

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΒΙΟ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ

Α.Α. Πάσχος, Β.Π. Βουλγαρόπουλος, Σ.Β. Παράς, Α.Α. Μουζά

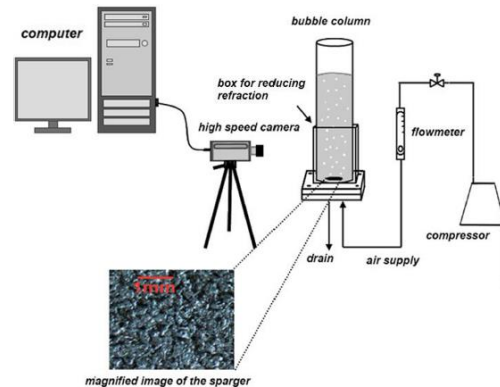
Εργαστήριο Τεχνολογίας Χημικών Εγκαταστάσεων(ΕΤΧΕ), Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ
e-mail: mouza@auth.gr

Λέξεις κλειδιά: στήλη φυσαλίδων, πορώδης κατανομέας, μη-Νευτωνικό ρευστό, επιφανειοδραστικό, κλάσμα κενού, μέγεθος φυσαλίδων

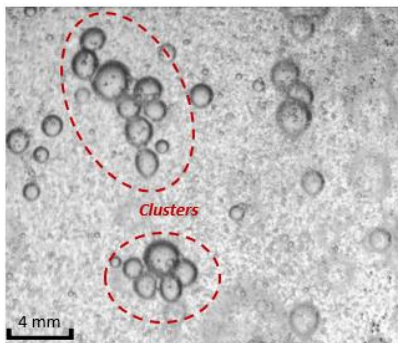
Οι περισσότερες βιοκαλλιέργειες είναι αερόβιες και διεξάγονται μέσα σε υγρό καλλιεργητικό μέσο το οποίο συνήθως συμπεριφέρεται ως μη-Νευτωνικό ρευστό (Doran, 1995). Τα συστατικά που αποδίδουν τη μη-Νευτωνική συμπεριφορά στο ρευστό μπορεί να είναι εξωκυτταρικά πολυσακχαρίδια (π.χ. ξανθάνη), άμυλο καθώς και τα ίδια τα κύτταρα του μικροοργανισμού. Καθώς η καλλιέργεια αναπτύσσεται η επιφανειακή τάση της υγρής φάσης μειώνεται λόγω της εκκρίσεως βιο-επιφανειοδραστικών ουσιών (Doran, 1995). Είναι επίσης γνωστό ότι για να επιτευχθεί η βέλτιστη ταχύτητα μεταβολισμού των κυττάρων πρέπει αφενός η συγκέντρωση του O_2 να είναι μεγαλύτερη από μία κρίσιμη τιμή, η οποία εξαρτάται από τον οργανισμό, και αφετέρου να ληφθεί υπόψη ο μέγιστος επιτρεπτός ρυθμός διάτμησης (Doran, 1995). Οι **στήλες φυσαλίδων**, οι οποίες είναι διαδεδομένες συσκευές επαφής υγρής/αέριας φάσης, χρησιμοποιούνται ευρέως ως αεριζόμενοι βιοαντιδραστήρες, ιδιαίτερα για την καλλιέργεια μικροοργανισμών ευαίσθητων στην άσκηση διάτμησης.

Στις ερευνητικές δραστηριότητες του Εργαστηρίου **ΤΧΕ** περιλαμβάνεται η μελέτη και ο σχεδιασμός στηλών φυσαλίδων εξοπλισμένων με πορώδη κατανομέα της αέριας φάσης. Η παρούσα εργασία εστιάζεται στη μελέτη στηλών φυσαλίδων με υγρή φάση ένα μη-Νευτωνικό ψευδοπλαστικό (*shear thinning*) ρευστό που περιέχει μικρή ποσότητα επιφανειοδραστικού.

