

퍼지 이론을 이용한 운동감 어휘의 합성 규칙에 관한 연구

신동윤*, 이세한*, 송재복*, 김용일**

* 고려대학교 기계공학과(jbsong@kucncx.korea.ac.kr), ** KIST 정보전자연구부(yykim@kistmail.kist.re.kr)

Study on synthesis rule of kinesthetic word using fuzzy theory

Dong-Yoon Shin*, Se-Han Lee*, Jae-Bok Song*, Yong-Yil Kim**

*Dept. of Mechanical Engineering, Korea Univ., ** Imaging Media Research Center, KIST

Kinesthetic sense is the human sense that a human feels in response to the motion acted on the human. The objective of this paper is to propose the synthesis rule of kinesthetic word using fuzzy theory. In order 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. Because of various human factors, quantified kinesthetic data contains uncertainty. A fuzzy measure can represent the uncertainty or ambiguity associated with several fuzzy events. We use the Sugeno integral that is a kind of fuzzy measure. Synthesizing the kinesthetic word, weighted factor is calculated by measure of fuzziness.

1. 서 론

인간이 움직이는 물체에 탑승하고 있거나 움직이는 물체를 잡고 있을 때, 어떤 종류의 감성을 느끼게 된다. 물체의 속도, 가속도, 또는 강성, 감쇠 등으로 인하여 인간은 쾌, 불쾌감을 갖게 되며, 본 논문에서는 이러한 감성을 운동감이라 정의한다. 이러한 운동감을 공학적으로 유용한 데이터로 만들기 위해 운동감 어휘를 도입하여 정량화를 시도하였으며, 복수의 운동감 어휘를 연산할 수 있는 방법과 가중치를 구할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

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.

퍼지는 사람의 언어와 같이 모호한 사건을 해석하기 위한 이론이다. 모호한 정도를 표현하는 방법으로 퍼지 정도 척도(measure of fuzziness)와 퍼지 척도(fuzzy measure)가 많은 분야에서 이용되고 있다. 하지만 운동감에 대한 연구는 미비한 실정이므로 불확실성을 평가하는 퍼지 이론을 이용하여 운동감을 해석하려 한다.

2. 운동감의 구현과 정량화

2.1 운동감의 정의와 모델링

운동감은 사람의 속도, 가속도 및 조종되는 물체의 강성, 감쇠 등에 반응하여 내면 심리 작용에 의해 복합적으로 생성되는 인간의 감성이라고 정의할 수 있다. 예컨대, "active하다", "민첩하다", "팔팔하다", "sporty하다", "날렵하다" 등은 모두 속도와 가속도에 관련이 있는 감성 어휘들이며, "묵직하다", "부드럽다", "가볍게 움직인다" 등은 조종기의 강

성 또는 감쇠와 관련이 있는 어휘들이다. 따라서, 운동감은 속도 및 가속도와 관련이 있다고 생각되는 정성적인 감성치로서, 운동감과 관련된 감성 어휘를 정량화하여 운동감을 기계적인 파라미터인 감쇠 및 강성과 연관시켜서 해석하고자 한다.

강성과 감쇠는 일반적으로 기계 시스템을 모델링할 때 사용되는 파라미터로, 식 (1)과 같은 2차 미분 방정식의 형태로 표현된다. 사람이 물체를 잡고 있을 때에는 기계적 시스템의 물성치와 팔의 물성치가 복합적으로 작용하여 운동감을 유발하게 되나, 사람 팔의 강성과 감쇠는 기계적 시스템의 그것보다 무시할 만큼 작은 값이므로 본 논문에서는 이를 고려하지 않는다

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

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 근사하게 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 가해주면 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.

2.2 운동 구현기와 능동 임피던스 제어

사람의 팔에 의한 운동감을 조사하기 위해서 본 연구에

서는 2축의 리니어 모터로 구성되는 운동 구현기를 제작하여 사용하였다. 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. 그림 1은 운동 구현기를 모델링한 것을 도식적으로 표현하였다.

