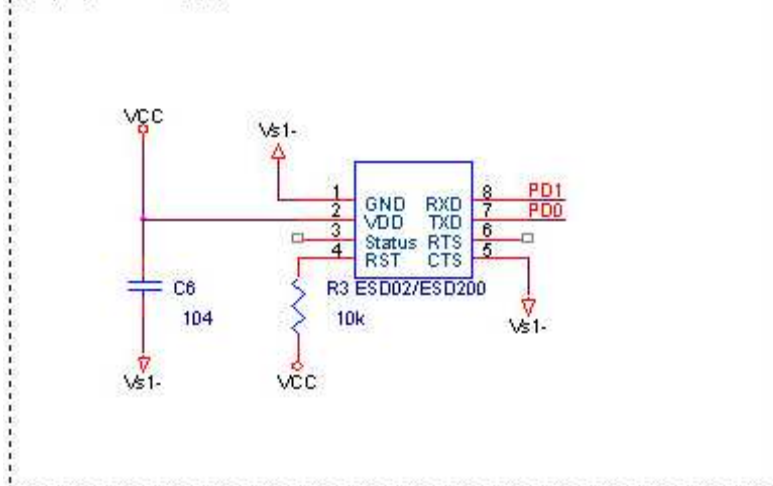
E. 진동 피드백

진동 피드백

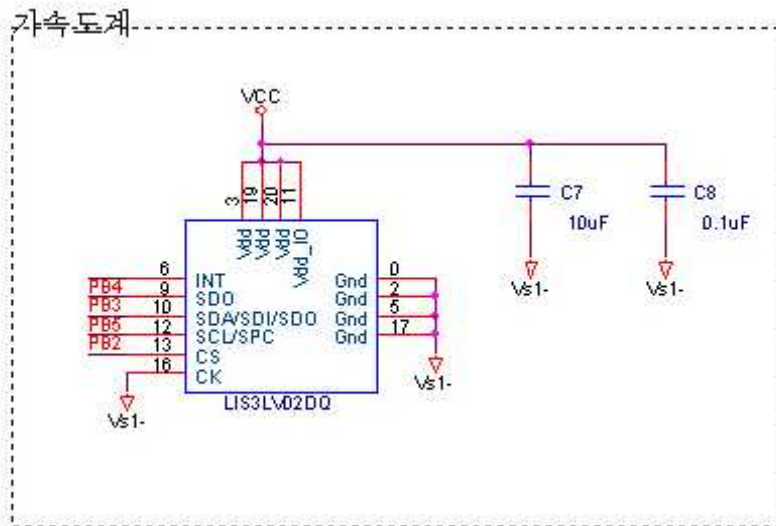


F. 블루투스 통신부

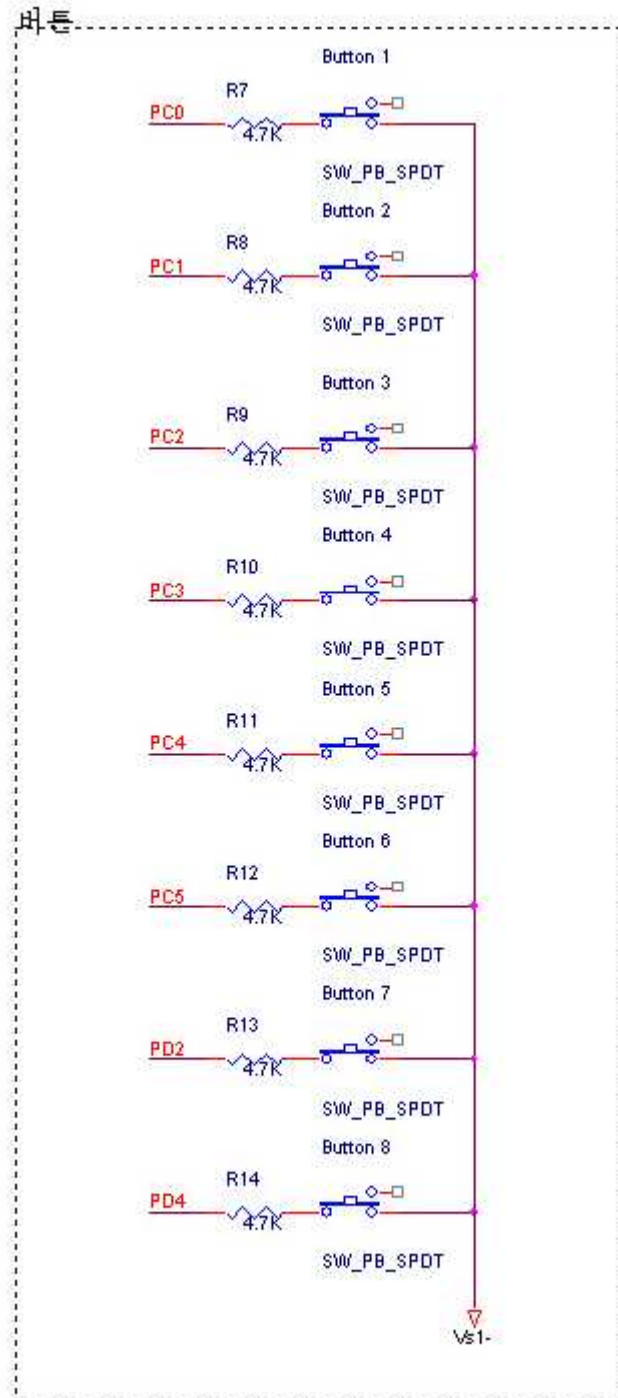
블루투스 통신부



G. 가속도 센서부



## H. 버튼



## 감사의 글

포항에서 석사2년의 시간을 마치는 지금, 즐거웠던 일, 힘들었던 일을 모두 함께 했던 동기들, 선배, 후배 그리고 교수님이 생각납니다.

대학원에 입학하여 아무 것도 모르는 저에게 ‘하면 된다.’가 무엇인지 체험을 통해 깨닫게 해주신 김정현 교수님께 먼저 감사 드리고 싶습니다. 열심히 노력하여 많은 일들을 경험하고 자신감을 얻도록 격려해주셨고 언제나 자유로운 분위기 속에서 연구를 할 수 있도록 배려해주셔서 이렇게 무사히 졸업할 수 있게 된 것 같습니다.

방황하던 저에게 연구주제를 정해주시고 연구방향을 잡아주신 최승문 교수님께 감사의 마음을 전합니다. 교수님께 많은 것을 배우고 많은 것을 얻어 가는데 저는 아무 것도 해드리지 못하고 가서 죄송할 따름입니다. 바쁘신 와중에도 언제나 관심 가져주시고 챙겨주셔서 이렇게 무사히 졸업할 수 있게 되었습니다.

그리고 졸업논문을 완성함에 있어 도움을 주시고 지도해주신 한성호 교수님께도 감사의 말씀을 전합니다.

연구실생활에 적응할 수 있도록 도와주신 남규형, 상윤 형, 진석 형, 재인 형, 성길 형, 석희 형, 종현 형, 진욱 형 그리고 입학부터 지금까지 함께했던 재영이, 성훈이, 용진이 마지막으로 무사히 졸업할 수 있도록 많은 일들 잘 처리해준, 일 잘하는 후배 인욱, 인, 갑중, 채현, 건혁에게 고마움을 전합니다.



앞으로도 매사에 최선을 다하고 꾸준히 학문에 정진하여 훗날 다시 여러분과 만  
날 때는 오늘날의 추억을 상기하며 웃을 수 있는 사람이 되도록 노력하겠습니다.





## 이 력 서

성 명 : 정 재 훈

### 학 력

2001.3 - 2005.2 : 인하대학교 공과대학 정보통신공학과 (B.S.)

2005.3 - 2007.2 : 포항공과대학교 정보통신대학원 정보통신학과 (M.S.)

### 발 표 논 문

#### **International Journal**

1. Jane Hwang, **Jaehoon Jung**, Sunghoon Yim, Jaeyoung Cheon, Sungkil Lee, Seungmoon Choi, and Gerard Jounghyun. Kim, "Requirements, Implementation and Applications of Hand-held Virtual Reality," *International Journal of Virtual Reality*, 2006.