Στο **Σχήμα 1** παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε και περιλαμβάνει μία κυλινδρική στήλη κατασκευασμένη από *Plexiglas* διαμέτρου 9 cm, η οποία φέρει μεταλλικό πορώδη κατανομέα με ονομαστική διάμετρο πόρων 40 μm . Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επίδραση της διατομής του κατανομέα στη λειτουργία της στήλης χρησιμοποιήθηκαν κατανομές διαμέτρων 4.5 cm και 9 cm. Η υγρή φάση ήταν νερό και υδατικά διαλύματα γλυκερίνης, τα οποία περιείχαν μικρή ποσότητα (0.35 gr/L διαλύματος.) κόμμεως ξανθάνης που τα καθιστά μη-Νευτωνικά. Στα παραπάνω υγρά προστέθηκε επίσης μικρή ποσότητα (0.02 έως 2.80 gr/L διαλύματος) του μη-ανιονικού επιφανειοδραστικού *Triton X-100*.



Σχήμα 1: Πειραματική διάταξη.

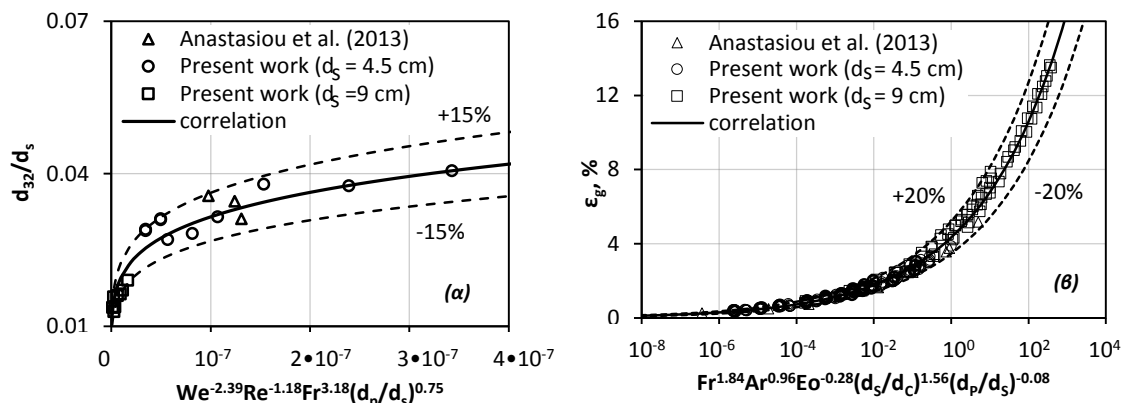


Σχήμα 2: Σχηματισμός συστάδων (clusters) φυσαλίδων.

Οι οπτικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι η προσθήκη επιφανειοδραστικού προκαλεί το σχηματισμό περισσότερων και μικρότερων φυσαλίδων που καλύπτουν το σύνολο σχεδόν της διατομής της στήλης. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στον περιορισμό της συνένωσης των φυσαλίδων που προκαλείται από την ελάττωση της επιφανειακής τάσης. Επίσης όταν η στήλη περιέχει ένα μη-Νευτωνικό υγρό οι φυσαλίδες τείνουν να “κολλάνε” μεταξύ τους σχηματίζοντας συστάδες (clusters) (**Σχήμα 2**) γεγονός που αποδίδεται στο αυξημένο ιξώδες του διαλύματος (Anastasiou et al., 2013).

Σε προηγούμενες εργασίες [Mouza et al. (2005), Kazakis et al. (2007), Anastasiou et al. (2010)] έχουμε προτείνει σχεδιαστικές σχέσεις που προβλέπουν με ικανοποιητική ακρίβεια τη μέση διάμετρο *Sauter* των φυσαλίδων και τη συγκράτηση της αέριας φάσης στην ομογενή περιοχή καθώς και το σημείο μετάβασης από την ομογενή στην ετερογενή περιοχή. Οι συσχετισμοί αυτοί περιλαμβάνουν τις φυσικές ιδιότητες της υγρής φάσης, την παροχή της αέριας φάσης καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της στήλης και του κατανομέα. Στην παρούσα εργασία ως ιξώδες χρησιμοποιήθηκε ένα μέσο ενεργό (*effective*) ιξώδες το οποίο είναι συνάρτηση του μέσου ρυθμού διάτμησης που με τη σειρά του μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει της φαινομενικής ταχύτητας του αερίου (Anastasiou et al., 2013).

