

촉감향상을 위한 진동모터의 진동패턴 설계방법론 구축에 대한 연구[§]

김성민^{*†} · 이수홍^{*}

* 연세대학교 기계공학과

Vibration Pattern Design Method for Improving Tactile Sensibility

Sungmin Kim^{*†} and Soo-Hong Lee^{**}

* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

(Received June 25, 2012 ; Revised December 30, 2012 ; Accepted December 30, 2012)

Key Words: Tactile Sensibility(촉감 감성), Haptics(햅틱), Vibro-Tactile Display(진동촉감제시), Vibration Pattern Design(진동패턴설계), Sensitivity Evaluation(감성 평가)

초록: 본 연구에서는 진동모터의 진동패턴을 설계하고 평가하는 시스템을 제안하여 촉감을 통해 더욱 풍부한 정보를 습득할 수 있는 방법을 제안하였다. 시스템은 진동패턴을 설계하고 평가할 수 있는 컴퓨터 프로그램과 진동패턴을 촉감으로 확인할 수 있는 진동촉감 제시장치로 구성된다. 프로그램에서는 설계자가 진동패턴을 직관적으로 설계할 수 있는 시각적 설계도구와 재생기능을 제공하며 설계된 진동패턴의 재생을 통해 평가자가 진동패턴이 어떠한 기능을 나타내고 있는지 선택할 수 있는 평가기능을 제공한다. 진동촉감제시장치는 프로그램으로부터 전송된 진동패턴 정보를 진동모터로 구동시켜 설계결과를 실제 촉감으로 확인할 수 있는 기능을 제공한다. 개발한 시스템을 통해 스마트폰과 자동차 오디오에서 대표적으로 사용되는 기능들에 대한 진동패턴 설계 및 평가를 진행하여 평가정보가 설계에 피드백 되는 방법과 높은 평가채택률을 획득한 진동패턴들을 분석하여 진동패턴 설계 지침을 제시하였다.

Abstract: As haptic devices become increasingly important in various product fields, it becomes essential to design effective vibration patterns for better tactile sensitivities. Despite this trend, standardization in the design of vibration patterns has not been well established, which causes developers to neglect the effects of haptics while programming or developing products. To provide better tactile sensitivity, the present study introduces a vibration pattern design system and proposes guidelines for designing vibration patterns. This system consists of two modules: (1) a graphical pattern design and evaluation program and (2) a vibro-tactile display device for prototyping the designed vibration patterns.

1. 서론

1.1 진동패턴 설계방법 구축의 배경

촉감은 다른 감각들과는 달리 초당 500회의 빠른 자극을 구별할 수 있는 능력을 가지고 있으며,⁽¹⁾ 촉감의 직관적인 Force Feedback을 사용하여 민감한 작업들을 감각적으로 수행하거나⁽²⁾ 촉감 발생장치의 주파수 대역에 따라 감성적인 느낌을 얻을 수도 있다.⁽³⁾

하지만 촉감을 통해서만 시각, 청각과 달리 복

잡한 정보를 보다 정확하게 제공하기가 어려운 문제 때문에,⁽⁴⁾ 최근 몇 년 사이에 진동모터가 내장된 스마트폰이 급속하게 인간의 생활 속으로 파고들고 있음에도 불구하고 진동모터를 통한 촉감의 목적은 단순히 ‘알림’에만 머물러 있는 실정이다.

진동모터의 패턴을 통해 복잡한 언어적 정보를 전달하기는 어렵더라도 특정 상황하에서 정보를 전달하는 연구들은 꾸준히 진행되고 있다. 김현호 등⁽⁵⁾의 연구에서는 운전 중에 발생하는 정보를 촉감으로 전달할 수 있도록 진동모터를 5x5 형태로 배열하여 방향 혹은 알파벳 문자를 진동을 통해 운전자의 발로 전달하는 연구를 수행하였다.

