구미섬유역학의 현황

서 언

과학이냐 혹은 기술이냐로 논란되어 오던 「섬유학」도 이제는 학문으로서 굳건한 위치를 차지하고 있는 이 시점에서 그 중의 한 부분인 「섬유역학」분야의 걸어온 길과 그 전망을 되살펴 보는 것도 의미있는 일인 듯 하다.

일반적으로 섬유 및 섬유구조물의 품질은 그의 여러 가지 성질, 즉 물리적, 화학적 혹은 기계적 성질등에 의하여 평가되어 왔다.

그리하여 섬유물의 많은 성질들이 측정되어 왔다. 예를 들면 강신도, 굴곡강도, 내산도, 마찰계수 등등 무한히 많은 것들이 그것이다.

그런데 이들 중에서 기계적 성질과 섬유물의 구조와의 관계를 구조역학적으로 구명하는 분야가 섬유역학이라고 정의되는데 이 분야는 극히 최근에 확립된 것으로 이에 대하여 문헌적인 고찰을 서술코자 하는 것이 소론의 목적이다.

섬유역학은 Gegauff(1907)의 실의 인장강도의 이론적 계산이 그 효시가 될 것이다. 물론 그는 실제와는 거리가 있는 이상상태에서의 섬유의 복합체로서의 실이 강도를 다루었다.

즉 섬유는 단면이 균일한 긴 엔통형 물질로 되어 있고 섬유는 실 중에서 이상나선상으로 배열되어 있으며 섬유 간에는 마찰이 없으며 섬유는 균질적이란 판정하에 이론을 전개했다.

다음은 1920~1930년대에 있어서, F.T.Peirce의 섬유역학의 다방면에서의 활약을 들 수 있겠다. 초창기 섬유역학의 발전은 Peirce의 업적에 의한다고 해도 과언이 아니며 그의 방법과 결과는 아직도 많은 섬유역학자들이 이용하

고 또 인용하는 섬유역학의 원조라고 볼 수가 있다. 그런데 그 당시의 역학 이론의 전개는 탄성학자인 A.E.H.Love의 저서 “A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity” (1927)에 힘 입은 바가 크며 이 책은 그 후 1950년대까지 영국의 많은 섬유역학자들에 의하여 이용되어 왔다.

1940~1950년대는 E.R.Schwarz에 의하여 시작된 미국에서의 섬유역학이 Backer, Hamburger, Platt등에 도달되어 체계적으로 연속으로 Textile Research Journal에 발표된 것과 같은 섬유역학분야의 연구와 영국에서의 Hearle의 연구가 사실상은 섬유역학의 체계화 작업의 시작이었다고 볼 수 있다.

1960년대는 C.F. Zorowski, Grosberg등이 실, 직물, 편물등의 섬유구조물에 대한 공업 역학적 방법에 의한 연구를 진행함으로써 섬유역학의 발전에 박차를 가했으며 1970년대는 상기 여러 학자들에 의하여 배출된 많은 섬유역학자들에 의하여 이 분야는 전성기를 이룬 듯한 느낌이다.

이상 개괄적으로 서술한 것을 아래에 각 계열별로 좀 더 자세히 논하고자 한다.

<< 단섬유의 역학>>

고체역학, 동력학, 재료역학, 탄성학, 소성학 및 점탄성학등의 역학에 의한 단섬유의 기계적 성질의 연구 동태를 알아보기로 한다.

여기에서 취급되는 기계적 성질이란, 인장, 휨, 비틀림 등의 기초재료역학에서 말하는 외력에 의한 성질과 마찰성 등이다.

1920년대에 발표된 Peirce의 일련의 면섬유의 탄성에 관한 연구로 시작된 이 분야는 인조섬유공업의 발전에 의하여 많은 인조섬유를 다루게 되었는데 특히 인조섬유의 여러가지 결함의 개선과 품질향상을 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 예를 들어서 몇 가지 중요한 것들만 추려서 보면 Marlow

(1958)는 Nylon 6.6의 여러가지 Draw ratio에 있어서 인장탄성계수와 휨계수(Bending modulus)의 값들을 비교연구했으며 Akutowicz(1956)는 섬유의 응력-변형관계를 외력, 변위 및 시간의 함수를 표시하여 섬유의 점탄성 방정식을 만들어 섬유 성질을 분석했다. 또 Hearle(1962)은 천연, 재생 및 인조섬유의 기계적 성질을 섬유구조에 의하여 해석했다. King(1967)은 휨과 인장에 의한 탄성계수의 차를 동물성 섬유에 대하여 구명하여 비교했다.

