

Nomex/Viscoes FR 혼방 직물의

열 특성

1. 서 언

의복의 방염성은 경주용 차의 운전자, 소방대원, 금속을 다루는 작업자 등에게 중요한 문제이다. 이러한 작업환경에서 사용되는 유니폼은 방염성이 보증되어야 한다. 한편 유아복, 드레이퍼리(drapery), 인테리어용 직물에도 안전을 위해 방염성이 요구된다. 방염 직물의 생산방법에는 여러 가지가 있으며, 여러 섬유 원료의 방염거동이 보고되고 있다. 직물의 방염성은 가공 또는 코팅 공정에서 특수 약제를 사용하여 향상시킬 수 있으며, 필라멘트의 가공을 통해서도 향상시킬 수 있다.

Nomex 섬유로 제조된 직물은 영구적인 방염성을 지니는데, 이는 섬유의 분자 구조 속에 방염성이 직접 형성되어 있기 때문이다. Nomex 섬유는 고가이므로 경제적인 관점에서 저가의 섬유와 혼방할 수도 있다. 본고에서는 Nomex 섬유와 혼방하기 위하여 Lenzing Viscose FR 섬유를 선택하였으며, 두 원료를 다양한 혼율로 혼방하여 조건별로 방직하고 제직한 후, 방염성을 검토하였다. 수직 연소 시험으로 직물의 방염성을 평가하였고, 열중량(TG)과 LOI(Liming Oxygen Index) 분석도 하였다.

결론적으로, 방염성이 우수한 혼율조건은 Nomex/Lenzing Viscose FR(80/20)이었다.

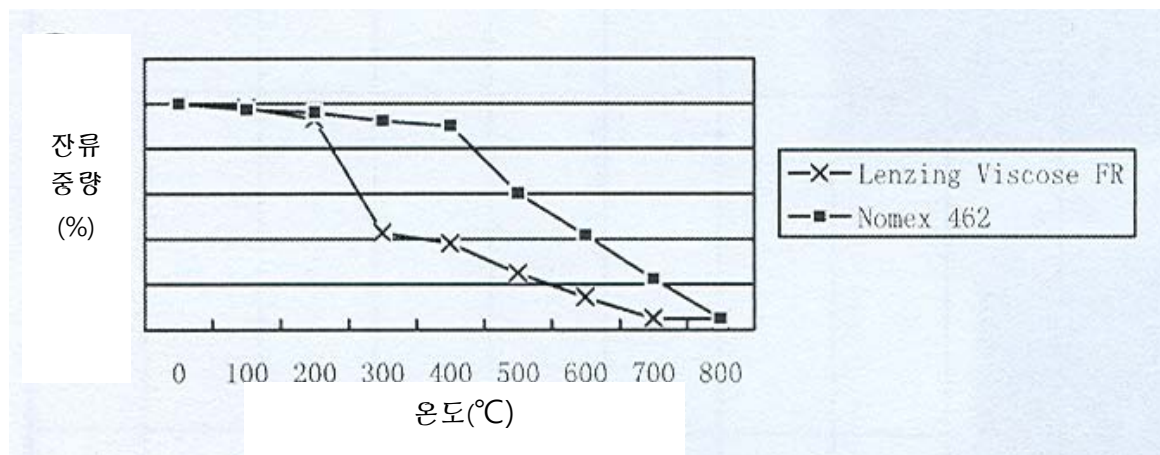
2. 원 료

본 연구에 사용된 Nomex 462 필라멘트(DuPont, USA)는 우수한 방염성 때문에 방염분야에 널리 사용되고 있다. Nomex 462 필라멘트는 aromatic polyamide – poly-(m-phenylen isophthalamide)로 제조된다. Aromatic 고리와 이를 연결해주는 아미드 결합들에 의해 내화학적 및 내열성을 갖는다. Nomex와 혼방한 Lenzing Viscose FR 섬유는 Tianjin Chemical Company(PR China)에서 공급받았다. Lenzing Viscose FR 섬

유 생산공정에서 Viscose 방사 용액에 Sandflamy 5060을 첨가하였는데, 이는 고온에서 물질을 탈수 분해시켜 분해시킬 수 있다. 연소시 Lenzing Viscose FR 섬유는 탈수, 탄화되고 가연성 가스는 약해진다. 두 섬유의 물성은 <표 1>과 같다.