§ 이 논문은 2012년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2012. 6. 26-27., 대전컨벤션센터) 발표논문임

† Corresponding Author, rodney@yonsei.ac.kr

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

이와 같이 복잡한 언어적 정보를 촉감으로 제공하기는 힘들더라도 촉감으로 전달되는 정보들을 분별할 수 있다면 인간의 인지적인 처리를 거치지 않더라도 더욱 풍부한 정보를 습득할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 이를 위해 제품 혹은 Application Program 개발 시 기능별 진동패턴을 설계하고 사용자 평가를 통해 설계 최적화를 할 수 있는 시스템을 개발하고 효과적인 진동패턴 설계를 위한 지침을 제시하고자 한다.

2. 진동패턴 설계시스템 개발

2.1 설계프로세스의 정의

진동패턴을 설계하고 검증, 평가하는 과정을 설계시스템에서 진행할 수 있도록 하기 위해서 설계프로세스를 Fig. 1과 같이 정의하였고, 저장소로서 데이터베이스가 설계프로세스와 연동되는 단계도 함께 정의하였다.

특정 기능에 대해 다양한 진동패턴 설계를 수행하고 평가를 통해 최적의 진동패턴을 평가자들이 선택할 수 있도록 하기 위해 설계패턴을 생성할 때 대주제(e.g., 자동차오디오)와 세부 기능을 설계패턴의 기본속성으로 입력받도록 하였다. 입력된 정보는 시스템에서 자동으로 범주화하여 패턴을 평가할 때 해당 진동패턴이 소속되는 대주제의 다른 기능들을 함께 나열하도록 하여 평가자가 가장 일치하는 기능을 선택할 수 있도록 하였다. 설계 후에는 진동패턴 재생장치를 사용하여 직접 설계결과를 실제 촉감으로 확인할 수 있도록 하여 실시간으로 설계 최적화가 가능하도록 하였다.

2.2 설계시스템 요소정의

앞서 정의한 설계프로세스가 적용될 수 있는 시스템을 구축하기 위해서 설계시스템의 요소와 상관관계를 정의하였다. Fig. 2와 같이 설계 모듈을 통해 진동패턴을 설계한 후, 설계데이터를 평가모듈과 진동촉감제시장치에 전송하게 된다. 평가모듈에서는 전송받은 진동패턴 설계가 속하는 Category내의 다른 설계데이터의 명칭들을 모두 나열하고, 평가자로 하여금 전송된 진동패턴을 진동촉감제시장치를 통해 확인하도록 한다. 확인 후 나열된 설계명칭들 중에서 가장 관련이 있다고 판단되는 설계를 선택하도록 하고, 평가결과

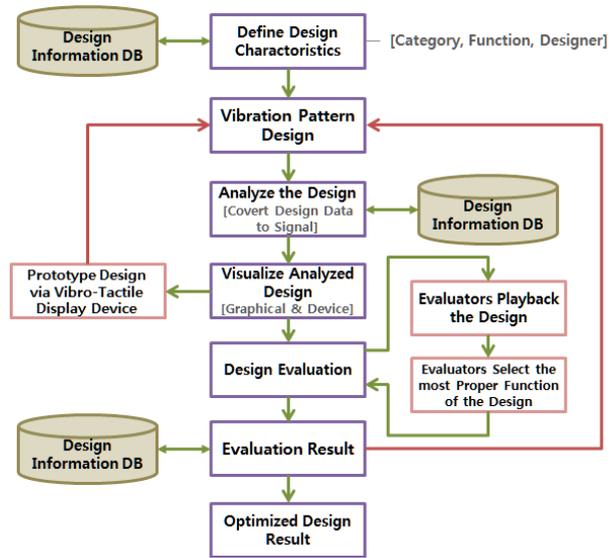


Fig. 1 Vibration pattern designing process

(전체 평가횟수에서 일치하는 설계를 선택한 횟수를 나눈 값)를 설계모듈에 반환하게 된다. 진동 촉감제시장치를 통해서도 설계자가 진동촉감을 체감하고 설계최적화를 진행할 수 있다. 또한 각 모듈들에서 발생하는 데이터는 데이터베이스에 저장하고 다시 불러올 수 있도록 구조를 정의하였다.

