

İNCE KÖMÜR ROTASYONUNDA PARÇACIKLARIN DAVRANIŞLARI

Mustafa TEFEK<*)

ÖZET

Flotasyon cevher hazırlamanın en önemli birim operasyonudur. Temel metallerin çoğu, metal sülfürlerin flotasyon konsantrelerinden elde edilir. Flotasyon, ince kömür temizlemede de değerli bir işlem olma yolundadır. Bütün flotasyon ayırımları, genellikle 10-100 mikron arası boyut dağılımı gösteren malzemeler üzerinde yapılır.

Bu bildiriye, ince kömür parçacıklarının flotasyon sırasındaki davranışları, fiziko-kimyasal özelliklerine bağımlı olarak incelenmiştir. İnce parçacık flotasyonunda yapılması gereken araştırmaların konuları da tartışılmıştır.

ABSTRACT

Flotation is the most important unit operation of mineral processing. Most of the common base metals are produced from flotation concentrates of metal sulfides. Flotation is also proving to be a valuable process for cleaning fine coal. All flotation separations are carried out on materials which are predominantly in the 10 to 100 microns size range.

In this paper, the flotation behaviour of fine coal particles in term of their physical-chemical properties has been examined. The research needs in fine particle flotation have also been included.

(*) Dr. Maden Y. Muh., Araştırma Grup Bşkl, SÖRMAŞ Soğut Refraktor Malzemeleri A.Ş. Soğut/BİLECİK.

1. GİRİŞ

Tipik bir modern kömür hazırlama akım şeması, iri, orta ve ince kömür temizleme devrelerinden oluşur. İnce kömür, 28 meş altında boyut dağılımı gösteren ve kömür hazırlamada "şlam" olarak tanımlanan kömürdür. Genelde, bütün kömür hazırlama tesislerinde ortaya çıkan bu kısmın değerlendirilmesi, aşağıdaki nedenlere bağlı olarak zorunlu olmaktadır:

- Geçen yıllarda, 28 meş altı kömürün atılması daha ekonomik olmasına rağmen, bugün madencilik maliyetlerinin hızlı artışı nedeni ile ince kömürün değerlendirilmesi gereklidir.
- Gelişen mekanizasyona bağlı olarak, bugünün madenciliği, üretilen kömürde daha fazla 28 meş altı kısım oluşturmaktadır. Bazen, üretilen kömürde ince kısım miktarının, % 25 değerine kadar ulaştığı durumlar görülmüştür. Bu nedenle, ince kısımdaki kömürün kazanılması zorunludur.
- Hava kirliliği gözönüne alındığında, endüstride kullanılan kömür, özellikle pirit kaynaklı kükürt içermemelidir. Genellikle, piritin ince kömürde bulunması söz konusu olduğundan, kullanım öncesinde, ince kömürün piritten arındırılması gerekir.

Bugün dünyada üretilen kömürün hazırlanmasında yaklaşık olarak, % 5 flotasyon ve % 95 gravimetrik yöntemler uygulanmaktadır. İri kömürün hazırlanmasında kullanılan gravimetrik yöntemler, düşük maliyet, yüksek kapasite ve seçicilik gösterirler. İnce kömürün temizlenmesinde de gravimetrik yöntemlerin uygulanması söz konusudur. Bununla birlikte, séparatörlerin kullanımında bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Bu sorunlar, özetle aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Separatörlerin çalışma alanı maksimum 200 meş ile sınırlıdır. Parça boyutunun incilmesi, ayırma etkinliğinin azalmasına neden olmaktadır.
- Ağır ortam kullanılan separatörlerde, ağır ortamın kazanılmasında çeşitli güçlükler oluşmaktadır.
- Temiz kömür parçacıklarının artığa kaçmalarını önlemek zordur.

Flotasyon, kit ve piritin uzaklaştırılmasında en etkin yöntem olarak görünmektedir. Bu nedenle, ince kömür temizlemede en fazla geleceği olan bir yöntemdir. Bilindiği gibi, kil ve pirit parçacıklarının flotasyon ile uzaklaştırılması, bu parçacıkların yeterli bir serbestleşme göstermelerine bağlıdır. Fakat kömür flotasyonunda, serbest-

leşme amacı ile kırma ve öğütme işlemleri yapılmaz. Gravimetrik yöntemlerin uygulanmadığı çok ince kısım, flotasyona gönderilir.

Flotasyon etkin bir yöntem olarak görünmesine rağmen, ince kömürün flotasyonunda önemli ölçüde sorunlar ile karşılaşmaktadır. Aşağıda özetle belirtilen ve çözüm bekleyen bu sorunlar, ince kömür temizlemede flotasyon yönteminin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır:

- Çok ince parçacık boyutuna inildiğinde, ayırma etkinliği azalmaktadır.
- Oksitlenmiş kömürde, flotasyon etkisiz kalmaktadır.
- önemli ölçüde kil içeren kömürde, flotasyon randıman vermemektedir.
- Piritin bastırılmasında güçlükler oluşmaktadır.

