

FUZZY 이론을 응용한 질감 표현의 객관적 등급예측

이수민, 권영하, 이주영

경희대학교 섬유공학과

1. 서론

주관적인 질감을 표현하는 형용사는 매끄럽기-결끄럽기, 편편하기-우둘두들하기, 부드럽기-뻣뻣하기, 폭신하기-딱딱하기 로 4개의 상반된 쌍으로 정리 분류할 수 있었다. 직물을 7점 척도에 의해 표현되는 질감을 조사하고, 동일직물의 마찰계수, 표면 거칠기, 마찰력, 밀도, 중량, 두께 등의 역학적, 물리적 값을 객관적으로 측정된 후 상호 상관관계를 구하고 Fuzzy 이론을 이용하여 객관적 등급을 예측하는 모델을 확립하였다. 역학적, 물리적 값을 측정할 때 밀도, 중량, 두께는 Kawabata 측정장치(KES-F System)을 사용하였고, 마찰계수와 표면 거칠기는 표면 측정장치⁽²⁾를 통하여 얻을 수 있었다. 임의의 직물을 이용하여 평가해본 결과 주관적, 객관적 등급이 유사한 것을 확인할 수 있었다.

2. Fuzzy Membership Function

직물을 7점 척도에 의해 위에서 분류된 형용사로 주관적인 평가를 실시한 후, 동일 직물의 객관적 측정값을 구하여 상관관계를 구하였다. Fuzzy Membership Function을 이용 서로 다른 두 개의 형용사적 표현 집단과 객관적 측정값 집단을 3차식 Polynomial Regression 하여 관계식을 구하였다. Membership Degree화 시키기 위하여 Fig. 1과 같이 1점에서 7점까지 표시된 7점 척도값을 0에서 1로 표시하였으며 $\mu(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$ 로 통일하여 정리하였다. Fig. 1은 17개의 직물의 KES-F System에서 측정된 표면거칠기(SMD)와 매끄럽기-결끄럽기의 객관적 값과 관계를 나타내며 관계식은 $\mu(x) = 0.007x^3 - 0.1334x^2 + 0.8331x - 1.0363$ 로 나타내어진다. 이와 같은 관계식은 매끄럽기-결끄럽기, 편편하기-우둘두들하기, 폭신하기-딱딱하기의 3개의 영역에서 영향력 있는 요소인 표면거칠기, 회전마찰력, 밀도, 중량, 두께를 정리하여 Table 1에 계수 값을 나타내고 있다. 예로서 편편하기-우둘두들하기의 형용사적 표현 정도와 회전 마찰력과의 관계식은 $\mu(x) = -1.9318 \times 10^{-5}x^3 + 0.0023x^2 - 0.0901x + 1.6436$ 이 된다.

3. Weight Vector

질감의 객관적 표현에 영향을 미치는 측정요소를 구분하고 평가에 응용하기 위하여 Weight Vector를 설정하였다. 측정요소의 기여도도는 Fuzzy이론에 의해 계산된 Polynomial Regression Function 과 측정값과의 Mean Square Error (mse)값을 구하여 결정하였다.

mse 값이 작게 되면 주관적 표현과 측정값과의 관계가 식으로 잘 나타낼수 있으므로 기여도가 큰 것으로 판정하고 반대의 경우는 기여도가 작은 것으로 결정하는 방법이다. mse 값은 다음과 같이 정의한다.

$$mse = \frac{\sum_{k=1}^N (y_k - y_k')^2}{N} \quad (1)$$

N : 측정값의 개수

y_k : 측정 Membership Degree 값

y_k' : 계산된 Membership Degree 값

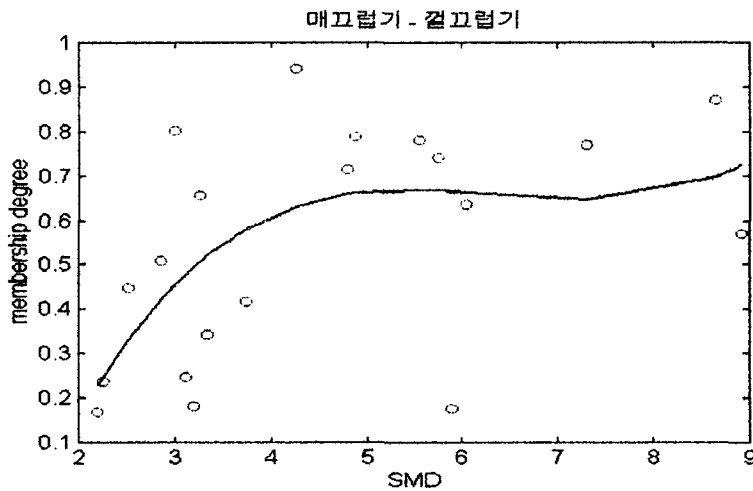


Fig. 1 표면 거칠기에 대한 membership degree의 regression 결과

더욱이 mse 값으로부터 Contribution Point(CP)값을 구하여 기여도를 정량화 시켰다. 구한 Membership Degree Function 과 측정된 값과의 거리가 기여정도를 나타낼 수 있으므로 기여도 (CP)는 다음과 같이 정의 된다.