설계자는 정의된 모듈들 간의 상관관계에 따라 2가지 방법으로 설계를 진행할 수 있다. 진동패턴 설계 후 직접 촉감으로 확인하며 설계를 개선하거나, 평가모듈에서 제공되는 평가결과를 확인하며 설계를 개선할 수 있다.

2.3 데이터베이스 구축

본 시스템에서는 설계 데이터의 저장을 데이터베이스로 할 수 있도록 하여 파일로 저장함으로써 발생하는 데이터 관리의 문제를 해결하고자 하였다. 또한 시스템이 소실되어도 설계/평가 데이터를 안전하게 보관할 수 있도록 하기 위한 목적도 있다. 설계데이터(속성포함), 진동촉감제시장치 구동을 위한 신호데이터, 평가결과를 통합적으로 관리할 수 있는 데이터베이스 Table 구조는 Fig. 3과 같이 정의하였으며, Microsoft SQL Server로 데이터베이스를 구축하였다. 여러 명의 설계자가 사용할 경우에 대비하여 설계자 이름 항목을 추가하여 자신이 설계한 데이터만 조회/수정할 수 있도록 하였다. 데이터베이스 등록을 통해 설계데이터의 고유 ID 2개가 생성되는데,

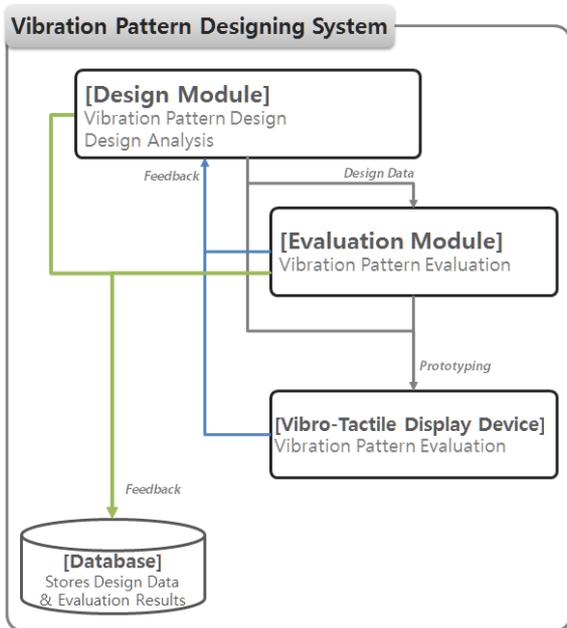


Fig. 2 Interaction between system modules

global_index는 데이터베이스 관리를 위한 ID이며 local_index는 동일한 카테고리, 기능을 속성으로 하는 설계데이터들 간의 ID이다. 이를 통해 같은 기능을 속성으로 하는 다양한 진동패턴을 설계하고 저장할 수 있다.

2.4 진동패턴 설계기능 개발

설계프로그램은 Microsoft Visual Studio(C#)를 통해 개발하였으며, Graphical User Interface를 통해 설계자가 직관적으로 진동패턴을 설계할 수 있도록 하기 위하여 2차원 평면에 Point를 생성할 수 있는 Canvas를 Fig. 4와 같이 개발하였다. Canvas에서 X축은 시간이며, Y축은 진동강도로 정의하였다. X축은 10ms 단위로 Point가 생성될 수 있도록 하였고, 3000ms까지 패턴을 설계할 수 있도록 하였다. 진동촉감 제시장치에 내장된 진동모터를 작동시키는 모터드라이버의 PWM Pulse 발생 주기는 000~999의 입력값으로 제어되는데, Canvas에서는 Y축을 10 단위로 Point가 생성될 수 있도록 하였다. 또한 설계자가 직관적으로 진동강도를 인지할 수 있도록 하기 위해 0~100의 범위를 가지고 1 단위로 Point가 생성되는 Canvas Interface를 구성하였다.