Çok ince boyut dağılımında, flotasyonun etkisiz kalması, kömür ve kilü oluşturan mineral parçacıklarının, flotasyon sırasındaki davranışlarına bağlı olması gerekir. Bu tebliğde, ince kömür parçacıklarının flotasyon sırasındaki davranışları üzerinde durulacaktır.

2. INCE KÖMÜR PARÇACIKLARININ FLOTASYONU

Genelde ince kömürün yüzebilirliği üzerinde yapılan çalışmaların sonuçları, aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Optimum flotasyon, 10 mikron parça boyutu üzerinde oluşmaktadır. 10 mikron altında boyut dağılımında, flotasyon randımanı önemli ölçüde düşmektedir.
- Parçacık boyutu inceldikçe, elde edilen temiz kömürde kil miktarı artmaktadır.
- Belirli bir boyut dağılımında, yavaş ve hızlı yüzen parçacıklar vardır. Çok ince boyut dağılımında, hızlı yüzen parçacık miktarının az olması nedeni ile düşük randıman oluşmaktadır.

Parçacık - kabarcık çarpışması, parçacıkların kabarcıklara yapışması ve parçacıkların kabarcıklardan kopması, flotasyon sırasında oluşan üç önemli işlemdir. Bu işlemlerin kombinasyonu flotasyon mertebesini oluşturur. Çok ince parçacıkların flotasyon sırasındaki davranışlarının açıklanması için, söz konusu üç işlemin ayrıntılı olarak anlaşılması gerekir.

2.1. Parçacık - Kabarcık Çarpışması

Flotasyon sırasında hem kömür, hem de kilü oluşturan hidrofilik parçacıkların, hava kabarcıkları ile çarpışma olasılıkları eşittir. Hava kabarcığı pülp içinde yükselir-

ken, kabarcık çevresinde, suyun viskoz akışı yer alır. Kabarcık boyutunun sabit kalması durumunda, viskoz akış nedeni ile çarpışma mertebesi, kömür parçacığının boyutundaki küçülmeye bağlı olarak azalır. Diğer taraftan, parçacık boyutuna göre kabarcık boyutu küçüldüğünde, çarpışma mertebesi değişmez (1). Bu durum, çok ince boyut dağılımı gösteren kömür parçacıklarının, çok ince kabarcıklar ile etkili bir şekilde yüzdürüleceğini gösterir.

Hava kabarcığının çevresinde yer alan viskoz akış, flotasyon hücresi içinde oluşan türbülansın etkisi ile şekil değiştirir. Bu durumda kömür parçacıklarının hava kabarcıkları ile çarpışma olasılığı, parçacıkların, türbülans nedeni ile kabarcık çevresinde oluşan akım içinde yer almalarına bağlıdır.

Hidrodinamik koşulların yanı sıra, parça boyutu incelendiğinde, parçacık ve kabarcık arasında oluşan moleküler iç çekiminin (intermolecular attraction) de gözönüne alınması gerekir. Moleküler iç çekimin, çarpışma mertebesi üzerindeki etkisine eğilen bazı araştırmacılar, çalışmalarının sonucunda, dağılımlı elektroforetik hareket (diffuso-electrophoretic motion) teorisini ileri sürmüşlerdir. Bu teoriye göre, parçacık - kabarcık çarpışma mertebesi, belirli bir kritik boyut altında sıfır olur ve 10 mikron altındaki bütün parçacıklar eşit olarak yüzerler (2).

2.2. Yapışma

Kömür parçacıklarının kabarcıklara yapışması, kabarcık- parçacık arasındaki sıvı filmin incelmeye bağlıdır. Söz konusu filmin incelmeye veya yırtılması sonucunda, parçacıklar kabarcıklara yapışır. Sıvı filmin incelmeye veya yırtılmasını sağlayan kuvvetler, elektriksel çift tabaka girişimlerinden, moleküler iç çekimlerden ve farklı türbülans basınçlarından kaynaklanır (3). Genelde, bu kuvvetlerin büyüklüğü ve tanımını konusunda yapılan çalışmalar yetersizdir.

