Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.17, No.1, 1998

운동감의 정량화를 위한 감성공학적 기법 개발에 관한 연구

A Study on Quantification of Kinesthetic Sense Using Human Sensibility Ergonomics Approach

신동윤* · 이세한* · 송재복* · 김용일**

ABSTRACT

When grasping a movable object or making an object move, humans feel kinesthetic sense. The kinesthetic sense is the human sense that the human feels in response to the motion acted on him. The objective of the paper is to transform the kinesthetic sense associated with the human arm into the quantified data that are useful from the engineering viewpoint. A 2-dimensional motion generator composed of two linear motors was developed to provide various motion patterns. It can change its stiffness and damping values on the real-time basis by properly regulating the force generated by the linear motors. Based on Taguchi method, the most dominant factors to affect the kinesthetic sense were investigated. Also, a reference function adequate to quantify the kinesthetic sense was found. Based on this function, the effects of changes in stiffness and damping on the kinesthetic sense were investigated. Various tests show that the damping is a more dominant factor than the stiffness in forming the kinesthetic sense.

* 고려대학교 기계공학과
** KIST 정보전자연구부

1. 서 론

사람들은 버스의 급정거와 같은 급작스러운 움직임에 불쾌감을 느끼기도 하지만, 한편으로는 짜릿함을 만끽하고자 놀이 동산에 찾아가 롤러 코스터를 타기도 한다. 이와 같이 인간은 외부에서 유발된 속도, 가속도에 반응하여 쾌감이나 불쾌감을 느낀다. 또한, 움직이는 물체를 손으로 잡고 있거나 손을 사용하여 물체를 움직이는 경우에, 물체가 지니고 있는 강성, 감쇠 및 질량 특성에 따라 각기 다른 감성을 경험하게 된다. 본 논문에서는 이러한 속도, 가속도 또는 강성, 감쇠 등에 반응하는 인간의 감성을 운동감(kinesthetic sense)이라는 개념으로 정의하여, 이를 연구의 대상으로 삼고자 한다.

운동감에 대한 유사한 연구는 원격 조종 로봇에 대한 연구나 손으로 조종기를 움직일 때에 대한 강성이나 감쇠에 대한 연구 등에서 찾아 볼 수 있다. 원격 조종 로봇이란 팔의 위치를 감지할 수 있는 조종기를 착용한 인간과 먼 거리에 떨어져 있는 로봇의 팔이 동일하게 움직이면서 어떤 작업을 수행하는 시스템을 말한다. 로봇이 활동하는 원격지의 물리적 환경을 인간에게 사실감 있게 전달하기 위하여 초기에는 위치 신호만이 전달 되었으나, 점차 힘의 정보까지 전달하는 방식으로 발달하였다. 로봇이 물체와 접촉하면서 받는 힘을 인간에게 전달하게 되면 보다 효과적인 현실감을 제시할 수 있기 때문에 인간에게 힘에 대한 정보를 제시하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. (Blake, H. and Steven, V., 1996) 한편, 손으로 조종기를 움직일 때에 대한 강성이나 감쇠에 대한 연구는 힘 피드백을 수행하는 조이스틱 등 실용 제품화 수준으로까지 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 이러한 연구에서는 인간을 모델링할 때 인체 역학 측면에서의 시스템으로만 인식하여 인간이 느끼게 되는 감성 측면을 고려하지 않았다. 한 예로 Toshio 등은 인간 팔의 임피던스 모델을 수립하고 이에 관한 강성과 감쇠를 구하였으나, 강성과 감쇠에 반응하는 인간의 감성을 고려하지는 않았다. (Toshio, et al., 1996) 그러나 운동감은 인간이 느끼는 감각인 동시에 감성이다. 이는 관찰을 통하여 확인할 수 있는데, 피험자에게 비행시에 창 밖에 보이는 공간상의 장면을 시각적으로 제시하고, 이와 동기화하여 피험자가 앉아 있는 의자를 약간만 움직여 주면 피험자는 실제로 날아가는 듯한 감성을 느끼며, 쾌감 또는 불쾌감 등의 감성의 변화를 일으킨다. 이와 같은 사실을 이용한 오락기기 등이 이미 제품화되어 있다. 따라서 인간이 느끼는 감성을 고려하여 운동감을 연구하는 것은 보다 효과적인 현실감을 제시할 수 있기 때문에 의미 있는 일이라 할 수 있다.

본 연구에서는 운동감의 정량화를 위해서 다변량 해석형 감성공학 기법을 이용하였다. 이 기법을 사용하면 운동감을 경험하는 피험자가 표현하는 어휘에 바탕하여 이를 공학적으로 유용한 데이터로 변환할 수 있다. 또한, 실험의 횟수를 줄이기 위하여 실험 계획법의 일종인 다구찌 방법을 이용하여 운동감에 지배적인 변수를 추출하였으며, 이에 반응하는 운동감 어휘를 조사하여 감성 공학적인 절차에 따라 운동감을 정량화하였다. 이와 같은 운동감의 분석 또는 제시를 위해서, 원하는 강성, 감쇠 및 질량 등을 임의로 구현하여 여러 형태의 운동을 체계적으로 인간에게 제시할 수 있는 운동 구현기를 제작하여 사용하였다.

