

大氣汚染管理를 위한 總量規制 技法에 대한 考察

金 丁 勗*

目 次

- | | |
|-------------------|---------------------------|
| I. 序 論 | IV. 總量規制의 算出과 排出量의 配分 |
| II. 總量規制의 計劃樹立 方法 | 1. 一定削減率에 의한 方法 |
| 1. 總量規制 計劃樹立의 節次 | 2. 排出量에 따라 削減率에 差等を 두는 方法 |
| 2. 大氣汚染 모델링技法의 活用 | 3. 線型計劃法에 의한 方法 |
| III. 煙突高의 規制 | V. 結 論 |

I. 序 論

大氣汚染의 管理를 위해서는 그 地域의 土地利用目的을 侵害하지 않는 동시에 技術的으로 나 經濟的으로 현실상 타당한 수준의 大氣環境基準 혹은 大氣環境目標가 設定되어야 한다. 이 環境基準 혹은 環境目標가 大氣汚染管理의 最終 目標가 되며 이 目標達成을 위하여 排出規制를 實施하게 된다. 排出規制의 方法으로는 排出濃度나 生産量當 排出總量 혹은 使用 燃料 등에 制限을 가하여 排出量을 規制하는 方法, 大氣중에서의 擴散이 적절히 일어나도록 굴뚝의 높이나 排出時間 등의 排出條件을 規制하는 方法, 緩衝地域을 둔다든지 大氣汚染이 심한 지역에서 土地利用에 制限을 가하는 등의 地域을 規制하는 方法, 着地濃度가 어떤 環境水準을 달성하도록 地上濃度を 規制하는 方法 등이 있다.

현재 우리나라의 排出許容基準에는 擴散을 고려한 煙突高나 排出量 등에 대한 制限이 없고 단지 排氣가스중의 汚染物質의 濃度만을 주로 規制하고 있기 때문에 排出許容基準을 지킨다 하더라도 環境基準을 達成할 것이라는 보장은 없다. 따라서 이에 대한 補完策으로 環境保全法 第26條에 環境汚染이 현저하거나 현저할 우려가 있어 特別對策地域으로 指定된 地域에서 事業場이 密集되어 각 事業場으로부터 大氣로 排出되는 汚染物質이 排出許容基準에 적합함에도 불구하고 地域環境基準을 초과할 때에는 地域내의 事業場에 대하여 汚染物質을 總量으로 規制할 수 있다고 規定되어 있다. 總量規制가 實施되는 地域에서는 地域 總量基準 이상으로 排出되는 汚染物質에 대한 低減 負擔을 既存의 業所들이 적절히 配分해

* 서울大學校 環境大學院 助敎授

서 나누어 말아야 하며 事業場의 擴張이나 新設은 이로 인한 추가 排出量의 삭감을 既存 業所가 말지 않는 한 억제된다. 그러나 아직 總量規制의 施行方法을 제시하는 規定은 마련 되어 있지 않다. 본 論文에서는 許容總量을 算出하고 이를 各 業所에 配分하는 기법들을 考察해 본다.

