Μεταβιβάσιμες Άδειες Ρύπανσης
(Tradeable Emission Permits)

Ας θεωρήσουμε και πάλι ότι υπάρχουν επιχειρήσεις n, $\left(i = 1, 2, ..., n\right)$, που ευθύνονται για την παραγωγή αποβλήτων (ρύπων) ποσότητας, e_i, όταν δεν υφίσταται καμιά πολιτική ρύθμισης της ποσότητας αυτών.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι εισάγεται μια πολιτική περιορισμού της ρύπανσης που επιβάλλει ανώτατα όρια στο σύνολο των παραγόμενων ρύπων, E. Αυτή η πολιτική μπορεί να εφαρμοστεί με ένα ορισμένο σύνολο αδειών ρύπανσης. Άδειες ρύπανσης (ή δικαιώματα ρύπανσης) ουσιαστικά είναι περιορισμοί στις παραγόμενες ποσότητες ρύπων. Διαφέρουν από τα ανώτατα όρια (διοικητικές ρυθμίσεις) γιατί αυτές οι άδειες μπορούν να γίνουν αντικείμενο αγοροπωλησίας. Μια τέτοια πολιτική μπορεί να εκφραστεί αλγεβρικά ως:

$$\sum_{i=1}^{n} a_i \leq E \tag{0.1}$$

όπου a_i αντιπροσωπεύει τη ποσότητα των αδειών ρύπανσης της επιχείρησης i. Μια διαφορετική διατύπωση του περιορισμού (0.1) είναι η ακόλουθη:

$$\sum_{i=1}^{n} a_i \equiv \sum_{i=1}^{n} e_i - \sum_{i=1}^{n} e_i^r = \sum_{i=1}^{n} \tilde{e}_i \leq E \tag{0.2}$$

Στον περιορισμό (0.2) το $\sum_{i=1}^{n} e_i$ συμβολίζει το σύνολο των ρύπων που "παράγονται" από τη λειτουργία των επιχειρήσεων χωρίς κανένα περιορισμό (μεγιστοποίηση κέρδους), και το $\sum_{i=1}^{n} e_i^r$ παριστά το σύνολο των μειώσεων των ρύπων ώστε να εξασφαλιστούν τα ανώτατα όρια E. Το σύμβολο $\sum_{i=1}^{n} \tilde{e}_i$ παριστάνει ποσότητα ρύπων που τελικά ελευθερώνουν οι επιχειρήσεις εφόσον συμμορφωθούν με τις επιβαλλόμενες μειώσεις ρύπων. Αν στη συνέχεια κάνουμε την παραδοχή ότι η μοναδιαία άδεια ρύπανσης ισούται με μια μονάδα ρύπων, τότε ισχύει $\sum_{i=1}^{n} a_i \equiv \sum_{i=1}^{n} \tilde{e}_i$.

Ορίζουμε το κόστος συμμόρφωσης μιας επιχείρησης με την απαίτηση που της επιβάλλεται να μειώσει τους ρύπους κατά e_i^r ως $C\left(e_i^r\right) \equiv \pi\left(e_i\right) - \pi\left(e_i^r\right)$. Το κόστος αυτό αντιπροσωπεύει τη διαφορά του μέγιστου κέρδους που μπορεί να έχει η επιχείρηση όταν λειτουργεί χωρίς κανένα περιορισμό $\pi\left(e_i\right)$, και του μέγιστου κέρδους της κάτω από τον περιορισμό $e_i - e_i^r = \tilde{e}_i$, $\pi\left(e_i^r\right)$. Το $\pi\left(e_i^r\right)$ αναφέρεται συχνά και ως δεσμευμένη συνάρτηση κέρδους. Αναλυτικά τα δύο αυτά μέγιστα κέρδη δίνονται από τις σχέσεις:

$$\pi\left(e_i\right) = \max\left\{p_q q_i - C\left(q_i, e_i\right)\right\} \tag{0.3}$$

και

$$\pi\left(e_i^r\right) = \max\left\{p_q q_i - C\left(q_i, e_i\right)\right\} \qquad s.t. \;\; e_i - e_i^r = \tilde{e}_i \tag{0.4}$$

Το $C\left(q_i, e_i\right)$ συμβολίζει το κόστος της επιχείρησης.

Ο στόχος της κοινωνίας είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους συμμόρφωσης όλων των επιχειρήσεων. Αλγεβρικά μπορούμε να το διατυπώσουμε ως:

$$\min \sum_{i=1}^{n} C\left(e_i^r\right) \tag{0.5}$$

ενώ παράλληλα πρέπει να ικανοποιείται ο περιορισμός (0.2).