한편, 본 연구에서는 피실험자가 운동감을 표현하는 운동감 어휘를 연구 대상으로 하며, 인간 내부에서 운동감을 유발하는 메커니즘은 연구 대상

에서 제외하기로 한다. 반면에, 인간이 경험하게 되는 운동감을 어떻게 정량화할 것이며, 인간에게 효과적인 운동감을 어떻게 제시할 수 있을 것인가를 연구의 대상으로 삼는다. 또한, 귀의 전정 기관에서 느끼는 몸 전체의 평형 및 운동 감각은 논의의 대상에서 제외하며, 팔의 움직임과 관련된 운동감만을 해석의 대상으로 한다. 이 때, 해석의 편의를 위하여 팔을 제외한 몸의 움직임은 없는 상태로 유지하며, 팔의 2차원 운동만을 고려하기로 한다.

본 논문의 2장에서는 운동감에 대한 정의를 내리고, 3장에서는 운동감을 피험자에게 제시하기 위하여 개발한 운동 구현기에 대해서 설명한다. 4장에서는 운동감 데이터를 정량화하기 위한 자세한 실험 절차를 설명하고, 5장에서는 운동감 실험을 수행하여 다구찌 방법을 이용한 운동감에 지배적인 변수를 추출하는 방법에 대해 논의하고자 한다. 그리고 6장에서 정량화의 구체적 방법과 결과를 제시한 다음, 7장에서 결론을 도출하고자 한다.

2. 운동감의 정의

운동감에 대한 정의를 내리기 위해 이와 유사한 어휘를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 접촉 피드백(tactile feedback)이란 손 끝이나 기타 피부 감각을 자극하는 외부 환경에 대한 인간의 반응 정보를 지칭하며, 운동감 피드백(kinesthetic feedback)은 인간 외부에서 유발된 힘이 근육이나 건(tendon)에 작용할 때 느끼게 되는 감성 정보를 일컫는다. 또한, 운동 인지 피드백(proprioceptive feedback)이란 몸의 자세에 의해서 유발되는 신경 시스템에서의 인지적 측면이 강조된 단어이다.(Grigore, 1996) 이 중에서 운동감 피드백은 인간이 느끼게 되는 여러 환경 중에서, 특히 힘이 강조된 개념이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 운동감을 외부의 힘에 반응하는 운동감 피드백으로 취급하였으며, 피부 감각이나 몸의 자세로 인한 인지적 측면과 귀의 전정 기관에서 느끼는 몸 전체의 평형 및 운동 감각은 고려하지 않았다. 그리고 몸 전체에 대한 운동감이 아니라 팔의 2차원 운동에 국한된 운동감만을 연구의 대상으로 하였다.

운동감을 외부 환경에서 인간에게 작용하는 힘에 대한 감성 정보라고 보면, 힘의 여러 형태에 따라서 서로 다른 감성이 유발된다고 볼 수 있다. 예를 들어, 속도에 비례하는 감쇠로 인한 힘과 변위에 비례하는 강성으로 인한 힘이 유발하는 운동감은 서로 다르다. 또한, 서로 다른 속도나 가속도에 따라 반응하는 운동감도 상이하게 나타난다. 이는 인간이 운동감을 표현하는 운동감 어휘를 관찰하면 알 수 있는데, 예를 들어 "active하다", "민첩하다", "팔팔하다", "sporty하다", "날렵하다" 등은 모두 속도와 가속도에 관련이 있는 감성 어휘들인 반면에, "묵직하다", "부드럽다", "가볍게 움직인다" 등은 대상 물체의 강성 또는 감쇠 특성과 관련이 있는 어휘들이다. 따라서 본 논문에서는 운동감을 강성, 감쇠 및 속도, 가속도에 따라 유발되는 힘에 반응하는 감성 정보로 이해하고자 한다.

3. 운동 구현기의 구성

팔의 운동과 연관된 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

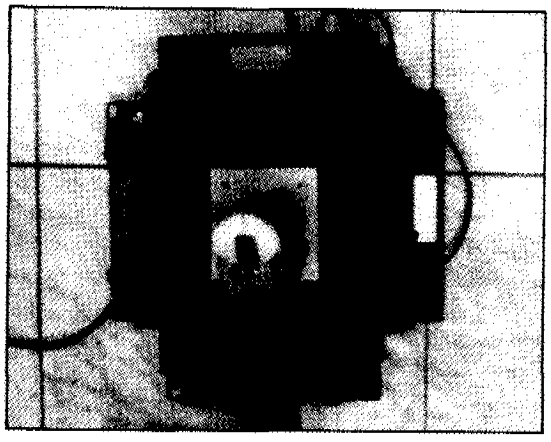

그림 1. 리니어 모터를 이용한 2차원 운동 구현기

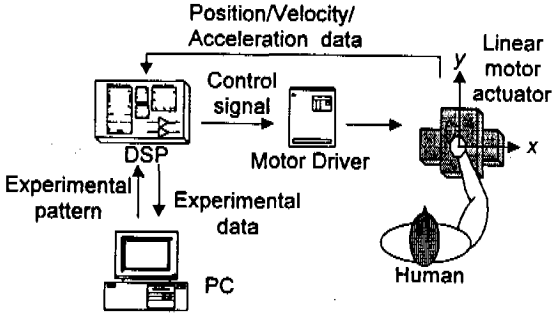

그림 2. 운동 구현기의 시스템 구성도

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 함께 움직이게 된다.

