

## ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ CO<sub>2</sub> ΣΕ ΣΤΗΛΗ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ ΜΕ ΠΟΡΩΔΗ ΚΑΤΑΝΟΜΕΑ

Θ.Ι. Παυλίδης, Α.Α. Μουζά\*, Σ.Β. Παράς

Ερευνητική Ομάδα Σχεδιασμού Συσκευών Διεργασιών και Βιοϊατρικής Μηχανικής  
Εργαστήριο Τεχνολογίας Χημικών Εγκαταστάσεων

Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Π.Θ. 455, 54124, Θεσσαλονίκη

theodospi@auth.gr, \*mouza@auth.gr, paras@auth.gr

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι στήλες φυσαλίδων αποτελούν διαδεδομένες συσκευές επαφής υγρής/αέριας φάσης στη χημική βιομηχανία. Σε προηγούμενες εργασίες της ομάδας μας έχουν προταθεί συσχετισμοί οι οποίοι προβλέπουν με ικανοποιητική ακρίβεια τη μέση διάμετρο *Sauter* των φυσαλίδων και το κλάσμα κενού σε στήλη φυσαλίδων που διαθέτει πορώδη κατανομέα για την αέρια φάση. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η πρόβλεψη του συντελεστή μεταφοράς μάζας κατά την απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από υδατικό διάλυμα μονοαιθανολαμίνης (MEA). Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από μια κυλινδρική στήλη κατασκευασμένη από Plexiglas<sup>®</sup> στην οποία η αέρια φάση εισάγεται μέσω ενός πορώδους μεταλλικού κατανομέα που καλύπτει τον πυθμένα της στήλης. Στην κορυφή της στήλης τοποθετήθηκε όργανο μέτρησης και καταγραφής της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> της εξερχόμενης αέρια φάση. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα διαμορφώθηκε σχέση, η οποία προβλέπει το γινόμενο του συντελεστή μεταφοράς επί την επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο φάσεων (*κ<sub>1</sub>a*) ως συνάρτηση της συγκέντρωσης της MEA στην υγρή και του CO<sub>2</sub> καθώς και του αριθμού *Freude* του αερίου. Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις για την πρόβλεψη της έκτασης της διεπιφάνειας μεταξύ των δύο φάσεων υπολογίστηκε ο συντελεστής μεταφοράς μάζας του συστήματος. Αποδείχθηκε ότι με την προτεινόμενη διαδικασία μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής μεταφοράς μάζας με ακρίβεια καλύτερη του ±10%.

**Λέξεις κλειδιά:** στήλη φυσαλίδων, απορρόφηση CO<sub>2</sub>, MEA, πορώδης κατανομέα, συντελεστής μεταφοράς μάζας.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι στήλες φυσαλίδων είναι συσκευές επαφής αερίου-υγρού στις οποίες η αέρια φάση κινείται κατακόρυφα ως προς την υγρή φάση με τη μορφή φυσαλίδων και λόγω της απλής κατασκευής και λειτουργίας τους, βρίσκουν σημαντικές εφαρμογές στη βιομηχανία (π.χ. σε διεργασίες χλωρίωσης, πολυμερισμού, ζύμωσης, οξυγόνωσης) (Deckwer et al., 1992, Finch et al., 1990). Στα πλεονεκτήματά τους συμπεριλαμβάνονται το χαμηλό λειτουργικό κόστος και η υψηλή ενεργειακή τους απόδοση σε συνδυασμό με τους μεγάλους συντελεστές μεταφοράς μάζας. Η λειτουργία της στήλης επηρεάζεται από πλήθος παραμέτρων. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της στήλης, το είδος του κατανομέα και οι φυσικές ιδιότητες της υγρής φάσης αποτελούν τις βασικότερες από αυτές. Για το λόγο αυτόν έχουν προταθεί σχέσεις που προβλέπουν το κλάσμα κενού σε στήλη φυσαλίδων με πορώδη κατανομέα [π.χ. Mouza et al. (2005), Kazakis et al. (2008), Anastasiou et al. (2010)], οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της στήλης και του κατανομέα, καθώς και τις ιδιότητες της υγρής φάσης (πυκνότητα, ιξώδες, επιφανειακή τάση).

