

운동감의 정량화를 위한 감성 공학적 기법 개발

신동윤*, 송재복*, 김용일**

* 고려대학교 기계공학과, ** KIST 정보전자연구부

Abstract

When grasping a movable object or making an object move, humans feel kinesthetic sense. Kinesthetic sense is the human sense that the human feels in response to the motion acted on the human. The objective of the paper is transforming the kinesthetic sense to quantitized data that is useful from the viewpoint of engineering. To provide various motion patterns, 2-dimensional motion generator was built using 2-axis linear motors. Active stiffness and active damping were implemented by means of current control and force feedback techniques. Based on Taguchi method, the most dominant factors to affect kinesthetic sense were investigated. Also, some functions adequate to quantize the kinesthetic sense were found.

1. 서론

1.1 연구의 배경과 필요성

사람들은 버스가 급정거할 때나 운전 중에 돌발 장애물을 만나서 급정거를 하게 되는 상황에서 불쾌감을 느끼곤 한다. 한편, 어떤 사람들은 스틸을 만끽하고자 놀이 동산에 찾아가 롤러 코스터를 타기도 한다. 이와 같이 인간은 외부에서 유발된 속도, 가속도에 반응하여 쾌, 불쾌를 느낀다. 이러한 속도, 가속도에 반응하는 인간의 감성을 과학적 방법으로 접근하여 정량화시키고, 이를 구현해 주는 시뮬레이터를 제작하여 제품 개발에 활용하고자 하는 데에 본 연구의 목적이 있다.

본 연구에서는 귀의 전정 기관에서 느끼는 몸 전체의 평형 감각 및 운동 감각은 고려의 대상에서 제외하며, 팔에 국한하여 피부 감각과 팔 근육의 위치 인지 등으로 인한 운동감을 해석 대상으로 한다. 해석의 편의성을 위하여 팔을 제외한 몸의 움직임은 없는 상태로 유지하며, 팔의 2차원 운동만을 고려하기로 한다.

1.2 운동감의 정의와 관련 변수의 분석

운동감은 사람의 속도, 가속도 및 조종되는 물체의 강성, 감쇠 등에 반응하여 내면 심리 작용에 의해 복합적으로 생성되는 인간의 감성이라고 정의할 수 있다. 사람이 조종기를 통하여 물체를 운동시키거나 움직이는 물체 속에 탑승하고 있다고 할 때, 느낌을 표현하는 감성 어휘를 분석함으로써 운동감과 관련이 있는 변수를 대략 짐작할 수 있다. 예컨대, "active 하다", "민첩하다", "팔팔하다", "sporty 하다", "날렵하다" 등은 모두 속도와 가속도에 관련이 있는 감성 어휘들이며, "묵직하다", "부

드럽다", "가볍게 움직인다" 등은 조종기의 강성 또는 감쇠와 관련이 있는 어휘들이다. 따라서, 운동감은 속도 및 가속도와 관련이 있다고 생각되는 정성적인 감성치로서, 본 연구에서는 운동감과 관련된 감성 어휘를 정량화하여 운동감을 기계적인 파라미터인 감쇠 및 강성과 같은 현상과 연관시켜서 해석하고자 한다.

2. 운동 구현기 및 능동 임피던스의 구현

2.1 운동 구현기의 구성

사람의 팔에 의한 운동감을 조사하기 위해서 본 연구에서는 2축의 리니어 모터로 구성되는 운동 구현기를 제작하여 사용하였다. 리니어 모터는 보통 사용되는 회전 모터와는 달리 외부에서 전기 에너지를 공급해 주면 바로 직선 운동을 수행하게 된다. 그림 1의 사진에 나타난 바와 같이 운동 구현기에는 2개의 리니어 모터가 수직으로 장착되어 있으므로, 2차원 운동(즉, x축과 y축)을 구현할 수 있다. 또한, 상단 리니어 모터의 가동부에는 사람이 손으로 잡을 수 있도록 레버가 부착되어 있으며 상단 리니어 모터의 고정부는 하단 리니어 모터의 가동부에 부착되어 있다.