Η συνάρτηση Lagrange για το πρόβλημα αυτό είναι:

$$L\left(e_i^r, \lambda\right) = \sum_{i=1}^{n} C\left(e_i^r\right) + \lambda\left(E - \sum_{i=1}^{n} e_i + \sum_{i=1}^{n} e_i^r\right) \tag{0.6}$$

οπότε η συνθήκη αριστοποίησης της (0.6) είναι (εφόσον $\frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^r}{\partial e_i^r} = 1$):

$$\frac{\partial L}{\partial e_i^r} = \frac{\partial C\left(e_i^r\right)}{\partial e_i^r} + \lambda = 0 \qquad e_i^r > 0 \qquad \forall i \tag{0.7}$$

ή διαφορετικά

$$\frac{\partial C\left(e_1^r\right)}{\partial e_1^r} = \frac{\partial C\left(e_2^r\right)}{\partial e_2^r} = \ldots = \frac{\partial C\left(e_n^r\right)}{\partial e_n^r} = -\lambda \tag{0.8}$$

Ας υποθέσουμε, τώρα ότι ο στόχος περιβαλλοντικής ποιότητας, $\sum_{i=1}^{n} \tilde{e}_i \leq E$, επιδιώκεται μέσω της έκδοσης αδειών ρύπανσης που κατανέμονται ελεύθερα στους παραγωγούς. Το σύνολο αδειών ρύπανσης, $\sum_{i=1}^{n} a_i$, ισούται με τη μέγιστη ποσότητα ρύπων που είναι δυνατόν να ελευθερωθούν από τις επιχειρήσεις έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο περιορισμός περιβαλλοντικής ποιότητας, $\sum_{i=1}^{n} \tilde{e}_i \leq E$, δηλαδή $\sum_{i=1}^{n} a_i \equiv \sum_{i=1}^{n} \tilde{e}_i$. Επιπλέον οι επιχειρήσεις είναι ελεύθερες να αγοράσουν και να πωλήσουν δικαιώματα ρύπανσης. Σ' αυτή την περίπτωση το πρόβλημα μιας επιχείρησης διατυπώνεται ως εξής:

$$\min \left\{ C_i\left(e_i^r\right) + \underbrace{p^a\left(e_i - e_i^r - a_i\right)}_{A} \right\} \tag{0.9}$$

Οι συνθήκες Kuhn-Tucker της (0.9) είναι:

$$\frac{\partial C_i\left(e_i^r\right)}{\partial e_i^r} - p^a \geq 0 \qquad \left(\frac{\partial C_i\left(e_i^r\right)}{\partial e_i^r} - p^a\right) e_i^r = 0 \tag{0.10}$$

Συγκρίνοντας τις σχέσεις (0.8) & (0.10) καταλήγουμε ότι ο συντελεστής Lagrange, λ, του περιβαλλοντικού περιορισμού δίνει την τιμή της μοναδιαίας άδειας ρύπανσης, p^a. Κάτω από ένα καθεστώς αδειών ρύπανσης οι επιχειρήσεις προσδιορίζουν τον αριθμό αδειών που επιθυμούν εξισώνοντας το οριακό κόστος ελέγχου της ρύπανσης (οριακό όφελος) με την τιμή της άδειας $\left(MB = MAC = p^a\right)$.

