

FERMANTASYONDA pH VE OKSİJEN ÖLÇÜMÜ

Yazan :
H. BÜHLER ve W. INGOLD

Çeviri ve Düzenleme :
Aylin UYANIK

Teknik mikrobiyolojinin son yıllarda büyük ölçüde gelişmesi klasik kimyasal metodlarla başarılabilen pek çok sentezi mümkün kılmıştır. Özellikle fermentasyon ile birçok sentez ucuz ve kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Fermentasyonda en yüksek verimin elde edilebilmesi için oksijen miktarının ve hidrojen iyonu aktivitesinin ölçülmesi ve kontrol altında tutulabilmesi gerekir. Ayrıca bu ölçümlerin sterilizasyonun bozulmadan yapılması özel bir önem taşır.

Oksijen ve pH elektrotlarının sterilize edilmesinde pratikte en sık kullanılan yol sıcak buharla sterilizasyondur. Formaldehit, alkol veya etilenoksit kullanılarak yapılan sterilizasyonlar kesin sonuç vermediklerinden daha az yaygındır. Buhar sterilizasyonu (121°C de 20 ile 45 dakika arası) ekolojik olarak zararsız olmasına karşın basınca dayanıklı ve ısı stabilitesi iyi olan elektrotlara gereksinim yaratır.

Sterilizasyonda fermentasyon kazanının büyüklüğüne ve biçimine göre iki yöntemden biri uygulanır. pH elektrotlarının kazana daldırılış şekli de kazanın biçimiyle değişir.

1 — Ufak fermenterler, içinde sterilize edilecek madde ile beraber otoklavın içinde sterilize edilir. Bu durumda elektrodun ölçüm yapan ucundan başka başlığı ve kablosu da sıcağa ve neme açıktır. Buna karşın bu tür sterilizasyonda referans elektroduna etkiyen hiç bir basınç yoktur.

2 — Büyük fermenterlerde ise sterilizasyon sadece fermenter içindeki maddeye uygulanır. Bunun sonucu olarak elektrot yüzeyinde yaklaşık olarak 2 atmosferlik bir basınç oluşur. Bu basınç sonucu kazandaki numunenin elektrodun diyaframından geçerek elektroda girmemesi için fermentasyonda kullanılan pH elektrotları özel olarak yapılmıştır. Bu elektrotlar fer-

mentasyon işlemlerinde uzun süreler denenmiş ve başarılı sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmanın amacı bu tür ölçümler sırasında karşılaşılma olasılığı olan deneysel güçlükleri araştırmak ve bir çözüm getirmektir.

pH ELEKTRODU

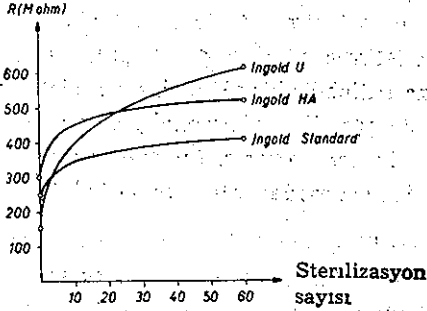
Sterilize edilebilir bir pH elektrodu yüksek sıcağına, basınca ve mekanik darbelere karşı dayanıklı olmalıdır. En iyi sonuçlar silindirik membranlı elektrotlar ile elde edilmiştir. Basınç testleri bu elektrotların 1280 psig basınca kadar dayanabildiklerini göstermişlerdir. Membran camının ve elektrot camının termal genişleme katsayıları birbirlerine çok yakın olduğu için sıcaklık değişmelerinde çatlama olmaz.

Hidrojen iyonu aktivitesine dolayısıyla pH değerine dayalı membran su ve su buharı ile reaksiyona girer ve her iki yüzeyinde bir jel tabakası oluşur. Bu tabakanın kimyasal bileşimi ve yapı özellikleri su ile reaksiyona girmemiş cam kısmın özelliklerinden farklıdır. Membranın iç yüzeyindeki potansiyel içerideki tampon çözeltinin pH değeri tarafından sabit tutulur. Dış membran potansiyeli ile test çözeltisi tarafından belirlenir. Bunun sonucu olarak hidrojen iyonu aktivitesi ile orantılı bir potansiyel farkı oluşur.

Pratikte bu potansiyelin membranın en dış tabakasının da oluştuğu varsayılır. Gerçekte cam membranın elektrik direncini asıl tayin eden, jel tabakası ile ana cam arasındaki geçiş bölgeleridir.