한편, 리니어 모터를 구동시키기 위해서는 모터 드라이브와 제어가 필요하며, 모터와 통신하며 운동감 조사를 모니터링하기 위한 PC가 필요하게 된다. 그림 2는 전체적인 운동 구현기 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 운동 구현기에 사용되는 모터를 제어하기 위한 마이크로 프로세서로 계산 능력이 우수한 DSP(digital signal processing) 칩을 이용하였다. 이 제어기는 PC로부터 구현하고자 하는 운동의 동작 패턴에 관한 정보와 2축 리니어

모터에 부착된 엔코더(분해능 0.5 μ m)에서 나오는 위치 정보 등을 받아들여서, 위치, 속도, 가속도 정보로 변환한 다음, 필요한 제어 신호를 산출해 내는 역할을 수행한다. 여기서 DSP로는 일반적으로 많이 사용되는 TMS320C32를 사용하였다. 한편, 모터 드라이버는 산출된 제어 입력을 증폭하여 실제 모터를 구동하기에 충분한 전력을 발생시켜 주는 데 사용된다.

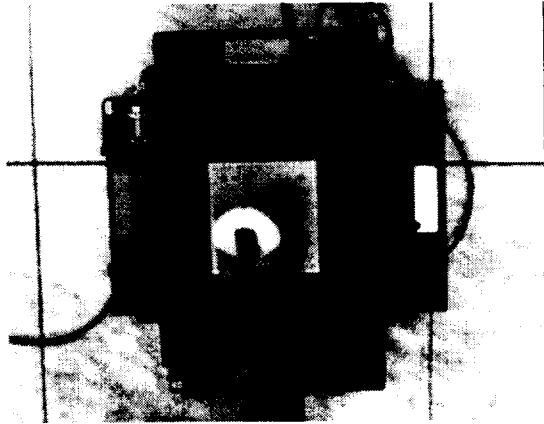


그림 1 2축 리니어 모터에 기초한 운동 구현기

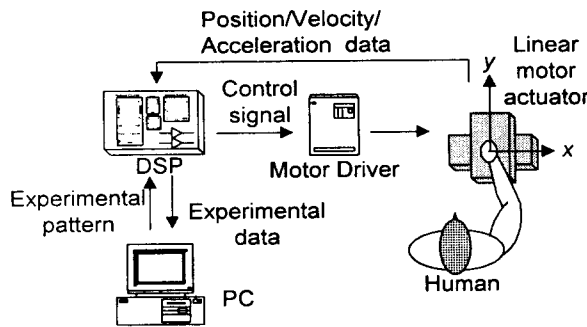


그림 2 운동 구현기의 구성도

2.2 능동 임피던스의 구현

2축 리니어 모터로 구성된 운동 구현기는 힘 피드백 제어를 이용하여 전류를 변환하여 줌으로써 원하는 능동 감쇠(active damping) 및 능동 강성(active stiffness)을 얻을 수 있다. 이를 이용하면 강성 및 감쇠 등을 원하는 대로 변화시키면서 피실험자의 감성을 측정할 수 있다. 이 때, 운동 구현기에 사용되는 리니어 모터에서의 기계적인 쿨롱 마찰과 점성 감쇠는 미세하므로 무시할 수 있다.

실제 순수한 관성, 감쇠, 강성만을 갖는 시스템은 존재하지 않는다. 그러므로 본 실험에 사용하는 운동 구현기는 능동 관성, 능동 감쇠, 능동 강성을 복합적으로 구현해야만 실제 시스템에 근사

하게 된다. 관성, 감쇠 및 강성을 갖는 실제 기계적 시스템에 피실험자가 힘을 가해서 운동을 발생시킬 경우에, 피실험자는 관성에 의한 반력, 감쇠에 의한 반력 및 강성에 의한 반력 등 3가지 반력을 복합적으로 받게 된다. Newton의 운동 제 3법칙인 “작용 및 반작용의 원리”에 의해서, 피실험자가 시스템에 어떤 힘(작용에 해당함)을 가해 주면 시스템도 크기는 동일하지만, 방향이 반대인 힘(반작용에 해당함)을 피실험자에게 가해 주게 되므로, 피실험자도 시스템으로부터 힘을 받게 되며, 이 힘을 반력(또는 반작용력)이라고 한다. 이를 운동 방정식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{\text{total}} = F_{\text{inertia}} + F_{\text{damping}} + F_{\text{stiffness}} \quad (1)$$

$$= M \cdot \ddot{x} + C \cdot \dot{x} + K \cdot x$$

한편, 어느 한 순간에 반력을 측정한다면, 이 반력이 관성, 감쇠 및 강성에 의한 반력이 어떻게 분배되어 있는지를 구분할 수 없게 된다. 그러나 관성에 의한 반력은 가속도에, 감쇠에 의한 반력은 속도에, 강성에 의한 반력은 변위에 비례한다는 관찰로부터, 이러한 시간의 변화에 따른 반력의 형태를 고찰해 보면 총 반력의 성분을 구분해 낼 수 있게 된다.

