

## 스마트 플로어를 이용한 음악 연주기<sup>1</sup>

이승현\*, 송현식\*\*, 류제하\*\*, 우운택\*

\*광주과학기술원 정보통신학과 UVR 연구실, \*\*광주과학기술원 기전공학과 IVR 연구실  
{slee, bear0113, ryu, wwoo}@kjist.ac.kr

### I. 서론

일반인을 대상으로 하여 특별한 연주 실력 없이 사용자의 몸동작만으로 음악을 연주하는 시스템들이 연구되고 있다. 몸에 사용자의 몸동작을 감지하기 위한 센서를 착용하는 시스템과 아무것도 착용하지 않고 카메라나 센서가 부착된 바닥을 걸어도됨으로써 사용자의 몸동작을 감지하는 시스템들로 나눌 수 있다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 바닥에 ON/OFF 스위치를 일정한 간격으로 배치하여 사용자가 그 위를 이동할 때 사용자의 위치 및 발걸음의 정보를 알아내어 사용자의 움직임에 정도에 따라 빠른, 중간, 느린 템포의 음악을 연주한다.

2장에서는 시스템 구성을, 3장에서는 실험 결과를 설명하고, 4장에서는 제안된 시스템의 문제점과 연구방향울 제시한다.

### II. 시스템 구성

#### 1. 스마트 플로어 입력 센서

간단한 눌림 정보만을 제공하는 ON/OFF 스위치를 30cm\*30cm 크기의 바닥 셀에 일정한 간격으로 4개씩 배치하고 이러한 셀을 가로 12칸, 세로 3칸 설치하여 1m\*4m의 영역을 포함한다. 모든 센서들은 마이크로 프로세서가 포함된 DAQ보드에 연결되어지며, 마이크로 프로세서는 풀링 방식으로 각각의 센서로부터 값을 읽어오고, 입력 데이터가 있으면 이를 호스트 PC로 전송한다. 그림1은 전체적인 정보 흐름을 보여준다.

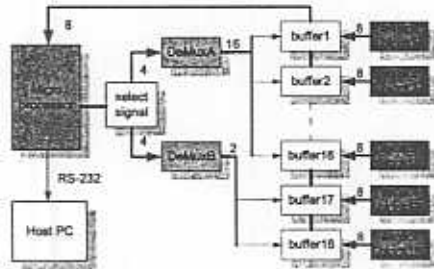


그림 1. DAQ의 신호 및 정보 흐름도

#### 2. 스마트 플로어 신호 처리

마이크로 프로세서로부터 전송되어진 원시 데이터를 분석하여 사용자의 발걸음 패턴을 알아내고 발걸음의 위치 및 보폭을 계산한다. 그리고 사용자 발이 지면에 닿아 있는 시간을 측정하여 속도를 계산한다.

### III. 실험 결과

앞에서 얻어낸 사용자의 보폭, 한 발과 양 발의 지면과 닿은 시간을 계산해 내어 이를 세 분류의 음악(빠른, 중간, 느린 템포)을 선택하는 정보로 사용하였다. 그림2는 각각의 발걸음이 지면에 닿는 시간 정보와 그때의 보폭을 나타낸다.

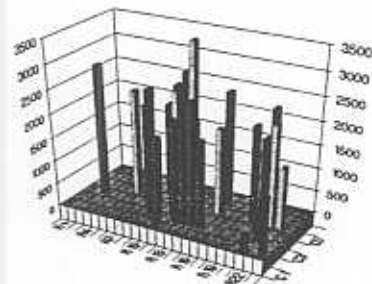


그림 2. 실험 결과

표1은 음악을 선택하기 위한 데이터의 분류 기준을 나타낸 도표이다. 실험으로부터 가장 차이가 많이 나는 정보는 한 발이 닿아 있는 시간이었으며 사용자의 발걸음을 세분류로 나누기 위해 Threshold 값을 두어 구분하였다.