단섬유의 휨회복도는 Coplan, Freeston과 Platt(1962)에 의하여 연구되었는데 이들은 단섬유를 이상 탄성-소성물질로 취급하여 이론을 전개했다. 이것은 외력을 받는 섬유의 실제상태로의 일보접근이라고 볼 수 있다. 그 이유는 섬유는 탄성한계 이상의 응력을 받게 되는 경우가 흔히 있기 때문이다.이들은 엔형 및 구형단면을 갖는 filament의 휨역학을 다루었는데 휨 회복도 ($\overline{E}$)를

$$\overline{E} = \frac{1/\rho_1 - 1/\rho_2}{1/\rho_1}$$

단 ρ_1은 휨 filament의 곡율반경

ρ_2는 회복된 filament의 곡율반경

로 표시했으며 엔형 filament의 회복곡율은

$$1/\rho_2 = (1-\frac{\alpha}{E})[\frac{1}{\rho_1} - 3.395(\frac{\varepsilon^*}{d})]$$

단 α는 응력 - 변형곡선의 소성부분의 기울기,

E는 탄성계수,

ε^*는 filament의 강복변형,

d는 섬유의 직경

로 표시된다고 발표했다. 이와 같이 휨회복도는 filament 직경, 최초의 곡율 및 filament물질의 성질로 표현된다. 구형단면의 filament에 대해서도 비슷한 수학적 표현을 만들었다. 이것들은 실의 휨성질계산에 이용되는 것으로 실의

성질 연구의 제일보라고 볼 수 있다. 엔형 단 filament의 휨회복이외에 휨강도, 잔류moment등도 kim(1972)에 의하여 이론적으로 유도표시 되었는데 이들 휨특성들도 모두 filament의 직경, 인장성질 등의 함수로 표시되었다.

섬유의 비틀림 성질은 pierce(1923)의 면섬유의 비틀림 강도의 연구가 그 최초의 것으로 Freeston, Platt 및 Butterworth(1966)에 의한 연구로까지 발전되었다. 후자들은 이상 탄성-소성물질인 엔형 filament의 직경, 물질의 인장성질 및 최초의 꼬임수의 함수로 표현되었다. 즉 회복 꼬임수 T_2는

$$T_2 = T_1(1-\frac{\alpha}{G})\ [1-(\frac{T^*}{T_1})^4]-\frac{4T_1}{3}(\frac{T^*}{T_1})(1-\frac{\alpha}{G})[1-(\frac{T^*}{T_1})^3]$$

단 T_1은 최초의 꼬임수,

G는 비틀림 강도

T*는 강복 꼬임수

로 표현되었다.

단섬유의 마찰성질은 섬유 집합체의 여러 물리적 성질을 고찰할 때 염두해 두어야 할 필수사항이나 1960년대까지는 이것이 고려되지 않았었다. 그러나 1960년도 후반기 이후는 이 효과의 영향이 도입되기 시작했는데 이것을 위하여 많은 마찰계수 측정방법이 사용되었다. 그 중의 하나로 Sindberg와 Gralen(1948)의 방법을 보면 두 filament를 서로 꼰 다음 고정하고 한 섬유를 잡아 뽑을 때 각 섬유에 걸리는 장력을 각각 P_1, P_2 두 섬유간의 각을 β, 꼬임 수를 n라고 하면 섬유간 마찰계수 μ는

$$\mu = \frac{\ell n \frac{P_2}{P_1}}{\beta \chi n}$$

으로 표시된다.

엔주형 섬유가 서로 접촉했을 때의 섬유간 마찰은 주로 Hertz(1982)의 방정

식을 사용하는 것이 보통인데 이것은 접촉력에 의한 마찰력이다. 또 섬유 물질의 마찰 법칙은 실험 결과에 의하면 Amonton의 법칙을 따르지 않기 때문에 Lincoln(1952)의 법칙

즉, $F = \alpha N^n$

단 F는 마찰력,

N는 법선력,

α는 상수

n 는 $\frac{2}{3} \sim 1$ 사이의 값

을 적용한다.

