

신경망을 이용한 면방적사의 강도 예측

전봉수, 양철곤, 김성희
성균관대학교 섬유공학과

1. 서 론

면방적사의 역학적 특성은 실의 구조적 변수와 원면의 역학적 특성에 의존한다. 따라서 원면의 역학적 특성을 측정함으로써 실의 품질에 영향을 미치는 중요한 요인이 되는 변수를 결정할 수가 있다. 이런 관점에서 원면의 역학적 특성을 전문적인 지식 없이도 쉽고 정확하게 신속하게 측정할 수 있는 측정기기의 개발이 1960년대부터 시작되어 현재는 HVI(High Volume Instrument)가 개발되었다. HVI로 측정할 수 있는 주요 원면 특성은 섬유장, 섬유장 균제도, 섬유강도, 섬유절단신도, 섬도, 회색도, 황도, 잡물크기, 잡물량 등이 있다. 이러한 원면 특성치들로서 실의 강도를 예측하기 위한 방법으로 지금까지 주로 중회귀 분석 등 통계적인 방법이 사용되어 왔는데^{1,2}, 통계적인 방법의 단점은 모델이 선형이거나 또는 선형 모델을 사용하지 않을 경우에는 구체적으로 적합한 모델을 설정해 주어야 한다는 데 있다. 그렇기 때문에 최근에는 인공 신경회로망을 이용하여 예측을 하는 방법이 시도되고 있다³.

신경망이란 사람과 같은 유연한 지적 정보처리 시스템을 구성하기 위하여 인간의 두뇌구조를 묘사한 모델로서 최근에는 섬유공학 분야에도 많이 응용되고 있다. 그 예로는 신경망을 이용하여 웹, 경사사절, 위사사절, 오염, 직물밀도의 경박결합 등의 직물 결점 감지 및 분류와 NIR을 이용한 섬유 감별에의 응용, 혼합 염료에서의 염료 농도 분석 등 주로 인식을 요구하는 분야에 사용되고 있다. 본 연구에서는 HVI로 측정한 원면 특성과 그 원면으로부터 방출한 면방적사의 강도를 측정한 후 그 결과를 신경망을 이용하여 분석함으로써 원면의 특성이 면방적사의 강도에 미치는 영향을 고찰하였으며, 또한 통계적으로 분석한 결과와 비교 검토하였다.

2. 이론적 배경

2.1 신경망 이론

Fig. 1은 입력 뉴런이 n 개이고 출력 뉴런이 1개인 단층(single-layer) 신경망 구조를 나타낸 것이다. Fig. 1에서 X_i 는 i 번째 뉴런의 입력값이며, w_i 는 i 번째 뉴런과 출력간의 가중치이고 b 는 바이어스(bias)이다. Y 는 출력값으로 식(1)과 같은 식으로 계산된다.

$$Y = f(\text{net})$$

$$\text{net} = b + \sum_{i=0} X_i w_i \quad (1)$$

여기서 $f(\text{net})$ 는 활성화 함수(activation function)로서 입력값에 대한 활성화 여부를 출력 신호로 전해주는 역할을 하며 여러 가지 형태가 있으나 여기서는 식(2)와 같은 시그모이드(sigmoid)형 함수를 선택하였다. 즉

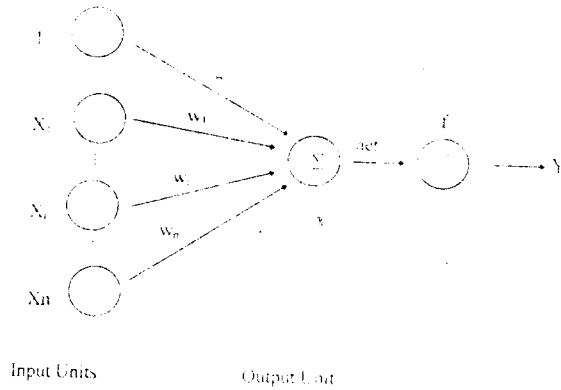


Fig.1 Single layer neural network

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (2)$$

이상과 같은 단층 신경망으로서는 여러 가지 제약이 있기 때문에 일반적으로 입력층과 출력층외에 새로이 은닉층(hidden layer)을 포함함으로써 입출력 특성을 비선형화하는 다층(Multi-layer) 신경망을 사용하였다. 그리고 학습방법으로는 식(3)과 같은 역전파 알고리즘(backpropagation algorithm)을 사용하였다.

$$\Delta W_{ij} = \eta \delta_j O_i$$

$$\delta_i = \begin{cases} f'_j(net_j)(t_j - O_j) & ; j \text{ 유니트가 출력층 유니트일 때} \\ f'_j(net_j) \sum_k \delta_k w_{jk} & ; j \text{ 유니트가 은닉층 유니트일 때} \end{cases} \quad (3)$$