II. 總量規制의 計劃樹立 方法

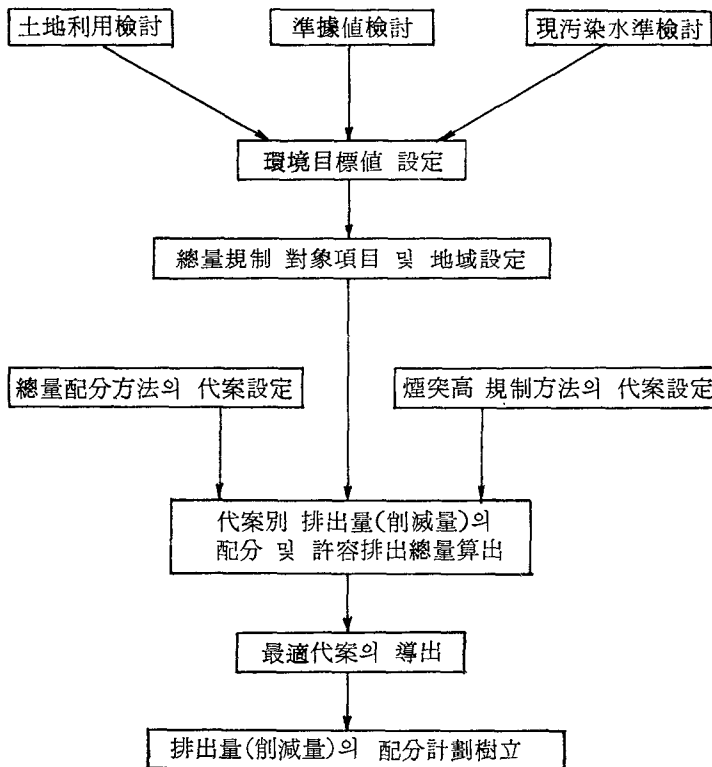
1. 總量規制 計劃樹立의 節次

總量規制의 實施計劃을 세우기 위해서는 먼저 이 規制를 實施하여 達成하고자 하는 環境의 目標水準이 設定이 되어야 한다. 環境基準을 반드시 이 目標로 삼을 필요는 없다. 우리나라의 大氣環境基準이 人體의 健康에 유익하여 設定한 基準이므로 都市地域의 總量規制의 目標로서는 적합할 수 있으나, 環境基準項目 이외의 汚染物質들에 의한 複合的인 汚染의 우려가 있는 工團地域이나 農耕地, 山林地, 觀光休養地, 기타 自然保護가 요청되는 地域에 대해서는 별도의 環境目標을 設定할 필요성이 있을 것이다.

目標가 정해지면 規制의 對象項目을 정해야 하는데 排出許容基準을 지키고서도 현재 大氣質의 水準이 目標를 達成하지 못하고 있다거나, 計劃된 成長이 계속될 때 目標를 達成하지 못할 우려가 있는 項目중에 排出源이 몇몇 특수한 業所에만 한정되어 있지 않은 項目을 택한다. SO_2 , NO_x , TSP 등이 대표적인 예가 될 것이다.

規制의 對象地域은 行政區域 단위로만 나눌 것이 아니라 總量規制의 필요성을 야기시킨 지점, 즉 目標를 達成하지 못하는 지점의 汚染度에 影響을 미치는 지역을 다 포함하여야 할 것이다. 이 지역의 범위는 大氣汚染 모델링의 작업을 거친 후에야 결정될 수 있을 것이다.

規制의 目標, 大氣質과 對象項目, 對象地域이 결정되면 그 目標를 達成하기 위하여 지역 내에서 許容될 수 있는 排出量의 總量과 이 總量을 각 排出源에 配分하는 방법이 제시되어야 한다. 이를 위해서는 大氣汚染 모델링 技法이 활용되어야 한다. 水質汚染 管理를 위한 總量規制를 실시할 경우에는 어느 지역에서 排出되는 汚染物質이 流入되어 擴散될 수 있는 水體의 규모가 한정되어 있으나, 大氣의 경우에는 擴散될 수 있는 공간의 범위에 일정한 경계선이 없다. 따라서 水質의 경우에는 對象地域의 地形的인 여건이 주어지면 거기에 따라 許容되는 排出總量이 결정되게 마련이나, 大氣의 경우에는 地形이나 氣象條件과 같이 주어진 與件이외에 어떤 양상으로 汚染物質이 大氣에 排出되느냐 즉 汚染源의 密集度라든지 煙突高 등에 따라 許容排出總量이 달라진다. 그러므로 許容되는 排出總量과 이의 配分方法을 결정하기 위해서는 먼저 煙突高 規制를 비롯한 排出規制方法과 總量의 配分方法의 代案을 設定하고 각 代案에 따른 排出總量을 算出하여 最適代案을 도출하고 이 最適代案에 따라 各 業所에 排出量 혹은 排出削減量이 割當되어야 한다. 이와같은 排出總量의 算出과 排



〈그림 1〉 總量規制 計劃樹立의 節次

出量の 配分量 計算을 위해서는 大氣污染 모델링 技法이 活用되어야 한다. 이러한 일련의 總量規制 計劃樹立의 節次는 〈그림 1〉과 같다.