<표 1> Nomex 및 Lenzing Viscose FR 섬유의 물성

구분	섬도(dtex)	강력(cN)
Nomex 섬유	1.71	6.20
Lenzing Viscose FR 섬유	1.73	3.88



<그림 1> 열중량(TG) 곡선

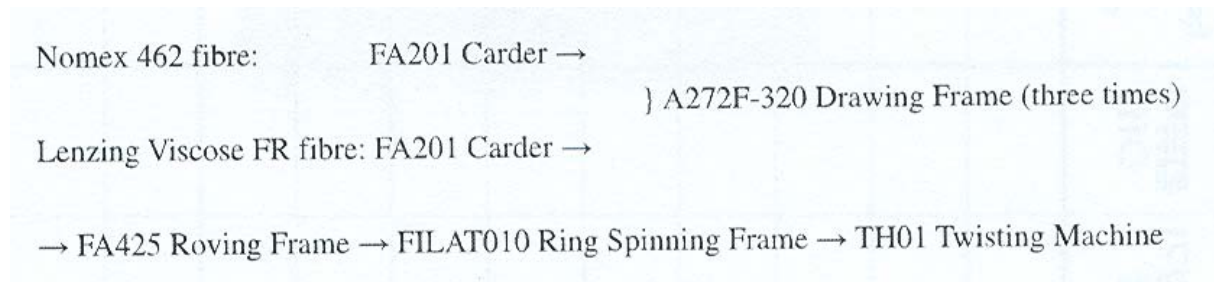
<그림 1>은 두 섬유의 열중량 곡선을 나타낸 것이다. 열중량 곡선은 온도와 연소 후 잔류 중량간의 관계를 보여준다. 400°C 도달시 Nomex 462의 잔류 중량은 90% 이상이지만, 400°C 이상에서는 온도가 증가함에 따라 잔류 중량이 점차적으로 감소한다.

Lenzing Viscose FR 섬유는 200 ~ 400°C 구간에서 급속한 중량 손실을 나타낸다. <그림 1>과 같이 Nomex 섬유는 Lenzing Viscose FR 섬유 보다 방염성이 우수하다. 두 원료의 스테이플 섬유를 혼방하였으며, Nomex 섬유와 Lenzing Viscose FR 섬유

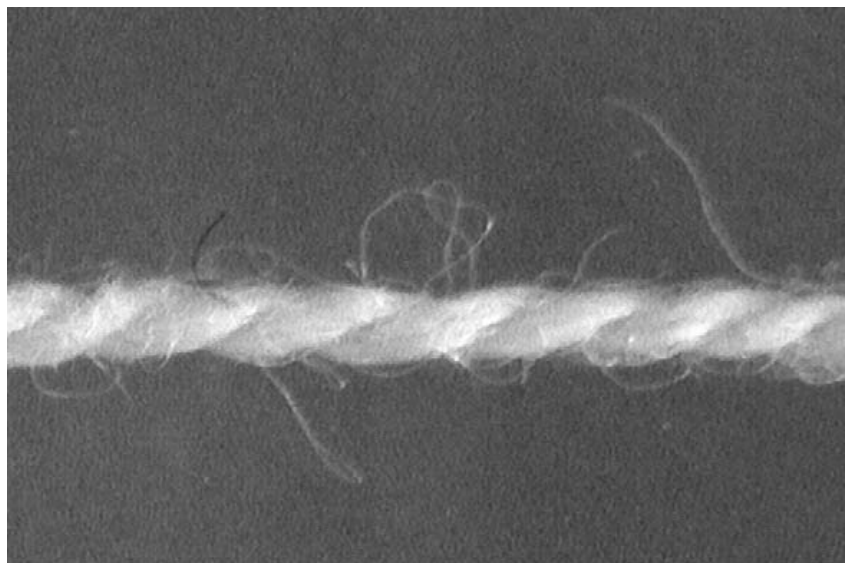
유의 혼율은 0/100, 20/80, 35/65, 50/50, 65/35, 80/20, 100/0 으로 하였다.