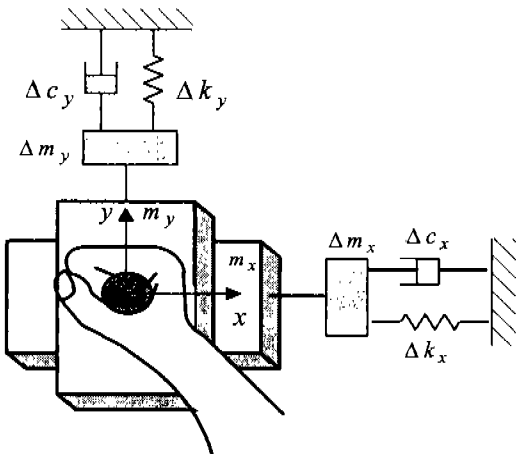


그림 1 운동 구현기의 모델링

한편, 리니어 모터를 구동시키기 위해서는 모터 드라이버와 제어가 필요하며, 모터와 통신하며 운동감 조사를 모니터링하기 위한 PC가 필요하게 된다. 그림 2는 전체적인 운동 구현기 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

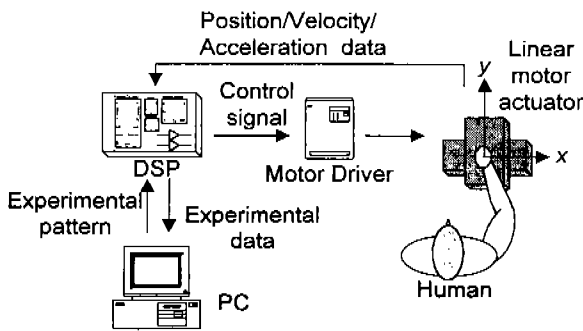


그림 2 실험 장치의 개략도

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 구분해낼 수 있게 된다.

운동 구현기에 사용되는 복합 능동 임피던스는 리니어 모터에 입력되는 전류를 제어함으로써 발생된다. 이 때, 능

동 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.

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

즉, 계산된 전류 i_{total} 는 피실험자가 운동 구현기에 가한 변위, 속도, 가속도에 의한 성분으로 구성된다. 위식에서 K_T 는 토크 상수(여기서는 힘 상수)로 모터에 인가되는 전류와 모터에서 발생하는 힘 사이의 비례 상수이다.

2.3 정량화 방법과 함수의 선정

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. 본 논문에서는 1차 실험을 통하여 운동감 어휘를 선정하고, 선정된 어휘에 대한 운동감의 만족도를 0과 1 사이의 값으로 평가하여 2차 실험을 수행하였다. 이러한 형태의 정보를 사용한다는 것은 설문에 응한 사람들로부터 얻은 구체적인 정보를 이용하여 해석이 수행될 수 있으며, 따라서 그 해석이 현실에 근거를 둘 수 있다는 것을 의미한다. 자세한 절차는 그림 3(논문의 끝에 위치)에 나타내었다.

강성 및 감쇠의 변화에 따른 운동감의 변화를 잘 묘사할 수 있는 정량화 함수를 구하는 방법에 대해서 고찰하고자 한다. 이를 위하여 다음과 같은 기준 함수를 선정하였다.

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

여기서, $M(u)$ 는 1보다 작은 값을 가지는 함수값으로서 파라미터인 a, b, c, d 를 변화시키면 다양한 모양의 함수값을 표현할 수 있는 특징이 있다. 그림 4는 이러한 함수의 특징을 보여준다. 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. 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 4는 $b=50, c=5, d=1$ 일 때, a 를 변화시켜 가면서 그린 다양한 선도를 나타낸다.