2. 大氣污染 모델링 技法의 活用

大氣汚染物質의 排出이 주어진 氣象과 地形條件에서 擴散된 후에 大氣중에서 어떠한 濃度分布를 이루게 될 지 이의 原因—結果의 關係를 數學的으로 풀이를 할 수 있어야만 環境目標值를 達成하기 위하여 필요한 排出規制의 內容과 程度를 결정할 수가 있을 것이다. 이렇게 大氣汚染度를 豫測할 수 있는 數學的 모델에는 크게 가우스(Gauss) 모델과 數值解析 모델이 있다. 數值解析 모델은 氣象條件, 地形條件, 大氣化學反應 등에 대한 融通성이 크고 가능성이 무한하나 그 가능성에 펼쳐할 만한 精確한 入力資料를 구하기가 어렵고 電算時間이 많이 소요되며 使用者 개인차의 影響이 많으므로 이러한 難點들이 극복되지 않는한 總量規制 計劃樹立에 活用되기는 어렵다. 가우스 모델이 그 자체가 안고 있는 많은 制限性에도 불구하고 오히려 유용한 수단이 되고 있다. (1)

가우스 모델에는 1개월, 季節, 혹은 年平均 濃度를 계산하기 위한 長期 모델과 1일 이하의 短期間 濃度를 계산하기 위한 短期 모델이 있으나 短期 모델은 檢證과 補正이 잘 되지

않고 誤差가 크기 때문에 許容總量과 排出量이나 削減量 配分을 위해서는 長期 모델의 사용이 바람직하다. 그러나 短期 모델도 長期 모델로 規制計劃을 세운 후 環境目標值중 1일 이하의 短期 目標值가 達成될 수 있는 지의 여부를 검토하기 위한 방편으로는 活用이 되어야 한다. 미국 NTIS(National Technical Information Service)에서 공급하고 있는 UNAMAP (User's Network for Applied Modeling of Air Pollution) 모델들이 모두 가우스 모델들이다.

사용될 모델은 실제 汚染現況을 얼마나 정확하게 豫測할 수 있는 지 檢證이 되어야 하고 誤差에 대해서는 補正이 이루어져야 한다. 汚染度 實測值과 모델링에 의한 計算值간에는 높은 相關關係가 있어야 하고 또한 그 값이 서로 대등한 수준이어야 한다. 相關關係는 높으나 그 값에 서로 차이가 있을 경우에는 모델링에 의한 計算值를 回歸分析의 방법을 이용하여 다음과 같이 補正할 수도 있다.

$$y = ax + b \dots\dots\dots(1)$$

여기서

y : 計算值의 補正值

x : 모델링에 의한 計算值

a : 實測值(y)와 計算值(x)의 回歸直線의 기울기

b : 實測值(y)와 計算值(x)의 回歸直線의 y 절편이다.

檢證과 補正이 끝나면 總量規制의 目標年度 때의 大氣汚染度を 豫測하여 環境目標值를 초과하는 지점들을 判別하여 이 지점들의 濃度を 目標值 이하로 낮추기 위한 規制方法을 강구하여야 한다. 이 장래 汚染度を 豫測할 때에 汚染排出源은 總量規制의 對象으로 삼을 수 있는 排出源과 삼을 수 없는 排出源을 구분하여 이들에 의한 汚染度を 따로따로 計算해 두어야 規制量을 算出하기가 용이하다. 예를들면 가정난방용 무연탄이나 자동차의 排氣가스는 總量規制의 대상에서 제외될 수가 있다. 그러나 이들에 의한 汚染度も 필히 장래 汚染度 豫測時에 고려가 되어야 한다.

지역의 許容排出總量과 業所別 排出量 혹은 削減量은 排出量 配分方法과 煙突高 規制를 비롯한 排出規制의 方法에 따라 달라지게 된다. 따라서 위에 확립된 모델링 技法을 이용하여 排出量 配分과 排出規制의 代案에 따라 環境目標值를 초과하는 지점들의 濃度を 目標值 이하로 낮추기 위해서는 각 業所별로 割當되어야 할 排出量을 계산하여야 한다. 지역의 許容排出總量은 연후에야 모든 排出源에 配分된 排出量을 합하여 구할 수 있게 된다.

Ⅲ. 煙突高의 規制

다음의 가우스 擴散公式에서 보는 바와 같이 汚染物質의 地上濃度는 排出源의 有效高의 函數이다.

$$C_{(x,y,0)} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{He^2}{2\sigma_z^2}\right) \dots\dots\dots(2)$$

여기서

$C_{(x,y,0)}$: 풍하거리 x , 연기 중심선에서 수평방향으로 y 떨어진 지점에서의 着地濃度 (ML^{-3}),

Q : 汚染物質 排出速度 (MT^{-1}),

u : 風速 (LT^{-1}),

σ_y : 風向과 橫方向의 擴散標準偏差 (L),

σ_z : 垂直方向의 擴散標準偏差 (L),

He : 排出源의 有效高이다.