Cam elektrodun eğim, yanıtım süresi (response time), elektrik direnci gibi önemli özelliklerinin hepsi jel tabakasının yapısı ve kalınlığına büyük ölçüde bağlıdır. Bu özellikler bir yandan sıcağına da bağlıdır. Bundan dolayı sterilize edilebilir bir pH elektrodunun en önemli niteliği elektrot özelliklerinin sıcaklık

değişimlerinden sonra eski değerlerine gelebilmesidir. (Tersinir değişimler), pratikte bu kadar ideal davranan bir elektrod yoktur. Elektrotların zamanla eğimleri azalır, yanıtım süreleri uzar, membran dirençleri artar. Bunun için yavaş eskiyen, tersinir davranan özel pH camları geliştirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1: pH camlarının eskimesi. Ingold pH elektrotlarına 20°C de elektrik dirençleri Sterilizasyon: 121°C de 20 dakika.

Şekil 1 değişik pH camlarının membran direncinin eskimeyle nasıl değiştiğini göstermektedir. Eskime yüksek sıcaklık kullanılarak hızlandırılmıştır. Ingold U camı yeni iken en düşük dirençli cam olmasına karşın en çabuk eskiyen, direnci sterilizasyon yapıldıkça en hızlı artan camdır.

REFERANS ELEKTRODU :

Referans elektrodunun potansiyel geniş bir zaman aralığında sabit kalmalı ve sterilizasyondan hemen sonra eski değerini almalıdır. Normal elektrotlar bu özelliği göstermezler. Kalomel ($Hg_2 Cl_2$) yüksek sıcaklıkta bozularak Hg ve $HgCl_2$ verir ve özelliğini kaybeder. Aynı şekilde normal Ag/AgCl referans elektrodu da AgCl ün çözünürlüğü yüksek sıcaklıklarda çok fazla olduğundan fermentasyon için uygun de-

gildir. Bunun için özel bir Ag/AgCl elektrodu yapılmıştır.

Referans elektrodunun potansiyelinin sabit tutulması için referans elektrolitindeki klor iyonu konsantrasyonunun değişmemesi lazımdır. Elektrolitin buharlaşma veya kirlenme ile konsantrasyon değişimlerine karşı korunması gerekir. Bunu sağlamak için referans elektrodundaki basıncı reaksiyon kabındaki basınçtan 1.4 ile 2.8 psig kadar yüksek tutmak yeterlidir. Aksi hâlde reaksiyon kabındaki numune membran yoluyla referans elektrolitine karışarak bileşimini değiştirir.

Tablo 1 HA, standart ve U camı ile yapılmış elektrotların yanıtım süresi ve eğimlerinin 30 Sterilizasyon sonra nasıl değiştiğini göstermektedir.

pH ÖLÇÜMÜNDE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER :

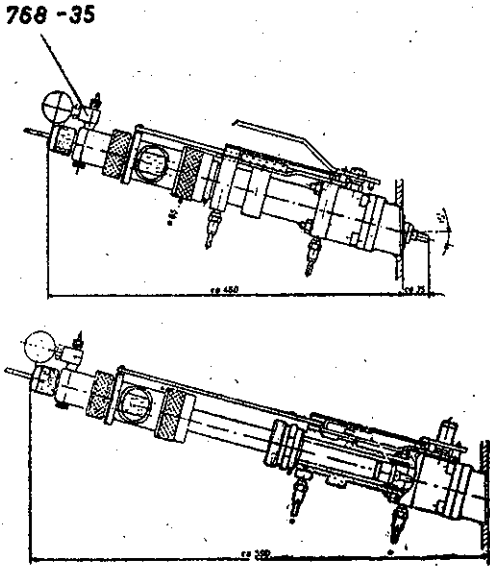
Fermentasyon endüstrisinde bir tek elektrot kullanmanın kolaylığından dolayı kombine elektrotlar daha fazla tercih edilmektedir. Bu nedenle pH ve referans elektrotlarının problemleri birarada incelenmiştir.

1 — **Diyafram Maddesi** : Süt gibi bazı fermentasyon maddelerinde seramik diyaframı eriten kimyasal maddeler vardır. Diyafram çözünmesi sonucunda çözelti steril olmayan hava ile kirlenebilir. Asitlere, bazlara ve kompleks yapıcı maddelere karşı dayanıklı yeni diyafram malzemeleri geliştirilmiştir. Yeni diyaframın özellikleri yoğurt fermentasyonunda denenmektedir. Asit ve gazla 170 kere temizlemeden ve 80 yoğurt fermentasyonundan sonra elektrot hala başarıyla çalışmaktadır.