그림 2는 전체적인 운동 구현기 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 모터 드라이브와 제어기가 2축 리니어 모터를 구동하며, PC가 모터 제어기와의 통신, 운동감의 측정 및 원하는 운동 패턴 입력 등의 임무를 수행한다. 운동 구현기에 사용되는 모터를 제어하기 위한 마이크로 프로세서로는 계산 능력이 우수한 DSP(digital signal processor) 칩을 이용하였다. 이 제어기는 PC로부터 구현하고자 하는 운동의 동작 패턴에 관한 정보와 2축 리니어 모터에 부착된 엔코더(분해능 0.5μm)에서 나오는 위치 정보 등을 받아들여서 위치, 속도, 가속도 정보로 변환한 다음, 필요한 제어 신호를 산출해내는 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.

Newton의 작용-반작용의 원리에 의해서, 피험자의 손이 운동 구현기의 레버에 힘을 가해주면 운동 구현기도 크기는 동일하지만, 방향이 반대인 힘을 피실험자의 손에 가해 주게 되는데, 이 힘을 반력(또는 반작용력)이라 한다. 이러한 힘은 다음과 같은 2차 미분 방정식의 형태로 모델링할 수 있다.

$$F_{total} = F_{inertia} + F_{damping} + F_{stiffness} = M \cdot \ddot{x} + C \cdot \dot{x} + K \cdot x \quad (1)$$

여기서, $F_{inertia}$, $F_{damping}$, $F_{stiffness}$는 각각 운동 구현기의 관성, 감쇠 및 강성 특성에 의해서 레버를 잡고 운동하는 피실험자의 팔이 경험하게 되는 반력을 나타내며, F_{total}은 이러한 힘을 모두 더한 합력을 나타내며, x, $\dot{x}$, $\ddot{x}$는 각각 운동 구현기가 움직일 때 발생하는 거리, 속도, 가속도를 나타낸다. 이 때, 관성에 의한 반력은 질량과 가속도의 곱으로, 감쇠에 의한 반력은 감쇠 계수와 속도의 곱으로, 강성에 의한 반력은 강성 계수와 변위의 곱으로 각각 나타낼 수 있음은 이미 잘 알려진 사실이다.

식 (1)은 운동감이라는 단일 감성을 속도에 비례하는 감쇠로 인한 감성과 변위에 비례하는 강성으로 인한 감성으로 나누어 고려할 수 있는 근거가 된다. 본 연구에서 개발한 운동 구현기에서는 원하는 질량, 감쇠 및 강성 값을 운동 구현기의 모

터에서 발생되는 힘을 제어함으로써 소프트웨어적으로 마음대로 변화시킬 수 있다. 따라서 이를 이용하면 운동 구현기의 강성 및 감쇠 등을 원하는 값으로 실시간으로 변화시키면서 피험자가 경험하는 감성을 측정할 수 있다.(이세한 외, 1997)

4. 감성공학 기법을 이용한 실험의 설계

인간의 감성은 애매하고 비선형적인 특성을 가지고 있기 때문에 정량화에 어려움이 따른다. 인간이 내리는 결정 자체의 모호성과 복합성을 특징으로 갖는 감성으로부터 객관성, 보편성, 일의성, 재현성을 갖는 공학적으로 의미 있는 데이터를 추출해내는 것이 감성공학의 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 중요한 과제 중의 하나라고 할 수 있다. 다음은 구체적인 실험 방법을 서술한 것으로 감성 공학의 일반적인 실험 형식을 인용하였음을 밝혀 두며(이순요, 1997), 본 논문에서는 이를 운동감 해석에 적용하였다.

4.1 정량화를 위한 방법과 절차

4.1.1. 조사 목표의 선정 (0차 감성)

보통 정량화의 대상이 되는 목표 감성을 0차 감성이라고 부르며, 0차 감성을 이루는 감성을 1차 감성이라 칭한다. 전술한 바와 같이 본 연구에서는 단일 감성인 운동감을 속도에 비례하는 감쇠로 인한 운동감과 변위에 비례하는 강성으로 인한 운동감으로 나누어서 취급하였다. 따라서 0차 감성은 인간이 외부 환경에 대하여 느끼는 팔에 대한 운동감으로, 1차 감성은 이를 모델링을 통하여 분류한 강성에 대한 운동감과 감쇠에 대한 운동감으로 정의하였다.