Με κατάλληλη τροποποίηση των συντελεστών τους οι προηγούμενοι συσχετισμοί μπορούν πλέον να προβλέπουν τόσο το μέσο μέγεθος των φυσαλίδων όσο και τη συγκράτηση της αέριας φάσης και σε στήλη φυσαλίδων που περιέχει ένα μη-Νευτώνικο υγρό και επιφανειοδραστικό (Σχήμα 3).



Σχήμα 3: Σύγκριση συσχετισμών πρόβλεψης α) μέσης διαμέτρου *Sauter* και β) συγκράτησης αερίου με πειραματικά δεδομένα.

Είναι γνωστό ότι όταν οξυγόνο τροφοδοτείται στους βιοαντιδραστήρες μέσα από ακροφύσια, η διασπορά του υποβοηθείται με ανάδευση, η ένταση της οποίας δεν πρέπει να υπερβαίνει ορισμένα όρια ώστε να αποφευχθεί βλάβη των μικροοργανισμών. Η χρήση πορώδους κατανομέα έχει αποδειχθεί ότι οδηγεί στη δημιουργία μικρού μεγέθους φυσαλίδων ενώ εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή οξυγόνου χωρίς την ανάγκη μηχανικής ανάδευσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η παρουσία μικρών ποσοτήτων επιφανειοδραστικού, που στην περίπτωση των βιοαντιδραστήρων παράγεται κατά την αντίδραση, μειώνει ακόμη περισσότερο τη μέση διάμετρο των φυσαλίδων και μετατοπίζει το σημείο μετάβασης από την ομογενή στην ετερογενή περιοχή σε μεγαλύτερες παροχές της αέριας φάσης. Στην παρούσα εργασία προτείνονται σχέσεις με τις οποίες ο σχεδιαστής μπορεί αρχικά να προσδιορίσει τα όρια της ομογενούς περιοχής, η οποία είναι επιθυμητή στους βιοαντιδραστήρες. Στη συνέχεια για αυτήν την περιοχή μπορεί να προβλέψει τη μέση διάμετρο *Sauter*, το κλάσμα κενού και κατ' επέκταση την επιφάνεια επαφής μεταξύ των φάσεων.

Βιβλιογραφία

- Anastasiou, A.D., Kazakis, N.A., Mouza, A.A. & Paras, S.V., 2010. Effect of organic surfactant additives on gas holdup in the pseudo-homogeneous regime in bubble columns equipped with fine pore sparger. *Chemical Engineering Science*, **65**, 5872-5880.
- Anastasiou, A.D., Passos, A.D., Mouza, A.A., 2013. Bubble columns with fine pore sparger and non-Newtonian liquid phase: Prediction of gas holdup. *Chemical Engineering Science*, **98**, 331-338.
- Doran, P.M., 1995 *Bioprocess Engineering Principles*, 1st ed. Academic Press, London, UK.
- Kazakis, N.A., Papadopoulos, I.D. & Mouza, A.A., 2007. Bubble columns with fine pore sparger operating in the pseudo-homogeneous regime: Gas hold up prediction and a criterion for the transition to the heterogeneous regime. *Chemical Engineering Science*, **62**, 3092-3103.
- Mouza, A.A., Dalakoglou, G.K. & Paras, S.V., 2005. Effect of liquid properties on the performance of bubble column reactors with fine pore spargers. *Chemical Engineering Science*, **60**, 1465-1475.