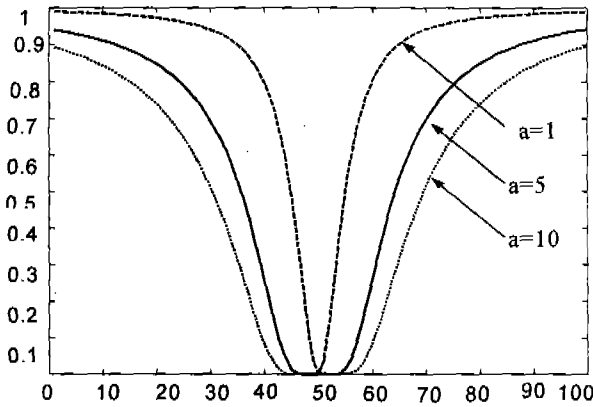


그림 4 기준 함수의 변형

3. 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 5 및 6에 나타내었다. 이 때, y 축은 언어 변수에 대하여 나타난 소속 함수 μ_A 를 나타내는데, 소속 함수란 해당 감성 어휘에 대한 만족도를 의미한다. 예를 들어, 강성이 300N/m일 때, “가볍다”라는 감성 어휘의 만족도는 85% 정도를 기록하는 것을 의미한다. “가볍다”, “매우 가볍다”라는 감성은 각각 900N/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 선정된 계수의 값은 $a=4.8, b=455, c=70, d=2$ 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 계수를 하여 소속 함수를 결정하는 것과 의미가 상통한다고 하겠다. 이는 퍼지 이론의 언어 의미 규칙에서 “매우”라는 의미 규칙이 삽입되었을 때, 보통의 언어의 소속 함수에다가 계수를 하는 것과 잘 일치하는 결과이다. 퍼지 이론에서는 지수 a 가 2일 때를 언어 변수 A 의 concentration이라 부르며, 다음과 같이 $CON(A)$ 로 표기한다.

$$CON(A) = A^a, \mu_{CON(A)}(x) = \{\mu_{A(x)}\}^a, a = 2 \quad (4)$$

따라서 “묵직하다”라는 운동감 어휘에 대하여 “매우”

라는 수식어를 concentration으로 보고 수식 규칙을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \mu_A(\text{매우 묵직하다}) \\ = \mu_{CON(A)}(\text{묵직하다}) = \{\mu_A(\text{묵직하다})\}^a, a = 1.97 \end{aligned}$$

마찬가지로 다음의 운동감 어휘에 대하여 “매우”라는 수식어를 concentration으로 보고 수식 규칙을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \mu_A(\text{매우 가볍다}) \\ = \mu_{CON(A)}(\text{가볍다}) = \{\mu_A(\text{가볍다})\}^a, a = 1.87 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_A(\text{매우 산뜻하다}) \\ = \mu_{CON(A)}(\text{산뜻하다}) = \{\mu_A(\text{산뜻하다})\}^a, a = 1.80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_A(\text{매우 답답하다}) \\ = \mu_{CON(A)}(\text{답답하다}) = \{\mu_A(\text{답답하다})\}^a, a = 1.82 \end{aligned}$$