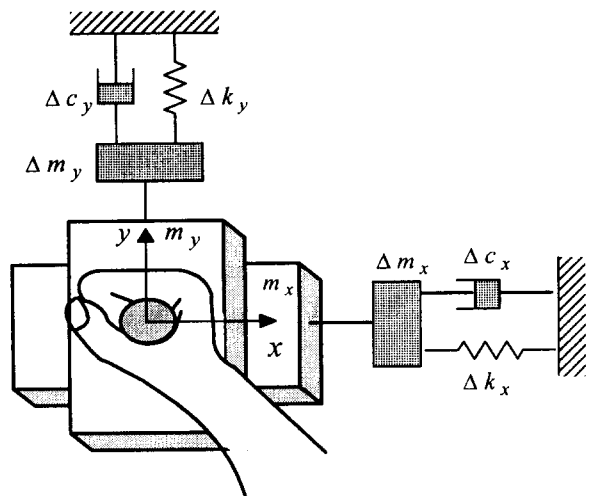


그림 3 운동 구현기의 모델링

운동 구현기에 사용되는 복합 능동 임피던스는 리니어 모터에 입력되는 전류를 제어함으로써 발생된다. 이 때, 능동 임피던스는 피실험자가 운동 구현기를 움직이는 행태에 따라 구분되어 발생되는데, 각각의 능동 관성, 능동 감쇠, 능동 강성에 의한 반력은 최종적으로 피실험자에게는 시간에

따른 힘의 형태로 나타난다. 따라서 앞에서 구한 능동 관성, 능동 감쇠, 능동 강성을 구현하기 위해서는 각각을 구현하는 데 필요한 전류 성분을 합산하여 모터에 인가하여야 한다. 즉, 능동 임피던스를 구현하기 위해서 요구되는 전류는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 i_{total} &= i_M + i_C + i_K \\
 &= -\frac{\Delta m}{K_T} \ddot{x} - \frac{\Delta c}{K_T} \dot{x} - \frac{\Delta k}{K_T} x \\
 &= -\frac{1}{K_T} (\Delta m \cdot \ddot{x} + \Delta c \cdot \dot{x} + \Delta k \cdot x)
 \end{aligned} \quad (2)$$

계산된 전류 i_{total} 는 피실험자가 운동 구현기에 가한 변위, 속도, 가속도에 의한 성분으로 구성된다.

3. 감성 공학 기법을 이용한 실험의 설계

인간의 감성은 애매하고 비선형적인 특성을 가지고 있기 때문에 정량화에 어려움이 따른다. 인간이 내리는 결정 자체의 모호성과 복잡성을 특징으로 갖는 감성으로부터 객관적이며, 보편성, 일의성, 재현성을 갖는 공학적으로 의미 있는 데이터로 만드는 것이 감성 공학의 핵심 사항이라고 할 수 있다. 따라서 정성화되어 있는 인간의 감성을 어떻게 적절한 어휘로 나타내며, 또한 언어로 표현된 감성을 어떻게 구체적인 수치로 나타낼 수 있을 것인가 하는 것이 감성 공학의 가장 중요한 과제라고 할 수 있다.

3.1 정량화를 위한 방법과 절차

수치화를 위하여 요인 분석을 수행하게 된다. 자세한 절차와 방법은 다음과 같다.

가) 조사 목표의 선정 (0 차 감성)

운동감이라는 인간의 감성은 다양한 외부 환경에 대하여 내면의 심리적인 복잡한 과정을 통하여 느껴지는 것이나, 본 연구에서는 외부에서 가해지는 속도, 가속도, 강성, 감쇠만을 고려하기로 한다. 인간 내면에서의 생리적 반응은 관심의 대상이 아니며, 단지 언어로 표현된 어휘들과 외부 가속도와 상관 관계를 밝혀서 운동감을 정량화하고자 한다. 즉, 운동감의 해석 범위를 한정하여 해석의 편의성과 경제성을 도모하면서도 신뢰성 있는 자료를 얻고자 하는 것이다. 우선 목표 감성(조사 대상이 되는 운동감)을 0 차 감성이라고 정의한다.