Σε μια στήλη φυσαλίδων ο ρυθμός μεταφοράς μάζας εξαρτάται άμεσα από την έκταση της διεπιφάνειας υγρού/αερίου  $\alpha$ , η οποία είναι συνάρτηση του κλάσματος κενού του αερίου  $\varepsilon_G$ , δηλαδή του ποσοστού της αέριας φάσης μέσα στη στήλη, και της μέσης διαμέτρου *Sauter*  $d_{32}$  (Εξ. 1) των φυσαλίδων (Mouza et al., 2005):

$$\alpha = \frac{6\varepsilon_G}{d_{32}} \quad (1)$$

Ο πορώδης κατανομέας συμβάλλει στην αύξηση της διεπιφάνειας αυτής, καθώς η είσοδος της αέριας φάσης εντός της στήλης μέσω αυτού εξασφαλίζει το σχηματισμό περισσότερων και μικρότερων φυσαλίδων.

Επιπλέον, σε μια στήλη φυσαλίδων, διακρίνονται δύο κύριες περιοχές ροής: η **ομογενής** και η ετερογενής. Η ομογενής περιοχή χαρακτηρίζεται από διακριτές φυσαλίδες και εμφανίζεται στις χαμηλότερες τιμές φαινομενικής ταχύτητας της αέριας φάσης. Η φαινομενική ταχύτητα του αερίου αποτελεί μια α-νηγμένη έκφραση της παροχής και ορίζεται ως:  $U_{GS} = Q_G/A$ , όπου  $Q_G$  η παροχή του αερίου στη στήλη και  $A$  το εμβαδόν της διατομής της στήλης. Η ετερογενής περιοχή εμφανίζεται σε υψηλότερες τιμές φαινομενικής ταχύτητας του αερίου, με τις φυσαλίδες να δημιουργούν συσσωματώματα και άρα, εντέλει, μεγαλύτερες φυσαλίδες, οι οποίες ανέρχονται ταχύτερα εντός της υγρής φάσης. Συνεπώς, η ομογενής περιοχή προσφέρει μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής μεταξύ υγρής και αέριας φάσης ανά μονάδα μάζας αερίου, με φυσαλίδες οι οποίες κινούνται με μικρότερη ταχύτητα εντός του υγρού, διευκολύνοντας τη μεταφορά μάζας μεταξύ των δυο φάσεων, γεγονός που την καθιστά περισσότερο επιθυμητή για πρακτικές εφαρμογές (Joshi et al., 2002). Επιπρόσθετα, η ομογενής περιοχή ευνοεί εφαρμογές οι οποίες περιέχουν ευαίσθητα υλικά (όπως βιοαντιδραστήρες ή συσκευές για την οξυγόνωση του αίματος) (Dhanasekhara et al., 2005, Jones et al., 2002), καθώς προσφέρει ένα περιβάλλον με χαμηλές διαμητικές τάσεις. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε τα πειράματά μας να διεξαχθούν όλα στην ομογενή περιοχή.

Σε προηγούμενη εργασία της ομάδας μας (Kanaris et al., 2018) προτάθηκαν συσχετισμοί οι οποίοι προβλέπουν με ικανοποιητική ακρίβεια (καλύτερη από 15%) τη μέση διάμετρο *Sauter* ( $d_{32}$ ) των φυσαλίδων και το κλάσμα κενού  $\varepsilon_G$ , βασισμένοι σε αδιάστατες ομάδες: *Weber* (*We*), *Reynolds* (*Re*), *Froude* (*Fr*), *Archimedes* (*Ar*), *Eotvos* (*EO*):

$$\varepsilon_G = c_1 \left[ Fr^{c_2} Ar^{c_3} EO^{c_4} Re_G^{c_5} \left( \frac{d_s}{d_c} \right)^{c_6} \left( \frac{d_p}{d_s} \right)^{c_7} \right]^{c_8} \quad (2)$$

$$\frac{d_{32}}{d_s} = b_1 \left[ We^{b_2} Re^{b_3} Fr^{b_4} \left( \frac{d_p}{d_s} \right)^{b_5} \right]^{b_6} \quad (3)$$

Οι αδιάστατες ομάδες ορίζονται ως:

$$We = \frac{\rho_L U_{GS}^2 d_s}{\sigma_L} \quad Re_L = \frac{\rho_L U_{GS} d_s}{\mu_L} \quad Fr = \frac{U_{GS}}{d_c g} \quad Ar = \frac{d_c^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2} \quad EO = \frac{d_c^2 \rho_L g}{\sigma_L} \quad Re_G = \frac{\rho_G U_{GS} d_c}{\mu_G}$$

Όπου  $d_s$ ,  $d_c$ ,  $d_p$  η διάμετρος του κατανομέα, της στήλης και η μέση διάμετρος των πόρων του κατανομέα αντίστοιχα,  $\mu_L$ ,  $\rho_L$ ,  $\sigma_L$  το ιξώδες, η πυκνότητα και η επιφανειακή τάση της υγρής φάσης,  $\rho_G$  και  $\mu_G$  η πυκνότητα και το ιξώδες της αέριας φάσης.

