

Μελέτη της επίδρασης μη-Νευτωνικών υγρών στα λειτουργικά χαρακτηριστικά στήλης φυσαλίδων με πορώδη κατανομέα

Α.Δ. Αναστασίου, Α.Δ. Πάσσοις, Α.Α Μουζά

Εργαστήριο Τεχνολογίας Χημικών Εγκαταστάσεων, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ
tel.: +30 2310 994161; e-mail: mouza@auth.gr

Λέξεις κλειδιά: στήλη φυσαλίδων, μη-νευτωνικά ρευστά, υπολογιστική ρευστοδυναμική

Οι στήλες φυσαλίδων είναι ευρύτατα χρησιμοποιούμενες συσκευές διασπαστικής ροής, στις οποίες η ασυνεχής αέρια φάση κινείται με τη μορφή φυσαλίδων κατακόρυφα ως προς τη συνεχή υγρή φάση. Η διαδεδομένη χρήση τους (π.χ. σε διεργασίες χλωρίωσης, πολυμερισμού, οξυγόνωσης) οφείλεται στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, όπως η απλή κατασκευή, το χαμηλό λειτουργικό κόστος, η υψηλή ενεργειακή απόδοση και οι μεγάλοι συντελεστές μεταφοράς μάζας. Παρόλη την ευρεία εφαρμογή τους ο σχεδιασμός της στήλης είναι μια δύσκολη διαδικασία λόγω των πολλών παραμέτρων που επηρεάζουν τη λειτουργία της. Οι βασικότερες από αυτές είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της στήλης, το είδος του κατανομέα καθώς και οι φυσικές ιδιότητες της υγρής φάσης. Συσχετισμοί οι οποίοι μπορούν να προβλέψουν ικανοποιητικά το κλάσμα κενού σε στήλες φυσαλίδων με πορώδη κατανομέα έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία [π.χ. Mouza et al. (2005), Kazakis et al. (2007), Anastasiou et al. (2010)]. Οι συσχετισμοί αυτοί λαμβάνουν υπόψη αφενός τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της στήλης και του κατανομέα και αφετέρου τις φυσικές ιδιότητες της υγρής φάσης (πυκνότητα, ιξώδες, επιφανειακή τάση).

Σε πολλές διεργασίες εμπλέκονται ρευστά τα οποία εμφανίζουν μη-Νευτωνική συμπεριφορά, όπως διαλύματα πολυμερών, υγροί κρύσταλλοι, αιωρήματα, γαλακτώματα ή και ρευστά σε μορφή λάσπης ή αφρού. Σε προκαταρκτικά πειράματα που έγιναν στο Εργαστήριό μας αποδείχθηκε ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, επειδή η συμπεριφορά μιας στήλης φυσαλίδων επηρεάζεται από το ιξώδες διαφέρει απόλυτα από την συμπεριφορά των αντίστοιχων Νευτωνικών συστημάτων. Έτσι οι γνωστές σχεδιαστικές εξισώσεις δεν μπορούν να εφαρμοστούν κυρίως λόγω αδυναμίας προσδιορισμού κάποιας αντιπροσωπευτικής τιμής του ιξώδους μέσα στη στήλη. Δεν φαίνεται επίσης να υπάρχουν δημοσιευμένες εργασίες που να αναφέρονται στη μελέτη μη-Νευτωνικών ρευστών μέσα σε στήλη φυσαλίδων με πορώδη κατανομέα.

