

Βέλτιστος σχεδιασμός διεργασιών δέσμευσης CO₂ από απαέρια καύσης με χρήση διφασικών διαλυτών

Π. Καζεπίδης^{1,2}, Α. Ι. Παπαδόπουλος¹, Π. Σεφερλής^{1,2,*}

¹Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ), ΕΚΕΤΑ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

²Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

(*seferlis@auth.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι διεργασίες απορρόφησης/εκρόφησης αποτελούν μία διαδεδομένη τεχνολογία για την δέσμευση του CO₂ από απαέρια καύσης. Παρόλα αυτά, οι διεργασίες αυτές δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στην βιομηχανία και ο βασικός λόγος είναι οι μεγάλες ενεργειακές ανάγκες για την αναγέννηση του διαλύτη. Μία νέα τεχνολογία που υπόσχεται να δώσει λύση στο υπάρχον πρόβλημα είναι η χρήση διφασικών διαλυτών, που επιτρέπει την έως και 50% μείωση της απαιτούμενης ενέργειας. Αυτή η νέα τεχνολογία βασίζεται σε διαλύτες που δημιουργούν μία δεύτερη υγρή φάση όταν αντιδρούν με το CO₂ σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Σε περίπτωση καθίσταται δυνατός ο μηχανικός διαχωρισμός των δύο αυτών υγρών φάσεων, με τη φτωχή σε CO₂ υγρή φάση να ανακυκλώνεται στη στήλη απορρόφησης ενώ την πλούσια σε CO₂ φάση να οδηγείται στην στήλη εκρόφησης για την έκλυση του CO₂. Αυτή η νέα προσέγγιση έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των απαιτήσεων της διεργασίας σε ενέργεια αλλά ενώ τα πλεονεκτήματά της διεργασίας είναι εμφανή, δεν έχει διερευνηθεί αρκετά ως προς τη μαθηματική μοντελοποίησή της και το βέλτιστο σχεδιασμό της. Η δημοσιευμένη βιβλιογραφία περιορίζεται σε τεχνοοικονομικές αξιολογήσεις συγκεκριμένων διαλυτών με την χρήση εμπορικού λογισμικού, χωρίς να υπάρχουν συστηματικές προσεγγίσεις στο σχεδιασμό μέχρι και σήμερα.

Σε αυτήν την εργασία προτείνεται ένα αναλυτικό και ευέλικτο μαθηματικό μοντέλο που μπορεί να προσομοιάσει την διφασική συμπεριφορά διεργασιών απορρόφησης/εκρόφησης για την δέσμευση του CO₂. Το προτεινόμενο μοντέλο της στήλης απορρόφησης λαμβάνει υπόψη τη θερμοδυναμική ισορροπία τριών φάσεων (αέρια και δυο υγρές φάσεις) και προσεγγίζεται επαρκώς με την τεχνική της ορθογωνίας ταξίθεσίας σε πεπερασμένα στοιχεία χωρίς μεγάλο υπολογιστικό κόστος. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής περιλαμβάνουν την μετατροπή των διακριτών χαρακτηριστικών της διεργασίας σε συνεχείς μεταβλητές που επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό απότομων αλλαγών σε σημαντικές μεταβλητές όπως τις συγκεντρώσεις των συστατικών σε κάθε φάση και τη θερμοκρασία εντός των στηλών. Επιπλέον, το μοντέλο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση υπερδομής διεργασιών υποστηρίζοντας το βέλτιστο σχεδιασμό της διεργασίας. Η υπερδομή αποτελείται από δομικά στοιχεία που αντιπροσωπεύουν διεργασίες όπως αντιδράσεις, διαχωρισμός φάσεων και μεταφορά θερμότητας. Επιπρόσθετα, επιτρέπει την προσομοίωση των ρευμάτων συστατικών και ενέργειας που συνδέουν τα διάφορα δομικά στοιχεία. Για την επιπλέον βελτίωση της απόδοσης των διεργασιών των διφασικών διαλυτών, μικρό ποσοστό της φτωχής σε CO₂ υγρής φάσης μπορεί να σταλεί στην στήλη εκρόφησης για την επίτευξη των στόχων ποσοστού δέσμευσης CO₂.

Η προτεινόμενη αυτή προσέγγιση εφαρμόζεται για πρώτη φορά στον βέλτιστο σχεδιασμό της διεργασίας δέσμευσης με την χρήση N-μεθυλοκυκλοεξυλαμίνης (MCA), που αποτελεί μία αμίνη που παρουσιάζει διφασική συμπεριφορά. Οι μεταβλητές βελτιστοποίησης περιλαμβάνουν το ύψος του πληρωτικού υλικού των στηλών, την ροή του διαλύτη, την θερμοκρασία του αναβραστήρα και την ενέργεια για την αναγέννηση του διαλύτη. Το μοντέλο αρχικά επικυρώνεται με την χρήση δεδομένων από τη βιβλιογραφία και η απόδοση της διεργασίας συγκρίνεται με αυτήν των συμβατικών διαλυτών. Από την συγκεκριμένη βελτιστοποίηση, η ενέργεια που χρειάζεται ο αναβραστήρας ισούται με 2.3 GJ/ton δεσμευόμενου CO₂ που είναι σημαντικά μικρότερη από τα 4.0 GJ/ton δεσμευόμενου CO₂ που απαιτεί η χρήση μονοεθανολαμίνης, που είναι ο πιο κοινός συμβατικός διαλύτης για την διεργασία δέσμευσης.