Όσον αφορά τη μετάβαση από την ομογενή στην ετερογενή περιοχή, προτάθηκε επίσης ένας συσχετισμός (Kanaris et al., 2018) για την πρόβλεψη της τιμής της φαινομενικής ταχύτητας, για την οποία πραγματοποιείται η μετάβαση από την ομογενή στην ετερογενή περιοχή:

$$\frac{U_{GS,trans}}{d_c g} = a_1 \left[ E o^{a_2} \left( \frac{d_s}{d_c} \right)^{a_3} \right]^{a_4} \quad (4)$$

Αναφέρεται ακόμη ότι το είδος της αέριας φάσης δεν επηρεάζει πρακτικά την κατανομή της διαμέτρου των φυσαλίδων (Kanaris et al., 2018).

Η απορρόφηση  $CO_2$  αποτελεί διεργασία η οποία απασχολεί μεγάλο αριθμό βιομηχανιών. Έχοντας τα παραπάνω ως δεδομένα, σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η πρόβλεψη του συντελεστή μεταφοράς μάζας, κατά την απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα,  $CO_2$ , από υδατικό διάλυμα μονοαιθανολαμίνης ( $MEA$ ), σε μια στήλη φυσαλίδων.

Η μεταβολή της συγκέντρωσης του διαλυμένου αερίου  $CO_2$  σε υδατικό διάλυμα  $MEA$ , δύναται να εκφραστεί ως:

$$\frac{dC}{dt} = k_L \alpha \quad (5)$$

Ολοκληρώνοντας την **Εξ. 5** προκύπτει:

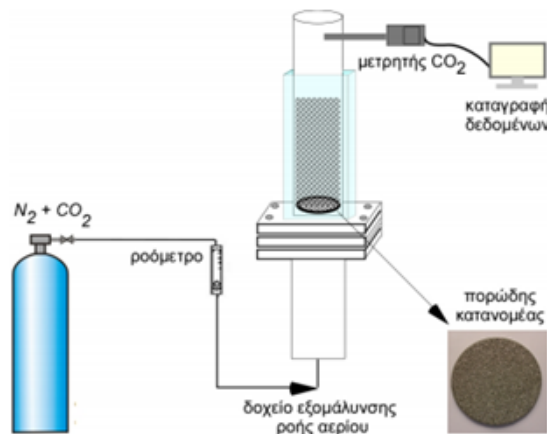
$$\ln \left( \frac{C^*}{C^* - C_G} \right) = (k_L \alpha) t \quad (6)$$

όπου  $C^*$  η μέγιστη συγκέντρωση  $CO_2$ , δηλαδή η διαλυτότητα του διοξειδίου το άνθρακα στο νερό για τις συνθήκες θερμοκρασίας των πειραμάτων (συγκέντρωση κορεσμού) (π.χ. Huertas et al., 2015) και  $C_G$  η συγκέντρωση του  $CO_2$  για χρόνο  $t$ , μετά την έναρξη της απορρόφησης. Ο παράγοντας  $k_L \alpha$  αποτελεί την κλίση της ευθείας, που συσχετίζει το χρόνο  $t$  με τον όρο  $\ln \left( \frac{C^*}{C^* - C_G} \right)$ .

Προσδιορίζοντας την έκταση της διεπιφάνειας υγρού/αερίου  $a$  (**Εξ. 1**) μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής μεταφοράς μάζας  $k_L$ . Ο συντελεστής αυτός, αν και σταθερός για συγκεκριμένες συνθήκες, μεταβάλλεται σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με τη συγκέντρωση της  $MEA$  στην υγρή φάση (Jia et al., 2014), την φαινομενική ταχύτητα της αέριας φάσης  $U_{GS}$  (McClure et al., 2015) και τη συγκέντρωση του  $CO_2$  (Yu et al., 2017). Ο όρος  $a$  θεωρείται αμετάβλητος κατά τη διάρκεια κάθε πειράματος, καθώς η επίδραση της αντίδρασης μεταξύ οξυγόνου και  $MEA$  στο μέγεθος των φυσαλίδων μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα (Garcia-Abuin et al., 2010). Συνεπώς, η δημιουργία μιας σχέσης η οποία προβλέπει με ακρίβεια τον όρο  $k_L \alpha$ , οδηγεί στην ακριβή πρόβλεψη και του συντελεστή μεταφοράς μάζας  $k_L$ .