나) 제 1 차 감성 어휘의 추출

운동감을 표현한다고 생각되는 어휘를 가능한 많이 확보한다. 1 차 감성 어휘는 운동감과 관련이 있는 어휘들을 찾기 위한 예비 후보로서 임의로 선정되는데, 이들 어휘의 확보 방안은 다음과 같다.

- i) 어휘 사전을 통하여 운동 및 움직임과 관련되는 형용사와 동사를 조사한다.
- ii) 자동차, 조이스틱을 이용한 장난감 등의 카달로그에서 운동감과 관련이 있다고 생각되는 어휘를 추출한다.
- iii) 놀이 기구를 이용자나 오락실에서 3D 가상 현실 시뮬레이터 이용자에게 감상을 인터뷰하여 일상어나 비속어, 통상어를 추출한다.

운동감을 표현하는 어휘의 예로는 다음과 같은 단어를 들 수 있다.

활발하다, 탄력적이다, 강렬하다, 조작성이 좋다, 완만하다, 묵직하다, 팔팔하다, 거침없다, 다소곳하다, 답답하다, active 하다, sporty 하다, 아찔하다, 산뜻하다, 유동감이 있다, 싫증이 난다, 열정적이다, 변화가 있다, ……

다) 제 1 차 SD (Semantic Differential) 척도의 구성

Osgood 에 의하여 개발된 심리학적 측정 방식으로 언어쌍의 의미 구조를 밝히는 데 유용하게 사용될 수 있다. SD 법(Semantic Differential: 의미 구별법)으로 “활발하다 - 활발하지 못하다”라든가, “좋다 - 나쁘다” 등의 반대어를 준비하여 인간이 가지는 이미지를 조사하고, 요인 분석으로 데이터를 분석한다.

라) 평가 실험

운동감의 대어(對語)가 준비되면 실험이 시작된다. 제 1 차 평가 실험은 뒤에서 언급하는 본 실험(제 2 차 평가 실험)을 위한 운동감 어휘를 선정하기 위하여 실시하는 실험이며, 본 실험과 같은 실험 장치로서 수행한다.

마) 감성 어휘의 요인 분석

요인 분석은 다변량 분석 방법의 하나로서 운동감 어휘들 간의 상관 관계를 이용하여 어휘들끼리 서로 독립적인 몇 개의 요인으로 묶어 줌으로써 어휘들 간에 존재하는 상호 독립적인 차원을 파악하는 것으로 주로 심리학 분야에서 발전되어 온 기법이며, 모델의 검증, 데이터 구조의 기술 등의 목적으로 사용하고 있다. 제 1 차 평가 실험은 본 실험을 위한 운동감 어휘의 선정이 주 목적이며,

본 연구에서는 100 개의 어휘를 선정하여 실험을 수행하였다.

바) 제 2 차 감성 어휘의 추출

2 차 SD 평가에 활용할 운동감 어휘를 추출하여야 한다. 이 때, 1 차의 요인 분석에 의해 만족스러운 어휘가 적절하게 추출되면 1 차 분석으로 완료할 수 있으나, 그렇지 못한 경우는 2, 3 차에 걸쳐 축차적인 요인 분석을 실시할 필요가 있다. 본 연구에서는 2 차 실험을 통하여 감쇠를 표현하는 감성 어휘로는 "묵직하다", 강성 어휘로는 "가볍다"를 선정하여 운동감을 정량화하였다.

사) 제 2 차 SD 척도의 구성

선정된 감성 어휘와 선정된 운동감 어휘의 반대어를 1 차의 SD 척도 구성과는 달리 본 어휘의 반대 개념과는 다른 개념이 도입되는 것을 방지하기 위하여 "좋다 - 좋지 않다", "묵직하다 - 묵직하지 않다" 등과 같이 구성하며 패널을 고려할 수 있도록 평가지에 성별과 나이를 기록하도록 한다. 어휘의 구성은 의미의 차등을 두어 구성하며 그 예제는 다음과 같다.

활발하다 □□□□ 활발하지 않다.
탄력적이다 □□□□ 탄력적이지 않다.

예를 들어, "가장 활발하다"라고 느끼는 정도를 100 점으로 표현하도록 하고, 피실험자가 느끼는 운동감을 적절한 수치로 표현하도록 하였다.