2 — **pH elektrodunun fermentasyon sırasında değiştirilmesi** : Bazı fermentasyonlarda

Tablo 1

Elektrod Membran Cam tipi	Yanıtım süresi (99.5 %)		Eğim	
	Tampon pH 4 → Tampon pH 7 (25°C)			
	Sterilizasyon sayısı		Sterilizasyon sayısı	
	0	30	0	30
HA Standart U.	4 Saniye	12 Saniye	174 mV	174 mV
	10 Saniye	12 Saniye	174 mV	174 mV
	7 Saniye	17 Saniye	173 mV	174 mV



Şekil 2. Pozisyon 1 (yukarıdaki) Pozisyon 2 (aşağıdaki)

ortamın pH değerinin büyük bir hassasiyet ve doğrulukla kontrol edilmesi zorunludur. Bazı bakterilerin büyümesi için gerekli pH aralığı çok dardır. Buna ek olarak böyle bir işlem haf talarca sürebilir. Böyle durumlarda pH elektrodunun periyodik olarak kontrolü gereklidir. Test edilen elektrodun sterilizasyonu bozmadan tekrar tanka doldurulması çok zordur. Bu amaçla şekil 2 de görülen elektrotlar geliştirilmiştir. Prob bir valf ve geri çekilebilen bir parçadan oluşmuştur. Elektrodu değiştirmek için bu kısım geri çekilir ve valf kapatılarak fermentasyon kabı ile ilişki kesilir. (Pozisyon 2). Elektrot kontrol edildikten sonra tekrar yerine yerleştirilir ve bu durumda sterilize edilir. Daha sonra valf açılarak elektrot fermentasyon kabına doldurulur. Bu tür değiştirilebilir problarda 3 tane emniyet önlemi vardır.

- Elektrodu çıkarır veya takarken yanlış bir hareketle kırmak olasılığı yoktur.
- Fermentasyon kabındaki delik ancak elektrot dışarı çekildiğinde kapatılabilir.
- Geri çekilen parça ancak fermentasyon

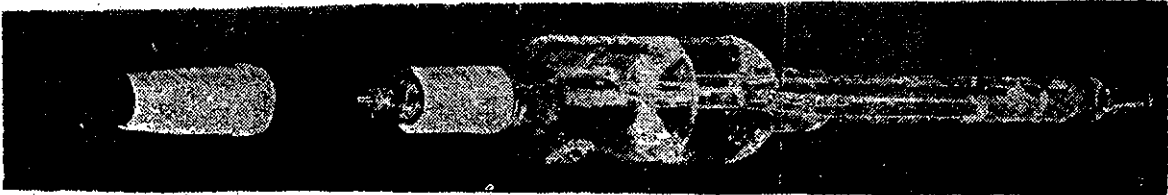
kabının deliği kapatıldıktan sonra tamamen çıkartılabilir.

3 — Otoklavda (ufak fermentasyon kapları) sterilizasyon : pH elektrodunun kablosu buharla temas ettirildiğinde ömrü önemli ölçüde kısalır. Buhar kablunun dış yüzeyinden içeri sızarak pH ve referans elektrotları arasında kısa devreye yol açar. Buhara dayanıklı hiçbir kablo malzemesi olmadığı için kablosuz bir elektrot geliştirme yönüne gidilmiştir. Şekil 3 te sterilize edilebilir bir pH elektrodu gösterilmektedir. Burada fiş doğrudan doğruya elektrodun başına bağlanmaktadır. Bu elektrot koruyucu başlık kullanılmadan sterilize edilebilir.

4 — Diyafram kirlenmesi : Fermentasyonda pH ölçümünün doğruluğunu belirleyen en önemli etkenlerden biri diyafram kirlenmesidir. Diyafram referans elektroliti ile test çözeltisi arasındaki elektrolit temasını sağlar. Referans elektrolitinin birleşimini olabildiğince sabit tutmak amacıyla az gözenekli diyaframlar tercih edilir. İlk değişik çözelti temas halindeyken değişik iyonların veya yük taşıyıcıların değişik difüzyon hızları nedeniyle bir potansiyel oluşur. Bu diyafram potansiyeli veya difüzyon potansiyeli ölçülecek potansiyele bir belirsizlik getirir. Bu da potansiyometrik ölçümün hassasiyetini belirleyen en önemli etkindir.