3. 실험

Nomex 462 및 Lenzing Viscose FR 필라멘트를 40mm 길이로 절단하였고, 방적사의 생산공정은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 방적사의 생산공정



<그림 3> Nomex 462/Lenzing Viscose FR(80/20) 혼방사의 외관

면방용 정방기(PR China)를 이용하여 35tex로 방적하였다. Nomex 462/Lenzing Viscose FR(80/20) 혼방사의 외관은 <그림 3>과 같다.

1차 연조공정에서 두 원료의 혼율을 조정하였다. 혼율별 방적사의 인장강력은 <표 2>와 같다.

<표 2> Nomex 462와 Lenzing Viscose FR 섬유의 혼율 및 인장 강력

구분	Nomex 462/Lenzing Viscose FR 혼율	인장 강력(cN)
1	0/100	562.14
2	20/80	628.57
3	35/65	675.19
4	50/50	725.66
5	65/35	774.31
6	80/20	811.50
7	100/0	897.45

<표 2>와 같이 Nomex 섬유의 혼율이 증가할수록 인장강력은 증가한다. 이는 Nomex 섬유의 인장강력이 Lenzing Viscose FR 섬유의 약 2배이기 때문이다<표 1>. 직물은 경사밀도 280 ends/10cm, 위사밀도 272 fillings/10cm의 평직으로 제작하였다. 정확한 실험을 위해 혼율별로 방직사의 번호와 동일한 번호를 직물에 명시하였다. 예를 들어 혼방사 No.4를 사용한 경우, 직물 No.4로 표시하였다. 모든 직물은 실험 전 48시간 동안 표준상태(20℃, RH 65%)에서 컨디셔닝 시켰다.

ASTM D6413을 기초로 하는 중국 규격 GB-T5455-97에 따라 Atlas vertical flame chamber(England)로 경사 방향을 따라 수직 연소 시험을 하였다. 프로판 가스를 사용해 불꽃 높이를 40mm로 조절하였고, 불꽃을 끈 후 샘플을 연소 튜브 속에 수직으로 건 다음, 불꽃 배출구를 샘플 아래로 이동 시키고 불을 붙였다. 샘플의 연소거동을 기록하면서, 12초 후에 불꽃을 확인하고, 판정 기준에 따라 시료의 손상 길이를 측정하였다.

ASTM D7348-08을 기초로 하는 중국 규격 GB-T5454-97에 따라 The critical oxygen index tester(Model DT5FOOR, Italy)로 LOI(Liming Oxygen Index) 시험을 하였다. 컨트롤 디스크의 정량에 맞도록 N₂와 O₂ 가스를 개별적으로 공급한 다음, 가스 공급을 차단하고 150mm x 58mm 크기의 샘플을 연소 튜브에 넣고 시험기를 켜었다. 두 가스의 밀도를 조절하여 원하는 가스 밀도를 확인한 후, 샘플을 연소시

켰다. 연소시간과 샘플의 연소거동을 기초로 OI(oxygen index)를 기록하였으며, 각 조건별로 20점씩 시험하였다. 기준 물질과 수식을 이용해 수집된 데이터로 각 조건의 LOI 값을 구하였다.

ASTM E914에 따라 TG analyzer(Model NETZSCH STA409PC, Germany)로 열중량을 분석 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 수직 연소시험

수직 연소시험 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 수직 연소시험 결과

샘플 No.	손상길이(mm)	잔염시간(s)	연소 특성
1	45	1.2	No shrink Greatest charred area Odour of burning paper
2	33	1.0	No obvious shrink Greater charred area Odour of burning paper
3	32	0.8	A little shrink Greater charred area Odour of burning paper
4	31	0.6	A little shrink Moderate charred area Bad smell
5	25	0.5	Moderate shrink Smaller charred area Bad smell
6	23	0.2	Moderate shrink

			Smaller charred area Bad smell
7	33	0.1	Greater shrink Smallest charred area Bad smell

<표 3>의 데이터는 5회 시험에 대한 평균 값이다. 모든 시료의 손상 길이는 46mm 미만이다.