아) 제 2 차 평가 실험

가장 중요한 실험으로 순서 효과를 없애기 위하여는 랜덤하게 나열된 운동감 어휘 조사표를 사용하여 조사하는 방법이 있으며, 되도록 많은 인원수를 확보하여 자료의 신뢰성을 높인다.

자) 통계 해석

여러 소프트웨어 패키지를 이용하여 통계 해석을 수행하여 감쇠, 강성 등과 SD 분석 기법으로 표현된 운동감의 함수값을 그래프상에 표현하고 함수를 추정한다.

이상의 절차를 흐름도로 표시하면 그림 4(참고 문헌 다음에 위치함)와 같다.

4. 운동감의 정량화

4.1 다구찌 방법을 이용한 지배 변수의 추출

다구찌 방법은 80 년대에 일본에서 개발된 실험

계획법으로서, 이 방법을 이용하여 실험을 계획하면 단 몇 번의 실험으로도 운동감에 지배적인 변수를 찾아낼 수 있다. 즉, 다구찌 방법은 실험의 횟수를 줄일 수 있게 하고, 지배적인 파라미터를 찾는 체계적인 방법을 제공하고 있다는 점에 그 가치가 있다. 예를 들어, 4 개의 변수를 선정하여 실험을 수행한다고 가정해 보자. 이 때, 변수의 모든 조합을 생각하면 16 번의 실험을 반복하여야만 변수가 운동감에 미치는 영향을 파악할 수 있지만, 다구찌 방법을 사용하면 단지 8 번의 실험으로도 이러한 영향을 파악할 수 있다.

그림 5 는 다구찌 방법을 설명하는 직교 좌표축인데, 이 표에서 보면 열(column)에 대하여 각 변수의 균형이 이루어져 있다. 즉, B 의 영향은 A 가 하한값을 가질 때 (y_1, y_2, y_3, y_4)와 A 가 상한값을 가질 때 (y_5, y_6, y_7, y_8)에 대하여 동일하다. 따라서 A 의 영향을 알기 위해서는 A 가 하한일 때의 합 ($y_1+y_2+y_3+y_4$)과 A 가 상한일 때의 합 ($y_5+y_6+y_7+y_8$)을 구하면 균형을 이루고 있는 B, C, D 의 영향은 무시되고, A 만의 영향을 파악할 수 있다.

변수	1	2	3	4	5	6	7
	A	B	C		D		
y_1	1	1	1	1	1	1	1
y_2	1	1	1	2	2	2	2
y_3	1	2	2	1	1	2	2
y_4	1	2	2	2	2	1	1
y_5	2	1	2	1	2	1	2
y_6	2	1	2	2	1	2	1
y_7	2	2	1	1	2	2	1
y_8	2	2	1	2	1	1	2
			1*2		1*4	1*7	
			4*7		2*7		2*4

그림 5 Table L8 (2^4-1)

1: 하한(lower limit), 2: 상한(upper limit)

직교 좌표축의 또 다른 특징은 하나 또는 여러 개의 열을 사용하지 않아도 전체 배열표의 직교성은 영향을 받지 않는다. 따라서 이러한 성질을 이용하여 3, 5, 6 열은 다른 실험의 결과가 이 열에 영향을 나타내기 때문에 (이를 상호 작용이라 함) 일반적으로 사용하지 않는다.

위와 같이 직교 좌표축에 따라 실험을 수행하여 얻어진 데이터를 바탕으로 A 라는 변수가 운동감에 미치는 영향을 파악하려면 변수 A 의 하한(A_1)과 상한(A_2)을 그림 6 의 x 축에 기입하고, y 축에는 운동감의 정도를 표현한다. 이러한 방식으로 4 개

의 변수를 기입하고 기울기를 관찰하면 기울기가 가장 큰 변수가 가장 지배적인 영향을 미치는 변수가 되며, 기울기가 거의 수평인 변수는 영향을 무시할 수 있는 변수가 된다. 운동감 해석의 경우, A = 속도, B = 가속도, C = 강성, D = 감쇠라고 정의하고 위의 순서대로 실험을 수행하면, 그림 6 과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{y}_{A1} &= (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) / 4, \\ \bar{y}_{A2} &= (y_5 + y_6 + y_7 + y_8) / 4, \\ \bar{y}_{B1} &= (y_1 + y_2 + y_5 + y_7) / 4, \\ \bar{y}_{B2} &= (y_3 + y_4 + y_7 + y_8) / 4, \\ \bar{y}_{C1} &= (y_1 + y_3 + y_5 + y_7) / 4, \\ \bar{y}_{C2} &= (y_2 + y_4 + y_6 + y_8) / 4, \\ \bar{y}_{D1} &= (y_1 + y_4 + y_6 + y_7) / 4, \\ \bar{y}_{D2} &= (y_2 + y_3 + y_5 + y_8) / 4. \end{aligned}$$