따라서 일정한 排出量으로도 煙突의 有效高에 따라 着地濃度에 차이가 크게 나므로 煙突高에 대한 規制가 없이는 總量規制의 의미가 없어진다. 식 (2)에서 보는 바와 같이 着地濃度가 排出源의 특성으로서는 排出量(Q)과 有效高(He)의 영향을 받고 나머지의 변수들은 氣象條件에 관계된다. 그러므로 일정한 수준 이하의 着地濃度를 유지하기 위해서는 煙突의 有效高가 排出量의 函數로 規制가 되어야 한다.

식 (2)에서 大氣 安定度가 약한 不安定 狀態나 中立에서는 σ_y/σ_z 의 비가 거리에 관계없이 거의 일정하고 σ_z 는 風下거리 x 의 함수가 된다. 最大濃度는 연기의 중심선에서 나타나기 때문에 y 를 0으로 두고 $\frac{dc}{d\sigma_z} = 0$ 으로부터 最大濃度 지점에서의 He 와 σ_z 의 관계를 구하면 다음과 같이 된다.

$$He = \sqrt{2} \sigma_z \dots\dots\dots(3)$$

그러므로 最大濃度는 다음 식으로 나타내어 진다.

$$C_{max} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \dots\dots\dots(4)$$

식 (4)에 식 (3)을 代入하면 다음과 같이 된다.

$$C_{max} = \frac{2Q}{\pi u He^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y}\right) \dots\dots\dots(5)$$

여기에서 $\left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y}\right)$ 를 상수로 간주하면 有效高는 다음과 같이 표현된다.

$$He = kQ^{1/2} \dots\dots\dots(6)$$

여기서 k 는 地上 最高濃度와 風速과 安定度에 따라 결정되는 상수이다.

즉, 煙突의 有效高는 排出量의 제곱근의 함수로 規制할 수가 있다.

그러나 煙突의 높이를 有效高로서 規制하게 될 때에는 規制의 施行에 많은 어려움이 따르게 된다. Concawe⁽²⁾에 의해서 제시된 연기 상승고의 식은 다음과 같다.

$$\Delta H = 0.175 u^{-3/4} Q_h^{1/2} \dots\dots\dots(7)$$

여기서

ΔH : 연기의 상승고(m)

u : 風速(m/s)

Q_h : 熱排出 速度(cal/s)이다.

熱排出 速度는 排氣가스의 溫度가 같고 排氣가스중의 汚染物質의 濃度가 같다면 汚染物質 排出速度, 즉 Q 에 비례하게 된다. 그러므로 대개의 경우 ΔH 는 또한 Q 에도 비례하게 된다. 그러면 煙突의 실제높이는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$H_s = H_e - \Delta H = kQ^{1/2} - k'Q^{1/2} = k''Q^{1/2} \dots\dots\dots(8)$$

여기서 H_s 는 실제 煙突高이다.

그러므로 煙突高의 規制는 煙突의 有效高로 표시할 수도 있으나 보다 간략하게 실제 煙突高로 規制를 할 수도 있다. 이렇게 하고자 할 때에는 먼저 어떤 수준의 着地濃度를 유지하기 위한 有效 煙突高를 먼저 구하고 여기에서 有效 煙突高와 연기 상승고와의 평균 比를 구한 후 두 값의 차이를 식 (8)과 같은 형식으로 나타낼 수가 있다. 실제로 蔚山工業地域의 경우 이러한 관계가 대체로 맞아 들어서 煙突高가 식 (8)의 형태로 規制式이 만들어진 바 있다. (3,4)

煙突의 높이는 着地濃度가 1일 이하의 短期 目標值를 達成할 수 있도록 規制되어야 할 것이다. 煙突高의 規制로 長期間의 平均濃度를 임의로 調節하기는 어려우며 또한 長期 目標值는 어차피 總量規制로써 達成시켜야 하기 때문이다. 短期 目標值를 達成하도록 煙突高를 規制하기 위해서는 最惡의 氣象條件하에서 필요한 煙突의 有效高를 排出量에 따라 계산하여야 한다. 短期 目標值의 平均化 時間이 만약 1일이면 밤과 낮의 氣象의 擴散條件이 대단히 달라서 平均的인 安定度와 風向 風速을 구하기가 어려우므로 낮 동안의 最惡의 氣象條件으로 煙突의 有效高를 구해도 무방할 것이다. 最高의 着地濃度는 風向이 일정하고 風速이 작으며 安定度가 낮을 때에 일어난다.