표 1. 실험 결과 정리

	한발이 닿아 있는 시간	두발이 동시에 닿아 있는 시간	보폭
빠른 음악	$t < 600$	$t < 100$	$d = 21$
중간 음악	$600 < t < 1800$	$t < 300$	$d = 30$
느린 음악	$t > 1800$	$t < 600$	$d = 26$

(t: millisecond, d: cm)

### IV. 결론

본 논문에서는 바닥에 압력 센서를 부착하여 사용자의 발걸음 정보를 알아내는 스마트 플로어의 응용 어플리케이션 중의 하나인 Music System을 제안하였다. 현재는 스마트 플로어를 사용하여 얻을 수 있는 사용자의 발걸음 정보를 가지고 춤의 스텝 정보를 계산하려 하지만, 추후 연구 과제로 팔동작이나 몸의 방향 등 상체의 정보를 얻을 수 있으면 이를 통해 더 구체적인 춤동작을 분류해 낼 수 있다. 이러한 상체의 움직임은 비전이나 Doppler motion detection radar를 통해 얻어낼 수 있다.

<sup>1</sup>본 연구는 정보부/정보통신연구진흥원(IIITA)의 대학기초연구 지원사업과 교육부의 BK21 사업의 지원에 의해 수행됨

# 스마트 플로어를 이용한 음악 연주기<sup>1</sup>

이승헌\*, 송현식\*\*, 류제하\*\*, 우운택\*

\*광주과학기술원 정보통신학과 UVR 연구실, \*\*광주과학기술원 기전공학과 IVR 연구실

## Music Player with the Smart Floor

Seunghun Lee\*, Hyunsik Song\*\*, Jeha Ryu\*\*, Woontack Woo\*

\*DIC UVR Lab, KJIST, \*\*DOM IVR Lab, KJIST

[slee, bear0113, ryu, wwoo}@kjist.ac.kr](mailto:{slee, bear0113, ryu, wwoo}@kjist.ac.kr)

**Abstract:** 특별한 연주 실력 없이도 사용자의 몸 동작만으로 음악을 연주하는 시스템들이 주목을 받고 있다. 본 논문에서는 바닥에 일정 간격으로 ON/OFF 스위치가 배치된 스마트 플로어를 이용하여 음악 연주 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 사용자의 발걸음 정보를 얻어 사용자 위치 및 걸음걸이의 폭, 발걸음을 땔때의 시간차, 그리고 발걸음 속도를 계산하여 세분류(빠른 템포, 중간 템포, 느린 템포)로 나누어진 음악중에 하나를 연주한다. 즉 사용자가 악기 하나 하나를 제어하는 것이 아니라 활동의 정도에 해당하는 음악을 자동으로 연주해 주는 것이다. 이것은 일반 사용자가 별도의 학습과정 없이 쉽게 사용할 수 있도록 해 준다. 현재는 값이싼 ON/OFF 스위치를 사용하여 발의 활동을 간단하게 세분류로 나누어 음악을 연주하였지만, 카메라나 다른 RF 센서를 이용하여 상체의 움직임까지 알아낸다면 더 자세히 춤동작을 분석하여 사용자가 추는 춤의 종류에 해당하는 음악을 연주할 수 있다.

**Keywords:** smart floor, dancing system, user tracking

### I. 서론

컴퓨터 사용분야 중 교육이나 업무 외에 오락의 목적으로 음악을 연주하는 시스템들이 최근 연구되고 있다. 이러한 시스템들은 기존의 사용자와 컴퓨터 사이의 인터페이스인 키보드나 마우스를 필요로 하지 않으며, 사용자가 컴퓨터와 통신하기에 더욱 편한 인터페이스를 제공한다. 즉, 사용자가 특별히 동작 방법을 익혀야 할 필요 없이 시스템이 사용자의 몸동작을 인식하여 해당하는 악기나 음악을 제어할 수 있도록 해 주는 것이다. 이러한 시스템들은 사용자 몸동작을 인식하기 위해서 다양한 센서들을 사용한다.