<<실의 기하>>

실의 구조는 실험적으로는 Schwarz(1993)에 의하여 연구가 시작되었고 이론적으로는 Woods(1993)에 의하여 출발되었다.

Schwarz는 그의 논문에서 Schwarz의 상수

$$k = \frac{d - d_1}{d}$$

단 d는 실의 직경

d^1는 섬유의 직경

를 창조했으며 Woods는 미분 기하학을 실에 적용하여 실을 구성하는 섬유의 기하적 꼬임(Tortuosity) τ는

$$\tau = \frac{1}{\gamma} \sin\alpha \cos\alpha$$

단 γ는 실을 구성하는 나선형 섬유의 반경

α는 그 경사각

임을 밝혔다.

그 후 Schwarz(1950)는 Chow(1948)의 이론을 간추려서 실을 구성한 나선상 섬유의 방정식

$x_1 = \gamma \cos \theta$

$x_2 = \gamma \sin \theta$

$x_3 = \gamma \theta w t \alpha$

단, θ는 실의 반경이 γ인 위치에서의 섬유의 경사각

α는 외낭섬유의 경사각

에 의하여 섬유의 곡율 K,

$$K = \frac{\sin^2 \alpha}{\gamma}$$

을 소개하고 실의 꼬임 수와 직경과의 관계를 유도했다. 여기까지는 실을 구성하는 섬유가 이상나선형으로 되었다고 판정했을 때의 실의 기하이다.

그리고 실의 역학은 이 이상기하를 응용하여 해석하는 경우가 많다. 그러나 실제로 실은 우리가 잘 아는 바와 같이 제조공정에서 그 구성 섬유가 완전이상나선상을 이루지 않고 불규칙적인 경로를 갖는 나선을 형성한다. 그러므로 실의 역학적 분석에서 이상 나선기하를 이용하는 것은 실제와는 거리가 있는 방법이다. 그러나 문제 해석의 복잡성에 의하여 이것을 탈피하지 못하고 있는 실정이다.

방적사에 있어서 섬유의 실제 경로를 처음 연구 발표한 것이 Morton(1956)의 논문으로 그는 실 중의 섬유의 배열은 완전 이상나선이 아니라는 것을 밝히고 섬유의 배열을 측정하는 방법을 제공했다. 그 후 Herle, Bose등과 같은 많은 학자들이 실 중에서의 섬유의 “migration”을 연구했으며 초창기의 실험적인 방법에서 현금의 이론적 방법으로까지 발전되고 있다.

섬유의 migration의 영향을 고려하여 고안된 최초의 실의 기하학 Zurek(1961)의 논문에 실렸다. 그는 단사의 기하를 다음식으로 표시했다. 즉

$x_1 = \gamma(\theta)\cos\theta$

$x_2 = \gamma(\theta)\sin\theta$

$x_3 = \frac{\theta}{2\pi}h$

단 h는 나선의 Pitch

여기에서 보듯이 γ는 θ의 함수이다. 그러나 이 $\gamma(\theta)$는 실험에 의하여 결정하게 되어 있다. 즉 그 당시에는 섬유 migration의 이론이 확립되어 있지 않았으므로 별도리가 없었다. 그러나 그는 이 방정식에 의하여 실의 연축율, 절단강신도등을 계산해 내는 방법을 색출하였다.

다음 합연사(Multiply Yarn)의 기하학은 Treloar(1956)에 의하여 소개되었는데 그는 합연사를 구성하는 성분사 중의 섬유가 doubly wound helix로 되었다고 판정하고 그 방정식을 다음과 같이 만들었다.

