



ΤΕΧΝΙΚΗ ΧΗΜΙΚΩΝ & ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ Νο 3

Υπολογισμός του Ρυθμού Οξυγόνωσης σε Βιοαντιδραστήρα (χωρίς μικροοργανισμούς)

Σκοπός Εργαστηρίου:

Να εξοικειωθεί ο σπουδαστής (α) στην απλή βαθμονόμηση ενός μετρητή διαλυμένου οξυγόνου (D.O. meter), (β) να υπολογίσει πειραματικά με την μέθοδο του δυναμικού αερισμού τον συντελεστή μεταφοράς μάζας ($k_L a$) από την αέρια φάση στην υγρή και (γ) να εξετάσει κατά πόσο η συμπεριφορά του πειραματικά υπολογιζόμενου $k_L a$ είναι η αναμενόμενη από υπάρχουσες συσχετίσεις.

Θεωρία:

Υπάρχουσες συσχετίσεις του συντελεστή μεταφοράς μάζας σε τροφοδοτούμενους με αέρα βιοαντιδραστήρες είναι της μορφής:

$$k_L a \sim \left(\frac{P_g}{V_R} \right)^{0,4} (u_s)^{0,5} (N)^{0,5}$$

όπου P_g είναι η ισχύς που μεταφέρεται από τον αναδευτήρα στην υγρή φάση για **αεριζόμενο** βιοαντιδραστήρα, V_R είναι ο όγκος του βιοαντιδραστήρα, u_s είναι η φαινομενική ταχύτητα (superficial velocity) του αέρα που ορίζεται ως F_{air}/A_R όπου F_{air} είναι η ογκομετρική παροχή του αέρα & A_R το εμβαδόν της διατομής του βιοαντιδραστήρα [$=\pi(D_R)^2/4$, D_R =διάμετρος αντιδραστήρα]) και τέλος N είναι ο ρυθμός περιστροφής του αναδευτήρα (RPM).

Η απαιτούμενη ισχύ για τον αεριζόμενο βιοαντιδραστήρα (P_g) υπολογίζεται από τις κάτωθι συσχετίσεις.

$$P_g \sim \left(\frac{P_u^2 N D_i^3}{F_{air}^{0,56}} \right)^{0,45}$$

όπου D_i είναι η διάμετρος του αναδευτήρα και P_u είναι η απαιτούμενη ισχύ σε μη αεριζόμενο βιοαντιδραστήρα. Για τυρβώδεις συνθήκες, έχουμε ότι:

$$P_u \sim N^3 D_i^5$$

Το $k_L a$ μπορεί να μετρηθεί πειραματικά με διαφορετικούς τρόπους. Η μέθοδος του δυναμικού αερισμού (dynamic gassing-in method) βασίζεται σε μετρήσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO) συναρτήσει του χρόνου κατά την οξυγόνωση του βιοαντιδραστήρα.

Από την θεωρία γνωρίζουμε ότι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην υγρή φάση αυξάνει με βάση την σχέση

$$\frac{dC_L}{dt} = k_L a (C^* - C_L)$$

όπου C^* είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην υγρή φάση σε ισορροπία με την αέρια φάση. Η διαλυτότητα του οξυγόνου σε καθαρό νερό συναρτάται της θερμοκρασίας (υπό ατμοσφαιρική πίεση) δίδεται από την σχέση:

$$C^* = 14,16 - 0.394T + 0,007714T^2 - 0,000646T^3$$

Όπου C^* είναι σε mg/L και T σε $^{\circ}\text{C}$.

Από την επίλυση της ανωτέρω διαφορικής εξίσωσης έχουμε

$$\ln\left(\frac{C^* - C_L}{C^* - C_{L0}}\right) = -k_L a (t - t_0)$$

όπου C_{L0} είναι η τιμή του C_L την χρονική στιγμή t_0 . Από την ανωτέρω εξίσωση προκύπτει ότι η τιμή του $k_L a$ μπορεί να υπολογιστεί από την κλίση της ευθείας γραμμής στο διάγραμμα του $\ln(C^* - C_L)$ ως προς t .