속도와 가속도의 경우, 리니어 모터의 운동 가능 구간이 그다지 크지 않은 관계로 작은 구간에서만 실험을 수행하여 운동감에 미치는 영향이 실제보다는 작게 나왔다고 추측된다. 반면에, 강성과 감쇠의 경우는 피실험자가 운동 구간이 작은 경우에 큰 영향을 행사한다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 운동 구간이 작은 경우의 실험 결과를 보여 준다. 그림에서와 같이 속도, 가속도, 강성의 기울기는 감쇠의 기울기보다 작으므로, 감쇠가 가장 지배적인 파라미터라고 판단할 수 있다. 따라서 위의 결과를 바탕으로 강성과 감쇠의 영향을 감성 공학 기법을 이용하여 정량화하였다.

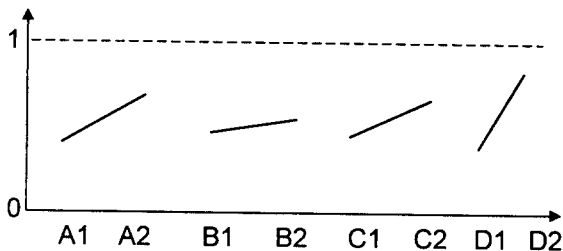


그림 6 다구찌 방법에 의한 운동감에 지배적인 변수의 선정

4.2 운동감을 나타내는 정량화 함수

4.2.1 정량화 함수의 선정

이 절에서는 강성값 및 감쇠값의 변화에 따른 운동감의 변화를 잘 묘사할 수 있는 정량화 함수를 구하는 방법에 대해서 고찰하고자 한다. 이를 위하여 다음과 같은 기준 함수를 선정하였다.

$$M(u) = [1 + (\frac{u-b}{c})^{-d}]^{-a} \quad (3)$$

여기서, $M(u)$ 는 1보다 작은 값을 가지는 함수값으로서 파라미터인 a, b, c, d 를 변화시키면 다양한 모양의 함수값을 표현할 수 있는 특징이 있다. 또한, 이 함수를 사용하여 운동감을 정량화할 때, 강성이나 감쇠가 큰 경우의 감성(예를 들어, 무겁다, 힘들다, 딱딱하다)과 강성이나 감쇠가 작은 경우의 감성(예를 들어, 가볍다, 상쾌하다, 쉽게 움직인다)을 모두 표현할 수 있는 장점을 가지고 있다.

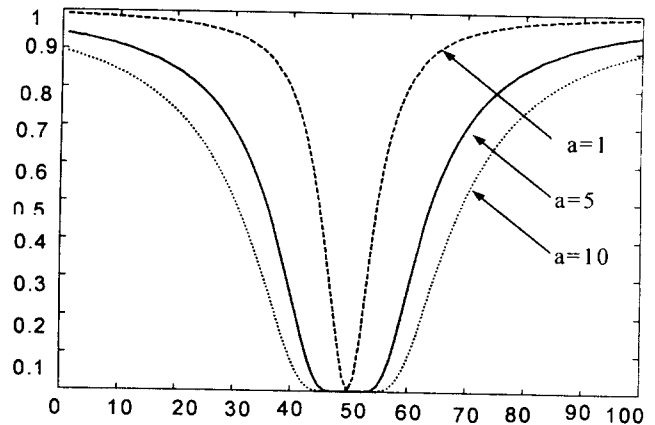


그림 7 기준 함수의 변형

이 때, $M(u)$ 는 해당 운동감이 감성 어휘와 어떤 상관 관계를 가지고 있는가를 표현하는 값이며, 1일 때 가장 높은 수준의 감성 어휘의 만족도를 갖는다. 그림 7은 $b=50, c=5, d=1$ 일 때, a 를 변화시켜 가면서 그런 다양한 선도를 나타낸다.