사용되는 센서들은 크게 착용/비착용 두가지로 분류할 수 있다. 먼저 사용자가 자신의 몸에 착용해야 하는 센서를 사용한 시스템으로, Midi Dancer System[1]은 몸의 각 관절에 휘는 정도를 측정할 수 있는 센서를 부착하여 관절의 굽힘 정도를 알아 내거나 위치 센서를 머리, 팔, 다리, 몸통에 부착하여 주요 신체 부분의 위치를 알아 낸다. Miburi Performance System[2]도 센서를 부착하여 어깨, 팔꿈치의 굽힘

정도를 알아내며 버튼 장치를 손으로 누름으로써 음악의 시작과 멈춤을 제어한다. 그리고 신발내부에 부착된 압력센서를 통해 볼륨을 제어한다. 마지막으로 Expressive Footwear[3]는 회전 센서 및 압력 센서를 신발 속에 부착하여 사용자가 힘을 주는 발의 부위(앞꿈치, 뒷꿈치), 발의 회전, 움직임의 정도를 알아내어 적절한 음악/악기 제어를 가능하게 한다. 이러한 시스템들은 센서를 사용자의 몸에 지니기 때문에 세밀한 사용자 몸동작도 인식할 수 있으나 사용함에 있어 편안함을 제공하기 힘들다.

이에 반해 사용자가 센서를 몸에 지니지 않아도 되는 시스템으로, I-cubed Tangible Music System[4]은 사용자 앞에 설치된 카메라를 사용하여 팔, 다리의 위치를 파악한다. 그리고 사용자 주위 공간에 영역을 설정하여 사용자가 그 영역을 건드리면 해당 음악이 연주된다. Magic Carpet[5]은 바닥에 Piezoelectric 센서를 설치하여 사용자의 발걸음 정보로부터 위치 및 움직임 속도를 음악 연주에 이용한다. 이 Piezoelectric 센서는 전기장판처럼 전선들이 내부에 격자형태의 배열로 구성되어 있으며 사용자가 센서 위에서 밟으면 전선의 교차 눌림으로 인해 전기적 신호가 생성된다. 이를 통해 눌려진 곳의 위치 및 압력의 정도를 알아낸다. 그리고 바닥 센서 뿐만 아니라 Doppler Radar Motion sensor 를 사용하여 얻은 상체의 움직임 정보(위치, 속도)를 음악의 중/고음 멜로디 및 볼륨 조절에 반영한다. Touch Sensitive Dance Floor[6]은 Force Sensing Register 를 일정 간격으로 배치하여 위치와 속도를 알아내어 이를 미디제어에 사용한다. 이들 시스템은 사용자에게 좀 더 편한 연주 환경을 만들어 주기 위해 고안되었다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 Piezoelectric 센서와 비슷한 목적을 가진 Smart Floor 의 한 종류로써 압력 센서를 바닥에 일정 간격으로 설치하여 사용자가 이를 밟았을 때 압력 센서로부터 출력되는 신호를 분석하여 사용자의 위치 및 밟은 시간을 알아낸다. 제안된 시스템은 다른 시스템들에 비해 구현 비용이 저렴하다. 개당 2 천원인 ON/OFF 스위치 144 개를 사용하여 1m\*4m 의 영역을 포함하며 센서를 착용하지 않아도 얻을 수 있는 사용자의 발걸음 정보만을 가지고 음악을 연주한다. 그리고 미디 인터페이스를 통하여 악기 하나 하나를 제어하도록 하지 않고 사용자가 좀 더 쉽게 사용할 수 있도록 사용자의 움직임 정도에 따라 세분류(빠른, 중간, 느린 템포)로 나누어진 음악 중에 한

<sup>1</sup>본 연구는 정통부/정보통신연구진흥원(IITA)의 대학기초연구 지원사업과 교육부의 BK21 사업의 지원에 의해 수행됨

곡을 연주한다.

본 논문은 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 시스템 구성으로 입력센서 및 신호처리를 소개한다. 3 장에서는 실험 결과를, 4 장에서는 제안된 시스템의 문제점과 연구방향을 설명한다.

## II. 시스템 구성

본 논문에서는 두 부분으로 나누어 시스템을 설명한다. 먼저 센서부터 시작하여 PC까지 연결되는 하드웨어의 구성 및 연결을 설명한 입력 센서 부분과, 설명된 하드웨어를 제어하는 신호처리의 순서로 설명된다.