4.1.2. 제1차 감성 어휘의 추출

운동감을 표현한다고 생각되는 어휘를 가능한 많이 확보한다. 1차 감성 어휘들은 임의로 선정하는 것으로 운동감과 관련이 있는 어휘를 찾기 위한 예비 후보로서의 성격을 갖게 되는데, 이들 어휘의 확보 방안은 다음과 같다.

1) 어휘 사전을 통하여 운동 및 움직임과 관련되는 형용사와 동사를 조사한다.
2) 자동차, 조이스틱을 이용한 장난감 등의 카달로그에서 운동감과 관련이 있다고 생각되는 어휘를 조사한다.
3) 놀이 기구의 이용자나 오락실의 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, active하다, sporty하다, 아찔하다, 산뜻하다, 유동감이 있다, 싫증이 난다, 열정적이다, 변화가 있다.

4.1.3. 제1차 SD 척도의 구성

SD(Semantic Differential : 의미 구별법) 척도란 어휘를 이용하여 실험을 수행할 때 사용되는 심리학적 측정 방식으로(이순요, 1997), 언어쌍의 의미 구조를 밝히는 데 유용하게 사용될 수 있다. 이 방법에서는 "활발하다 - 활발하지 못하다" 라든가, "좋다 - 나쁘다" 등의 반대어를 준비하여 인간이 가지는 운동감에 대한 이미지를 조사한다.

4.1.4. 제1차 평가 실험

운동감의 대어(對語)가 준비되면 실험이 시작된다. 제1차 평가 실험은 뒤에서 언급하는 본 실

험(제2차 평가 실험 및 정량화 실험)을 위한 운동감 어휘를 선정하기 위하여 실시하는 실험이며, 본 실험과 같은 실험 장치를 사용하여 수행한다.

4.1.5. 제2차 감성 어휘의 추출

1차 운동감 어휘의 추출은 정량화를 위한 운동감 어휘를 선정하는 것으로 예비 실험의 성격을 갖는다. 실험 계획법의 일종인 다구찌 방법을 이용하여 운동감에 지배적인 변수를 찾고, 이에 대해 운동감을 표현하는 어휘를 추출하는 방식으로 실험이 진행된다. 이에 대한 결과는 표 1에 나타내었으며, 이에 대한 자세한 논의는 5장에서 진행할 것이다.

표 1. 제1차 운동감 어휘

쌩쌩하다	부드럽다	팔팔하다	가볍다	넉넉하다
민첩하다	바쁘다	남성적이다	신명난다	완만하다
묵직하다	경쾌하다	여성적이다	답답하다	거칠다
미끄럽다	시시하다	액티브하다	무겁다	불편하다
무난하다	밋밋하다	스포티하다	느리다	빠르다
날렵하다	싱겁다	재미있다	씩씩하다	유쾌하다
서두른다	산뜻하다	간지럽다	상쾌하다	힘들다
홍겹다	담담하다	안정감있다	어지럽다	자유롭다
활기차다	불쾌하다	위험하다	억세다	날쌔다
답답하다	느긋하다	빽빽하다	신난다	격렬하다

4.1.6. 제2차 SD 척도의 구성

선정된 운동감 어휘의 반대어를 제1차 SD 척도 구성과는 달리 본 어휘의 반대 개념과는 다른 개념이 도입되는 것을 방지하기 위하여 "좋다 - 좋지 않다", "묵직하다 - 묵직하지 않다"등과 같이 구성하였다. 패널을 고려할 수 있도록 평가지에 성별과 나이를 기록하도록 한다. 어휘의 구성은 의미의 차등을 두어 구성하며, 그 예제는 다음과 같다. 위의 설문에 대하여 응답자는 애매한 정도를 중간의 네모 칸에 표시하게 된다.

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

4.1.7. 제2차 평가 실험

가장 중요한 실험으로, 제1차 평가 실험을 통하여 선정된 어휘를 이용하여 능동 임피던스 제어로 원하는 강성과 감쇠를 구현하여 운동감 데이터를 획득한다. 순서에 의한 영향을 없애기 위하여는 랜덤하게 나열된 운동감 어휘 조사표를 사용하여 조사하였으며, 되도록 많은 인원수를 확보하여 자료의 신뢰성을 높이고자 하였다.

4.1.8. 정량화

기준 함수를 선정하고 이를 이용하여 정량화를 수행한다. 이에 관한 실험 결과는 5장과 6장에서 논의하도록 한다.

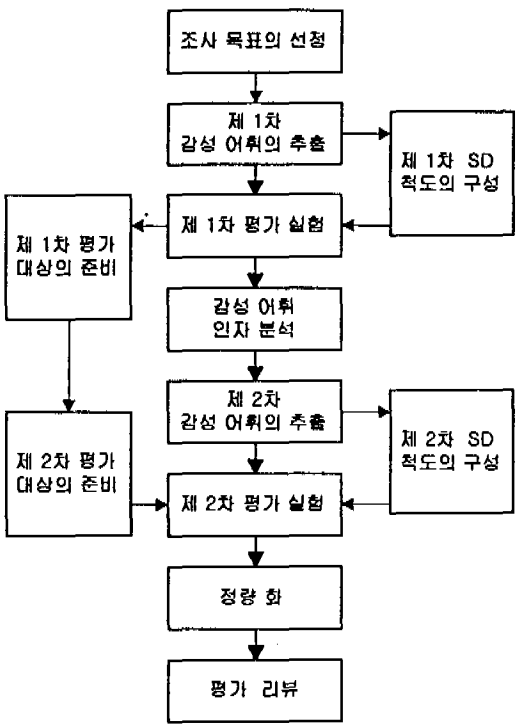

그림 3. 실험의 순서도

이상의 절차를 흐름도로 표시하면 그림 3과 같다.