어느 한 지점에서의 濃度는 여러 排出源에서 그 汚染度에 기여를 하고 있으므로 이들에 의한 중첩효과를 고려하여 煙突高를 規制하는 것이 바람직 할 것이다. 그러나 中첩효과를 정확히 다 고려해 줄 필요는 없다. 왜냐하면 비록 煙突高 規制만으로는 短期 目標值를 達成하지 못한다 할지라도 여기에 추가로 總量規制가 실시되면 排出源이 密集하여 中첩효과가 심한 지역에 많은 削減量이 割當되어 大氣質이 개선되어질 것이기 때문이다. 따라서 煙突高는 1개 煙突에 의한 기여율을 어느 정도까지 고려해 주느냐에 따라서 결정된다. 이 고려해 주고자 하는 기여율에 따라서 여러가지 代案의 煙突高 規制式이 나올 수 있다. 1개 煙突에 의한 기여율을 크게 잡아주면 煙突은 낮아도 되고 中첩효과를 다 고려해 주자면 煙突은 높아져야 한다.

煙突을 낮게 하면 着地濃度는 높아지나 汚染度가 좁은 지역에 국한된다는 長點이 있고

높게하면 最大着地濃度가 낮아지기는 하나 汚染도가 넓은 지역에 퍼지게 되므로 예를들면 工業團地의 汚染物質이 인근 住居地域으로까지 擴散될 수 있다는 短點이 있다. 만약에 排出源이 위치한 地域보다 住居地나 市街地를 위시한 인근지역으로 汚染도가 물려서 문제가 될 경우에는 같은 정도의 汚染도를 低減시키는데 더 많은 양의 排出量 削減이 필요하게 된다. (3) 그러므로 煙突高 規制의 代案別로 필요한 總量 削減량을 구하여 經濟性を 檢討하고 代案別 汚染度 分布를 比較하여 大氣質에서 나타나는 效果를 評價해 본 후에야 最高 代案을 선택할 수가 있게 된다.

일단 排出業所별로 煙突高가 排出量에 따라 결정이 되면 나중에 總量規制에 의하여 排出量에 削減이 있더라도 削減량에 따라 煙突高를 도로 낮추어서는 안된다. 또한 總量規制計劃으로 大氣質의 短期 目標值도 達成이 될 수 있는지 檢討가 되어야 할 것이다

Ⅳ. 總量規制의 算出과 排出量의 配分

1. 一定削減率에 의한 방법

煙突高가 規制된 상태에서의 汚染도가 長期 目標值를 達成하지 못하게 되면 이는 總量規制의 방법으로 이루어져야 한다. 즉 最高 着地濃度가 目標值로 낮아지도록 排出量을 削減시켜야 한다. 식 (2)에 의하면 着地濃度는 다른 條件이 같다면 排出量에 비례한다. 따라서 어느 지점의 着地濃度를 目標值로 낮추기 위해서는 排出量을 目標濃度の 着地濃도에 대한 比만큼 줄이면 된다. 즉

$$Q_a = \frac{C_s}{C_g} Q \dots\dots\dots(9)$$

여기서

- Q_a : 許容 排出量,
- Q : 規制 이전의 排出量,
- C_s : 大氣質 目標值,
- C_g : 着地濃度이다.

그러나 排出源중에 總量規制의 대상이 되기 어려운 가정난방이나 交通에 의한 排出量은 規制量에서 제외되어야 하므로 결국 總量 削減率은 다음과 같이 되어야 한다.

$$r = 1 - \frac{C_s - C_n}{C_g - C_n} \dots\dots\dots(10)$$

여기서

- r : 排出量 削減率,
- C_n : 非規制對象 排出源에 의한 着地濃度이다.