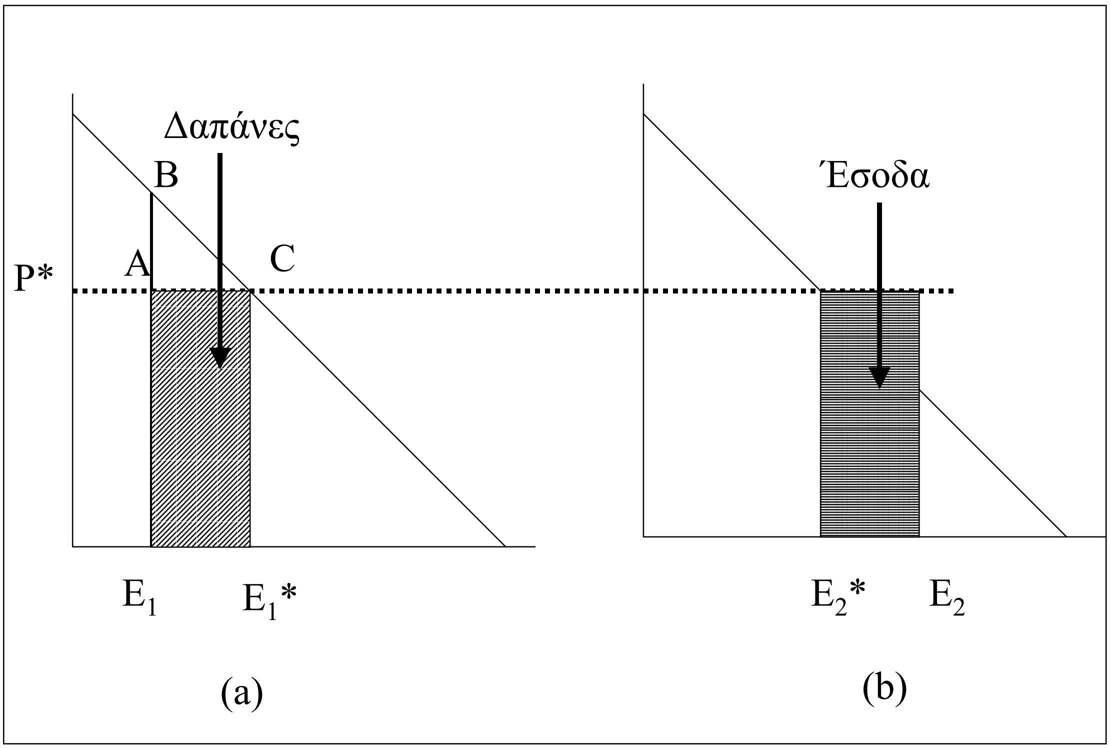
Το τμήμα A στη σχέση (0.9) αντιπροσωπεύει τις ενδεχόμενες δαπάνες ή έσοδα που έχει η επιχείρηση από την ανταλλαγή αδειών ρύπανσης. Συγκεκριμένα, αν η ποσότητα αδειών ρύπανσης που έχει αρχικά κατανεμηθεί σε μια επιχείρηση είναι μικρότερη από την ποσότητα που προκύπτει ως επιθυμητή από την εξίσωση του οριακού κόστους ελέγχου της ρύπανσης με την τιμή της άδειας p^a, δηλαδή αν $e_i - e_i^r > a_i$ τότε το τμήμα A αντιπροσωπεύει τις απαραίτητες δαπάνες της επιχείρησης για την απόκτηση της επιπλέον ποσότητας αδειών ρύπανσης $\left(e_i - e_i^r\right) - a_i = k_1 > 0$. Αυτές οι δαπάνες απεικονίζονται διαγραμματικά στο τμήμα (a) του σχεδιαγράμματος 1. Το E_1 αναφέρεται στην ποσότητα των αδειών ρύπανσης που διανεμήθηκαν αρχικά $E_1 = a_i$. Είναι προφανές ότι η επιχείρηση, ορθολογικά ενεργώντας, επιθυμεί να αγοράσει την επιπλέον ποσότητα k_1 γιατί οι δαπάνες για κάτι τέτοιο (περιοχή $E_1ACE_1^*$) είναι μικρότερες από τα κέρδη που θα έχει αν αυξήσει την παραγωγή της μέχρι του σημείου που αντιστοιχεί σε ποσότητα αδειών E_1^* (περιοχή $E_1BCE_1^*$).

Το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση κατά την οποία δόθηκε αρχικά στην επιχείρηση μεγαλύτερη ποσότητα αδειών ρύπανσης από εκείνη που η ίδια επιθυμεί, $e_i - e_i^r < a_i$. Η επιπλέον ποσότητα $a_i - \left(e_i - e_i^r\right) = k_2 > 0$ μπορεί να πουληθεί και επομένως το τμήμα A τώρα αντιπροσωπεύει έσοδα. Το γιατί η επιχείρηση είναι διατεθειμένη να πουλήσει την ποσότητα k_2 προκύπτει από την σύγκριση των αντίστοιχων περιοχών όπως και στην περίπτωση των δαπανών στο τμήμα (a). Τα έσοδα αυτά απεικονίζονται διαγραμματικά στο τμήμα (b) του σχεδιαγράμματος 1.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι παρόλο που τα έσοδα και οι δαπάνες από την ανταλλαγή αδειών ρύπανσης ενώ επηρεάζουν τη οικονομικότητα των επιχειρήσεων δεν επηρεάζουν τη κοινωνική ευημερία εφόσον αποτελούν μεταβιβαστικές πληρωμές. Επομένως, το συνολικό εισόδημα είναι ανεξάρτητο του τρόπου κατανομής αυτών των δικαιωμάτων.

