

Benzetim Yönteminin Bilgisayar Yardımıyla Eriyikten PET Lifi Çekmeye Uygulanması*

Ragıp PEKDİKER

Kimya Y. Müh.
Sönmez Filament A.Ş., BURSA

Eriyikten lif çekme yöntemiyle polietilentereftalat (PET) bazı polyester liflerin üretimi, bazı araştırmacılar tarafından model kurma ve benzetim yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Bu yolla proses parametreleri ile lif özellikleri arasındaki bağıntılar elde edilmiştir. Bu bağıntılar bilgisayar yardımıyla kullanılarak istenen lif özelliklerini gerçekleştirecek şekilde proses parametrelerinin optimizasyonu yapılabilmektedir.

APPLICATION OF COMPUTER SIMULATION IN PET MELT SPINNING

Melt spinning of PET to convert it into filaments has been studied by a number of workers using various process modeling and simulation methods. By this way, the correlations between process parameters and properties of filaments were found. Optimization of process parameters to get required properties of filaments is possible by using these correlations by computer.

* DUTTA, A., "Application of Computer Simulation in PET Melt Spinning", *America's Textiles/Fiber World Edition*, 78-88, (April 1986)'dan çevrilmiştir.

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya sentetik elyaf ve iplik üretiminin % 50'sini polyester (polietilentereftalat) lifleri oluşturmaktadır. Bu lifler eriyikten lif çekme yöntemine göre üretilmekte, sonra gerdirme ve sabitleme gibi işlemlerden geçirilmektedir. Kesikli elyaf ya da sonsuz iplik üretiminde ilk işlem olması nedeniyle gerek eriyikten lif çekim koşulları ve gerekse kullanılan polimerin yapısı nihai iplik ya da elyafın özelliklerini (denye, mukavemet, modül, kopma uzaması, boyanabilirlik, boy kısaltması, vb.) büyük ölçüde etkilemektedir.

Bu öneminden ötürü, eriyikten PET lifi çekme yöntemi pek çok bilimsel araştırmaya konu olagelmıştır. Bu çalışmalardan önemli kalitatif bulgular elde edilmiş ve Ziabicki tarafından özetlenmiştir.

Bu araştırmalarda, uygulamadaki önemi nedeniyle, belirli parametrelerle çalışma durumunda gerdirilmemiş ham ipliğin özelliklerini önceden tahmin ederek işletmeler için pahalıya malolan deneme-yanılma yöntemini ortadan kaldırmak amaçlanmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için ise eriyikten lif çekme işlemi sırasında birbirleriyle ilişkili olan aerodinamik, ısı iletimi, uzama deformasyonu ve molekülse yönelme bağıntılarını kantitatif olarak belirlemek gerekmektedir.

İlk olarak Kase ve Matsuo yapılan bu tür bir araştırma, sonraları Hamana et al, Prastaro ve Perrini, Yasuda et al, Gagon ve Denn tarafından adım adım geliştirilmiştir.

Eriyikten lif çekme işleminin benzetim yöntemiyle incelenmesi sonucunda polimer özellikleri, çalışma parametreleri ve gerdirilmemiş ham ipliğin özellikleri arasındaki karmaşık bağıntılar ortaya çıkarılabilmektedir. Ancak uygulamadaki potansiyel önemine karşın bu bağıntılardan proses optimizasyonu, proses analizi/problemler tanımlama - giderme ve ürün geliştirme gibi konularda yararlanılması üzerinde bugüne kadar fazla durulmamış olması oldukça şaşırtıcıdır.

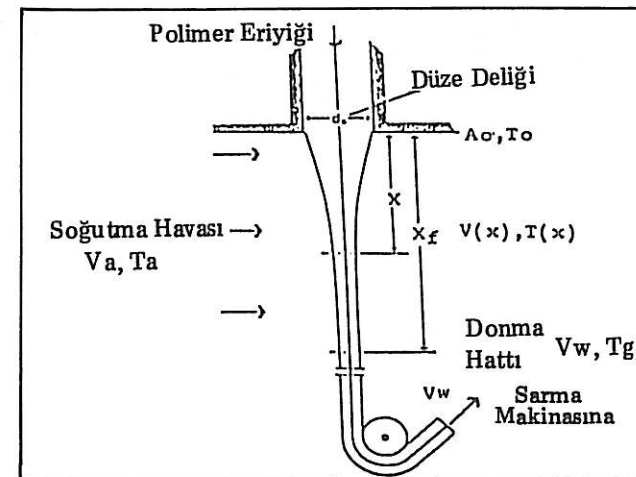
Yukarıda açıklananların ışığı altında Dutta ve Nadkarni eriyikten PET lifi çekimindeki kritik parametrelerin belirlenmesinde benzetim yöntemini kullanmayı düşünmüşlerdir. Yavaş kristallenme özelliğinden ötürü, polipropilen, polietilen, naylon-6, vb. gibi öteki polimerlerden farklı olarak, 3000 metre/dakika'nın altındaki orta hızlarda eriyikten lif çekim yöntemiyle elde edilen gerdirilmemiş ham PET ipliği genel olarak amorf yapıdadır. Bunun bir sonucu olarak bu iplikteki molekülse yönelmenin, sıcaklığın camlaşma noktasına eşit olduğu anki iplik gerilimine doğrudan bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu sonucun deneysel olarak kanıtlanmasından sonra Dutta ve Nadkarni bu bağıntının, deneysel hata payı sınırları içinde, amorf yapıdaki lifler için geçerli tek bağıntı olduğunu ileri sürdüler. Çift kırılma indisisiyle ölçülebilen yönelme derecesi mukavemet, modül, kopma uzaması, boy kısaltması, vb. gibi gerdirilmemiş ham iplik özelliklerini belirlediğinden, çalışma parametreleri ile iplik gerilimi ve dolayısıyla yukarıdaki iplik özellikleri arasındaki bağıntıyı ortaya çıkarmak için bilgisayar yardımıyla benzetim yöntemi uygulandı. Aşağıda açıklanacağı gibi, izlenen bu benzetim yöntemiyle sistem donanımında önemli bir değişiklik yapmaksızın ya da iplik kalitesini düşürmeksizin üretim kapasitesini artırma olanağı sağlanabilmektedir.