5. 정량화 실험의 수행

5.1 다구찌 방법을 이용한 지배 변수의 추출

다구찌 방법은 80년대에 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. 본 연구에서는 운동감에 영향을 미치는 변수로 "A = 속도, B = 가속도, C = 강성, D = 감쇠"와 같이 4개의 변수를 선정하였다. 이 때, 각 변수의 상한(예를 들어, 최대 감쇠값)과 하한(예를 들어, 최소 감쇠값)에 대하여 4개 변수의 모든 조합을 고려하면, 16번의 실험을 반복하여야만 각 변수가 운동감에 미치는 영향을 파악할 수 있지만, 다구찌 방법을 사용하면 단지 8번의 실험으로도 이러한 영향을 파악할 수 있게 된다.(Glen, S. P., 1993)

표 2은 다구찌 방법에서 일반적으로 사용되는 직교 좌표축으로, 4개의 변수로 구성된 실험에 사용된다. 이 표에서 y_1 - y_8은 8번의 실험을 나타내는데, 표에서 1은 각 변수의 하한, 2는 상한을 나타낸다. 예를 들어, 실험 y_7은 변수 A, B의 상한값과 C, D의 하한값에서 수행된 실험을 의미한다. 이 표를 고찰해 보면 각 열에 대하여 4개의 변수 A, B, C, D의 균형이 이루어져 있다. 예를 들어, 변수 B의 영향은 A가 하한값을 가질 때(즉, y_1, y_2, y_3, y_4)와 A가 상한값을 가질 때(즉, y_5, y_6, y_7, y_8)에 대하여 동일하다. 따라서 변수 A의 영향을 알기 위해서는 A가 하한일 때의 합(y_1+ y_2+ y_3+ y_4)과 A가 상한일 때의 합 (y_5+ y_6+ y_7+ y_8)을 구

표 2. 다구찌 방법에 이용한 실험 계획도
(1 : 하한, 2 : 상한)

Variable	1A	2B	3	4C	5	6	7D
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	

하여 평균을 취하면, 균형을 이루고 있는 B, C, D의 영향은 무시되어 변수 A만의 영향을 파악할 수 있다. 동일한 방식으로 아래와 같이 각 변수의 영향을 산출해낼 수 있다.

$$\bar{y}_{A1}=(y_1+y_2+y_3+y_4)/4,\quad \bar{y}_{A2}=(y_5+y_6+y_7+y_8)/4,$$
$$\bar{y}_{B1}=(y_1+y_2+y_5+y_6)/4,\quad \bar{y}_{B2}=(y_3+y_4+y_7+y_8)/4,$$
$$\bar{y}_{C1}=(y_1+y_3+y_5+y_7)/4,\quad \bar{y}_{C2}=(y_2+y_4+y_6+y_8)/4,$$
$$\bar{y}_{D1}=(y_1+y_4+y_6+y_7)/4,\quad \bar{y}_{D2}=(y_2+y_3+y_5+y_8)/4. \tag{2}$$

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

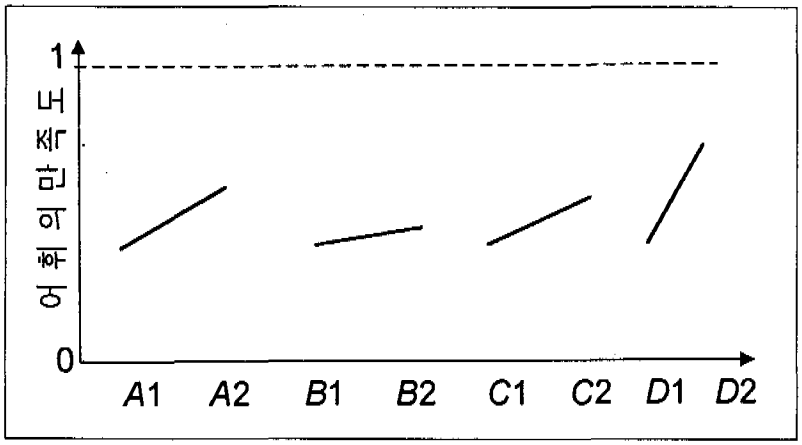

그림 4.
다구찌 방법을 이용한 지배 변수의 추출

어, 3열의 경우에는 1, 2열 및 4, 7열의 영향을 받게 된다.