- 여기서 w_{ij} : i 유니트에서 j 유니트로 연결된 링크의 가중치
 η : 학습 요인 상수
 δ_j : j 유니트에서 실제 출력과 계산된 출력간의 오류항
 t_j : j 유니트의 계산된 값
 O_i : i 유니트의 출력값
 i : j 유니트 이전층의 유니트 번호
 j : 현재 유니트
 k : j 유니트 다음층의 유니트 번호

2.2 통계적 이론

본 연구에서는 원면의 특성 중 섬유장(Len), 섬유장 균제도(Unif), 섬유강도(Str), 섬도(Mic), 회색도(Rd), 황도(B), 잡물크기(Area), 잡물량(Cnt)등 8가지 특성을 선택하여 실의 강도(YS)를 예측하고자 하였다. 물론 8가지 특성 전부를 사용하면 상관관계가 가장 양호할 것이지만 가능한 한 관리할 수 있는 요인의 수를 줄이기 위하여 중회귀 분석을 하였다. 요인의 선택기준은 결정계수(R^2), 수정결정계수(Ra^2), 상관계수, 잔차자승평균(MSE)등으로 하였다.

3. 실험

50개의 원면 베일을 혼면하여 Ne 40 면방직사를 생산하고 있는 국내 면방공장에서 각각의 베일에 대하여 역학적 특성을 HVI로 측정된 후 그 혼면으로 부터 생산된 실의 강도를 측정하였다. 이와 동일한 방법으로 본 실험에서는 모두 30종의 혼면에 대한 데이터를 얻었다. 데이터의 수가 많지 않기 때문에 효과적인 분석을 위하여 랜덤하게 25개의 데이터와 5개의 데이터 두 그룹으로 나누어 25개 데이터는 계산 또는 학습용으로 사용하였고 5개 데이터는 그 결과를 분석하는데 사용하였으며 이러한 과정을 6회 반복함으로써 결국 모든 데이터들이 결과를 분석하는데 한 번씩 사용되었다.

4. 결과 및 고찰

Table 1은 원면의 특성들과 실의 강도간의 상관관계수이다. 선형 중회귀 분석후 실의 강도와 상관관계가 높은 것은 섬유장 균제도(Unif), 섬유장도(Str) 등의 순으로 되어 있음을 알 수 있다. Fig.2 는 비선형 중회귀 분석을 한 것으로 실의 강도와 높은 상관성이 있는 것으로는 Ln(Unif), Ln(Str), Sr(Str) 등의 순으로 되어 있다. 여기서 각 변수들의 앞에 쓰여있는 Ln은 로그, Sr은 평방근, Sq는 자승을 나타내며 변수명의 첫 글자만을 나타내었다.

Table 1. Correlation matrix between parameters

	Mic	Len	Unif	Str	Rd	B	Area	Cnt	YS
Mic	1.0000	- 0.4811	0.1902	0.1710	- 0.0756	0.2129	- 0.2212	- 0.1270	0.0668
Len	- 0.4811	1.0000	0.1688	- 0.2254	0.4836	- 0.6435	0.3522	0.2066	0.0959
Unif	0.1902	0.1688	1.0000	0.5692	0.2115	0.2198	0.1625	- 0.0211	0.7683
Str	0.1710	- 0.2254	0.5692	1.0000	- 0.0175	0.4367	0.1032	0.0943	0.6811
Rd	- 0.0756	0.4836	0.2115	- 0.0175	1.0000	- 0.3956	0.0954	0.1182	0.1851
B	0.2129	- 0.6435	0.2198	0.4367	- 0.3956	1.0000	0.530	0.0478	0.2521
Area	- 0.2212	0.3522	0.1625	0.1032	0.0945	0.0530	1.0000	0.8622	0.3475
Cnt	- 0.1270	0.2066	- 0.0211	0.0943	0.1182	0.0478	0.8622	1.0000	0.2648
YS	0.0668	0.0959	0.7683	0.6811	0.1851	0.2521	0.3475	0.2648	1.0000

를 나타내며 결정계수는 No. 3까지는 급격히 증가하다 No. 4부터 완만히 증가함을 알 수 있다. 이것은 Fig.4의 수정된 결정계수를 보면 더욱 확실히 알 수 있다. 즉 No. 3에서 최고치를 가지며 그 이후로는 원면의 특성치들을 더 추가하더라도 효과적으로 상관 관계를 높일 수가 없다.