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την εν λόγω μελέτη (**Σχήμα 1**) αποτελείται από μια κυλινδρική στήλη κατασκευασμένη από Plexiglas®, με εσωτερική διάμετρο 9cm και ύψος 150cm. Η εισαγωγή και η διασπορά της αέριας φάσης στη στήλη πραγματοποιήθηκε μέσω ενός πορώδους μεταλλικού κατανομέα (316LSS) που καλύπτει τον πυθμένα της στήλης. Η μέτρηση της παροχής της αέριας φάσης στη στήλη γίνεται με χρήση κατάλληλου ροομέτρου.



Σχήμα 1. Απεικόνιση της πειραματικής διάταξης.

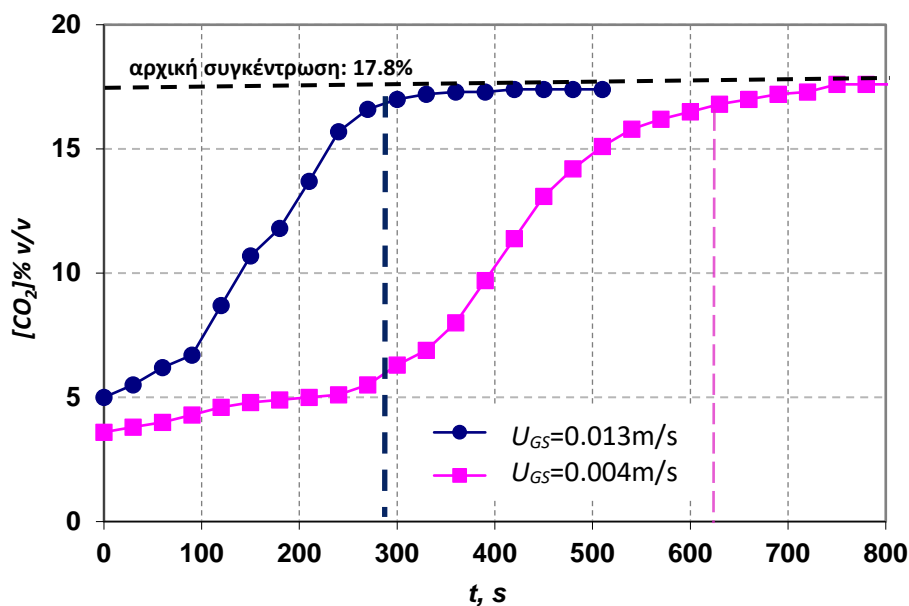
Την υγρή φάση αποτέλεσαν υδατικά διαλύματα *MEA*, με συγκέντρωση *MEA* 0.05-0.20% v/v. Η αέρια φάση ήταν μίγμα αζώτου και διοξειδίου του άνθρακα, με συγκέντρωση  $CO_2$  10 ως 19% και παροχή από 1.7-5.0 L/min. Η στήλη λειτουργούσε στην ομογενή περιοχή. Στην έξοδο της αέριας φάσης, δηλαδή στην κορυφή της στήλης, τοποθετήθηκε όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης  $CO_2$  (Geotech G100), το οποίο κατέγραφε με συχνότητα 1 μέτρηση ανά 30s τη συγκέντρωση  $CO_2$  στην έξοδο της αέριας φάσης.

Προκαταρκτικά πειράματα επιβεβαίωσαν ότι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το συντελεστή μεταφοράς μάζας είναι η συγκέντρωση της *MEA* στην υγρή φάση και του  $CO_2$  στην αέρια φάση, καθώς και η φαινομενική ταχύτητα της αέριας φάσης ( $U_{GS}$ ). Χρησιμοποιώντας τις ήδη υπάρχουσες σχέσεις για την πρόβλεψη της μέσης διαμέτρου *Sauter*  $d_{32}$  και της συγκράτησης του αερίου,  $\varepsilon_G$ , υπολογίστηκε η διεπιφάνεια υγρού/αερίου  $a$  και μέσω αυτής ο συντελεστής μεταφοράς μάζας  $k_L$ .