Dolayısıyla çok hassas ölçümler ancak test çözeltisinin ve referans elektrolitinin aynı olduğu durumlarda mümkündür. Çoğunlukla pratikte bu şart sağlanmaz. Fakat yapılan deneyler sonucunda bu belirsizlikten gelen ölçüm hatası teknik çalışmalarda kabul edilebilen dar hata sınırlarının içine girmektedir.

Diyafram kirlendiğinde durum tamamen değişir. Kimyasal bakımından eylemsiz (inert) olan diyafram kirlendiğinde bazı iyonları diğerlerine oranla daha çok soğurur. Yüklü iyonların tercihli soğurulması diyaframda bir yük kutup-



Şekil 3 : Sterilize edilebilir pH elektrodu.

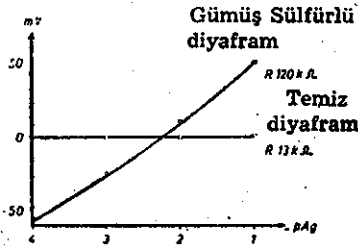
laşmasına dolayısıyla da daha büyük bir difüzyon potansiyeli oluşmasına yol açar.

Fermentasyonda, çalışılan maddenin karakterine göre diyaframda iki tür kirlenme gözlenir :

- Protein kirlenmesi,
- Gümüşlü bileşikler kirlenmesi.

En önemli diyafram kirlenmesi gümüş sülfürdür. Derişik potasyum klorür çözeltisinden oluşan referans elektrolitin litresinde yaklaşık olarak 1 g AgCl vardır. Bu gümüş numunenin içindeki çok güç çözünen siyah bir gümüş sülfür (Ag_2S) direncini birkaç kat artırarak oldukça büyük ve değişken bir difüzyon potansiyeli oluşturur. Bu tür diyafram kirlenmelerinde 1 pH birimine kadar çıkabilen ölçüm hataları gözlenmiştir. Ayrıca bu tür kirlili diyaframlı elektrotlarda difüzyon potansiyeli yavaş yavaş yükseldiğinden elektrodun davranışında bir kararsızlık görülür.

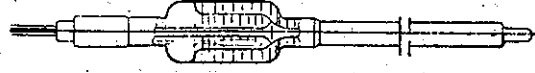
Şekil 4 te gümüş sülfürlü diyaframın lineer olmayan davranışı gösterilmiştir. Ölçüm sistemi, temiz diyaframlı bir referans elektrodu, test çözeltisi ve gümüş sülfürlü diyaframlı bir referans elektrodudur.



Şekil 4 : Gümüş sülfürle kirlenmiş seramik diyaframın davranışı.

Diyafram temizse, diyaframda oluşan potansiyel test çözeltisinin bileşiminden etkilenmez. Gümüş sülfür kirlenmesinde ise test çözeltisinin bileşimi diyafram potansiyeline etkir. Şekil 4'de gümüş sülfürle kirlenmiş bir referans elektrodunun bir dereceye kadar gümüşe hassas (gümüş ölçmeye yarayan) elektrotlar gibi davrandığı görülmektedir. Diyaframın gümüşlü bileşiklerle kirlenmesini önlemek üzere çeşitli metotlar geliştirilmiştir.

a) Köprü Elektroliti : Şekil 5 te iki elektrolit haznesi olan bir elektrot görülmektedir

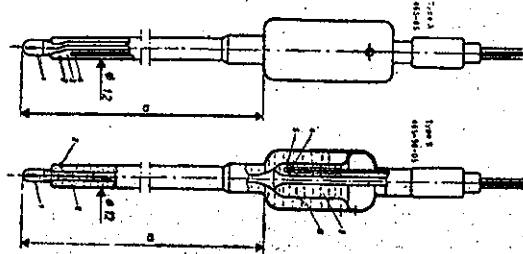


Şekil 5 : İki elektrolit hazneli elektrot.