2. Jane Hwang, **Jaehoon Jung** and Gerard Jounghyun Kim, "Manipulation of Field of View for Hand-held Virtual Reality," 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (LNCS), 2006.
3. **Jaehoon Jung** and Seungmoon Choi, "Power Consumption and Perceived Magnitude of Vibration Feedback in Mobile Devices," 2nd International Conference on Virtual Reality (LNCS), 2007. (accepted)



## International Conference

4. Yongjin Kim, **Jaehoon Jung**, Seokhee Jeon, Sangyoon Lee, and Gerard J. Kim, "Tele-presence Meet Racing Games," presented at International Conference on Advance in Computer Entertainment Technology, 2005.
5. Jane Hwang, **Jaehoon Jung**, Namgyu Kim and Gerard Jounghyun Kim, "Benefits from Motion-based Interaction in Hand-held Virtual Reality," presented at The 4th International Symposium on Ubiquitous VR, 2006.
6. Jane Hwang, **Jaehoon Jung** and Gerard Jounghyun Kim, "Hand-held Virtual Reality: A Feasibility Study," presented at VRST, 2006.

## Korean Domestic Conference

7. **정재훈**, 김재희, 박인규, "입체 영상을 이용한 몰입형 3차원 게임 제작," 한국정보과학회 추계학술발표회, vol. II, pp. 658~660, 2004년 10월.
8. **정재훈**, 황인욱, 이인, 이채현, 박건혁, 황제인, 최승문, 김정현 "동작 인식형 상호작용을 위한 리모트 컨트롤," 한국 HCI2007 학술대회(Accepted)