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα για διάφορους συνδυασμούς τιμών των σχεδιαστικών παραμέτρων που επηρεάζουν την τιμή του συντελεστή μεταφοράς μάζας. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση κάθε ενός από τους παράγοντες αυτούς, δηλαδή παροχή αέριας φάσης καθώς και συγκέντρωσης  $CO_2$  στην αέρια και *MEA* στην υγρή φάση. Κατόπιν, προτάθηκε ένας συσχετισμός, μέσω του οποίου υπολογίζεται ο συντελεστής μεταφοράς μάζας πολλαπλασιασμένος με την επιφάνεια επαφής αέριας/υγρής φάσης  $a$ .

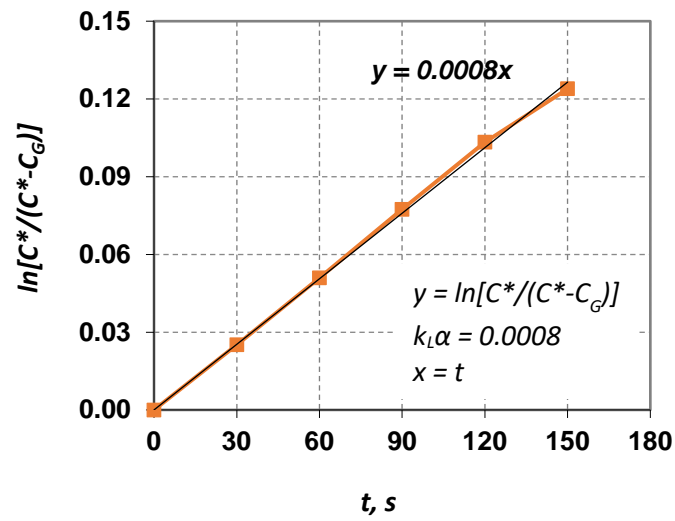
Στο **Σχήμα 2** παρουσιάζεται τυπική καμπύλη μεταβολής της συγκέντρωσης του  $CO_2$  στην έξοδο της στήλης ως προς τον χρόνο. Είναι προφανές ότι για δεδομένη συγκέντρωση  $CO_2$  η αύξηση της φαινομενικής ταχύτητας, δηλαδή της παροχής της αέριας φάσης, έχει ως αποτέλεσμα τη δραστική μείωση του χρόνου απορρόφησης, δηλαδή του χρόνου που απαιτείται για να κορεσθεί η υγρή φάση.



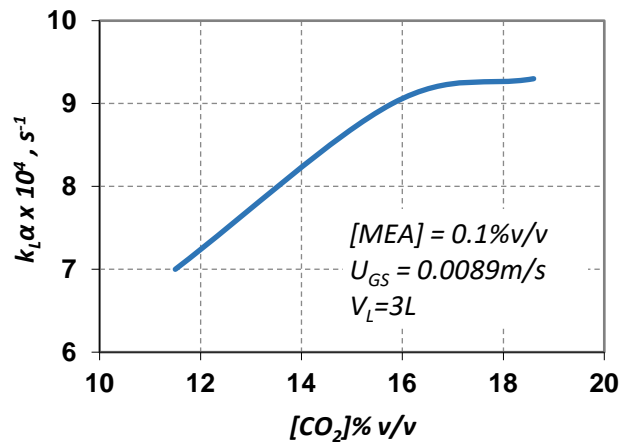
**Σχήμα 2.** Μεταβολή συγκέντρωσης του  $CO_2$  στην έξοδο της στήλης ως προς το χρόνο.

Κατασκευάζοντας αντίστοιχες καμπύλες για όλους τους συνδυασμούς παραμέτρων, υπολογίζεται ο όρος  $\ln[C^*/(C^* - C_G)]$  μέσω των πειραματικών τιμών  $C_G$  και σχεδιάζοντάς τον ως προς το χρόνο  $t$ , βρίσκεται η πειραματική τιμή του όρου  $k_L a$ , ο οποίος ισούται με την κλίση της ευθείας που διαμορφώνεται (**Σχήμα 3**).