İç kısımda AgCl ile doymuş KCl elektroliti bulunduran Ag/AgCl referans elektrodu vardır. Dış hazne gümüşsüz KCl veya KNO_3 köprü elektroliti ile doldurulmuştur. İç haznedeki elektrolit, köprü elektrolitine içindeki diyaframdan difüzyon yoluyla karışır. Bu yüzden köprü elektroliti periyodik olarak değiştirilmelidir.

b) Diyafram temizlenmesi : Fermentasyon elektrotlarında diyafram periyodik olarak temizlenmelidir. Kirlenmenin teşhisinde ve temizlenmenin yeterli olup olmadığına karar vermede şekil 4 teki sistem kullanılır. Çeşitli test çözeltileri içindeki iki referans elektrodu arasındaki potansiyel farkının 2mV tan fazla olmaması gerekir. Daha büyük farklar diyaframın kirlendiğini gösterir. Bazı kirlenmeler örneğin, gümüş sülfür gözle görülebilir. Protein gibi bazı kirlenmeler ise gözle görülemezler. Gümüşlü kirlenmeler asidik tiyoüre çözeltisi ile protein kirlenmesi proteinase çözeltisi ile temizlenebilir.

c) Diferansiyel pH ölçümü : Diferansiyel pH ölçüm metodunun esası iki eş pH elektrodu arasındaki potansiyeli ölçmektir. Elektrotlardan biri fermentasyon çözeltisine, diğeri fermentasyon çözeltisindeki bir diyaframla ayrılmış tampon çözeltisine daldırılır.



Şekil 6 : Diferansiyel metotta kullanılan elektrotlar.

Şekil 6 da diferansiyel metod için geliştirilmiş iki tane kombine pH elektrodu görülmektedir. Bu elektrotlarda gümüş bulunduran referans elektroliti test çözeltisi ile temas etme-

diği için diyaframda gümüş bileşikleri kirlenmesi olmaz.

A elektrodunda referans elektrot haznesi referans pH elektrodunda sabit bir potansiyel yaratacak bir çözeltiye örneğin derişik bir tampon çözeltiye doldurulabilir. Referans elektroliti diyafram potansiyelini düşük tutmak için equitransferent anyonları ve katyonları aynı mobilitelerde bir elektrolit olmalıdır. Potasyum

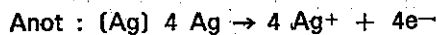
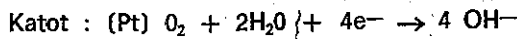
klorür çözeltisi oldukça equitransferentdir ve bu gayeyle çok sık kullanılır. Tampon çözeltiler ise equitransferent olmadığından iyi bir elektrolit olamazlar. Bu nedenle tampon çözelti kullanılacağı zaman tampon maddelerinden ayrı miktarda potasyum klorür bulunduran tampon çözeltiler tavsiye edilir.

Referans çözeltiyi seçerken diyaframda çökme olasılığı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Örneğin kalsiyum birçok fermentasyon çözeltilinde bol miktarda vardır. Bu durumlarda fitalatlı tampon çözeltiler (pH-4) ve fosfatlı tampon çözeltiler (pH-7) kalsiyumla çözünürlüğü çok az olan çökelekler verecekleri için referans çözeltisi olarak kullanılamazlar.

B elektrodunda tampon çözeltisi ile fermentasyon çözeltisi birbirlerine potasyum klorür çözeltisi ile bağladıklarından bu tür problemler yoktur.

OKSİJEN ELEKTRODU :

Oksijen Elektrodu amperometrik bir elektrottur. Yani numunedeki oksijen konsantrasyonunu değişimleri potansiyeli değil elektrottaki akımı değiştirir. Elektrotta yer alan reaksiyonları şöyle özetleyebiliriz,



Anot, katot ve elektrolit test çözeltisinden gazları geçiren fakat iyonları geçirmeyen polimer bir membranla ayrılmıştır. Bu şekilde anotta ve katofta yukarıda gösterilen reaksiyonlardan başka indirgeme-yükseltgenme reaksiyonları olması önlenmiş olur. Bu ayrıca elektrodu gaz veya sıvı numunelerle kullanma olanağını verir.

İdeal bir oksijen elektrodu oksijenin kısmi basıncı P_{O_2} ile orantılı olarak akım verir. Bu ise iyi bir elektrot şekli ve doğru seçilmiş bir polarizasyon voltajı ile büyük ölçüde sağlanabilir.

Oksijen elektrodunun akımı çeşitli değişkenlere bağlıdır.