설계자는 마우스 클릭으로 Canvas에 Point를 생성할 수 있도록 하였고, 보다 정확한 설계를 위해 실시간으로 현재의 Point 좌표를 작업포시줄에

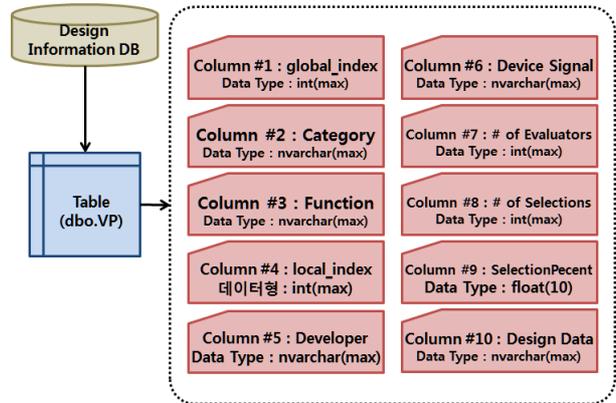


Fig. 3 Database table structure for vibration designing system

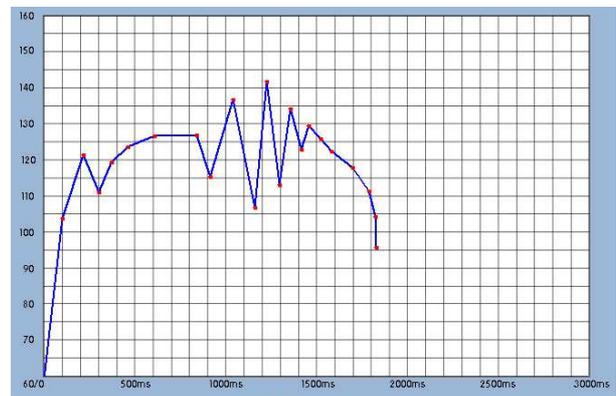


Fig. 4 Vibration pattern designing canvas

나타내도록 하였다. 동일 시간에 2개 이상의 Point가 생성되는 경우가 발생하면 시스템에서 자동으로 생성을 차단하고 경고메시지가 표시되도록 하였다. 설계 후, ‘해석 실행’ 버튼을 클릭하면 진동모터가 작동할 수 있는 신호데이터로 변환하는 작업을 수행하며, 두 Point간의 기울기를 계산하여 10ms 단위로 계산된 기울기 값을 통해 강도를 자동으로 계산하여 신호데이터로 생성한다. 생성 후에는 Canvas에 파랑색 직선으로 각 Point들을 연결시켜주어 직관적으로 설계결과를 확인할 수 있도록 하였다.

부가적으로 설계데이터를 생성하고 저장, 불러오는 기능도 함께 구현하였다. 설계데이터는 데이터베이스에 저장되기 때문에 개인별로 데이터베이스 접속 계정이 제공되도록 하였으며, 먼저 접속을 해서 개인 식별을 하여야만 설계가 진행되도록 하였다. Fig. 5와 같이 새로운 설계데이터를 생성할 때에는 기존에 설계한 데이터들의 목록을 조회할 수 있도록 하여 설계하고자 하는 기

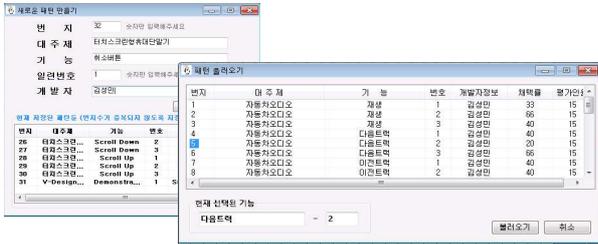


Fig. 5 Vibration pattern create/load interface

능에 대해 기존에 설계한 데이터가 얼마나 있는지 확인할 수 있도록 하였다.