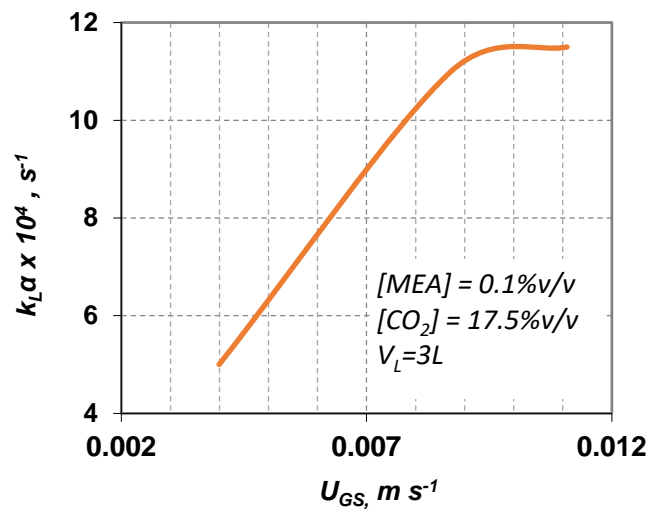
Στο **Σχήμα 4** παρουσιάζεται η εξάρτηση της τιμής του παράγοντα  $k_L a$  από τη συγκέντρωση του  $CO_2$  στην αέρια τροφοδοσία. Φαίνεται ότι μετά από μια τιμή συγκέντρωσης του  $CO_2$  η τιμή του  $k_L a$  δεν μεταβάλλεται, τουλάχιστον για τα όρια της παρούσας μελέτης. Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα που αφορούν την εξάρτηση του  $k_L a$  από την παροχή της αέριας φάσης (**Σχήμα 5**). Τέλος το **Σχήμα 6** δείχνει ότι για τις χαμηλές συγκεντρώσεις που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ του  $k_L a$  και της συγκέντρωσης της *MEA* στην υγρή φάση.



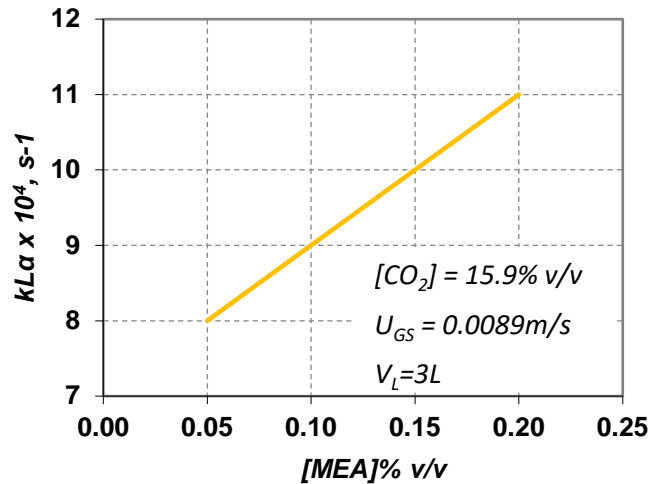
Σχήμα 3. Μεταβολή του  $\ln[C^*/(C^* - C_G)]$  ως προς το χρόνο, για την εύρεση του  $k_L \alpha$ .



Σχήμα 4. Επίδραση της συγκέντρωσης του  $CO_2$  στην αέρια φάση στην τιμή του  $k_L \alpha$ .



Σχήμα 5. Επίδραση της  $U_{GS}$  στην τιμή του  $k_L \alpha$ .



**Σχήμα 6.** Επίδραση της συγκέντρωσης της *MEA* στην τιμή του  $k_{La}$ .

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, προτείνεται μια σχέση η οποία προβλέπει τον όρο  $k_{La}$ :

$$k_{La} = d_1[(C_{CO_2})^{d_2} (C_{MEA})^{d_3} Fr^{d_4}]^{d_5} \quad (7)$$

Όπου  $C_{CO_2}$  και  $C_{MEA}$  οι συγκεντρώσεις κατ' όγκο του  $CO_2$  της αέριας φάσης στην είσοδο της στήλης και της *MEA* στην υγρή φάση, ενώ ο  $Fr$  δηλώνει την εξάρτηση του όρου από την  $U_{GS}$ . Οι τιμές των σταθερών παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**:

**Πίνακας 1:** Τιμές των σταθερών του προτεινόμενου συσχετισμού για την πρόβλεψη του  $k_{La}$ .

$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$
0.85	1.75	0.44	0.7	0.54

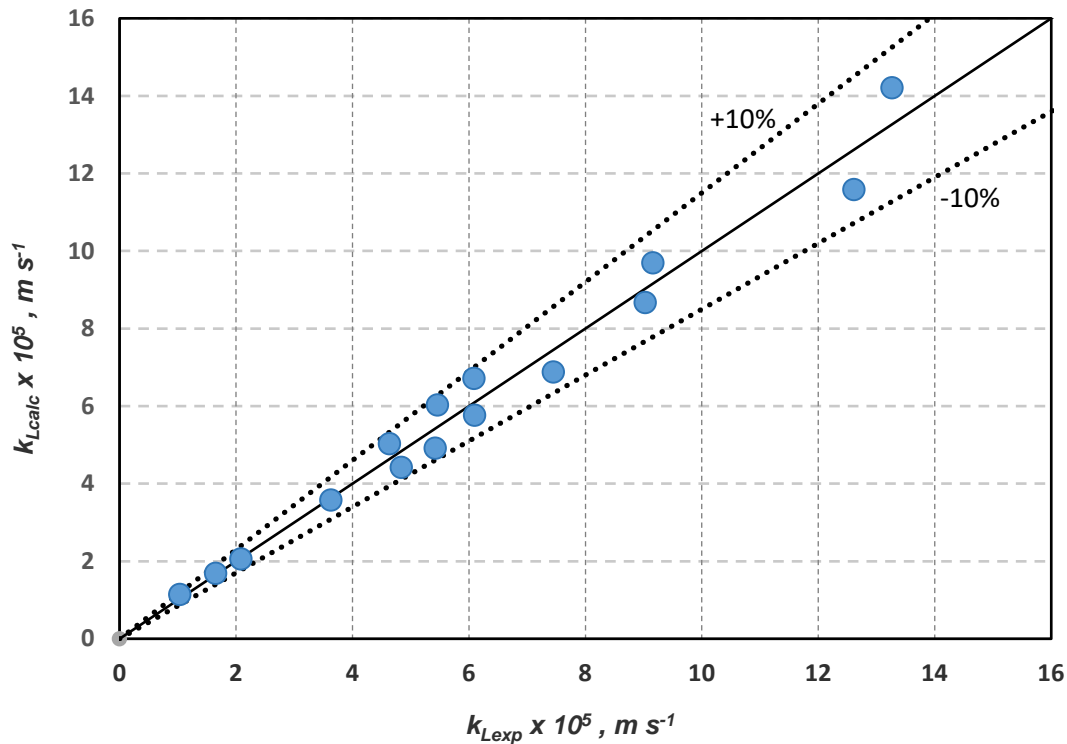
Συγκρίνοντας τις τιμές του  $k_{La}$  που προκύπτουν από τον προτεινόμενο συσχετισμό (**Εξ. 7**) με τις πειραματικές τιμές, παρατηρείται πως ο συσχετισμός προβλέπει τον όρο αυτόν με αβεβαιότητα 10%, Τέλος, υπολογίζεται ο συντελεστής μεταφοράς μάζας:

$$k_L = k_{La} / \alpha \quad (8)$$

Στο **Σχήμα 7** συγκρίνονται οι πειραματικές τιμές του  $k_L$  με αυτές που βρέθηκαν με την προτεινόμενη διαδικασία. Φαίνεται ότι η προτεινόμενη μέθοδος προβλέπει το συντελεστή μεταφοράς με αβεβαιότητα μικρότερη του 10%.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βιβλιογραφικά, αλλά και πειραματικά, βρέθηκε ότι ο συντελεστής μεταφοράς μάζας για την απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα από υδατικό διάλυμα *MEA* σε στήλη φυσαλίδων επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του  $CO_2$  στην αέρια και της *MEA* στην υγρή φάση, καθώς και από την φαινομενική ταχύτητα της αέριας φάσης στη στήλη. Στην παρούσα εργασία προτάθηκε μέθοδος, η οποία με βάση τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της στήλης μπορεί να προβλέψει με αβεβαιότητα καλύτερη του 10% το συντελεστή μεταφοράς μάζας. Σε επόμενα στάδια θα ήταν χρήσιμο να γίνουν και άλλα πειράματα ώστε να διερευνηθεί ποια είναι τα όρια των παραμέτρων για τα οποία ισχύει η σχέση.



Σχήμα 7. Σύγκριση των πειραματικών και των προβλεπόμενων τιμών του  $k_L$ .

**Ευχαριστίες:** Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τον Τεχνικό του Εργαστηρίου κ. Φώτη Λαμπρόπουλο για την τεχνική υποστήριξη.