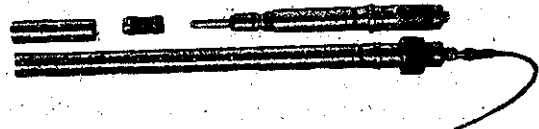
$$i_{PO_2} = K \cdot \frac{A \cdot P \cdot PO_2}{d}$$

K : Sabit
A : Katot yüzey alanı
P : Membran geçirgenliği
d : Membran kalınlığı

Oksijen elektrodunun detaylı teorisi literatür 7 de anlatılmıştır. Biz fazla teoriye girmeden elektrodun problemlerini anlayabilmek için bazı özelliklerini inceleyelim.

Yanıtım süresi d^2/p ile orantılıdır. Bu açıdan ince ve geçirgenliği yüksek membranlar avantajlıdır. Diğer taraftan elektrot akımı akış hızından mümkün olduğunca az etkilenmelidir, ki bu da elektron akımının küçük olduğu durumlarda sağlanır. O halde kısa yanıtım süreli ve akış hızından az etkilenen bir elektrot ince orta geçirgenlikte bir membran ve küçük katot yüzey alanı ile yapılabilir. Diğer taraftan katot yüzeyi büyüdükçe akım adaha kararlı olur. Görüldüğü gibi teorik olarak ideal bir oksijen elektrodu yapmak olanaksızdır.

Sterilize edilebilir bir oksijen elektrodunun özellikleri pH elektrodunda olduğu gibi sıcaklıkla tersinir olarak değişmelidir. 10-25 um kalınlığında bir membran yüksek basınçlara dayanmayacağı gibi 120°C de sterilize edildiği zaman kalınlığında oluşan değişiklikler soğutulduğunda düzelmez (tersinir olmayan değişiklik)



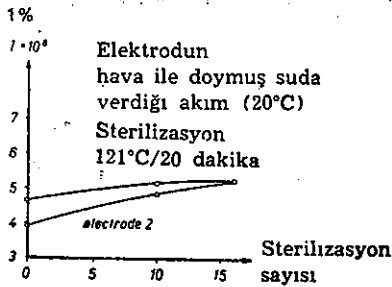
Şekil 7 : Sterilize edilebilen bir oksijen elektrotu

Şekil 7 de sterilize edilebilen bir oksijen elektrodu görülmektedir. Membran sterilizasyon şartlarına dayanabilen çift katlı özel bir membrandır. Akımı belirleyen iç tabaka 25 um kalınlığında teflon bir film, dışarıdaki tabaka ince çelik bir ağıla kuvvetlendirilmiş geçirgenliği yüksek 150 um kalınlığında silicon membrandır.

Membran kalınlaştıkça elektrodun yanıt süresi uzamasına karşın elektrot akımının akış hızına bağımlılığını azaltır. Fermentasyon işleminde hava kabarcıklarından kaçınmanın olanaksız olduğu göz önüne alınırsa, karıştırılan ve karıştırılmayan çözeltilerdeki ölçüm farkının % 2, karıştırılan çözeltilerde ölçüm farkının % 0 olmasının en büyük bir avantaj olduğu anlaşılabilir.

Oksijen elektrodunun akımı sterilizasyon sonucunda değişir. Bu nedenle elektrodu her stabilizasyondan sonra hava ve saf azot gazı ile kalibre etmek gerekir. Şekil 8 de elektrot akımının sterilizasyon sayısı ile nasıl değiştiği görülmektedir.

Oksijen elektrodunun saf azot gazı içindeki akımına sıfır akımı denir. Bu akım oksijenin elektrolit haznesinden geri difüzyonu sonucu oluşur. Sıfır akımının büyüklüğü ölçüm hassasiyetine etki ettiği için özellikle küçük katotlu elektrotlarda dikkatli olmak gerekir.



Şekil 8 : Elektrot akımının sterilizasyon değişimi.

Bu sıfır akımını azaltmak için elektrolit haznesi ile katot arasında mümkün olan en uzun difüzyon yolu ve katot alanı ile elektrolit tabakası gereklidir. Tablo 2'de görüldüğü gibi oksijen elektrotlarının sıfır akımı havada-

ki akımın % 1 ini hiçbir zaman geçmez ki bu da ihmal edilebilecek kadar küçük bir değerdir.

Akış hızına bağımlılık elektrot akımıyla değişir ve ancak arka arkaya yapılan sterilizasyonlar sonucu farkedilebilecek kadar artar. Yanıt süresinde Tablo 2'de gösterildiği gibi çok az değişir.