### 1. 스마트 플로어 입력 센서

제안된 시스템에서는 입력 센서로 사용자의 몸무게와 누르는 압력까지 측정할 수 있는 로드셀 대신 간단한 ON/OFF 스위치를 사용하였다. 이 ON/OFF 스위치는 DDR 오라기에 쓰이는 센서로써 사용자가 센서를 밟았을 때, 눌림 정보만을 제공한다. 그림1은 센서의 실제 모습을 보여주며 그림2는 회로도를 나타낸다.



그림 1. ON/OFF 스위치

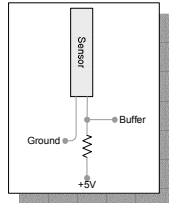


그림 2. 회로도

30cm\*30cm 크기의 바닥 셀에 4개의 ON/OFF 스위치들을 그림3과 같이 배치하고 이러한 바닥 셀을 그림4와 같이 가로 12칸, 세로 3칸 설치하여 사용자가 충분히 활동할 수 있는 영역을 확보하였다.

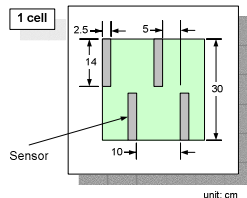


그림 3. 1 Cell내의 센서 배치도

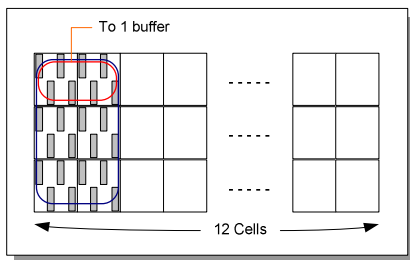


그림 4. 스마트 플로어의 영역 표시

이러한 센서 8개가 묶여 그림5와 같이 하나의 블럭을 형성한다. 즉 두개의 셀이 하나의 블럭 영역을 형성하며 이 하나의 블럭이 데이터 처리의 기본 단위(8비트)이다.

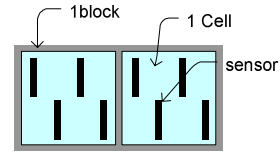


그림 5. 데이터 처리 단위

모든 블럭은 그림6과 같이 모두 6개의 50핀 케이블로 통합되며 그림7과 같이 DAQ보드에 연결된다.

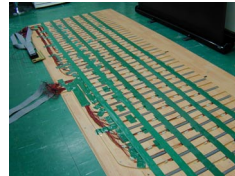


그림 6. 실제 센서 배치도



그림 7. DAQ보드 연결

DAQ 보드의 구성은 그림8과 같다. 왼쪽 상단에는 50핀 케이블 6개의 슬롯이 위치해 있으며 슬롯 사이에는 데이터의 기본 처리 단위인 8비트를 저장하기 위한 버퍼가 3개씩 위치해 있다. 이들 버퍼로부터 저장된 데이터는 80C196KC 마이크로 프로세서로 전달되어 지며 마이크로 프로세서는 입력 받은 데이터를 RS-232C를 통해 PC로 전송한다. 전송속도는 19.6k bps이기 때문에 기본적인 데이터들을 전송하는데 전혀 문제가 없으며 데이터를 초당 최대 120번까지 읽을 수 있다.