위와 같이 직교 좌표축에 따라 실험을 수행하여 얻어진 데이터를 바탕으로 어떤 변수가 운동감에 미치는 영향을 파악하려면, 각 변수의 하한과 상한을 x축에, 운동감의 정도를 0에서 1까지의 척도로 y축에 표시하는 선도를 그림 4와 같이 그린다. 다구찌 방법에 의하면 기울기가 가장 큰 변수가 가장 지배적인 영향을 미치는 변수가 되며, 기울기가 거의 수평인 변수는 영향을 무시할 수 있는 변수가 된다. 따라서 감쇠의 기울기가 가장 크므로, 감쇠가 가장 지배적인 변수라고 판단할 수 있다. 그 다음으로는 강성과 속도의 기울기가 거의 비슷하며, 가속도의 기울기가 가장 작게 나왔으므로 가속도가 가장 영향이 작은 변수가 된다. 이러한 결과는 본 연구에서 사용한 운동 구현기의 특성을 반영하는 것인데, 최대 이동 거리가 20cm로 제한이 되어 있어서 실험에 사용한 속도와 가속도를 충분히 구현할 수 없다. 반면에, 강성과 감쇠는 각각 0~1000N/m, 0~100Ns/m 등으로 대역폭이 넓으며, 따라서 운동감을 형성하는데 지배적인 역할을 한다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 감쇠와 강성을 팔의 운동감에 대한 지배적인 변수로 선정하였다. 물론 속도와 가속도를 배제한 것은 다구찌 방법의 결과라는 측면 이외에도 운동 구현기의 제약에 의한 영향도 있지만, 차후에 보다 운동 범위가 큰 운동 구현기를 제작하여 여러 다양한 변수의 영향을 고려할 때, 다구찌 방법은 좋은 가이드라인이 될 수 있기 때문에 본 논문에서 비중 있게 다루었다.

5.2 강성과 감쇠의 변화에 따른 운동감 조사

앞에서 선정한 강성과 감쇠가 팔의 운동감에 미치는 영향을 조사하기 위해서, 피험자가 운동 구현기의 레버를 잡은 상태에서 운동 구현기의 강성과 감쇠를 넓은 범위에 걸쳐서 변화시켜 가면서, 피험자가 레버를 임의대로 움직여서 운동을 발생시키도록 하였다. 피험자에게는 강성과 감쇠에 대한 정보를 알려 주지 않아서 공정한 실험이 되도록 하였으며, 이 때 피험자는 대학생 및 대학원생으로 구성된 20대, 30대의 남녀 20명으로 구성하였다. 피험자가 운동 구현기를 임의대로 조종하게 하고 강성이나 감쇠가 제시되었을 때 감성 어휘에 대한 만족도를 이야기하면 옆에

서 다른 사람이 평가지에 적도록 하였다. 손의 피로로 인한 감성의 변화를 막기 위해 실험 시간은 10분간으로 제한하였으며, 30분 휴식 후 2회의 실험을 수행하였다.

이 실험을 통하여 4장에서 언급한 바와 같이 1차 운동감 어휘를 추출하였는데, 이 때 운동감 어휘는 다음과 같은 조건을 갖추어야 한다. 첫째, 넓은 범위에 걸쳐서 운동감을 표현할 수 있어야 한다. 둘째, 특정한 변수(예를 들어, 강성 또는 감쇠)와 관련되어 선정된 운동감 어휘는 그 변수 이외의 변수에 대해서는 가능한 한 영향을 받지 않아야 한다. 그렇지 않으면, 여러 변수에 의한 영향이 결합되어(coupled) 해석이 어렵게 된다. 예를 들어, 강성을 나타내기 위해서 선정된 어휘는 강성의 넓은 범위에 걸쳐서 운동감을 표현할 수 있어야 하고, 감쇠의 변화에 의해서 크게 영향을 받지 않아야만 한다.

그림 5는 감성공학의 실험 계획에 따른 1차 실험의 결과로서 강성의 변화에 따른 선정된 어휘의 운동감 반응 범위를 도식화한 것이다. "가볍다"라는 어휘는 강성의 넓은 범위에서 운동감을 표현할 수 있는 장점을 가지고 있는 반면에, "산뜻하다"라는 어휘는 다소 좁은 범위(0~800 N/m)에서 민감한 운동감의 변화를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 "가볍다"와 "산뜻하다"를 강성의 변화에 의한 운동감의 변화를 정량화시키기 위한 운동감 어휘로 사용하기로 한다.

한편, 그림 6은 감쇠의 변화에 따른 선정된 어휘의 운동감 반응 범위를 나타낸 것이다. "답답하다"라는 어휘는 넓은 범위의 감쇠에 걸쳐서 운동감을 표현할 수 있는 어휘이며, "묵직하다"는 다소 낮은 감쇠 범위인 20~80 Ns/m일 경우는 민감하게 운동감을 반영할 수 있는 장점이 있다. 감쇠의 변화를 표현할 수 있는 다른 운동감 어휘들은 다른 대역의 감쇠값에서의 운동감을 표현하