2.5 진동패턴 평가기능 개발

평가 화면(Fig. 6)에서는 평가하고자 하는 진동 패턴 설계정보를 표시하지 않고, 설계된 진동패턴의 대주제에 포함된 모든 설계들의 이름을 선택 리스트에 표시하는 인터페이스를 가지도록 평가체계를 구현하였다. 평가자는 평가대상 설계의 진동패턴을 진동촉감제시장치로 확인하고 해당 진동과 가장 유사하다고 판단되는 설계이름을 리스트에서 선택하게 된다. 선택과 동시에 프로그램에서는 정확한 설계이름을 선택하였는지 확인하고 총 평가횟수에서 설계 선택횟수를 나눈 값을 백분율로 계산하여 표시하며, 데이터베이스에 실시간으로 정보를 저장한다. 저장된 백분율은 평가화면은 물론 설계화면에서도 확인할 수 있다.

2.6 진동촉감 제시장치 개발

진동촉감 제시장치(Fig. 7)는 프로그램과 RS-232C Interface를 통해 연결되며, 프로그램에서 전송되는 신호데이터를 DC모터 드라이버에서 읽어들이고, PWM(Pulse Width Modification) 신호로 변환하여 진동모터를 작동시키는 제어 메커니즘을 사용하며, 모터드라이버는 NTrex NT-DMDSC를 사용하였고 진동모터는 소형 전자기기에 사용되는 매립형 OEM 진동모터를 사용하였다. 대부분의 PC에 RS-232C 인터페이스가 없는 관계로 RS-232C - USB Converter를 장치에 내장하여 USB로 PC와 연결되도록 구성하였다.

진동촉감 제시장치는 완제품 형태의 각 구성부품(모터 드라이버, 진동모터, USB-RS232C Converter)들을 사용하여 제작되었고, 세부사양은 Table 1과 같다. 프로그램에서는 제작된 진동패턴 제시장치와의 통신을 위해 연결된 인터페이스의 포트를 정

Table 1 Specifications of Vibro-Tactile display device

Source Power	7V 500mA	
Interface	USB-RS232C Converter	
Motor Driver (NTrex NT-DMDSC)	Motor Control	PWM Control
	Voltage Range	7~19V
	Current Range	Max. 10A
	Interface	RS-232C
Motor (OEM)	Type	Encapsulated Vibration Motor
	Size	6mm(Dia.) x 25mm(L)
	Voltage	7V
	Amplitude	N/A

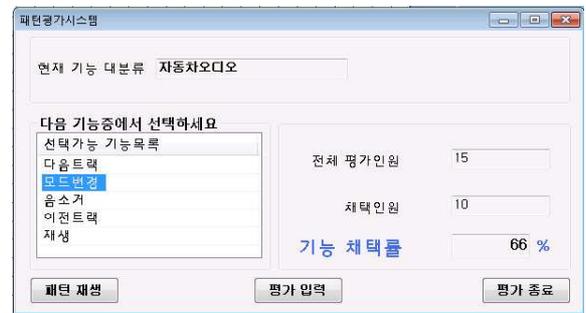


Fig. 6 Vibration pattern evaluation interface



Fig. 7 Vibro-Tactile display device

의하고 초기화 할 수 있는 알고리즘을 추가하였으며, 작동 오류가 발생하였을 때 Software Reset을 할 수 있는 기능도 함께 구현하였다.