4.2.2 운동감의 정량화

예상대로 인간 감성의 측정은 피실험자의 개인 성향, 실험 조건, 분위기 등에 따라 많은 편차를 나타내었다. 따라서 데이터를 잘 추종하는 함수를 결정하기란 쉬운 일이 아니며, 유일한 함수가 존재하지도 않는다. 본 연구에서는 위에서 언급한 기준 함수를 사용하여 정량화를 시도하였으며, 그 결과를 그림 8 및 9에 나타내었다. y 축에 나타난 소속 함수의 의미는 해당 감성 어휘에 대한 만족도를 나타내는 것이며, 큰 편차를 보이는 것은 피실험자의 개인차에 기인하는 것이다. 예를 들어, 강성이 300N/m일 때, “가볍다”라는 감성 어휘의 만족도는 70 - 90% 정도를 기록한 데 반해, “매우 가볍다”라는 감성 어휘의 만족도는 65 - 85% 정도를 기록하였다. “가볍다”, “매우 가볍다”라는 감성

은 각각 800N/m 정도에서 만족도가 매우 낮으므로 그보다 큰 강성에 대하여는 “가볍다”라는 감성 어휘로는 정량화가 불가능하고 다른 감성 어휘(예를 들어, “무겁다”, “뻑뻑하다” 등)를 선정하여 실험을 수행하여야 함을 알 수 있다.

한편, 운동감 데이터의 함수화는 앞에서 언급한 기준 함수의 계수인 a, b, c, d 를 변화시켜 가면서 데이터를 잘 나타낼 수 있는 함수를 결정하였다. “가볍다”라는 감성 어휘로 운동감을 측정할 경우, 운동감의 함수화를 위하여 선정한 계수의 값은 약 $a=4.8, b=455, c=70, d=2$ 이다.

운동감 조사로부터 “매우”라는 의미 규칙이 첨가되었을 때의 만족도는 다른 계수의 변화가 거의 없이 지수값인 a 값만 10으로 “매우”가 없을 때보다 1.8 - 2.0 배 정도 증가한 함수로 표현이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 이는 퍼지 이론에서 언어의 의미 규칙을 다룰 때, “매우”라는 의미 규칙이 첨가되면 첨가되지 않을 때의 소속 함수에 제곱을 하여 소속 함수를 결정하는 것과 의미가 상통한다고 하겠다. 이는 퍼지 이론의 언어 의미 규칙에서 “매우”라는 의미 규칙이 삽입되었을 때, 보통의 언어의 소속 함수에다가 제곱을 하는 것과 잘 일치하는 결과이다. 퍼지 이론에서는 지수가 2 일 때를 언어 변수 A 의 concentration이라 부르며, 다음과 같이 $CON(A)$ 로 표기한다.

$$CON(A) = A^2, \quad \mu_{CON(A)}(x) = \{\mu_A(x)\}^2$$

따라서 “매우”라는 수식어를 concentration으로 보면 다음과 같은 구문 규칙을 찾을 수 있다.