$$CP = \frac{1}{\sqrt{mse}} \quad (2)$$

한편 대표 형용사의 각 요소들이 영향을 미치는 기여정도를 100%이내에서 백분율로 처리하였다. Table 2는 각 요소에 대한 기여도 및 백분율이다.

예로서 표면 거칠기는 매끄럽기-곱끄럽기의 질감표현에는 31.5%의 기여정도를 가지고 있음을 나타내고 있다. Membership Degree Function은 비선형 관계를 나타내고 있으므로 주로

대표형용사 쌍	역학적인값(x)	membership degree의 regression 상수 $\mu(x)$			
		A	B	C	D
대끄럽기-겉끄럽기	표면거칠기	0.007	-0.1334	0.8331	-1.0363
	회전마찰력	4.6136×10^{-5}	-0.0043	0.1029	0.0614
	warp밀도	-2.1341×10^{-6}	6.5768×10^{-2}	-0.0681	2.9318
	weft밀도	-4.4321×10^{-6}	9.3931×10^{-4}	-0.0716	2.4400
편편하기-우물두들하기	표면거칠기	0.0038	-0.0774	0.5253	-0.5767
	회전마찰력	-1.9318×10^{-5}	0.0023	-0.0901	1.6436
	warp밀도	-1.6908×10^{-6}	5.5431×10^{-4}	-0.0612	2.7383
	weft밀도	9.6825×10^{-7}	-1.0868×10^{-4}	-0.0060	1.0638
폭신하기-딱딱하기	중량	-1.4578×10^{-4}	0.0074	-0.1226	1.2137
	두께	-0.7566	1.5728	-1.2322	0.8683

Table 1 질감 형용사쌍과 측정값의 Polynomial Regression Function

$$\mu(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$$

선형화되는 관계식을 구하여 얻어져서 -1과 1사이의 값으로 나타내는 상관계수나 결정계수는 사용하지 않았다. 기여도에 의해서 구해진 각 요소의 백분율을 이용하여 Weight Vector A를 Table 3과 같이 나타내어진다.

Table 2 형용사의 백분율 산출

대표형용사	요소	MSE	기여도(CP)	백분율(x)
대끄럽기-겉끄럽기	표면거칠기	0.0411	4.93	31.5
	회전마찰력	0.1048	3.09	19.7
	Warp밀도	0.0990	3.18	20.3
	Weft밀도	0.0500	4.47	28.5
편편하기-우물두들하기	표면거칠기	0.0305	5.73	28.6
	회전마찰력	0.0451	4.71	23.5
	Warp밀도	0.0574	4.17	20.8
	Weft밀도	0.0342	5.41	27.1
폭신하기-딱딱하기	중량	0.0165	7.78	45.6
	두께	0.0116	9.28	54.4

Table 3 Weight Vector

대끄럽기-겉끄럽기	(0.315, 0.197, 0.203, 0.285)
편편하기-우물두들하기	(0.286, 0.235, 0.208, 0.271)
폭신하기-딱딱하기	(0.456, 0.544)

4. 평가 모델의 확립

KES-F System과 표면 측정장치를 이용하여 얻어진 측정값을 Fuzzy Membership Function에 대입하여 얻어지는 변환 Vector를 Fuzzy Membership Evaluation Matrix(FEME)로 정의하고 Weight Vector와 곱을 하여 Grading Vector를 얻은 평가모델을 다음과 같이 정의 하였다.

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{R} \quad (3)$$

\mathbf{B} : Grading Vector

\mathbf{A} : Weight Vector

\mathbf{R} : Fuzzy Membership Evaluation Matrix(FEME)

Grading Vector 는 원하는 직물에 대하여 그 형용사에 대한 질감의 정도를 객관적으로 평가하는 Vector를 의미한다. 만일 k개의 직물(T_1, T_2, \dots, T_k)에 대하여 질감의 정도를 수치화 하고 순서를 비교하는 경우 FEME은 다음과 같이 구성된다.

$$\mathbf{R}(\mu_{ij}) \quad T_1 \quad T_2 \dots T_k \text{ (Sample number)} \quad (4)$$

$$= \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1k} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \dots & \mu_{nk} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{측정값 1} \\ \text{측정값 2} \\ \vdots \\ \text{측정값 n (measured values)} \end{matrix}$$