3. 시스템 적용

3.1 진동패턴의 설계 및 평가

Fig. 8과 같이 개발된 진동패턴 설계시스템을

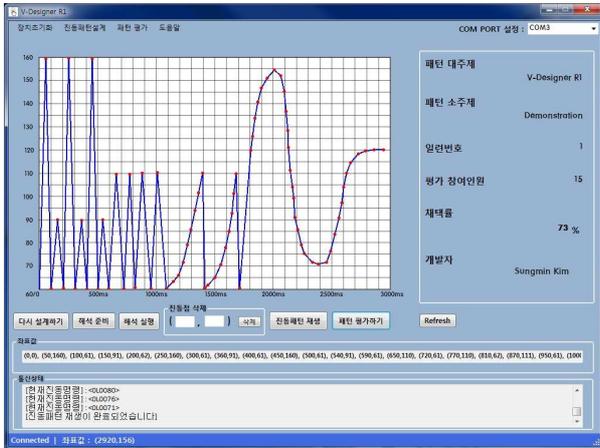


Fig. 8 Vibration pattern designing system

통해 두 가지 대주제(자동차오디오, 스마트폰)를 선정하고 각 주제별로 5가지의 기능들을 선정 후 각 기능별로 3개씩 총 30개의 진동패턴을 설계하였다.

최근들어 자동차에 다양한 IT기기들이 접목되면서 복잡한 기능을 조작할 수 있는 다양한 방법들이 소개되고 있고, BMW에서는 iDrive라는 이름의 Knob형태의 다이얼을 상용화하여 양산차량에 적용하고 있다. 자동차오디오의 진동패턴들은 BMW의 iDrive와 같은 Dial에 진동모터를 내장하여 구동되면 별도의 화면을 통한 확인 없이도 정확한 기능을 인지할 것이라 판단하고 자동차 오디오 기능들에 대한 진동패턴을 설계하였다.

설계 후에는 평가를 위해 총 15명의 평가인원을 선정하고 설계별로 1회씩 평가를 진행하였다. 설계 및 평가결과는 Table 2에 요약되어 있으며, 데이터베이스에 저장된 데이터는 Fig. 9와 같다.

3.2 평가결과의 분석

평가결과 중에서 스마트폰 대주제의 Call(2)와 Scroll Down(1), (3)은 80%의 선택률을 보였고, Confirm(1), (3)은 13%의 가장 낮은 선택률을 보였다. Call은 스마트폰에서 전화가 걸려왔을 때 슬라이드를 옆으로 밀어 통화를 시작할 때 발생하는 진동을 나타내며, Scroll Down은 화면을 아래로 내리기 위해 화면을 드래그할 때 발생하는 진동이다. Confirm은 확인버튼을 터치하였을 때 발생하는 진동이다.

높은 선택률을 보이는 설계들에서 공통적으로 도출된 설계특성은 우선 진동모터가 연속적으로

Table 2 Design and evaluation results

	Category : SmartPhone Function : Call(2) Selection Rate : 80%
	Category : SmartPhone Function : Scroll Down(1) Selection Rate : 80%
	Category : SmartPhone Function : Scroll Down(3) Selection Rate : 80%
	Category : SmartPhone Function : Confirm(1) Selection Rate : 13%
	Category : SmartPhone Function : Confirm(3) Selection Rate : 13%