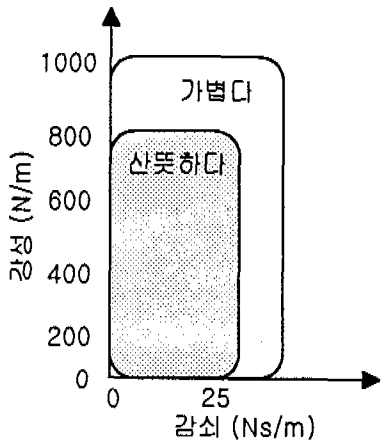

그림 5. 강성 및 감쇠의 변화에 따른 "가볍다", "산뜻하다"의 반응 영역

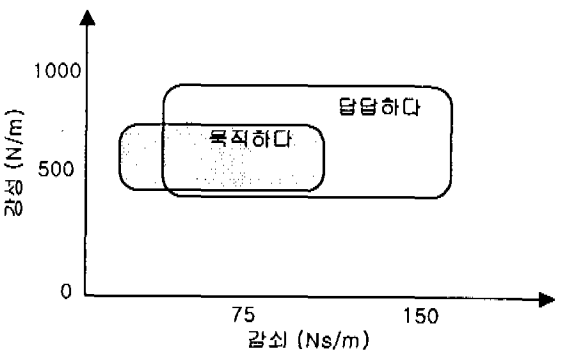

그림 6. 감성 및 감쇠에 변화에 따른 "답답하다", "묵직하다"에 반응 영역

거나 감쇠뿐만 아니라 강성에 의해서도 크게 영향을 받는 어휘들 이므로 고려 대상에서 제외하였다.

6. 운동감의 정량화

본 연구에서는 강성과 감쇠에 반응하는 운동감을 정량화하기 위하여, 위에서 선정한 2개씩의 어휘에 대해서 정량화를 위한 2차 실험을 수행하였다.

6.1 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 언어 변수를 정량화할 때 식 (2)와 같은 기준 함수를 선정하였다. 이 함수는 부정적인 감성 어휘(예를 들어, 무겁다, 힘들다, 딱딱하다)와 긍정적인 감성 어휘(예를 들어, 가볍다, 상쾌하다, 쉽게 움직인다)를 모두 표현할 수 있으며, 또한 감성 어휘에 수식어가 첨가되었을 때에 지수의 곱으로 표현이 가능한 장점을 가지고 있어서(신동윤 외, 1997) 퍼지 이론등에서 언어 변수를 해석할 때 이와 같은 정량화 함수를 사용한 예가 있다.(채석 외, 1995)

$$M(u) = [1 + (\frac{u-b}{c})^{-d}]^{-a} \qquad (2)$$

여기서, $M(u)$는 1보다 작은 값을 가지는 함수로서 파라미터인 a, b, c, d를 변화시키면 다양한 형태의 함수를 표현할 수 있는 특징이 있다. 이때, $M(u)$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, 파라미터 a를 변화시켜 가면서 함수 $M(u)$를 그린 선도를 나타낸다.

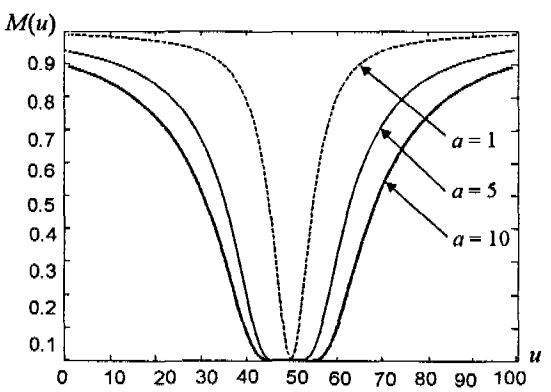

그림 7. 정량화를 위한 기준 함수

6.2 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. y축에 나타난 소속함수의 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 60~80% 정도를 기록하였다. "가볍다", "매우 가볍다"라는 감성은 각각 800N/m정도에서 만족도가 매우 낮으므로 그보다 큰 강성에 대하여는 "가볍다"라는 감성 어휘로는 정량화가 불가능하고, 다른 감성 어휘(예를 들어, "무겁다", "빡빡하다" 등)를 선정하여 실험을 수행하여야 함을 알 수 있다.

이 때, 운동감 데이터의 함수화는 앞에서 언급한 기준 함수의 파라미터 a, b, c, d를 변화시켜 가면서 데이터를 가장 추종하는 함수를 결정하였다. 즉, 실험자의 데이터의 평균을 추종하는 함수의 계수를 선정하였다. 예를 들어, "가볍다"라는 감성 어휘로 운동감을 측정한 경우, 운동감의 함수화를 위하여 선정한 파라미터는 약 $a=4.8$, $b=455$, $c=70$, $d=2$이다.