즉, μ_{23} 은 직물3의 회전 마찰력을, 앞에서 구한 Polynomial Regression Function에 대입하여 얻어진 값이 된다. 그러므로 Grading Vector \mathbf{B} 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{R} = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n) \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1k} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2k} \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \dots & \mu_{nk} \end{bmatrix} \quad (5)$$

5. 평가모델의 활용의 예

4개의 직물을 선정, 평가모델을 이용하여 객관적 등급을 결정하고 주관적 평가값과 비교 하였다. Table 4는 4개 직물의 역학적 물리적 측정값을 나타내고 있으며 Polynomial Regression Function 대입하여 FEME \mathbf{R} 을 구하였다. 편편하기-우둘두들하기의 평가 순서를 결정하기 위해서 측정된 값들은 Table 4에 정리하고 Polynomial Regression Function에 대입하여 FEME \mathbf{R} 을 구하였다.

Table 4 직물의 역학적, 물리적 측정값

	표면 거칠기	회전 마찰력	Warp 밀도	Weft 밀도
T ₁	2.533	32.4	136	76
T ₂	4.817	26.6	92	68
T ₃	8.663	19.0	56	48
T ₄	6.061	22.1	60	40

$$R(\mu_{ij}) = \begin{bmatrix} 0.319 & 0.582 & 0.636 & 0.610 \\ 0.482 & 0.511 & 0.629 & 0.567 \\ 0.414 & 0.483 & 0.752 & 0.697 \\ 0.405 & 0.458 & 0.632 & 0.712 \end{bmatrix} \quad (6)$$

i=1~4(측정값) j=1~4(직물번호)

Table 2로부터 Weight Vector는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

$$\text{Weight Vector } \mathbf{A} = (0.286, 0.235, 0.208, 0.271) \quad (7)$$

앞에서 구한 \mathbf{R} 과 \mathbf{A} 를 식(3)에 대입하여 Grading vector \mathbf{B} 를 구하였다.

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{R} = (0.400, 0.511, 0.657, 0.646) \quad (8)$$

각 요소의 의미는 0~1사이의 값으로 편편하기-우들두들하기의 정도를 나타내고 있다.

주관적 평가에 의한 편편하기-우들두들하기 등급은 T₃ > T₄ > T₁ > T₂이고 모델에 의해 계산된 등급은 T₃ > T₄ > T₂ > T₁으로 완전 일치 하지는 않았으나 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

6. 결론

직물에 대한 형용사 어휘의 감각적 느낌의 정도를 수치화하여 객관적으로 등급화 시켰다. 설문조사를 통하여 얻은 등급순서와 평가 모델을 이용한 등급이 거의 유사함을 확인할 수 있었다. 등급 평가 모델은 직물의 역학적, 물리적 측정값을 이용 객관적인 형용사적 표현 정도를 나타내는 이론으로 더욱 확대된 연구를 통해 일반적인 Software의 개발에 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

7.참고문헌

- 1) 이주영, 권영하, 황춘섭, 김칠순, 이수민, 한은경, "질감의 감성표현과 표면특성 측정값과의 상관관계 연구", 한국섬유공학회 추계학술발표회 논문집, 349-353, 1997

- 2) 문지성, 권영하, 장승호, 강대임, 이주영, 강재식, "질감의 객관적 표현을 위한 표면 특성장치의 설계", 한국섬유공학회 추계학술발표회 논문집, 354-358, 1997
- 3) Mastura Raheel and Jiang Liu, "An Empirical Model for Fabric Hand, part I: Objective Assessment of Light Weight Fabrics", Textile Research J.31-38(1991)
- 4) Mastura Raheel and Jiang Liu, "An Empirical Model for Fabric Hand, part II: Subjective Assessment, Textile Research", J.79-82(1991)
- 5) P.W.Harrison BSc CTextFTI, "Fabrics: Sensory and Mechanical Properties", Textile Progress Vol.26 No.3
- 6) 조인호 저, "SAS 강좌와 통계컨설팅", 한화경제연구원, 1996
- 7) 長町三生 著, "感性工學"
- 8) S. Kawabata, R. Postle and Masako Niwa, "Objective Measurement: Applications to Product Design and Process Control"
- 9) 이광형, 오길록 공저, "퍼지이론 및 응용", 홍릉 과학출판사, 1991
- 10) 김도현 외 6인 공역, "핵심퍼지 시스템", 에드텍, 1994
- 11) Delores M. Etter, "Engineering Problem Solving with Matlab", Prentice-Hall Inc., 1997
- 12) 윤일홍, 이시영 공저, "현대 통계학", 삼영사, 1997