<u>Συμπεράσματα</u>

1) Ο συντελεστής Lagrange, λ, δίνει την τιμή της μοναδιαίας άδειας ρύπανσης.
2) Η σχέση (0.8) μας δείχνει ότι η αποτελεσματική μείωση της ρύπανσης (ελάχιστο κόστος) απαιτεί εξίσωση του οριακού κόστους συμμόρφωσης μεταξύ των επιχειρήσεων.
3) Οι επιχειρήσεις αγοράζουν και πωλούν άδειες ρύπανσης σε τιμή, p^a. Η αποτελεσματικότητα του μέτρου δεν εξαρτάται από τη μέθοδο κατανομής των δικαιωμάτων ρύπανσης στις επιχειρήσεις.
4) Απεναντίας, ο τρόπος κατανομής των αδειών έχει εισοδηματικό αποτέλεσμα και επηρεάζει την οικονομικότητα της κάθε επιχείρησης



Σχεδιάγραμμα 1: Έσοδα και δαπάνες από την ανταλλαγή αδειών ρύπανσης

Ένας πιο αυστηρός τρόπος απόδειξης έχει ως εξής:

Το πρόβλημα της σχεδίασης της πολιτικής ελέγχου της ρύπανσης δίνεται από:

$$\min \sum_{i=1}^{n} C\left(e_i^r\right) \tag{0.11}$$

υπό τον περιορισμό:

$$\sum_{i=1}^{n} e_i - \sum_{i=1}^{n} e_i^r \leq E \tag{0.12}$$

Παράλληλα, οι επιχειρήσεις ελαχιστοποιούν το κόστος μείωσης των ρύπων και ταυτόχρονα εμπλέκονται στην αγορά και πώληση αδειών ρύπανσης:

$$\min\left\{C_i\left(e_i^r\right) + p^a\left(e_i - e_i^r - a_i\right)\right\} \Rightarrow \frac{\partial C_i\left(e_i^r\right)}{\partial e_i^r} - p^a = 0 \qquad \forall i \tag{0.13}$$

Η συνάρτηση Lagrange του προβλήματος (0.11, 0.12 & 0.13) γράφεται ως εξής:

$$L(e_i^r, \lambda, \sum_i \lambda_i^2, p^a) = \sum_{i=1}^{n} C\left(e_i^r\right) + \lambda\left(E - \sum_{i=1}^{n} e_i + \sum_{i=1}^{n} e_i^r\right) + \sum_i \lambda_i^2\left(p^a - \frac{\partial C_i\left(e_i^r\right)}{\partial e_i^r}\right) \tag{0.14}$$

Οι συνθήκες Kuhn-Tucker της (0.14) είναι:

$$\frac{\partial L}{\partial e_i^r} = \frac{\partial C\left(e_i^r\right)}{\partial e_i^r} + \lambda - \sum_i \lambda_i^2 \frac{\partial C^2\left(e_i^r\right)}{\left(\partial e_i^r\right)^2} = 0 \qquad e_i^r > 0 \qquad \forall i \tag{0.15}$$

Η σχέση (0.15) ισχύει εφόσον κάνουμε την παραδοχή $\frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^r}{\partial e_i^r} = 1$.

$$\frac{\partial L}{\partial {p^a}_1} = \sum_i \lambda_i^2 \geq 0 \qquad \left(\sum_i \lambda_i^2 = 0 \qquad p^a > 0\right) \tag{0.16}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i^2} = \left(p^a - \frac{\partial C_i\left(e_i^r\right)}{\partial e_i^r}\right) \geq 0 \qquad \lambda_i^2 \geq 0 \tag{0.17}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = E - \sum_{i=1}^{n} e_i + \sum_{i=1}^{n} e_i^r = 0 \qquad \lambda < 0 \tag{0.18}$$

Η μόνη περίπτωση για να ισχύουν ταυτόχρονα οι (0.16) & (0.17) είναι $\lambda_i^2 = 0$. Οπότε, λύνοντας το σύστημα προκύπτει ότι:

$$\frac{\partial C\left(e_i^r\right)}{\partial e_i^r} = p^a = -\lambda \qquad \forall i \tag{0.19}$$