$$\text{매우 목직하다} = CON(\text{목직하다}) = (\text{목직하다})^2$$

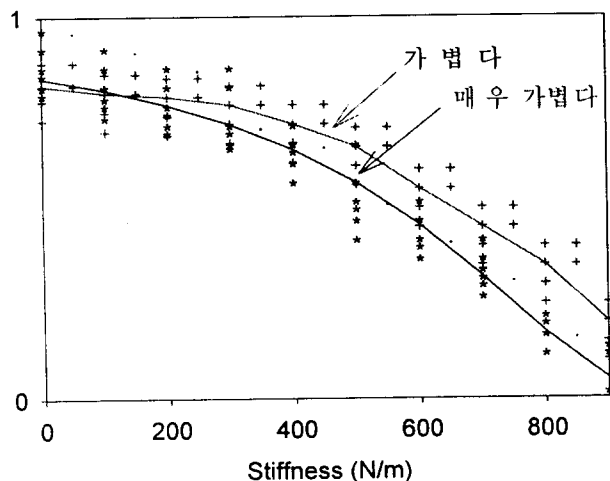


그림 8 강성의 변화에 따른 운동감의 변화

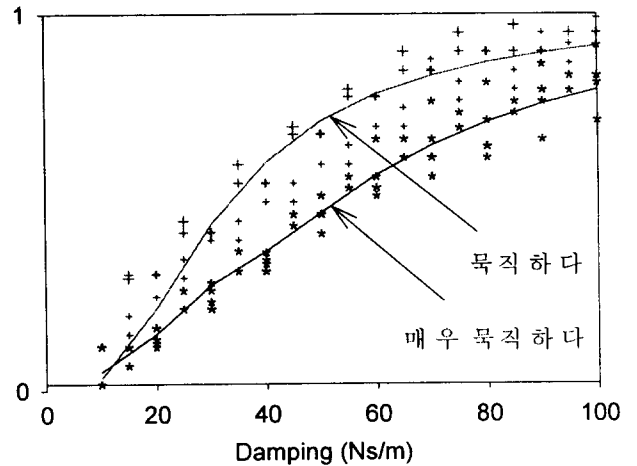


그림 9 감쇠의 변화에 따른 운동감의 변화

5. 결론

본 연구에서는 운동 구현기를 이용하여 인간의 운동감을 정량화하는 방안에 대해서 고찰하였다. 이 연구의 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 강성과 감쇠를 변화시켜 가면서 실험을 수행하여 본 결과, 강성보다는 감쇠가 운동감에 미치는 영향이 더욱 큰 것을 알 수 있었다.
2. 강성값에 대한 피실험자의 운동감은 개인에 따라 편차가 작은 데 반해서, 감쇠값에서는 보다 큰 편차를 보이고 있다.
3. “매우”라는 의미가 기존의 감성 어휘에 첨가되었을 때는 감성 어휘만을 사용하였을 때보다 소속 함수의 지수가 1.8 - 2.0 배 정도 커지는 경향을 보였다. 앞으로 “보통”, “약간”이라는 의미 규칙에 대하여도 실험을 수행하여야 할 것이다.

후기

본 연구는 감성공학기술 개발 사업의 일환으로 한국표준과학연구원의 지원하에 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] 이순요, 1996, 감성 인간 공학, 양영각.
- [2] 오영석, 채석, 1995, 퍼지 이론과 제어, 청문각.
- [3] Durlach, I, Mavor, A., 1995, Virtual Reality, National Academy Press.
- [4] Gomi, H, Koike, Y, Kawato, M, 1992, "Human

hand stiffness during discrete point-to-point multi-joint movement," *Proc. of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 1628-1629.

575-582.

- [5] Toshio, T., Kaneko, M., 1996, "Estimation and Modeling of Human Hand Impedance During Isometric Muscle Contraction" *Proc. of the ASME Dynamics Systems and Control Division ASME*, pp.

- [6] Toshio, T., Morasso, P., Goto, K., Ito, K., 1995, "Human hand impedance characteristics during maintained posture," *Biological Cybernetics*.

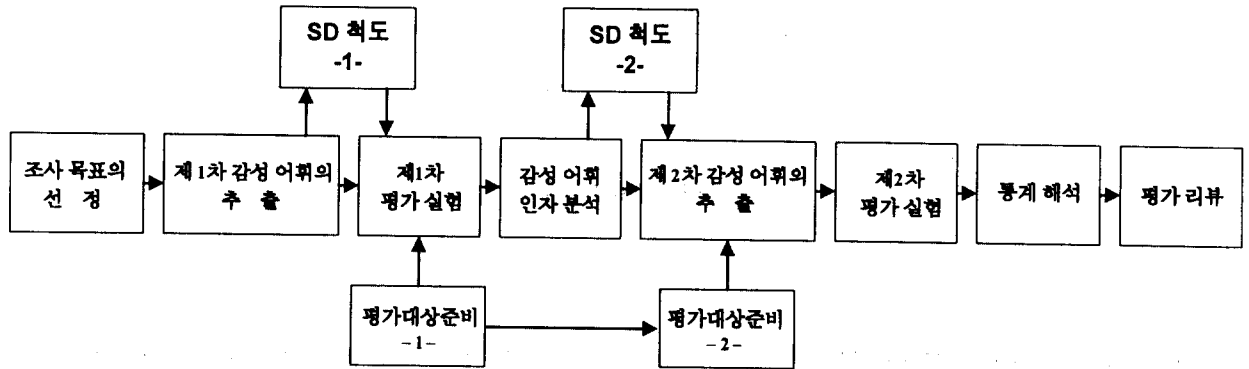


그림 4 운동감 해석을 위한 연구 계획 순서도