그러면 着地濃도가 目標值를 초과한 지점 가운데서 계산된 r 값중에 最大의 값을 모든 排

出源에 대하여 일률적으로 적용하면 모든 지역에서 目標 濃度를 達成할 수가 있다. r 의 最大値는 반드시 最大 着地濃度 지점에서 발생하지는 않는다. 이 때 각 汚染源별 許容 排出量은 다음과 같다.

$$Q_a = (1 - r_{max})Q \dots\dots\dots(11)$$

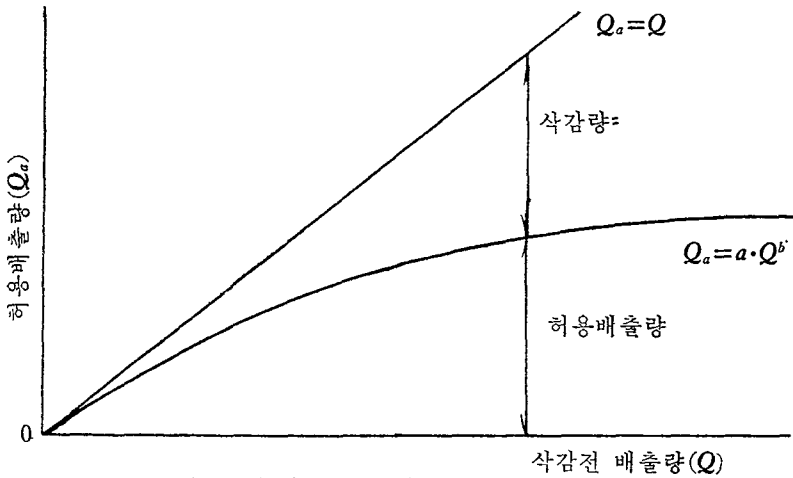
이 때 規制對象 汚染源으로부터 이 지역에 許容되는 排出量의 總量도 規制전의 總量에서 $(1 - r_{max})$ 만큼 削減된 양이 된다.

2. 排出量에 따라 削減率에 差等を 두는 방법

대개의 경우 發電所나 몇개의 대규모 排出業所가 지역의 排出量의 대부분을 점하고 이들이 着地濃度에 미치는 영향도 대단히 크다. 이런 점에 착안하여 소수의 대규모 排出業所에 規制를 강화하고 소규모 排出源에 대해서는 削減負擔을 줄이겠다는 것이 이 방법이 취지이다. 이 방법에서 각 業所에 割當되는 排出量を 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$Q_a = aQ^b \dots\dots\dots(12)$$

여기서 a 와 b 는 1보다 작은 상수이다(〈그림 2〉 참조).



〈그림 2〉 差等 削減率에 의한 許容排出量

이 방법은 日本에서 燃料 使用量에 따라 許容 排出量を 規制한 방법과 유사하다. (5) 日本에서는 b 의 값을 0.8 내지 1.0으로 規定하고 있다. b 가 1이면 一定 削減率에 의한 방법과 같은 방법이 된다.

상수 a 와 b 는 다음과 같이 결정할 수도 있다. 즉 排出業所에서의 削減率을 目標値를 초과한 지점들에서의 濃度 寄與率에 비례하여 割當하는 방법이다.

$$Q - Q_a = kfQ \dots\dots\dots(13)$$

여기서 k 는 상수, f 는 어느 目標値를 초과한 지점에서의 排出源별 寄與率이다. 이 경우의 許容 排出量を 計算하기 위해서는 우선 $k=1$ 로 가정하여 Q_a 를 구한 후 식 (12)에 근거하여

($\ln Q_a$) vs. ($\ln Q$)의 그래프상의 最適直線의 기울기로부터 b 를 구할 수가 있다. 일단 b 가 구해지면 排出量을 Q^b 로 가정하여 濃度를 예측한 후 여진히 目標値를 초과한 지점중에서 $(C_s - C_n)/(C_g - C_n)$ 를 계산하여 이 값의 最小値를 a 로 잡으면 된다. 蔚山 工業地域의 경우에는 b 의 값이 0.925로 算出된바 있다.⁽⁶⁾ 지역에 허용되는 排出量의 總量은 이렇게 해서 計算된 각 業소 排出量의 合計가 된다.