Başlangıçtaki araştırmalarımız gerdirilmemiş ham iplik özelliklerinin hem polimer özelliklerine ve hem de çalışma koşullarına bağlı olduğunu göstermektedir. İlk adımda doğrudan optimizasyon yapabilecek verilere sahip olunmadığından, öncelikle değişik lif özellikleri veren değişik çalışma parametreleri kombinasyonları fiili üretim deneme çalışmalarıyla elde edilmelidir. İkinci adımda bilgisayar yardımıyla çalışma parametreleri ile lif özellikleri arasındaki bağıntı ortaya çıkarılmalıdır. Bu bağıntı yardımıyla istediğimiz belirli bir lif özelliğini sağlamak için çalışma parametrelerinin ne olması gerektiği önceden ve tatmin edici bir kesinlikle hesaplanabilecektir. Bu yazıda 3000 m/dak'nın altındaki sarım hızlarında çalışılan amorf lifler için bu metodoloji açıklanacaktır.

2. MODEL KURMA VE BENZETİM

Model kurmada temel yaklaşımımız, çapraz yönde püskürtülen havayla soğutulan tek bir lifte (Şekil 1) oluşan gerilimin analizi olacaktır.



Şekil 1. Polimer eriyiğinin düze deliğinden akıtılarak lif haline getirilmesi

Polimer eriyiğini Newtonian bir akışkan kabul ederek lif kesit alanı (A), hız (V), sıcaklık (T), gerilim (F), akış debisi (W), polimer eriyiği ve soğutma havası yoğunluğu (ρ, ρ_a), polimer eriyiği esneme ve kesme viskozitesi (η_e, η_0), ısı iletim katsayısı (h), hava sürüklenme katsayısı (σ_f) arasındaki bağıntılar aşağıdaki eşitliklerle ifade edilebilir:

$$W = \rho \cdot A \cdot V \dots\dots\dots (1)$$

$$dV/dX = F \cdot \rho \cdot V / W \cdot \eta_0 \dots\dots\dots (2)$$

$$dT/dX = -4 \cdot h \cdot (T - T_a) / \rho \cdot C_p \cdot V \cdot d \dots\dots\dots (3)$$

$$dF/dX = \pi \cdot d \cdot \rho_a \cdot V^2 \cdot C_f / 2 + F \cdot \rho \cdot V / \eta_0 - w \cdot g / V \dots\dots\dots (4)$$

Bu eşitlikler aşağıdaki koşullara uymalıdır: düze çıkışında

$$(X = X_0), T = T_0, V = V_0 \dots\dots\dots (5a)$$

camlaşma noktasında

$$(X = X_f), T = T_f, V = V_f \dots\dots\dots (5b)$$

Bu eşitliklerde yer alan fiziksel özellikler sıcaklığa bağımlıdır:

$$\sigma = p_1 + p_2 - T \dots\dots\dots (6)$$

$$C_p = p_3 + p_4 - T \dots\dots\dots (7)$$

Esneme viskozitesi için Trouton yasası geçerlidir:

$$\eta_0 = 3 \cdot \eta_e \dots\dots\dots (8)$$

Kesme viskozitesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\eta_0 = A \cdot (IV)^{A_2} \cdot (\exp(C_2/T + 273) + C_3/T - T_0) \dots\dots\dots (9)$$

Isı iletim ve hava sürütlenme katsayıları da benzer şekilde ifade edilebilir:

$$h = A_n \cdot (V/A) \cdot (1 + (8 \cdot V_a/V)^2)^{C_n} \dots\dots\dots (10)$$

$$C_f = B_c \cdot (R_0)^{B_c} \dots\dots\dots (11)$$

Burada $R_0 = V \cdot d / V_a$ 'dır.

Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan $P_1, P_2, P_3, P_4, A_1, A_2, C_2, A_h, B_h, C_h, B_c, b_c$ parametreleri önceki yayınlardan sağlanabilir (14). Ayrıca $C_3 = 100$ ve $T_g = 67^\circ C$ olarak kabul edilmiştir.

Düzeden çıktıktan başlayarak lifteki değişimleri anlayabilmek için life ait değişkenlerin düzeden uzaklığa bağlı fonksiyonlarını bilmek gereklidir. Bu, (1) - (5) bağıntılarını, (6)-(11) bağıntılarını da göz önüne alarak çözmekle olanaklıdır. Diferansiyel eşitliklerin doğrusal olmayan karmaşık yapısını