OKSİYEN ELEKTRODUNUN PROBLEMLERİ :

1 — Oksijen Konsantrasyonu : Oksijen elektrodu ppm olarak oksijen konsantrasyonu değil oksijen aktivitesini (veya kısmi basıncını) ölçer. Kimyasal reaksiyonlar, reaksiyona giren maddelerin aktivitelerine bağlı olarak ilerlediğinden araştırmacı aktiviteyi bilmek ister.

Bununla beraber bazı durumlarda oksijen tüketimini de ölçmek isteriz. Bu da konsantrasyonu ölçmekle mümkündür. Henry kanununa göre konsantrasyonla aktivite arasındaki bağlantı,

$$P_{O_2} = K \cdot ppm \ O_2$$

K sabitinin değeri sıcaklığa, çözücünün cinsine ve numunedeki tuz miktarına bağlıdır. Örneğin bu sabit doymuş potasyum klorür çözeltisi içinde damıtık sudakinden yaklaşık olarak 10. defa daha büyüktür. Bu nedenle oksijen konsantrasyonunu hesaplayabilmek için K sabitini Winkler titrasyonu ile bulmak gerekir.

2 — Membran Kirlenmesi : Hatalı ölçümlerin en büyük sebeplerinden birisi de oksijen geçirenin katı maddelerle kaplanmasıdır. Bu tabaka geçirgenliği ve kalınlığı bilinmeyen ek bir membran gibi davranır. Elektrot kirlendikçe yanıt süresi uzar ve kalibrasyonun sık sık yapılması gerekir. Bu duruma daha çok mayalama ve hidrokarbon fermentasyonunda rastlanılır. Si-

Tablo 2 : Havadaki Ohm Sıfır Akımı

İlk değerler	3.93×10^{-8} Amp.	0.003×10^{-8} Amp.
10 sterilizasyondan sonra	4.86×10^{-8} Amp.	0.008×10^{-8} Amp.
16 sterilizasyondan sonra	5.27×10^{-8} Amp.	0.01×10^{-8} Amp.

Hava - azot için yanıt süresi (20°C'de)

	Elektrot 1	Elektrot 2
İlk değerler	50 sn.	51 sn.
10 sterilizasyondan sonra	50 sn.	51 sn.
16 sterilizasyondan sonra	48 sn.	50 sn.

likon membran küçük hidrokarbon damlalarını absorbe eder ve elektrotta bakteri büyümesini hızlandırır. Membran mikro-organizmalarla kaplandıkça elektrot akımı düşer. Ve nihayet bu mikro-organizmaların oksijen tüketimi öyle bir seviyeye gelirki artık elektroda hiç oksijen gitmez. Bu durumlarda membranı bir kağıtla silerek temizlemek faydalı sonuçlar vermektedir.

Membran kirlenmesi sorununun şimdiye kadar kesin bir çözüme ulaştığı söylenemez. Ama yine de birçok deneysel olanaklar kullanılarak hidrokarbon fermentasyonlarında bile güvenilir ölçümler yapılabilmektedir.

a) Membranın Temizlenmesi : Oksijen elektrotlarının membranlarının temizlenmesi

çok dikkat gerektirir. Temizleme yumuşak bir fırçayla veya ultrasonik olarak yapılabilir.

b) Periyodik Membran Kontrolü : Şekil 2 de gösterilen değiştirilebilir pH elektrotları probu oksijen elektrotlarında da kullanılabilir. Bu problarda elektrot çekilmiş durumdayken steril hava içinde test edilir ve gerekirse kimyasal ve fiziksel yöntemlerle temizlenir.

c) Yeni Tür Membranlar : Silikon membranın, özellikle kirlenme başladığı zaman bir kültür ortamı gibi davranarak mikro-organizmaların büyümesini hızlandırdığı bulunmuştur. Bu günlerde yeni bir membran maddesi üzerinde çalışılmaktadır.

REFERANSLAR

1. W., Ingold — Process Biochemistry 1969
2. F. G. Bauke — J. Non - Crystalline Solids 1974
3. A. Wilkby — Physics Chem. Glasses 1974
4. W. Ingold — Dechema - Monografien 1962
5. T. S. Light — Anal. Instrum. 1970
6. W. M. Krebs, I. A. Haddad — Develop. Ind. Micro Biol. 1972
7. R. Schuler — «Evaluation and Design of Rapid Polarographic in Vivo Oxygen Catheter Electrodes», Jourius Druck Verlag, Zurich 1966