$x_1 = \alpha\cos(\phi/p) + \gamma\cos\phi\cos(\phi/p) - \gamma\cos\alpha\sin\phi\sin(\phi/p)$

$x_2 = \alpha\sin(\phi/p) + \gamma\cos\alpha\sin\phi\cos(\phi/p) + \gamma\cos\phi\sin(\phi/p)$

$x_3 = \alpha(\phi/p)\cos\xi\alpha - \gamma\sin\alpha\sin\phi$

단, α는 cord 나선의 반경

γ은 filament상의 나선의 반경

ϕ는 filament상의 일점의 ply축에 대한 각 위치

P는 ϕ와 θ와의 관계를 정의하는 계수

θ는 ply축상의 일점의 각위치

α는 cord 나선각

그러나 이 방정식은 그 응용이 복잡하여 Stansfield(1958)에 의하여 수정 단순화되었는데 그는 exihelix를 이용하여 다음과 같은 방정식을 발표했다. 즉 transverse 평면상에서,

$x_1 = \alpha\cos\phi + \gamma\cos(\gamma - \xi)$

$x_2 = \alpha \sin\phi + \gamma \sin(\gamma - \xi)$

단, α는 cord의 반경

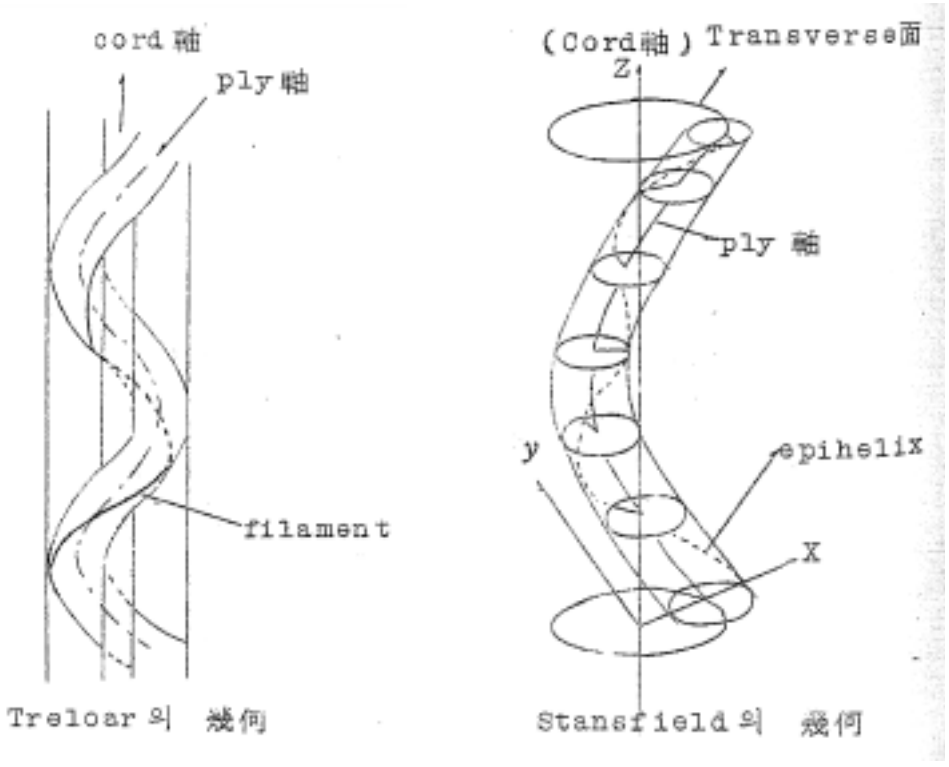
γ는 filament 나선의 반경

φ는 ply축의 각 위치

γ는 epihelix의 초기값

ξ는 filament의 ply축에 대한 각 위치

이 방정식이 Treloar의 것보다 간결하며 실의 연축율, filament의 곡율계산 등에 더욱 합리적이기 때문에 근래에는 이 Stans-field의 기하가 더 많이 이용되고 있다. 그러나 이 양자는 모두 이상나선에 의한 이론적인 것이며 섬유 migration의 영향을 고려하지 않은 것이다. 실제로 합연사에 migration의 영향을 고려한다면 더욱 복잡한 결과를 갖게 된다. 그러므로 아직 그러한 연구는 진행되지 않고 있는 상태이다.



<<실의 역학>>

Gegauff(1907)에 의하여 출발된 실의 강도 이론은 Sullivan(1942)으로 연결되었는데 그는 실을 구성한 섬유가 전부 동일 성질을 가질 때와 그렇지 않을 경우로 분해하여 섬유길이, 섬유 섬도 및 마찰계수를 변수로 했을 때의 실의 강도를 추정하는 이론식을 만들었으며 실의 강도가 최대일 때의 최적연계수는 섬유 강도가 가상 중요한 인자가 된다는 것을 발견했다.