번지	대주제	기능	일련번호	주제별정보	주제별정보	평가인원	선택인원	선택률	Photo	
1	1	자동차오디오	재생	1	감광범	(0.0, 110.188, 80.141, 88.106), (90...	15	5	33	(0.40), (3.21), (10.78), (16.28), (18.38), (1...
2	2	자동차오디오	재생	2	감광범	(0.0, 110.188, 80.141, 88.106), (110.871...	15	10	66	(0.40), (2.26), (8.29), (17.26), (22.37), (1...
3	3	자동차오디오	재생	3	감광범	(0.0, 110.111, 80.113, 87.115), (98...	15	6	40	(0.40), (3.18), (4.88), (8.33), (14.58), (13...
4	5	자동차오디오	다음트랙	1	감광범	(0.0, 110.78, 80.61, 89.88), (89.81, 81...	15	3	20	(0.40), (3.37), (4.38), (7.38), (10.38), (1...
5	6	자동차오디오	다음트랙	2	감광범	(0.0, 80.91, 110.62, 110.96), (190...	15	10	66	(0.40), (11.27), (20.38), (17.26), (18.38), (9...
6	7	자동차오디오	이전트랙	1	감광범	(0.0, 80.141, 110.62, 110.141), (119...	15	6	40	(0.40), (11.78, 121.38), (10.78), (10.38), (1...
7	8	자동차오디오	이전트랙	2	감광범	(0.0, 80.150, 110.62, 110.150), (120...	15	6	40	(0.40), (5.78), (11.48), (10.38), (12.38), (1...
8	9	자동차오디오	이전트랙	3	감광범	(0.0, 110.141, 100.141, 120.81), (128...	17	11	64	(0.40), (2.78), (40.78), (44.78), (19.28), (18...
9	10	자동차오디오	음소거	1	감광범	(0.0, 120.150, 170.150, 120.154), (116...	15	11	73	(0.40), (4.18), (14.21), (24.24), (22.28), (19.4...
10	13	자동차오디오	모드변경	1	감광범	(0.0, 140.150, 110.61, 140.140), (120...	15	11	73	(0.40), (3.40), (22.38), (23.58), (41.38), (4...
11	14	자동차오디오	모드변경	2	감광범	(0.0, 140.141, 110.138, 170.138), (12...	15	3	60	(0.40), (8.78), (22.85), (14.10), (14.78), (5...
12	15	자동차오디오	모드변경	3	감광범	(0.0, 80.62, 110.48, 120.148), (140...	15	6	40	(0.40), (13.38), (26.68), (83.68), (80.38), (1...
13	16	타치스쿨	물리패턴	1	감광범	(0.0, 130.71, 130.71, 130.138), (130...	15	4	26	(0.40), (6.37), (41.38), (1.18), (7.18), (19...
14	17	타치스쿨	물리패턴	2	감광범	(0.0, 80.150, 110.61, 100.150), (108...	15	4	26	(0.40), (13.48), (18.38), (61.48), (82.37), (1...
15	19	타치스쿨	확인버튼	1	감광범	(0.0, 120.67, 80.71, 110.78), (130.8...	15	2	13	(0.40), (5.78), (13.37), (22.38), (27.38), (2...
16	20	타치스쿨	확인버튼	2	감광범	(0.0, 140.121, 130.122, 121.124), (12...	16	10	62	(0.40), (8.17), (27.15), (43.14), (16.12), (1...
17	21	타치스쿨	확인버튼	3	감광범	(0.0, 120.142, 80.140, 110.138), (80...	15	2	13	(0.40), (4.78), (16.83), (14.10), (18.58), (1...
18	22	타치스쿨	뒤로버튼	1	감광범	(0.0, 80.150, 110.62, 140.151), (119...	15	7	46	(0.40), (11.18), (21.38), (23.38), (35.38), (1...
19	23	타치스쿨	뒤로버튼	2	감광범	(0.0, 80.160, 110.158), (160.156), (1...	15	10	66	(0.40), (12.2), (25.9), (12.19), (18.38), (46.62...
20	24	타치스쿨	뒤로버튼	3	감광범	(0.0, 80.151, 80.61, 110.151), (200...	15	11	73	(0.40), (11.38), (18.38), (10.37), (40.38), (1...
21	25	타치스쿨	뒤로버튼	1	감광범	(0.0, 80.160, 80.61, 110.160), (120...	15	12	80	(0.40), (11.13), (18.38), (15.3), (44.28), (18.2...
22	26	타치스쿨	Search	1	감광범	(0.0, 120.158, 140.158, 170.114), (140...	15	6	40	(0.40), (5.78), (8.31), (15.98), (28.21), (41.27...
23	27	타치스쿨	Search	2	감광범	(0.0, 140.158, 170.157, 120.158), (14...	15	12	80	(0.40), (11.13), (14.22), (23.27), (16.3), (1...
24	28	타치스쿨	Search	3	감광범	(0.0, 140.64, 160.64, 140.67), (170.6...	15	10	62	(0.40), (8.38), (18.38), (23.37), (19.367), (1...
25	29	타치스쿨	Search	1	감광범	(0.0, 80.111, 80.78, 110.68), (200...	15	4	26	(0.40), (11.38), (26.37), (16.38), (46.28), (1...
26	4	자동차오디오	다음트랙	1	감광범	(0.0, 110.111, 140.112, 170.115), (180...	15	6	40	(0.40), (4.37), (7.38), (12.38), (10.37), (1...
27	20	타치스쿨	물리패턴	2	감광범	(0.0, 80.150, 110.61, 110.150), (110...	17	11	73	(0.40), (4.37), (10.37), (10.37), (10.37), (10...