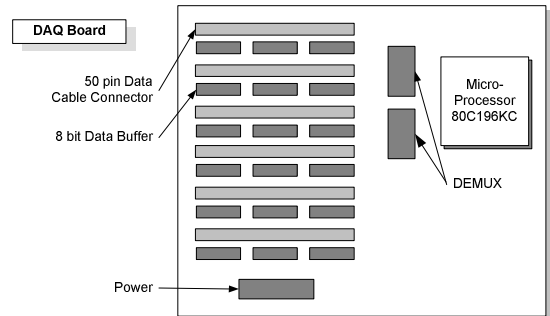


그림 8. DAQ 보드 구성도

### 2. 스마트 플로어 신호 처리

먼저 DAQ보드에 위치한 마이크로 프로세서는 각각의 센서로부터 값을 읽어들이고 데이터 값이 있으면 이를 RS-232C 포트를 통해 호스트 PC에 전송한다. 모든 센서들(144개)로부터 동시에 데이터를 읽어 올 수 없으므로, 80C196KC 마이크로 프로세서가 블럭단위로 연결된 버퍼에 Enable 신호를 입력하여 버퍼 단위(8비트)로 데이터를 읽어온다. 즉, 모두 3\*12 셀 = 36 셀 = 18 블럭은 18개의 버퍼에 연결되며 마이크로 컨트롤러로부터 각각의 버퍼마다 Enable 신호를 폴링 방식으로 입력을 준다. Enabled된 버퍼는 센서로부터 받아들인 데이터를 공통 데이터 버스에 실어 보내고 이는 마이크로 프로세서로 연결된다. 이렇게 모든 버퍼의 데이터를 다 읽은 후, 입력된 데이터가 있으면 마이크로 프로세서는 이를 PC로 전송하고 입력된 데이터가 없으면 앞의 작업(18개의 버퍼의 정보를 읽어오기)을 반복한다. 그림9는 DAQ의 개념도를 보여준다.

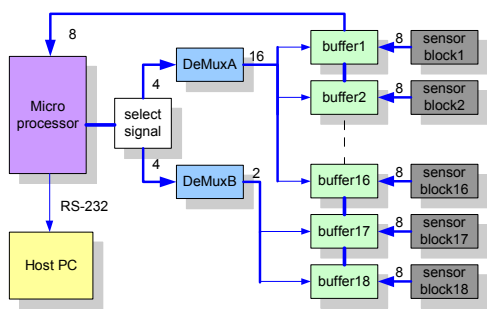


그림 9. DAQ의 신호 및 정보 흐름도

이때 마이크로 프로세서와 PC간 통신할때의 데이터 형태는 그림10과 같이 먼저 자료 전송의 시작을 알리기 위해 '0'을 전송하고 자료 전송의 끝을 알리기 위해 '00'을 전송한다. 시작과 끝 사이에는 데이터를 포함한 블록의 번호와 해당하는 블록의 원시 데이터가 포함된다.

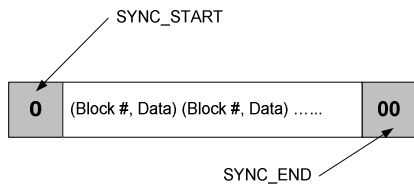


그림 10. 전송 자료 구조

PC에서는 얻은 데이터를 통해 사용자 발걸음의 위치를 알아낸다. 이것은 앞/뒤 발걸음의 예측 가능한 패턴을 분류하여 정확한 사용자 발걸음의 위치를 계산해 낸다. 그림 11은 앞 발걸음 패턴의 일부를 보여준다. 사용자가 동시에 하나 이상의 센서를 밟을 때, PC로 전송되는 데이터 값은 센서간 눌러지는 시간차를 인식하기 때문에 눌러지는 센서의 누적 시간에 threshold 값을 주어 그 값 이상일 때에만 사용자 고정 발걸음으로 인식한다. 센서가 눌러지는 시간과 발걸음의 거리 정보를 가지고 사용자의 보폭과 걸음걸이 속도 정보를 계산해 낸다.