그러나 아무래도 실의 강도의 체계적 연구는 Platt(1950)에 의하여 시작된 것으로 보는 것이 타당하겠다. 그는 실의 신도 εy와 구성 섬유의 신도 $\sum f$와는

$\sum f = \sum y\cos^2\theta$

단 θ는 나선각

의 관계를 가졌다는 결과를 얻었으며 또 실의 강도 P를

$P = \alpha - b N^2 R^2$

단, α, b는 상수

N는 꼬임 수

R은 실의 반경

으로 표시했으나 물론 다음과 같은 판정하에서 이 결과를 얻었다. 즉

1. 실은 길이에 洽하여 균일하고 그 단면은 엔형이다.
2. 실을 구성한 모든섬유는 동일성질을 가졌고 그 단면은 엔형이다.
3. 실을 구성한 섬유는 이상나선상이다.
4. 섬유는 실의 중심에 대하여 점대칭적으로 배열되어 있다.
5. 실의 지경은 섬유의 직경에 비하여 상당히 크다.

그 후 실의 횡방향의 평행조건에 의하여 횡응력을 계산한 것이 Hearle

(1958)인데 그는 실을 구성한 섬유의 횡응력을 Poisson의 영향을 고려하여 섬유의 실중에서의 위치와 꼬임수의 함수로 제시했으며 섬유가 절단될 때의 거동도 고찰했다. 즉 실의 비강도를

$$E_1 \frac{1}{(1+\sigma_1)(1-C^2)}\left[\frac{4+3\sigma_1}{2(1+\sigma_1)} - \frac{1+\sigma_1}{2\sigma_1}C^2 - \frac{2\sigma_1^{\,2}+2\sigma_1^{\,2}-1}{2\sigma_1(1+\sigma_1)}C^{2(1+\sigma_1)} + \ell_n C\right]$$

단 E_1은 섬유의 폭방향에 대한 탄성계수

σ_1은 폭방향에 대한 Poisson 비

$C = cos\,\alpha$

α는 꼬임의 표면각

로 표현했다.

또 횡방향의 수축을 고려하는 경우의 실의 강도는 Hearle 등(1961)에 의하여 연구가 전개되었는데 이들은 실험적 분석에 의하여 실의 제조조건의 영향과 실의 구조의 이상상태로 부터의 차이점도 검토했다. 이 때 변형이 클 때의 실의 강도의 이론적 유도도 아울러 이루어졌다.

1960년대에는 energy방법의 실의 강도추정에서의 응용이 많이 전개 되었는데 energy방법은 응력 해석법보다 얻는 정보의 가지수는 적으나 방법이 간단하다는 이점이 있어서 전 응력만을 구하고져 할 때에는 많이 사용되고 있다.

실의 강도추정에 있어서 섬유 migration의 영향은 그 계산의 복잡성에 의하여 고려되지 못하고 있다.

또 실의 강도 계산에 있어서 구성 섬유간의 마찰은 무한대의 것과 零인 것의 두 극한의 경우에 한하였다. 그러나 실제로는 섬유의 마찰이 그 중간값을 갖게 되는데 이 실제의 경우에 대해서는 Kim(1969)에 의하여 시도되었다. 즉 그는 실의 同心円柱 모형을 만들어 영부분의 인장응력을 계산하여 실의 강도로 추정하였다.

실의 휨과 비틀림에 관한 연구는 1950년대에 시작하여 지금까지 진행되고 있는데 Chow(1948)가 일반적인 경우의 휨 실의 기하를 다룬 이래 Backer(1952)가 그 특별한 경우로 휜 단사의 기하를 고찰했다. 그는 기하학적인 변수, 즉 휜 실 중의 filament의 국부변형, 국부나선각, 국부곡율을 미분기하학을 응용하여 구하였다. 즉 국부변형 ε 은

$$\varepsilon = \left[\frac{(\frac{\rho}{R} - \cos\theta)^2 + \lambda^2}{(\rho/R)^2 + \lambda^2} \right]^{\frac{1}{2}} - 1$$