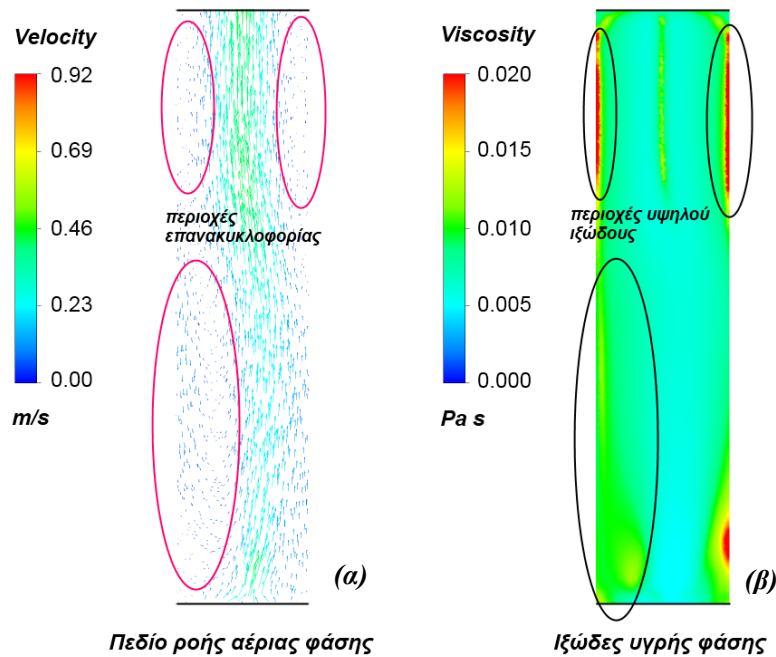
Σκοπός λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των λειτουργικών χαρακτηριστικών (συγκράτηση αέριας φάσης, κατανομή μεγέθους φυσαλίδων) στήλης φυσαλίδων με μεταλλικό πορώδη κατανομέα της αέριας φάσης. Επιδιώκεται να διερευνηθεί η επίδραση της μεταβολής του ιξώδους τόσο στον αρχικό σχηματισμό των φυσαλίδων όσο και στη συγκράτηση του αερίου μέσα στην στήλη. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με τη διεξαγωγή πειραμάτων σε κυλινδρική στήλη διαμέτρου 9cm, ενώ χρησιμοποιήθηκε κώδικας υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) για να γίνει εκτίμηση των διακυμάνσεων του πεδίου ροής της αέριας φάσης (**Σχήμα 1α**) και του ιξώδους της υγρής φάσης (**Σχήμα 1β**). Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν υδατικά διαλύματα γλυκερίνης (25%, 50% και 75% w/w γλυκερίνη) στα οποία προστέθηκε μικρή ποσότητα ξανθάνης (>0.5g/l) ώστε να εμφανίζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά (ενώ διατηρούν αμετάβλητες τις υπόλοιπες ιδιότητες όπως πυκνότητα και επιφανειακή τάση). Ως ρευστό αναφοράς χρησιμοποιήθηκε νερό.

Οι οπτικές παρατηρήσεις, που αφορούσαν το μέγεθος και την κίνηση των φυσαλίδων μέσα στη στήλη, έδειξαν ότι όταν η υγρή φάση είναι μη-νευτωνικό ρευστό, οι φυσαλίδες που δημιουργούνται είναι πολύ περισσότερες και μικρότερου μεγέθους από το αντίστοιχο Νευτωνικό ρευστό με ιξώδες ίδιο με το ασυμπτωτικό. Επίσης υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στη διαδρομή των φυσαλίδων μέσα στη στήλη. Στην περίπτωση των Νευτωνικών ρευστών και για χαμηλές παροχές αερίου οι φυσαλίδες κατευθύνονται κατακόρυφα προς τα πάνω (στην διεύ-

θυνση της άνωσης). Αντίθετα στην περίπτωση των μη-Νευτωνικών ρευστών η κίνηση των φυσαλίδων για ίδιες παροχές αερίου εμφανίζεται ως ελικοειδής και ασύμμετρη ενώ υπάρχουν περιοχές έντονης επανακυκλοφορίας κοντά στα τοιχώματα.

Για την πειραματική μελέτη του πεδίου ροής μέσα στην στήλη χρησιμοποιήθηκε οπτική μέθοδος, βασισμένη στις αρχές λειτουργίας του *Particle Image Velocimetry (PIV)*, η οποία μας επιτρέπει να έχουμε μια πλήρη εικόνα για την ταχύτητα και το πρότυπο ροής του αερίου (*flow pattern*). Τα πειραματικά αποτελέσματά που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του υπολογιστικού κώδικα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης τα δεδομένα για τη συγκράτηση του αερίου. Βρέθηκε ότι για το μη-Νευτωνικό ρευστό με το χαμηλότερο ασυμπτωτικό ιξώδες υπάρχει ιδιαίτερη αύξηση της συγκράτησης ενώ για τα διαλύματα με το υψηλότερο ιξώδες η συγκράτηση δεν διαφέρει σημαντικά από αυτήν του αντίστοιχου Νευτωνικού.



Σχήμα 1: α) Πεδίο ροής αέριας φάσης και β) μεταβολή του ιξώδους μη-Νευτωνικού υγρού (25%w/w γλυκερίνη, 0.3g/l ζανθάνη) όπως προκύπτουν από την προσομοίωση.

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, η οποία βρίσκεται σε εξέλιξη, αναμένεται να συμβάλλουν στην κατανόηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα σε μια στήλη φυσαλίδων, όπου η υγρή φάση είναι ένα μη-Νευτωνικό και συγκεκριμένα ψευδοπλαστικό υγρό, με απώτερο στόχο τη διατύπωση κατάλληλων σχεδιαστικών σχέσεων.

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.
- 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.