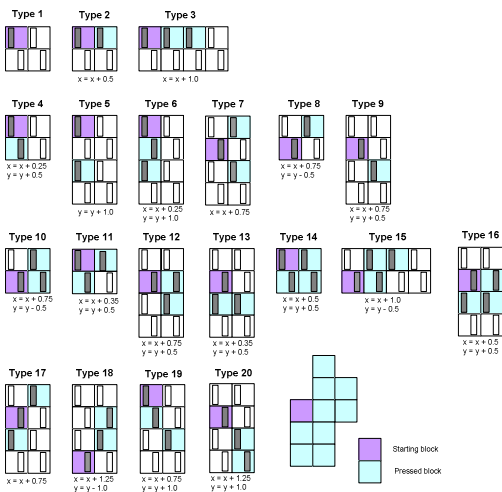


그림 11. 발걸음 패턴 분석 및 좌표 계산

앞에서 계산한 발걸음 위치와 속도 정보를 이용하여 사용자의 발걸음의 빠르기와 보폭에 따라 음악의 빠르기가 결정되며, 연주되는 음악을 멈추기 위해 특별한 영역을 두어 사용자가 그곳으로 이동하면 음악이 멈춘다. 기존의 시스템들은 미디 인터페이스를 이용한 악기의 음정과 빠르기의 제어를 제공하여 일반인이 자연스러운 음악을 연주하기가 쉽지 않았다. 본 시스템은 기존에 녹음된 곡을 이용하여 사용자의 발걸음에 따라 3 단계(빠른, 보통, 느린 템포)로 나누어 빠르기에 해당하는 곡을 연주하여 준다. 시스템 클락을 기준으로 하여 느린 걸음은 1800 이상, 중간 걸음은 1800 이하 600 이상, 빠른 걸음은 그 이하로 threshold 값을 설정한다.

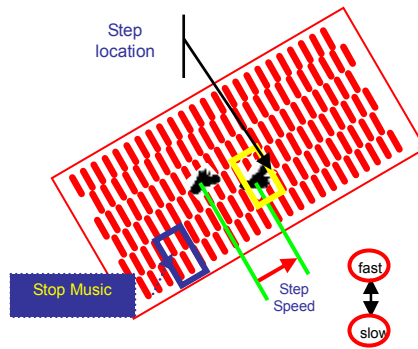


그림 12. 스마트 플로어의 연주

### III. 실험 결과

본 시스템에서 특별히 간단한 ON/OFF 센서를 사용한 목적은 구현비용의 절감 때문이다. 센서가 민감할수록 사용자 발동작의 더 정확한 자료를 얻어 낼수 있지만 이에 따른 가격을 상대적으로 고려해야 하기 때문에, 값싸게 구할 수 있는 ON/OFF 스위치를 사용하여 구현하였다. 표1은 스마트 플로어에 쓰일 수 있는 센서들의 간략한 비교를 나타내었다.

표 1. 스마트 플로어에 쓰이는 센서들의 비교

	Load Cell	Piezoelectric wires	ON/OFF Switches
Raw Data	GRF (Ground Reaction Force) and weight	Position Stepping time velocity	Position Stepping time velocity
Sampling Rate	More than 300 times / second	60 times / second	120 times / second
Cost	High	High	Low

기존의 시스템들은 음악을 연주하기 위해서는 시스템에 적응된 실험자를 필요로 한다. 즉 사용자의 어떤 몸동작이 어떻게 음을 제어 하는지 알아야 그리고 충분한 연습을 거쳐야 음악 다운 음악을 연주 할수 있다. 표 2는 여러 음악 연주 시스템들간의 간략한 비교를 나타낸 도표이다.

표 2. 주요 음악 연주 시스템들의 비교

시스템	개발자	센서	데이터
Midi Dancer System	Troika Ranch Co.	Piezo sensor	Flexion/position of each joint
Miburi Performance System	야마하	Flex sensors Hand grip Pressure sensors in shoes	Thumb/finger/arm joints movement Heel/toe pressure
Expressive Footwear	MIT	Piezoelectric pads Tilt sensor Gyro	Toe, heel pressure Pitch coordinate Roll angle Compass
Magic Carpet	MIT	Piezoelectric wires Doppler radar motion sensor	상체/하체의 위치 발의 위치 및 속도
Touch Sensitive Dance Floor	Univ. of Texas	압력감지 센서	발의 위치/속도
I-cubed Tangible Music System	ATR	비디오 카메라	발의 위치/속도
MPSF	K-JIST	ON/OFF switch	발의 위치/속도

본 시스템은 사용자의 발걸음 정보를 가지고 종류에 맞는 음악을 연주한다. 이때 쓰이는 정보는 발걸음 폭, 발걸음이 지면에 닿아 있는 시간이 있다. 이 값들에 따라 빠른 음악, 중간 음악, 느린 음악, 이렇게 3 종류로 나누어 각 종류에 해당하는 음악(미리 녹음된)을 연주한다. 그리고 특정 영역을 두어 사용자가 그곳으로 이동하면 음악의 제어(멈춤)를 가능하게 하였다.