샘플 No.7을 제외하고 대부분의 경우 Nomex 462의 혼율이 증가할수록 손상 길이가 짧다. 흥미로운 점은 샘플 No.6의 손상 길이가 23mm로 가장 짧다는 것이다. <표 3>과 같이 손상 길이에 대한 방염성능은 샘플 No.3~6이 샘플 No.1과 No.7보다 우수하다. 즉, 혼방 직물의 손상 길이는 100% Nomex 또는 100% Viscose FR 직물보다 짧다. 단 예외적으로 샘플 No.2는 손상 길이가 33mm로 샘플 No.7과 동일하다. 샘플 No.2는 샘플 No.1에 비해 손상 길이가 급격히 줄었는데, 이는 Lenzing Viscose FR 섬유의 방염성능에 대한 기여도가 적기 때문인 것으로 보인다. Nomex 섬유의 혼율이 증가할수록 탄화 부분의 길이는 감소하고 잔염 지속시간은 짧아진다.

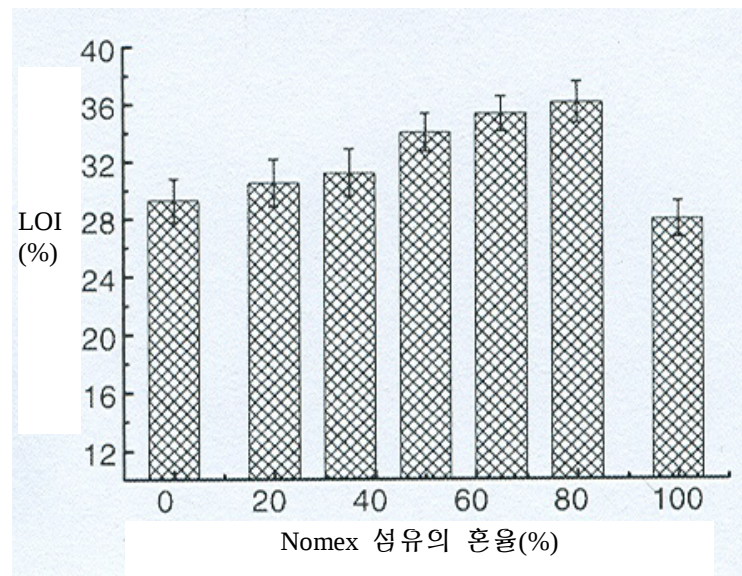
연소 시험시 직물의 용융 및 적하가 없었고, 잔염 지속 시간은 매우 제한적이었다. 탄화 부분이 작았다. Nomex 462의 혼율이 증가할수록 탄화 부분의 길이는 점차 감소하였고, 샘플의 수축은 증가하였다. 불꽃으로부터 샘플을 제거 했을 때 모든 샘플에서 불이 즉시 꺼졌고, 시험후 샘플의 탄화면적은 딱딱한 것으로 확인되었으며, 연소로 인한 구멍은 없었다. 본 실험에서 제조된 직물은 방염 용도로 적합할 것으로 보인다.

4.2. LOI (Liming Oxygen Index) 분석

<그림 4>와 같이 모든 샘플의 LOI 값은 27% 이상으로 방염 성능이 우수하다.

각 샘플의 LOI 값은 높으므로 방염 성능을 향상 시키기 위한 부가적인 방염처

리가 필요없다. <그림 4>와 같이 단독 원료(100% Nomex 또는 100% Viscose FR) 사용시 LOI 값이 낮았으며, Nomex 섬유의 혼율이 20%에서 80%로 증가할수록 LOI 값이 증가하였다. Nomex 462/Lenzing Viscose FR의 혼율이 80/20 일 때 LOI 값이 36.1%로 열적 안정성이 가장 우수하였다.



<그림 4> LOI 값

시험에 사용된 섬유들의 방염성은 주로 섬유의 구조적 특성에 기인한다. Nomex 필라멘트의 경우 aromatic 고리와 이를 연결하는 아미드 결합이 고분자의 열적 안정성을 갖도록 한다. Lenzing Viscose FR 섬유에 함유된 Sandflamy 5060는 고온에서 탈수 분해되는데, 이로 인해 섬유가 탈수되고 탄화된다. 우수한 방염성 원료인 Nomex 462와 연소시 탈수 반응으로 연소 가스를 감소시키는 Lenzing Viscose FR 섬유의 혼방은 LOI 거동을 향상시킨다.

4.3. 열 중량(TG) 분석

열 중량에 대한 시험 결과는 <표 4>와 같다.