이상과 같은 통계분석으로 보면 선형 분석일 경우 상관계수로 판단하면 Unif, Str이고 수정된 결정계수로는 Unif, Str, Cnt가 유효하며, 비선형 분석일 경우 상관계수로는

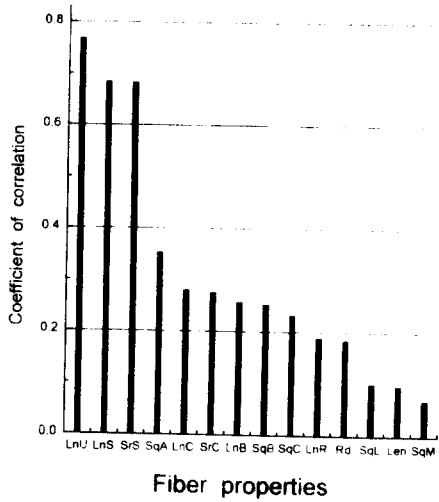


Fig. 2 Coefficient of correlation between fiber properties and yarn strength

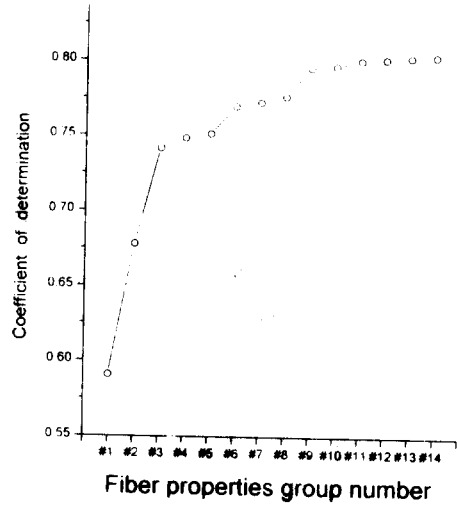


Fig. 3 Coefficient of determination between fiber properties group and yarn strength

Fig.3은 실의 강도와 원면 특성치들 간의 결정계수불 나타낸다. 여기서

- No. 1 : Ln(Unif)
- No. 2 : No. 1 + Sr(Str)
- No. 3 : No. 2 + Ln(Cnt)
- No. 4 : No. 3 + S4(Mic)
- No. 5 : No. 4 + S4(Cnt)
- No. 6 : No. 5 + Sr(Cnt)
- No. 7 : No. 6 + S4(Len)
- No. 8 : No. 7 + Ln(B)
- No. 9 : No. 8 + S4(B)
- No. 10 : No. 9 + S4(Area)
- No. 11 : No. 10 + Len
- No. 12 : No. 11 + Ln(Rd)
- No. 13 : No. 12 + Rd
- No. 14 : No. 13 + ln(Str)

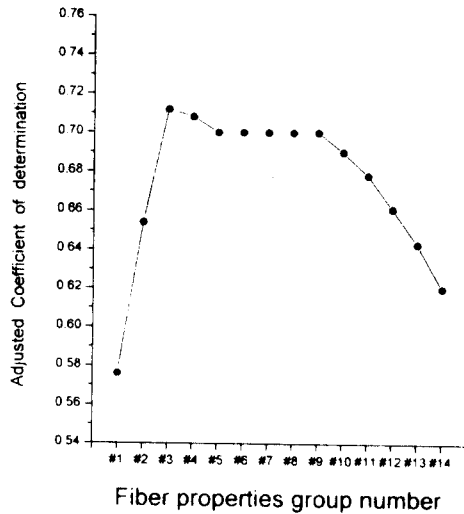


Fig. 4 Adjusted coefficient of determination between fiber properties group and yarn strength

Ln(Unif), Ln(Str), Sr(Str)이 변수선택에 있어서 우선 순위가 높음을 알 수 있다. 이상의 4 그룹에 대하여 신경망을 이용하여 잔차 자승 평균을 구하였다. 훈련에 소요된 사이클 수는 3,000번이었다.

Table 2. Comparison of MSE obtained from statistical analysis(S.A.) and neural network(N.N.) after training and testing, respectively.