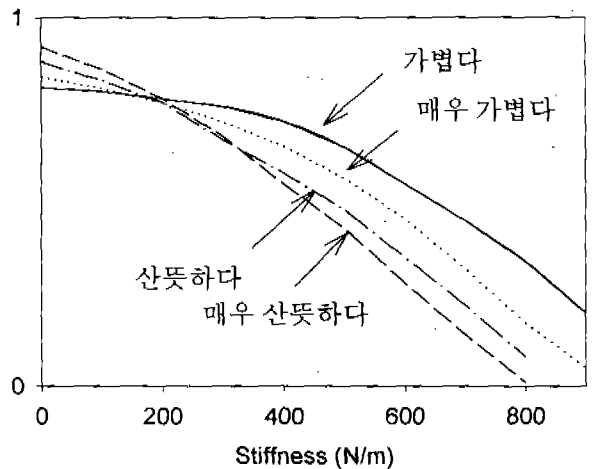


그림 5 강성의 변화에 따른 운동감의 변화

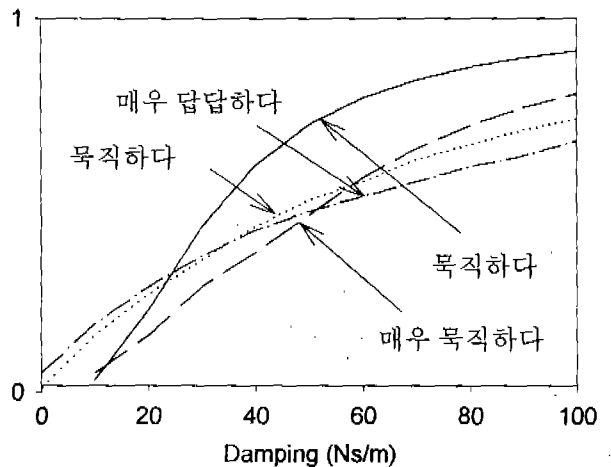


그림 6 감쇠의 변화에 따른 운동감의 변화

4. 운동감 어휘의 평가 방법

애매한 개념은 퍼지 집합으로 표현되며, 퍼지 집합으로 나타난 불확실성이 어느 정도인지는 퍼지정도(fuzziness)라 하고, 이 퍼지 정도를 측정하는 함수를 퍼지정도척도(measure of fuzziness)라 한다. 본 논문에서는 샤논의 엔트로피(Shannon's entropy)에 바탕을 둔 퍼지정도척도 $f(A)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$f(A) = - \sum_{x \in X} \{ (\mu_A(x) \log_2 \mu_A(x) + [1 - \mu_A(x)] \log_2 [1 - \mu_A(x)] \} \quad (5)$$

이것은 $\mu_A(x)$ 로 정의되는 퍼지 집합 A 와 $[1 - \mu_A(x)]$ 로 정의되는 보집합 \bar{A} 의 불확실성을 합한 것이다. 표 1은 “가볍다”에 대하여 퍼지 정도 척도를 구한 것이다.

$X(\text{stiffness})$	$\mu_A(x)$	$f(A)$
0	0.81	0.701471
100	0.8	0.721928
200	0.78	0.760168
300	0.76	0.795040
400	0.72	0.855451
500	0.65	0.934068
600	0.55	0.992774
700	0.45	0.992774
800	0.34	0.924819
900	0.2	0.721928

표 1 “가볍다”에 대한 퍼지 정도 척도 $f(A)$ 의 계산

이 척도 $f(A)$ 의 값을 다음과 같이 정규화하여 $\hat{f}(A)$ 를 얻을 수 있다. 이 때, $|X|$ 는 전체 집합 X 의 원소 개수(cardinality)이다.

$$\hat{f}(A) = \frac{f(A)}{|X|}, \quad 0 \leq \hat{f}(A) \leq 1 \quad (6)$$

표 2는 각 운동감 어휘에 대해 정규 퍼지 척도 $\hat{f}(A)$ 를 계산한 것이다.

운동감어휘	$\hat{f}(A)$	매우+운동감어휘
가볍다	0.840	0.778
산뜻하다	0.704	0.618
묵직하다	0.645	0.791
답답하다	0.819	0.866

표 2 운동감 어휘에 대한 정규 퍼지 정도 $\hat{f}(A)$ 의 계산

$\hat{f}(A)$ 가 나타내는 것은 자료의 불확실성을 정량적으로

표현한다. 불확실성이 높다는 것은 재현성을 확보하기 어렵다는 의미가 된다. 예를 들면, 임의의 강성을 주어 “가볍다”라는 감성을 느끼게 하는 것이 “매우 가볍다”라는 감성을 느끼게 하는 것보다 더 어렵다는 것이 된다. 긍정적 어휘(예, 가볍다, 산뜻하다 등)의 경우는 “매우”라는 수식어가 첨가된 경우의 감성을 구현하기가 더 쉬우며, 부정적 어휘(예, 묵직하다, 답답하다 등)의 경우는 “매우”라는 수식어가 첨가된 경우의 감성을 구현하기가 더 어렵게 되는 것을 정량적 수치로써 알 수 있다. 재현성을 보장할 수 없는 운동감 어휘는 사람마다 개인차가 심하게 되며, 운동 구현기를 통하여 어휘를 만족할 수 있는 운동감을 구현하기 어렵다. 따라서 이러한 어휘는 다음 절에 언급하는 가중치 계산에서 고려되어야 할 것이다.