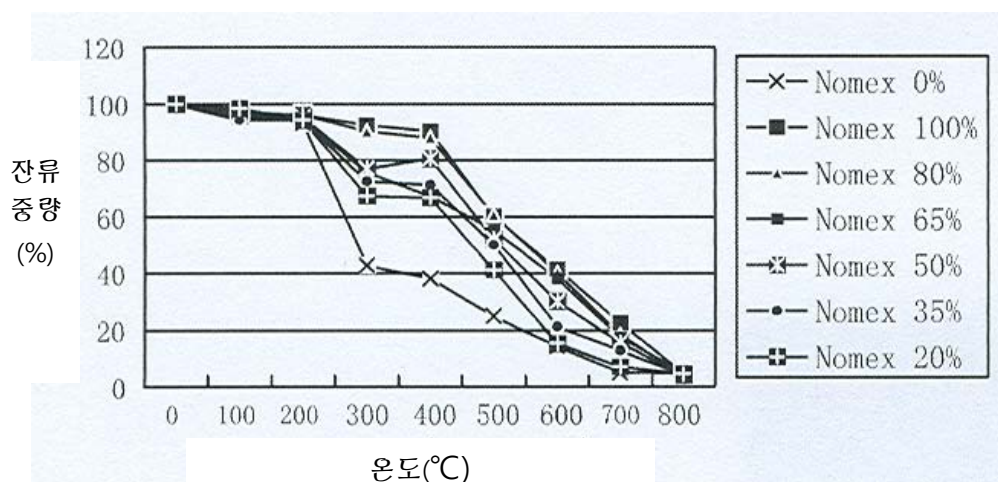
<표 4>의 데이터는 5회 시험에 대한 평균 값이다. 중량 손실이 약 10%일 때, 수분 증발이 중량변화의 주요 원인이 된다. 수분율이 높을수록 10%의 중량손실은

낮은 온도에서 발생한다. Nomex 462 섬유 혼율이 증가할수록 중량 손실 온도가 증가하는 경향을 나타내는데, 이러한 현상은 섬유의 수분율과 일치한다. 참고로 Nomex 섬유의 수분율은 4.9%, Lenzing Viscose FR 섬유의 수분율은 10.2%이다.

<표 4> 열중량(TG) 시험 결과

샘플 No.	중량손실 10% 일 때의 온도(°C)	600°C 일 때의 잔류중량	중량이 더 이상 변하지 않을 때의 온도(°C)
1	228	14.06	710
2	237	16.07	740
3	238	18.63	750
4	245	21.82	780
5	246	23.23	790
6	268	41.26	820
7	412	42.54	850

온도가 600°C에 도달했을 때 샘플 No.1의 잔류 중량은 14%로, 직물이 완전히 분해된 것으로 볼 수 있다. Nomex 462 섬유의 혼율이 증가할수록 잔류 중량의 양도 증가하는 경향을 나타낸다. 일정 온도에 도달하면 각 샘플의 중량은 변하지 않는다. 각 샘플들의 열중량(TG) 곡선은 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 열중량(TG) 곡선

<그림 5>는 조금 복잡해 보이지만, Nomex 462 섬유 혼율이 증가할수록 잔류 중량이 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 이는 Nomex 462 섬유의 방염 성능이 Lenzing Viscose FR 섬유 보다 우수함을 나타낸다.

시료의 잔류물은 기본적으로 검은색 탄화물이다. Nomex의 혼율이 증가할수록 중량이 더 이상 변하지 않는 온도는 일정하게 증가하는데, 이는 열중량 값과 함께 Nomex 462의 우수한 방염성을 입증한다.

5. 결 론

수직 연소시험에서 샘플 No.6(Nomex/ Lenzing Viscose FR, 80/20)의 손상 길이가 가장 짧았으며, LOI(Liming Oxygen Index)도 샘플 No.6가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 샘플 No.6의 우수한 방염 성능을 증명해 주는 것이다. 열 중량 분석의 경우는 샘플 No.7(Nomex/ Lenzing Viscose FR, 100/0)가 가장 양호한 거동을 나타내었다. 혼방사 직물의 LOI 값은 100% Nomex 또는 100% Viscose FR의 LOI 값 보다 높은 것으로 나타났다.

Nomex/Lenzing Viscose FR 혼방사 직물은 방염 목적으로 사용될 수 있으며, 방염 성능과 경제성을 고려할 때, 혼율 80/20 조건이 실제 생산에 권장 될 수 있다.