이 방법을 적용할 경우 대개 큰 排出業所들의 着地濃度에의 寄與率이 크다고는 하나 지역의 總排出量에서 점하는 비율만큼은 크지 못하기 때문에 앞의 방법보다 상당히 더 많은 양의 削減을 요하게 된다. 즉 지역 전체적으로 보아 앞의 방법보다 非經濟的이다. 그러나 높은 煙突의 대규모 業소에 많은 削減量을 割當한 관계로 大氣汚染이 넓은 지역에 擴散되지 않고 排出業所들의 주위에만 국한되어질 수 있다는 장점도 가지고 있다.

3. 線型計劃法에 의한 방법

앞의 두 방법은 모두 最惡의 지점에서의 削減率을 계산하여 이를 전 規制地域에 일률적으로 適用하였기 때문에 排出業所에 따라서는 削減量이 과다하게 割當된 경우도 있을 것이다. 가장 經濟的인 總量規制 방법은 總削減量을 最少로 줄이는 방법이 될 것인데 이 때의 削減量 配分은 線型計劃法으로 計算할 수가 있다.^(5,6,7)

着地濃度가 目標値를 초과하는 지점 i 에서의 두 濃度 차이를 ΔC_i , 着地濃度를 G_i , 排出源 j 에 의한 濃度 寄與率을 P_{ij} , 目標値를 達成하기 위해 排出源 j 에 割當해야할 削減率을 R_j 라 하면 다음 식이 성립하게 된다.

혹은

$$G_i P_{i1} R_1 + G_i P_{i2} R_2 + \dots + G_i P_{ij} R_j \geq \Delta C_i \dots \dots \dots (14)$$

$$P_{i1} R_1 + P_{i2} R_2 + \dots + P_{ij} R_j \geq \Delta C_i / G_i \dots \dots \dots (14a)$$

이는 다시 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_j \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} \Delta C_1 / G_1 \\ \Delta C_2 / G_2 \\ \vdots \\ \Delta C_i / G_i \end{bmatrix} \dots \dots \dots (15)$$

削減率 R_j 는 0보다 작을 수 없고 1은 業소의 폐쇄를 의미하므로 1보다는 작아야 한다. 그러나 經濟的인 技術的인 고려하에 가능한 最大의 削減率을 r_n 라하면 R_j 는 r_n 보다도 작아야 한다. 行列 $[P_{ij}]$ 를 P , $[R_j]$ 를 R , $[\Delta C_i / G_i]$ 를 C , 排出源 j 에서의 排出量을 E_j 라하면 가장 經濟的인 削減방법은 다음의 線型計劃法으로 풀어질 수 있다.

$$\text{Min } Z = \sum E_j R_j \dots \dots \dots (16)$$

subject to restrictions

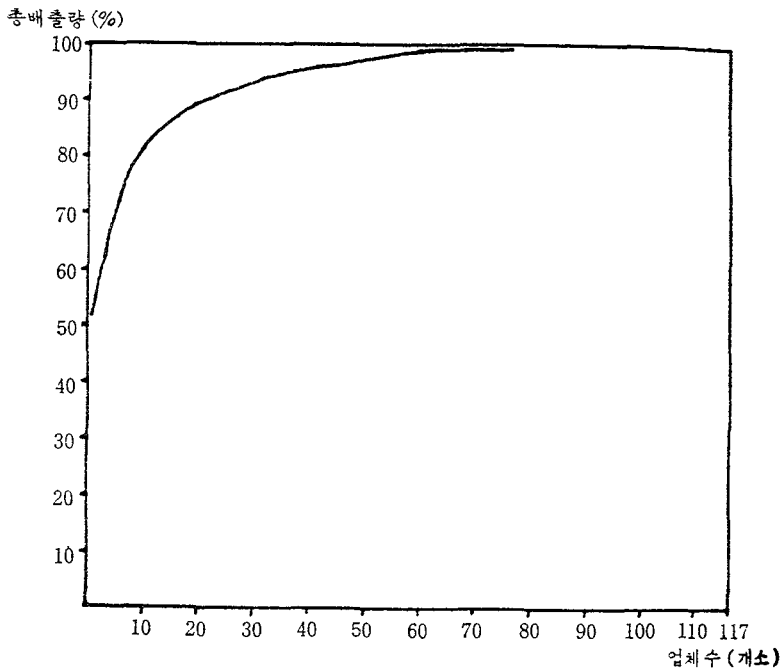
$$P \times R \geq C \dots \dots \dots (17)$$

$$0 \leq R_j \leq r_u \dots\dots\dots(18)$$

지역의 排出許容總量은 이렇게 계산된 업소별 排出量의 總計가 된다.