한편, 운동감 조사로부터 "매우"라는 의미 규칙이 첨가되었을 때의 만족도는 다른 계수의 변화가 거의 없이 지수값인 a만을 "매우"가 없을 때보다

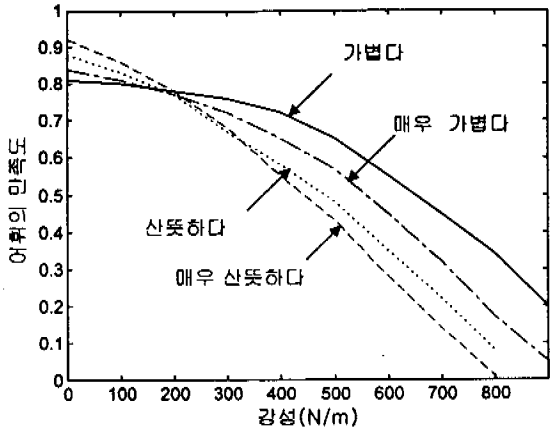

그림 8. 강성의 변화에 따른 운동감의 정량화

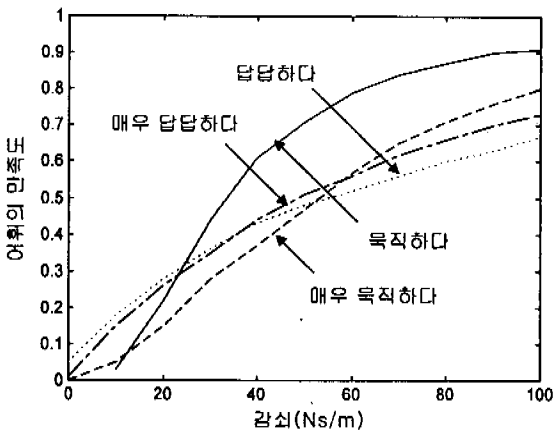

그림 9. 감쇠의 변화에 따른 운동감의 정량화

약 1.8~2.0배 정도 증가시키면 된다는 점을 알 수 있었다. 이는 앞서 선정한 4개의 어휘에 대해서 거의 공통적으로 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이는 퍼지 이론에서 언어의 의미 규칙을 다룰 때, "매우"라는 의미 규칙이 첨가되면 첨가되지 않았을 때의 소속 함수에 제곱을 하여 소속 함수를 결정하는 것과 유사하다고 볼 수 있다.(채석 등, 1995)

7. 결 론

본 연구는 사람의 손으로 조종하게 되는 조종기의 감성공학적 설계에 이용될 수 있으며, 차후 시각을 이용한 운동감에 대한 연구로 확장하게 되면 시뮬레이터 개발에 필요한 힘 피드백 제어의 수행이나 오락기기의 개발에 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 강성과 감쇠 특성을 임의로 변화시킬 수 있도록 개발한 운동 구현기를 이용하여, 강성과 감쇠의 변화에 따른 팔의 운동감을 정량화하는 방안에 대해서 고찰하였다. 이 연구의 결과로 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 운동감을 새로이 정의한 다음, 감성공학적 실험 절차에 의하여 이를 표현할 수 있는 어휘를 선정하였다. 또한, 대상 물체의 강성이나 감쇠의 변화에 따른 운동감의 변화를 잘 묘사할 수 있는 기준 함수를 선정하여, 운동감을 정량화하는 방법을 제시하였다.
2. 다구찌 방법을 이용하여 운동감에 지배적인 파라미터를 추출한 결과, 강성과 감쇠가 팔의 운동감에 중요한 역할을 한다는 점과 강성보다는 감쇠가 운동감에 미치는 영향이 더욱 크다는 점을 알 수 있었다.
3. "매우"라는 의미가 기존의 감성 어휘에 첨가되었을 때는 감성 어휘만을 사용하였을 때보다 소속 함수의 지수가 1.8~2.0배 정도 커지는 경향을 보임을 실험을 통해서 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 감성공학기술 개발사업의 일환으로 한국표준과학연구원의 지원하에 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 신동윤, 이세한, 송재복, 김용일, "퍼지 이론을 이용한 운동감 어휘의 합성 규칙에 관한 연구", 한국감성과학회 연차학술논문집, pp.163~167, 1997.

[2] 이세한, 송재복, 김용일, "리니어 모터에 기초한 능동 임피던스의 구현," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, Vol. I, pp.462~465, 1997.

[3] 이순요, 가상 현실형 감성 공학, 청문각, pp.41~71, 1997.

[4] 채석, 오영석, 퍼지 이론과 제어, 청문각, 1995.

[5] Blake, H. and Steven, V., "Virtual Environment and Advance Interface Design", Univ. of Washington., 1996

[6] Durlach, I. and Mavor, A., 1995, Virtual Reality, National Academy Press, 1995.

[7] Glen, S. P., Taguchi methods on approach to quality engineering, Addison-Wesley, pp.236~249, 1993.

[8] Gomi, H., Koike, Y., and kawato, M., "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, 1992.

[9] Grigore, C., Force and Touch feedback for Virtual Reality, A Wiley-Interscience, pp.3~5, 1996.

[10] Spong, M. W. and Vidyasagar, M., "Robot Dynamics and Control", Wiley Press, pp. 252~254, 1989.

[11] Toshio, T., Kaneko, M., "Estimation and Modeling of Human Hand Impedance During Isometric Muscle Contraction" *Proc. of the ASME Dynamics Systems and Control Division ASME*, pp.575~582, 1996.