Parçacık ve kabarcık yüzeylerinin kimyasal özelliklerinde, parçacık - kabarcık yapışmasında önemli bir rol oynar, özellikle yüzeylerin hidrofobik yapısı ve enerjileri, yapışma olayında üzerinde önemle durulması gereken faktörlerdir. Parçacıkların yüzey ve elektrokimyasal özellikleri, parça boyutu küçüldükçe değişir. Boyut küçüldükçe artan spesifik yüzey enerjileri, parçacıkların daha fazla reaktif tüketimine ve reaktiflerin seçimli olmayan adsorpsiyonlarına neden olur. Ayrıca, yüksek yüzey enerjileri ve alanları nedeni ile parçacıkların çözünürlüğü, hidrasyonu ve oksidasyonunu artırır. İnce parçacıkların yüksek çözünürlüğü ise, çözeltilerde istenmeyen safsızlıkların oluşmasına ve böylece kollektör-parçacık ilişkisinin olumsuz şekilde yönlendirilmesine neden olur. Bilindiği gibi, kollektörün parçacık yüzeyindeki adsorpsiyon miktarı ve adsorpsiyon mertebesi kollektör - parçacık arasındaki ilişkinin temelini oluşturur. Bununla birlikte, reaktiflerin çözeltilerden parçacık yüzeyine difüzyonu, yüzey reaksi-

yonu, yüzey hidrasyonu ve kimyasal adsorpsiyon konuları tam olarak aydınlığa kavuşturulmamıştır.

Genelde kömürün yüzey kimyası ve yüzeyliliği konusunda yapılan çalışmalar yetersizdir. Özellikle kömür yapısının flotasyona etkisi ayrıntılı olarak saptanmalıdır. Kömür parçacıkları üzerinde yapılan elektrokinetik çalışmalar, karbon miktarı arttıkça izoelektrik noktanın asit tarafa doğru kaydığını göstermiştir (4, 5). İnorganik madde ve oksijen içeren grupların miktarı yükseldikçe, izoelektrik noktası pH 7 değerine yaklaşmış ve kömür yüzeyliliğinde düşme görülmüştür. Fakat, çeşitli havzalardan alınan aynı karbon miktarına sahip kömürlerin, farklı yüzey ve flotasyon özellikleri göstermelerinin nedeni tam olarak açıklanamamıştır.

Bitümlü kömürlerde oksijenin büyük kısmı (yaklaşık % 70-90) hidroksil ve kinon (quinone) şeklinde oluşur, infrared Spektrum çalışmalarının sonuçlarına göre, düşük karbonlu bitümlü kömürler hidrojen bağlı fenol tipi hidroksil grupları içermektedir. Özellikle eksinitlerde (exinite) görülen karbonil gruplarına, vitrinlerde (vitrinite) rastlanmamıştır (6, 7). Genelde, karbon miktarının artışına karşı olarak hidroksil grupları azalmakta ve yaklaşık % 85 C üzerinde ani bir düşme oluşmaktadır. Given'in çalışmalarına göre, bitümlü kömürlerde oksijenin bir kısmı (yaklaşık % 20-50) kinon şeklinde oluşmasına rağmen, heterocyclic yapıdaki oksijen bileşiklerinin miktarı önemsizdir (8). Oksijen içeren grupların, kömürün yüzeyliliğini etkileyeceği açıktır. Bununla birlikte oksijen içeren grupların yapısı ve flotasyona etkisi, yeterince incelenmemiştir.

Flotasyonda, kömürün iç kapiler yapısı da önemli bir konu olmasına rağmen, sürekli olarak ihmal edilmiştir. Reaktiflerin yüzey adsorpsiyonunda, iç kapiler önemli rol oynayacaktır. Yapılan çalışmalar iç kapileriteye bağlı olarak, karbon miktarı düştükçe, kömürün spesifik iç yüzey alanının arttığını göstermiştir. Bitümlü kömürlerin iç yüzey alanı yaklaşık 30 - 100 m²/gram dolayında bulunmuş ve bu geniş yüzey alanını, ortalama 40 A° genişliğindeki çok ince kapiler yapının oluşturduğu kanıtlanmıştır. Kapiler yapı içinde, genişliği 5-8 A° arasında değişen ikincil bir kapiler yapının da varolduğu bazı araştırmacılar tarafından ileri sürülmüştür (9). Bu durumda kapiler genişliğinden daha büyük bir boyuta sahip olan bir molekülün yüzey difüzyonu, sözkonusu olmayacak ve temas açısının dengesi özellikle iç kapileriteye bağlı olacaktır.

2.3. Kopma

İnce kömür parçacıkları üzerindeki gravite, sürükleme ve eylemsizlik kuvvetleri, kabarcık yüzeyine yapışan parçacığın kabarcıktan ayrılmasına veya kopmasına neden olabilir. Flotasyon hücreesindeki türbülant koşullar altında, bu koparıcı kuvvetler önemli boyutlara ulaşabilir. Genelde ince parçacıkların düşük flotasyon randımanları, türbülant koşulları ile parçacıkların kabarcıklardan kopması sonucunda oluşur.

3. SONUÇ

Genelde, 10 mikrondan aşağı boyut dağılımı gösteren parçacıkların flotasyonunda 2 ana problem ile karşılaşılır.