단 R은 실의 반경

ρ 는 torus의 반경

$$\lambda = \frac{\rho}{R} \tan Q_0$$

Q_0는 휘기전의 실의 표면나선각

θ 는 filament의 휜 실의 폭에 대한 회전각

로 표시되고 또 국부나선각 Q는

$$Q = \frac{R\lambda}{\rho - R\cos\theta}$$

로 표현되었고 국부곡율 K는

$$K = \frac{1}{R[(\cos\theta - g)^2 + \lambda^2]} \left[(\cos\theta - g)^2 + 2\lambda^2 \cos\theta(\cos\theta - g) + 4\lambda^2 \sin\theta - \frac{\lambda^2 \sin^2\theta(\cos\theta - g)^2}{(\cos\theta - g)^2 + \lambda^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

단 $g = \frac{\rho}{R}$

로 표시되었다.

그리고 Platt등 (1959)은 두판상적인 상태 즉 섬유간의 마찰이 두 극한치 즉 영과 무한대일 때의 실의 휨강도를 계산했는데 그 결과는 다음과 같다.

$$(EI)_0 = NEI \times [\frac{2\ell_n \sec^2 Q_0 - 3\sin^2 Q_0 + (1-\cos^4 Q_0)}{\tan^2 Q_0}] \times [\frac{\tan^2 Q_0 \cos Q_0}{2(1-\cos Q_0)}]$$

$$(EI)_\infty = \frac{4N^2 EI}{P} \times [\frac{\ell_n \sec^2 Q_0 - \sin^2 Q_0}{2\tan^4 Q_0}] \times [\frac{\tan^2 Q_0 \cos Q_0}{2(1-\cos Q_0)}]$$

단 $(EI)_0$는 섬유간의 마찰이 영일 때의 단사의 휨강도

$(EI)_\infty$는 섬유간의 마찰이 무한대 일 때의 단사의 휨강도

N는 사단면중의 filament의 수,

EI는 섬유의 휨강도

P는 실의 Packing factor,

Q_0는 표면 filament의 나선각,

이 양자의 비는 Q_0가 비교적 작은 값일 때에는 근사적으로 다음과 같이 표현된다. 즉

$$\frac{(EI)_\infty}{(EI)_0} \cong \frac{N}{P}$$

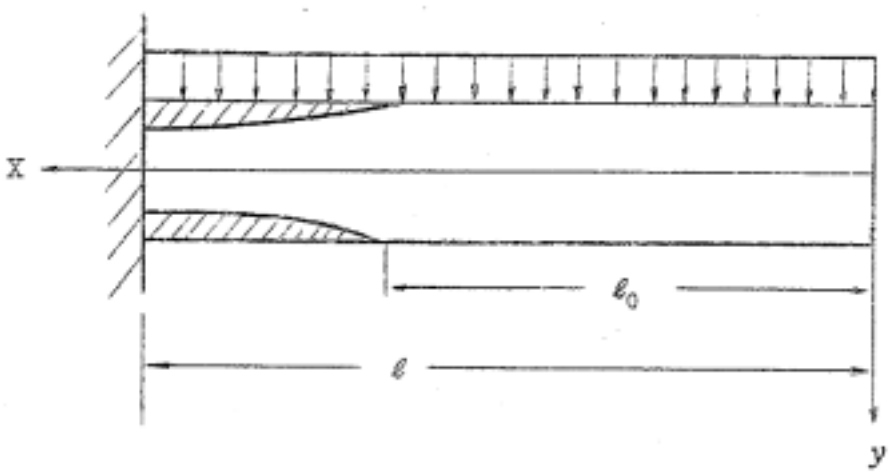
이로부터 단면 섬유수가 많을수록 이 비는 증가하며 packing factor가 커질수록 감소한다.

다음 Zorowski와 Chen(1965)는 이합 Nylon tire cord의 휨 특성을 연구했는데 그들은 실이 휠 때 하도와 같이 중심부는 섬유간의 마찰이 무한대이고 외곽부는 섬유간의 마찰이 영인 모형을 만들어 그 2합사의 휨강도를 $(EI)_B$라고 하면 $(EI)_0$와의 관계가

$$\frac{(EI)_B}{(EI)_0} \cong \frac{N\beta}{K}$$

단, β는 실의 꼬임수를 설명한 인자.