그림 13 은 발걸음이 지면에 닿아 있는 시간을 나타낸 그래프로써 (x, y) 좌표에 위치한 센서의 눌린 시간을 막대그래프로 나타내었다. 나타낸 그림은 느린 발걸음의 예이며 그래프에서 보듯이 대부분의 발걸음이 지면에 닿아 있는 시간이 1800msec 을 넘는다.

그림 13. 발걸음별 지면에 닿은 시간

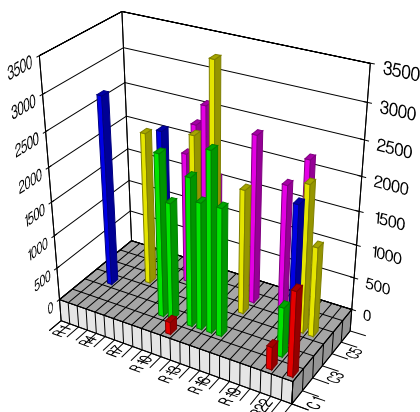


표3은 음악을 선택하기 위한 데이터의 분류 기준을 나타낸 도표이다. 실험으로부터 한발이 지면과 닿아

있는 시간으로부터 사용자의 발걸음을 3종류로 분류해 낼수 있는 주된 특징임을 알수 있으며 두발이 동시에 닿아 있는 시간은 느린 음악일 때 빈번히 발생하였으며 빠른 음악일 경우에는 거의 발생하지 않았다. 그리고 사용자의 보폭은 평균적으로 중간 음악이 제일 수치가 크고, 느린 음악, 빠른 음악 순이다. 이것은 빠른, 중간, 느린 음악의 순으로 걸음걸이 속도가 빠르다는 것을 의미한다.

표 3. 실험 결과 정리

	한발이 닿아 있는 시간	두발이 동시에 닿아 있는 시간	보폭
빠른 음악	$t < 600$	$t < 100$	$d \approx 21$
중간 음악	$600 < t < 1800$	$t < 300$	$d \approx 30$
느린 음악	$t > 1800$	$t < 600$	$d \approx 26$

(t: millisecond, d: cm)

#### IV. 결론

본 논문에서는 바닥에 압력 센서를 부착하여 사용자의 발걸음 정보를 알아내는 스마트 플로어의 응용 어플리케이션 중의 하나인 Music System 을 제안하였다. 현재는 스마트 플로어를 사용하여 얻을수 있는 사용자의 발걸음 정보를 가지고 춤의 스텝 정보를 계산하려 하지만, 추후 연구 과제로 팔동작이나 몸의 방향 등 상체의 정보를 얻을 수 있으면 이를 통해 더 구체적인 춤동작을 분류해 낼 수 있다. 이러한 상체의 움직임은 비전이나 Doppler motion detection radar 를 통해 얻어낼 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] Midi Dancer System, Troika Ranch (www.troikaranch.org), 1993.
- [2] MIBURI MIDI System, Yamaha (www.yamaha.co.jp/news/96041001.html), 1996.
- [3] Paradiso, Joseph, and Eric Hu. "Expressive Footwear for Computer-Augmented Dance Performance." In Proceedings of the 1997 International Symposium on Wearable Computers. IEEE, Piscataway, NJ, USA.
- [4] W. Woo, N. Kim, K. Wong, E. deLuna, ATR I-cubed Media System (AIMS), SIGGRAPH, 2001.
- [5] Paradiso, Joseph, Craig Abler, Kai-yuh Hsiao, and Matthew Reynolds. "The Magic Carpet: Physical Sensing for Immersive Environments." In Late-Breaking/Short Demonstrations of CHI'97, pp.277-278. ACM, USA.
- [6] Pinkston, Kerkhoff, McQuilken, "The U.T. Touch-Sensitive Dance Floor and MIDI Controller"