5. 운동감 어휘의 합성 규칙

경계가 애매한 분류를 나타내는 개념은 퍼지 집합(fuzzy set)으로 표현하고, 여러 개의 가능성 중에서 선택해야 하는 상황의 불확실성은 퍼지 척도(fuzzy measure)로 표현한다. 본 논문에서는 퍼지 척도로서 Sugeno가 정의한 퍼지 적분을 이용한다. Sugeno의 퍼지 적분은 임의의 대상을 평가한 후 이를 종합하는 성질이 있으며, 식 (7)과 같다.(Klir, 1988)

$$\int_X h(x) \circ g(\cdot) = \text{SUP}_{E \subseteq X} \text{Min}[h(x), g(E)] \quad (7)$$

X 가 유한 집합(finite set)일 때는 Sugeno의 퍼지 적분은 다음과 같이 구할 수 있다. $x_i \in X (i=1, n)$ 에 대하여 $h(x_i) \leq h(x_{i+1})$ 이라 하고, $E_j = \{x_k | k=i, \dots, n\}$ 이라 하면,

$$\int_X h(x) \circ g(\cdot) = \text{MAX}_{i=1, \dots, n} \text{Min}[h(x_i), g(E_i)] \quad (8)$$

X 의 멱집합(power set)의 원소 $E \in P(X)$ 에 대해 정의되는 퍼지 척도 $g(E)$ 는, 대상의 전체적인 평가에 대해 항목 E 의 평가치가 기여하는 정도, 즉 평가 항목에 부분 집합 E 의 중요도(degree of importance)라 한다. 그리고 X 를 정의의 구역으로 하여 정의되는 함수 $h(x), x \in X$ 는 평가 항목 x 에 대한 평가치이다. Sugeno의 퍼지 적분을 운동감 해석에 도입하는 이유는 다음과 같다.

1. $\text{Min } h(x)$ 는 평가 항목의 부분 집합 E 에 대하여 가장 부정적인 평가치를 선택하는 것이다. 이는 인간과 기계가 함께 시스템을 이루고 있을 때, 안전을 위하여 보수적인 값을 취하는 것이다.
2. 평가 항목 E 의 중요도 함수 g 는 퍼지 정도 $\hat{f}(A)$ 를 고려하여 실험을 통해 적정한 값을 추출한다. 이는 앞에서 언급했듯이 불확실성이 작은 어휘는 개인차가 작고 구현을 통해 만족할 만한 결과를 얻을 수 있으므로 중요도가 커지게 된다. 본 논문에서는 g 가 가법성(additivity)을 만족

하는 확률 척도(probability)를 사용하고자 한다. (즉, $g(A \cup B) = g(A) + g(B)$)

3. 적분 결과를 $\text{MAX Min}[\text{Min } h(x), g(E_i)]$ 로 함으로써 여러 가지 가능한 E 중에서 가장 큰 값을 취하여 전체 평가치를 종합한다. 즉, 이 부분에서는 유리한 항목을 부각시켜 운동감의 만족도를 높이려는 측면이 있다.

Sugeno의 퍼지 적분을 확률적 기대값에 상대적 개념으로 퍼지 기대값이라고 한다. 예를 들어, 강성이 400N/m, 감쇠가 40N s/m²일 때, f와 g의 값을 다음과 같이 정의한다.

운동감어휘	f()	g()
가볍다	0.72	0.15
산뜻하다	0.58	0.3
묵직하다	0.71	0.35
답답하다	0.44	0.2

표 3 운동감 어휘에 대한 f와 g 값의 정의

운동감 어휘의 합성으로 기대할 수 있는 퍼지 기대값은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} & (h_A(\{\text{가볍다}\}) \wedge g(\{\{\text{가볍다}, \text{산뜻하다}, \text{묵직하다}, \text{답답하다}\}\})) \\ & \vee (h_A(\{\{\text{산뜻하다}\}\}) \wedge g(\{\{\text{산뜻하다}, \text{묵직하다}, \text{답답하다}\}\})) \\ & \vee (h_A(\{\{\text{묵직하다}\}\}) \wedge g(\{\{\text{묵직하다}, \text{답답하다}\}\})) \\ & \vee (h_A(\{\{\text{답답하다}\}\}) \wedge g(\{\{\text{답답하다}\}\})) \\ & = (0.72 \wedge 1) \vee (0.58 \wedge 0.85) \vee (0.71 \wedge 0.55) \vee (0.44 \wedge 0.2) \\ & = 0.72 \end{aligned}$$