### Βιβλιογραφία

- Deckwer, W.D. *Bubble Column Reactors*; Wiley: Chichester, UK, 1992.
- Finch, J.A.; Dobby, G.S. *Column Flotation*; Pergamon Press: Oxford, UK, 1990.
- Kazakis, N.A.; Mouza, A.A.; Paras, S.V. (2008) Experimental study of bubble formation at metal porous spargers: Effect of liquid properties and sparger characteristics on the initial bubble size distribution. *Chem. Eng. J.*, 137, 265–281.
- Joshi, J.B.; Vitankar, V.S. (2002) Coherent flow structures in bubble column reactors. *Chem. Eng. Sci.*, 57, 3157–3183.
- Dhanasekharan, K.M.; Sanyal, J. (2005) A generalized approach to model oxygen transfer in bioreactors using population balances and computational fluid dynamics. *Chem. Eng. Sci.* 60, 213–218.
- Jones, T.J.; Deal, D.D. (2002) How effective are cardiopulmonary bypass circuits at removing gaseous microemboli? *J. Extra Corpor. Technol.*, 34, 34–39.
- 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. *Chem. Eng. Sci.*, 60, 1465–1475.
- Anastasiou, A.D., Passos, A.D. and Mouza, A.A. (2013) Bubble columns with fine pore sparger and non-Newtonian liquid phase: prediction of gas hold up. *Chem. Eng. Sci.* 98, 331-338.
- Kanaris, A.G., Pavlidis, I. T., Chatzidafni, P.A., Mouza, A.A. (2018) On the design of bubble columns equipped with fine pore sparger: Effect of gas properties. *ChemEngineering*, 2(1), 11.
- Huertas, J.I., Gomez, M.D., Giraldo, N., Garzón, J. (2015) CO<sub>2</sub> Absorbing Capacity of MEA, *Journal of Chemistry*, Vol. 2015, Article ID 965015.

- Jia X., Hu W., Yuan X., Yu K. (2014) Effect of surfactant type on interfacial area and liquid mass transfer for CO<sub>2</sub> absorption in a bubble column. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 23, 476-481.
- Garcia-Abuin A., Gomez-Diaz D., Navaza J.M., Vidal-Tato I. (2010) CO<sub>2</sub> capture by aqueous solutions of glucosamine in a bubble column reactor. *Chemical Engineering Journal* 162, 37-42.
- McClure D.D., Lee, A. C., Kavanagh J. M., Fletcher D. F., Barton G. W. (2014) Impact of Surfactant Addition on Oxygen Mass Transfer in a Bubble Column. *Chemical Engineering Technology*, 38, (1), 44-52.
- Yu B., Yu H., Kang L., Yang Q., Zhang R., Li L., Chen Z. (2017) Characterisation and kinetic study of carbon dioxide absorption by an aqueous diamine solution. *Applied Energy*, 208, 1308-1317.



## STUDY OF $CO_2$ ABSORPTION IN A BUBBLE COLUMN EQUIPPED WITH A POROUS GAS SPARGER

T.I. Pavlidis, A.A. Mouza\*, S.V. Paras

Process Equipment Design and Biomedical Engineering Group  
Chemical Process and Plant Design Laboratory  
Chemical Engineering Dept., AUTH, 54124, Thessaloniki, Greece

*theodospi@auth.gr, \*mouza@auth.gr, paras@auth.gr*

### ABSTRACT

Bubble columns are widely used gas/liquid contact devices. In our previous work, we have proposed correlations that can predict with reasonable accuracy the *Sauter* mean bubble diameter and the gas holdup in a bubble column equipped with a porous gas phase distributor. The scope of the present study is to predict the mass transfer coefficient when carbon dioxide is absorbed by an aqueous monoethanolamine (MEA) solution. The experimental setup used consists of a cylindrical Plexiglas® column in which the gas phase is introduced through a porous metal distributor covering the whole bottom of the column. The  $CO_2$  concentration at the gas exit was recorded using an appropriate measuring device. Based on the experimental data, a correlation was formed, which predicts the value of the mass transfer coefficient multiplied by the interfacial area between the two phases. Since in our previous papers relations of prediction of the interface between the two phases have been proposed, the mass transfer coefficient can be calculated. It was proved that the proposed procedure can calculate the mass transfer coefficient with an uncertainty better than 10%.

**Keywords:** *bubble column,  $CO_2$  absorption, MEA, porous sparger, mass transfer coefficient.*