Fitting	Variable	R ²	R _a ²	MSE from S.A.		MSE from N.N.	
				Train	Test	Train	Test
linear	Unif Str	0.67817	0.65433	0.01355	0.01749	0.00808	0.01884
	Unif Str Cnt	0.73810	0.70788	0.01155	0.01415	0.00637	0.01775
nonlinear	Ln(Unif) Ln(Str)	0.67768	0.64049	0.01398	0.02154	0.00799	0.01831
	Sr(Str)						
	Ln(Unif) Sr(Str) Ln(Cnt)	0.74134	0.71150	0.01141	0.01399	0.00585	0.01692

Table 2는 그 결과를 나타낸 것으로 통계분석을 이용하여 얻어진 학습된 잔차 자승 평균과 시험용 잔차자승평균을 보면 상관계수로 판단하는 것 보다는 수정된 결정계수로 판단하는 것이 오차를 줄일수 있음을 알 수 있다. 특히 상관계수로 판단하는 경우 선형이나 비선형의 경우 분석에 사용된 잔차 자승 평균은 비슷하였지만 시험용으로 판정해보면 비선형 분석의 오차가 더 큰 것을 알수 있는데 이는 비선형의 경우 과도한 회귀분석을 하였음을 알 수 있다. 반면에 신경망을 이용하여 분석한 경우는 전반적으로 통계분석을 하였을 경우보다 오차가 작음을 알 수 있다. 그러나 학습된 오차는 작았지만 시험용 오차가 큰 것으로 나타난 것은 3,000번의 학습이 과도하였음을 나타낸 것으로서 시행수를 줄이면 이를 해결할 수가 있다. 또한 입력 데이터를 선형으로 하였을 경우나 비선형으로 하였을 경우에 그 결과가 큰 차이를 보이지 않음으로서 분석모델의 설정이 필요하지 않음을 알 수가 있다. Fig. 5는 신경망을 이용하여 Unif, Str, Cnt로서 강도를 예측한 것이다. 선형으로 입력을 시키었지만 결과는 비선형거동을 보이며 경우에 따라서는 최적조건을 쉽게 구할 수 있다는 장점이 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

HVI 시스템으로 역학적 특성을 측정된 후 면방적사의 강도를 예측하기위하여 통계적 방법과 신경망 방법을 이용하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 면방적사의 강도를 예측하기위하여 8가지 원면특성치를 모두 고려하는 것보다는 2-3개의 원면특성치를 사용하는 것이 통계적으로 유의차가 없으므로 원면의 관리적인 측면에서 보면 효과적이다.

(2) 통계적 분석의 경우 변수선택을 하는 방법에 따라 상관의 정도가 달라짐으로 변수 선택 방법에 대한 합리적인 판단 기준이 요구된다.

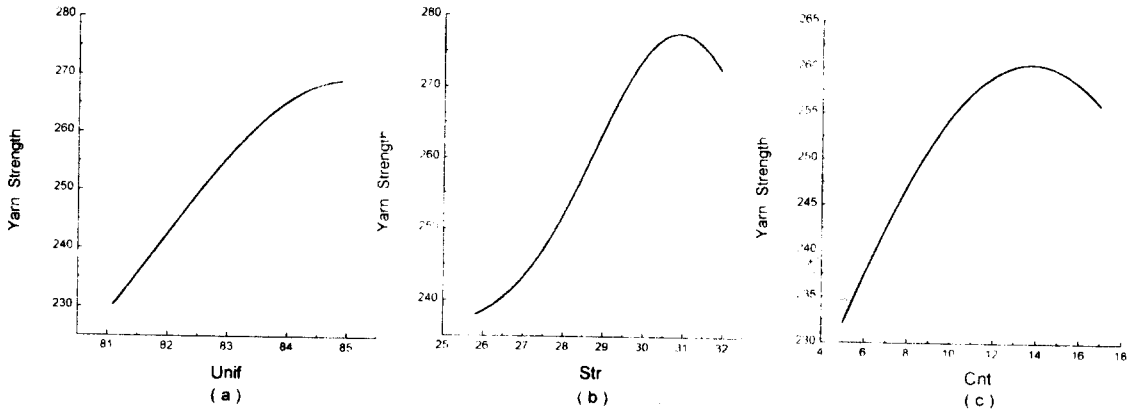


Fig.5 Estimated yarn strength with (a) uniformity, (b) fiber strength and (c) trash count calculated from neural network

(3) 통계적 분석의 경우 정확한 회귀분석을 하기 위해서는 비선형 모델의 설정이 요구되지만 경우에 따라서는 필요 이상의 과도한 회귀분석을 함으로서 오히려 오차를 크게 할 수 있는 반면 신경망 분석의 경우 잔차자승평균 등 오차를 관찰하여 판단할 수 있으므로 오차를 최소로 할 수 있다.

(4) 신경망분석의 경우 통계적분석과는 달리 특별한 모델의 설정 없이도 비선형 거동을 예측하는데 적합하다.

6. 참고 문헌

1. Y. E. El-Mogahzy, Text. Res. J., 58, 392(1988)
2. Y. E. El-Mogahzy and R .M. Broughton, JR, Text. Res. J., 59, 440(1989)
3. L. Cheng and D. L. Adams, Text. Res. J., 65, 495(1995)