따라서 강성이 400N/m, 감쇠가 40N s/m²일 때의 운동감 소속 함수의 기대값은 0.72라는 것을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 퍼지 이론을 이용하여 운동감 데이터를

평가하고 합성하는 규칙을 제안하였다. 요약하면 다음과 같다.

1. 운동감 어휘에 “매우”라는 수식 규칙이 추가되면 정량화 함수의 지수에 해당하는 a가 1.8 ~ 2.0 배 증가한 함수로 정량화가 가능하다는 것을 알 수 있었다.
2. 퍼지 정도를 도입하여 긍정 어휘의 경우는 “매우”라는 수식어가 도입된 어휘가 개인차가 크고 만족시키기 어려운 감성임을 수치적으로 알 수 있었고, 감쇠의 경우는 “매우”라는 수식어가 첨가된 어휘의 운동감이 재현성이 우수하다고 할 수 있다. 또한, 퍼지 정도는 운동감 어휘의 합성을 위한 가중치 계산에 고려 대상이 된다.
3. 퍼지 척도를 이용하여 운동감 어휘가 복수로 선정되었을 경우의 운동감의 퍼지 기대값을 산출하는 방안을 제시하였다.

후 기

본 연구는 감성공학기술 개발 사업의 일환으로 한국표준과학연구원원의 지원 하에 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 이순요, “감성 인간 공학”, 양영각, 1996.
- [2] 이광형, 오길록, “퍼지 이론과 응용”, 홍릉과학출판사, 1992.
- [3] 오영석, 채석, “퍼지 이론과 제어”, 청문각, 1995.
- [4] George, J, Klir “Fuzzy sets, Uncertainty, and Information” Prentice hall Int'l Inc, 1988, pp. 107-137.
- [5] 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, 1996, pp. 575-582.

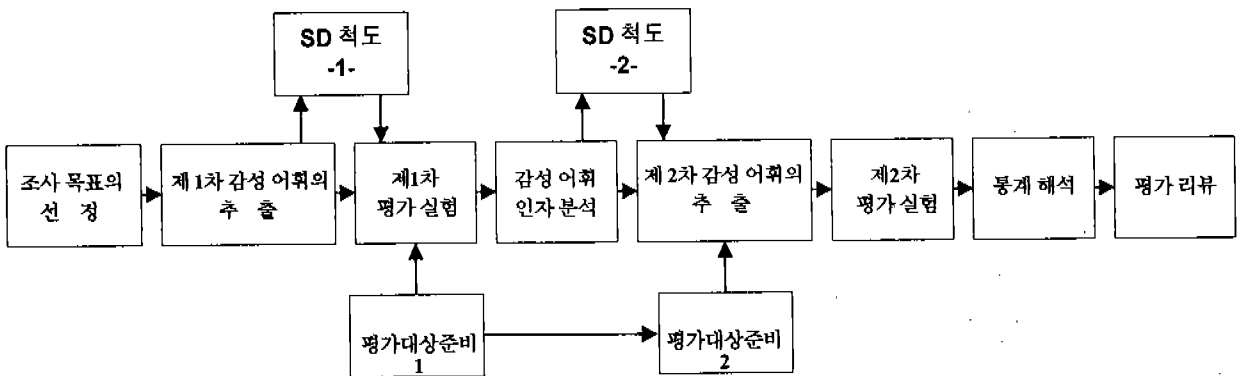


그림 3 운동감 해석을 위한 연구 계획 순서도