1. İnce parçacıkların, iri parçacıkların flotasyonunu engellemesi.
2. İnce parçacıkların zayıf flotasyon davranışları.

Uygulamada bu problemler, ince parçacıkların flotasyon devresinden çıkarılmasıyla çözümlenir. Fakat günümüz madencilik, ince parçacıkların da değerlendirilmesini zorunlu kalmaktadır.

Normal flotasyon tekniğinin ince parçacıklara uygulanması, ekonomik olmayıp, çeşitli bilimsel ve teknolojik sorunlara neden olur. Bu görüşten hareketle, geçen yıllarda ince parçacıkların flotasyon davranışları üzerinde önemli ölçüde deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar, ince parçacık flotasyonuna yeterli bir açıklık getirmemiştir.

İnce kömür flotasyonunda, özellikle parçacık - kabarcık çarpışması ve parçacık - kabarcık yapışması, ayrıntılarıyla incelenmesi gereken konulardır. Çarpışmada, öncelikle çarpışma olanağını artırma yöntemleri üzerinde durulması gerekir, örneğin aglomerasyon işlemi ve hücre içinde çok ince kabarcıkların oluşturulmasıyla çarpışma olanağı artırılabilir. Aglomerasyon, ince parçacıkların boyutlarını büyütme işlemi olarak tanımlanır. Bilindiği gibi, kimyasal adsorpsiyon oluşturan toplayıcılar, polimerik elektrolitler ve nötr yağlar, aglomerasyon amacıyla kullanılan kimyasal maddelerdir. Hücreye elektroliz ve vakum uygulanarak veya basınç altında su içinde çözülmüş hava gönderilerek, hücre içinde çok ince kabarcıklar oluşturulabilir. Bugün çözülmüş hava tekniği, içme ve artık suların arıtılması amacıyla endüstride geniş çapta uygulanmaktadır. Bu tekniğin kullanımıyla elde edilen kabarcıklar, 100 mikron altında boyut dağılımı gösterir.

Parçacık - kabarcık yapışmasında, öncelikle kömürün heterojen yapısı ve yüzey kimyasal özellikleri ayrıntılı olarak açıklığa kavuşturulmalıdır. Yüzey özellikleri esas alınarak, yüzeye kimyasal olarak adsorbe olan toplayıcıların kullanımıyla, daha geniş çapta uzun mesafeli iç moleküler kuvvetlerin oluşumu sağlanır. İç moleküler kuvvetlerin geniş çapta oluşumu ise parçacığın kabarcığa yapışma etkinliğini artırır. Parçacık - kabarcık yapışmasında parçacık şekillerinin etkisi de araştırılmaya değer bir konudur. Şu anda, türbülans koşullar altında ince parçacıkların flotasyon davranışlarına şekil etkisi konusunda bilinenler çok azdır. İnce kömür flotasyonunda randmanın, ortam sıcaklığından etkileneceği bilinmesine rağmen, konu üzerinde yapılan çalışmalar çok yetersizdir. Bu nedenle, flotasyonda ortam sıcaklığının, yapışma üzerindeki etkisi titizlikle ele alınmalıdır.

İnce kömür flotasyonunda başarı, flotasyon makinalarının yapısına da bağlıdır. Metalik cevherler için kullanılan flotasyon makinaları kömür flatasyonu için uygun değildir. Etkili kömür temizleme için, ince kömür flotasyonuna uygun hücrelerin projelendirilmesi ve operasyon parametrelerinin saptanması gerekir, örneğin, hücre içinde türbülans oluşumu türbülansın parçacık - kabarcık boyutu üzerindeki etkisi ve optimum türbülans için hücre geometrisinin belirlenmesi, üzerinde önemle durulması gereken bir konudur.

KAYNAKLAR

1. TRAHAR, W.J., and WARREN, I.J., International Journal of mineral Processing, Vol. 3, p. 103, 1976
2. MELOY, T.P., 50th Anniversary Volume, Chapter 9, AIME, New York, 1962
3. MIKA, T.S. and FUERSTENAU, D.W., Proceedings VIII International Mineral Processing Congress, Vo. 2, p. 246, Leningrad, 1969
4. PRASAD, N., journal of The Intitute of Fuel, September, P. 174, 1974
5. POOLEY, F., Studies Of The Froth Flotation Of Coal, Ph. D. Thesis, University Of Wales Cardiff, 1966
6. BROWN, J.K., J. Chem. Soc, p. 744, 1955.
7. MONNOT, G.A. and LADAM, A., Acad. Sei. Vol. 241, p. 1939, Paris, 1955
8. GIVEN, P.H. and POEVER, M.E., Proc. Inst. Fuel Conf. On Science In Use Of Coal, A 33, Sheffield, 1958
9. MAGGS, F.A.P., Nature, Vol. 169, p. 793, 1952