N는 실단면중의 섬유수



Zorowski와 chen의 모형

$$K = (\frac{\ell_0}{\ell})^4 \left[1 + \{ \frac{1}{2} (\frac{\ell}{\ell_0}) [2a(\frac{\ell}{\ell_0})^2 - 5b] \times [a(\frac{\ell}{\ell_0})^2 - b]^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}(5 - 3a) + \frac{3}{2}\frac{b^2}{\sqrt{a}} \times \ell_n [\frac{(\frac{\ell}{\ell_0})\sqrt{a} + \sqrt{a(\frac{\ell}{\ell_0})^2 - b}}{\sqrt{a} + 1}] \} \right]$$

$a = \sqrt{N}$

$b = \sqrt{N} - 1,$

ℓ 는 시료장

ℓ_0 는 섬유간의 마찰이 없는 부분의 실의 길이

로 표시된다고 발표했다. 이것이 실의 훰역하게 있어서 섬유간의 마찰이 두 극한 값의 중간값을 갖는 실제 경우에의 접근의 첫 시도였다.

Popper(1966)은 다층보설(multiplayer beam theory)을 만들어서 섬유간의 마찰이 두 극한대들의 중간 값을 갖는 경우의 실의 훰 moment를 다음과 같이 유도 표시했다.

즉, $(M_f)_{zerotwist} = \frac{1}{2} N_i \mu n a L$

$(M_f)_{twist} = 4R^2P\,\mu\,FT$

단 N_i는 층간의 전섬유수

μ는 섬유의 마찰계수,

n는 섬유간 단위 길이에 대한 법선력,

a는 섬유의 반경

L는 실의 길이,

F는 실의 장력,

T는 꼬임 수

다음 Kim(1972)은 실이 순수 휨을 받아서 실 중의 섬유가 탄성한도를 넘는 응력을 받을 때의 섬유간 마찰이 영, 무한대 및 그 중간의 일정치일 때의 휨 강도, 휨회복도 및 잔류 moment등을 유도했는데 그 중 휨강도에 대한 결과를 인용하면 다음표와 같다.

<휨 강도>

마찰계수	降 服 点 以 下	降 服 点 以 上
無 限 大	$EI\left\{\frac{N^2}{p}\pounds_0(Q_0)\right\}$	$\alpha EI\left\{\frac{N^2}{p}\pounds_0(Q_0)\right\}$
零	$EI\left[N\left\{1-g_1(Q_0)\right\}\right]$	$\alpha EI\left[N\left\{1-g_1(Q_0)-g_2(Q_0)\right\}\right]$
一 定 値	$EI\left[N\left\{1-g_1(Q_0)+\mu f_1(Q_0)\right\}\right]$	$\alpha EI\left[N\left\{1-g_1(Q_0)-g_3(Q_0)+\mu f_2(Q)\right\}\right]$

단 EI는 구성섬유의 휨강도

N는 단면섬유 수

α는 filament의 응력-변형곡선에 있어서 소성부분의 기울기를 결정하는

상수

μ는 마찰계수

£$_0$(Q_0), g_1(Q_0), g_2(Q_0), g_3(Q_0), f_1(Q_0) 및 f_2(Q_0)는 표면 나선각 Q_0의 함수

이로서 실제에 좀 더 가까운 경우의 이론적 분석이 이루어 졌다고 볼 수 있다.

실의 비틀림에 관해서도 Morton 및 Permanyer(1949) 이래 휨과 비슷한 과정으로 연구가 진행되고 있는데 예를 들면 Platt. Klein 및 Hamburger(1958)의 연구등이 그것이다. 지금은 휨 비틀림 양자 모두 동역학적인 연구가 진행되고 있다.

그러나 인장력의 경우와 같이 섬유 migration의 영향을 이론에 도입하지 못하고 있으며 횡방향의 변형의 영향등도 고려되지 못하고 있다.

<<직물, 편물의 기하>>

인류가 직물을 이용하기는 수천년이나 되나 직물기하를 다루기 시작한 것은 Peirce(1937)가 그 최초이다. 편물의 경우는 Chamberlain(1949)이 그 최초인데 물론 이것은 Shinn, peirce등에 의하여 개선되었고 3차원적인 평편물의 구조는 Leaf, Munden 등에 의하여 해석되었다.