Ο αισθητήρας του διαλυμένου οξυγόνου στο εργαστήριο μας παρέχει την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ως ποσοστό. Δηλαδή, για ένα τέλεια βαθμονομημένο όργανο, ισχύει η κάτωθι σχέση:

$$DO = \left(\frac{C_L}{C^*}\right) 100 \quad (\%)$$

και επομένως η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να υπολογιστεί ως

$$C_L = C^* \left(\frac{DO}{100}\right)$$

Αντικαθιστώντας στην βασική μας εξίσωση έχουμε

$$\ln\left(\frac{100 - DO}{100 - DO_0}\right) = -k_L a (t - t_0)$$

και επομένως η τιμή του $k_L a$ μπορεί να υπολογιστεί από την κλίση της ευθείας γραμμής στο διάγραμμα του $\ln(100 - DO)$ ως προς t .

Βαθμονόμηση του μετρητή DO:

1. Χρησιμοποιώντας άζωτο και συνεχή ανάδευση στο βιοαντιδραστήρα μετά από λίγη ώρα απομακρύνουμε όλο το οξυγόνο που είναι διαλυμένο στην υγρή φάση και επομένως ο μετρητής DO πρέπει να δείχνει 0 %

2. Χρησιμοποιώντας αέρα και συνεχή ανάδευση στο βιοαντιδραστήρα μετά από λίγη ώρα αυξάνουμε το οξυγόνο που είναι διαλυμένο στην υγρή φάση και φτάνουμε σε συνθήκες κορεσμού (C^*). Επομένως ο μετρητής DO πρέπει να δείχνει 100 % και γνωρίζουμε ότι αντιστοιχεί τόσα mg/L όσα υπολογίζονται από την σχέση διαλυτότητας του οξυγόνου για την θερμοκρασία του πειράματος.

Πειραματική μεθοδολογία:

Για τον υπολογισμό του k_{La} σε οποιεσδήποτε συνθήκες (N , V_R , F_{air} , T) ξεκινάμε με την απομάκρυνση του διαλυμένου οξυγόνου από την υγρή φάση με την συνεχή παροχή αζώτου.

Όταν η τιμή του DO μετρούμενο από βαθμονομημένο αισθητήρα πλησιάζει το μηδέν (είναι λιγότερο το 5%), κλείνουμε την ροή του αζώτου και ανοίγουμε την επιθυμητή παροχή του οξυγόνου. Από αυτή την στιγμή καταγράφουμε τις μετρήσεις μας στον πίνακα που μας δίνεται.

Πειραματικές συνθήκες:

Ακολουθώντας την ανωτέρω διαδικασία να γίνουν τα εξής πειράματα:

1. Χρησιμοποιώντας $N=500$ RPM και $V_R=1000$ mL, να γίνει μία σειρά πειραματικών μετρήσεων του k_{La} όταν το F_{air} έχει τιμές 1,0 2,0 και 3,0 vvm.
2. Χρησιμοποιώντας $F_{air}=2,0$ vvm και $V_R=1000$ mL, να γίνει μία σειρά πειραματικών μετρήσεων του k_{La} όταν το N έχει τιμές 500 και 600 RPM.
3. Χρησιμοποιώντας $F_{air}=2,0$ vvm και $V_R=2000$ mL, να γίνει μία σειρά πειραματικών μετρήσεων του k_{La} όταν το N έχει τιμές 500 και 600 RPM.

Ανάλυση Δεδομένων:

- Με την χρήση υπολογιστικού φύλλου EXCEL να γίνουν τα σχετικά γραφήματα και να υπολογιστούν οι τιμές των k_{La} .
- Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα να γίνει το διάγραμμα του k_{La} ως προς F_{air} και ως προς N .
- Να προσδιοριστεί κατά πόσο τα πειραματικά αποτελέσματα για το k_{La} ακολουθούν την συσχέτιση που αναφέρεται στην θεωρία (εξετάστε την συμπεριφορά των κλασμάτων $(k_{La})/(k_{La})_0$ όπου το $(k_{La})_0$ αντιστοιχεί σε κάποιες συνθήκες αναφοράς).

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε τεχνική έκθεση είναι παραδοτέα εντός δύο βδομάδων από την διενέργεια του πειράματος.