Fig. 9 Designed database table's data storing structure

동작하지 않고 작동과 멈춤을 반복하도록 설계가 이루어 졌고, 강도의 변화정도가 다른 설계들에 비해 급격하였다. 반면 낮은 채택률을 보인 설계들에서는 강도가 서로 다른 두 Point 간의 시간이 20ms 이내로 설계되었거나, 강도의 변화정도가 상대적으로 완만한 패턴특성을 가지고 있음이 확인되었다. 매우 빠른 시간에 진동강도가 변하게 됨으로서 진동모터가 진동패턴 설계정보를 재생하지 못하였거나, 평가자가 변화를 감지하지 못한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 진동을 통해 더욱 풍부한 정보를 전달할 수 있도록 하기 위해 진동모터의 패턴을 설계할 수 있는 시스템을 개발하였으며, 설계결과를 평가하고 실제 촉감으로 확인할 수 있는 모듈도 함께 개발하여 설계를 개선할 수 있도록 하였다.

개발된 시스템을 통해 특정 기능들을 설계하고 평가하는 과정을 거쳐 효과적인 진동패턴 설계를 위한 지침을 분석하였다. 직관적인 사용자 인터페이스를 통해 진동패턴을 설계하는 방법을 제공함으로써 설계자는 별도의 교육 없이도 마우스 클릭만으로 진동패턴의 설계가 가능하도록 하였다.

하지만 진동패턴 설계특성과 기능 선택률 간의 상관관계를 명확하게 제시하지 못하였고, 평가자가 어떤 감성을 느껴 해당 설계를 가장 적합하다고 선택하였는지는 밝혀내지 못하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 진동패턴의 감성특성을 평가하는 방법의 도입이 필요하며, 부가적으로는 별도의 진동촉감 제시장치를 사용하지 않고 널리 보급되어 있는 스마트폰을 진동촉감 제시장치로 사용할 수 있는 어플리케이션 프로그램의 제공 또한 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) Massie, T. H. and Salisbury, J. K., 1994, "The Phantom Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects," *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Vol. 1, pp. 295~301.
- (2) Park, J. S., 2006, "Five Senses Processing Technologies of the Future Human Interface Devices," *ETRI Report*.
- (3) Kim, S. C., Kyung, K. W., Son, J. H. and Kwon, D. S., 2007, "An Evaluation of Human Sensibility on Perceived Texture for Real Haptic Representation," *Trans. of the KIISE*, Vol. 34, No. 10, pp. 900~909.
- (4) Rebecca C. Holtby and Amedeo D'Angiulli, 2012, "The Effects of Interference on Recognition of Haptic Pictures in Blindfolded Sighted Participants: The Modality of Representation of Haptic Information," *Scandinavian Journal of Psychology*, Vol. 53, No. 2, pp. 112~118.
- (5) Kim, H. H., Seo, C. S., Ryu, J. H., Yu, S. B., Lee, S. Y., 2006, "Vibrotactile Display for Providing Driving Safety Information and Evaluation with Driving Simulator," *ITS Symposium of the KSAE*, pp. 113~118.