Peirce의 직물기하는 아직까지도 직물의 역학을 다루는 많은 사람들에 의하여 이용되는 것으로 그의 11변수에 의한 7개의 방정식은 직물의 Unit cell을 완전히 분석하는데에 사용되고 있다.

즉 4개의 변수만을 알면 나머지 7개의 변수는 7개의 방정식에 의하여 계산해 낼 수 있는데 그 도식적 방법이 Painter(1952)와 Adams 등(1956)에 의하여 고안되었다. 그러나 이들방법도 실제측정치와 완전히 일치하지 않아서 최근에는 그 개선방안이 연구되고 있다. 또한 평조직이 아닌 조직의 직물구조

도 기하학적으로 고찰되고 있으며 직물의 피복도(cover factor)는 Peirce에 의하여 창안, Pollitt(1949)가 개선한 것이 사용되고 있는데 그는 직물의 피복도는 경피복도에 위피복도를 가산한 것으로 규정했다.

편물의 구조는 평편직에 있어서 shin(1955)의 모형을 보면 그는, loop길이 l은 구성 실의 직경 d와 다음의 관계가 있다고 발표했다. 즉

$l = 16.66d$

Munden(1959)은 닮은 꼴(Similar configuration)을 이용한 삼차원적 모형에 있어서 Cpi, Wpi가 각각 $\frac{1}{\ell}$에 비례함을 유도했으며 그는 또 편물의 피복도가 $\frac{d}{\ell}$라고 정의했다. 그 후 Leaf(1960)에 의하여 elastica에 의한 loop의 기하가 고찰되었다. 이것이 발전되어 경편물의 조직도 기하학적으로 해석되어 편물 역학에 이용되고 있다.

<<직물, 편물의 역학>>

직물, 편물의 역학에 포함되는 외력을 열거해 보면 일방향의 인장, 이방향의 인장, 휨, 절단등 여러가지를 생각할 수가 있다. 이 경우는 분석방법이 실의 경우 보다는 간단하나 대체적인 방법은 유사하다. 즉 직물 구성사 간에 마찰이 전혀 없는 경우와 마찰이 무한대인 경우가 먼저 고찰되고 위사와 경사간 혹은 loop의 교차점에서의 마찰저항까지를 포함해서 생각하는 것이 그 다음 순서이다.

Perice(1930)가 직물의 촉감연구를 시도한 것이 직물역학 연구의 출발인데 그 후 Grosberg, Gralin, Treloar등에 의하여 많은 발전을 가져왔다. 직물이 일방향의 인장력을 받으면 처음에 응력으로 나타나는 것은 구성섬유 간의 마찰력이고, 인장력이 커지면 crimp가 제거됨으로써 작용하는 힘이 나타나고 최

후의 응력은 실이 늘어남에 의한 응력이다. 이 때의 직물의 기하적인 변화가 고찰되어 왔다. 이방향의 인장력이 작용할 때에도 이 힘의 방향과 직물의 경위사 방향과의 관계에 의하여 여러가지 기하적인 변형이 고찰되어 왔다.

물론의 휨, buckling, drape등도 Grosberg(1966)등에 의하여 재료 역학적인 방법으로 연구되었는데 특히 Grosberg는 직물이 휠때의 마찰 moment에 착복하여 고찰했다. 그런데 이것은 실의 휠 때의 잔류 moment와 동일한 것이다.

이방성 외력을 받을 때의 편물의 기하적인 변형도 Popper(1961)에 의하여 분석되었는데 그는 loop간의 교차점에서의 마찰의 영향도 고려했다. 기타 경편물, 부직포의 형성에 대한 확률론적 연구 등 많은 수학, 역학등의 학간의 Fabrics의 기계적 거동연구에 이용되고 있다.

결 언

이상 섬유 구조물의 역학적 동향을 실의 기하와 역학을 중심으로 하여 간단히 서술했는데 섬유 구조물도 이제는 재래적인 방법에 의하여 제조될 것만이 아니라 그 최종용도에 응하여 구조역학에 의한 설계가 선행된 다음 제조과정에 들어가야 한다는 것을 알 수가 있다. 즉 이것은 섬유역학이라는 학문의 체계가 잡혀졌다는 것을 의미한다. 즉 서언에서 말한 기술이냐 과학이냐 하는 문제는 이제는 없어진 걸로 알면 되겠다.