煙突高를 規制할 때에 排出量에 상관없이 最大 地上濃度가 어느 수준 이하를 달성하도록 되었기 때문에 着地濃度가 目標値를 초과하는 지역은 주로 여러 排出源에 의한 重複效果가 큰 지역이 될 것이고 그 지역에서 1개 대규모 排出源에 의한 寄與濃度에는 한계가 있다. 즉 대규모 排出源들은 그 지역의 總排出量에서 차지하는 비율이 큰 만큼 着地濃度에 큰 영향을 미치지 않는다. 따라서 일정량의 着地濃度를 줄이기 위해서라면 소규모의 排出源에서는 대규모 排出源에서 보다 작은 削減量으로 이를 달성할 수가 있다. 그러므로 線形計劃法에서는 앞의 削減率에 差等を 두는 방법과는 반대로 소규모 排出源의 規制로 쏠리게 된다. ⁽³⁾ <그림 3>은 蔚山地域에서 排出量의 크기순으로 업체수에 따른 排出量의 累積 百分율을 나타내고 있는데 즉, 100여개 업소중 10개 업소가 全排出量의 약 80%를, 20개 업소가 약 90% 정도를 차지함을 보여준다. 이로 미루어 보면 큰 業소 10개 혹은 20개에 대해서 削減이 없이 나머지 業소에 대해서만 規制를 하면 全排出量의 20% 혹은 10%만이 削減의 대상이 되어 經濟的이 됨을 보여준다. ⁽³⁾

이 방법은 지역전체적으로 보아서 經濟的이긴 하나 영세한 業소에 더 큰 削減負擔을 지워야 하므로 公平하지 못하고 각 개개 業소별로 削減負擔이 다 달라지므로 施行이 어려운 단점을 가지고 있어 이에 대한 補完策이 강구되어야 할 것이다.



<그림 3> 業體數에 따른 SO₂ 排出量의 比率(蔚山)

V. 結 論

總量規制는 그 지역의 장래 成長이 예상되는 한 이를 고려하여 規制對策을 세워야 한다. 그러나 장래 排出業所의 사업확장이나 신설이 정확하게 어느 지점에서 어떤 규모로 일어나게 될 지는 예측이 불가능하다. 따라서 이러한 변동이 비록 그 지역의 排出許容總量의 범위 내에서 일어난다 할지라도 그 변동이 環境目標値를 위협하게 되는지의 여부는 어떤 형식으로든지 검토가 되어야 할 것이다. 왜냐하면 總量規制 對象地域이란 이미 大氣質이 惡化되어 염려가 되고 있는 지역이기 때문이다. 지역의 排出許容總量이 飽和狀態에 이르면 더 이상의 排出業所의 확장이나 신설은 금지되어야 한다. 만약 추가로 成長을 許容할려면 새로운 成長目標에 따라 總量規制計劃이 재수립되어야 하고 既存業所들에 대해서는 汚染削減負擔이 더 늘어야 한다.

總量規制가 다른 지역에 비하여 더 엄격한 規制를 가하므로 해당 業所들에게는 비싼 負擔을 안겨주고 있기 때문에 規制計劃을 수립할 때는 最小의 經濟的 負擔으로 最大의 效果를 얻을 수 있도록 배려를 하여야 한다. 그러기 위해서는 가능한한 여러종류의 規制代案을 設定하고서 각각에 따른 經濟的 負擔과 大氣質에 미치는 效果를 比較檢討한 後에 最適代案이 選定되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. 金丁勗, “大氣擴散의 理論에 대한 考察,” 「環境과 公害」, 6, 8(1983), pp. 400-405.
2. Carson, J.E. and Moses, H., “The Validity of Several Plume Rise Formulas,” J. Air Pollution Control Assoc., 9, 11 (1969) pp. 862-866.
3. 環境廳, 「蔚山·溫山 工團 公害被害住民 移住對策을 위한 調查研究」(1984).
4. 申熙官, “大氣質 基準을 維持시키기 위한 煙突高 規制에 관한 研究—黃酸化物을 中心으로—,” 서울대학교 環境大學院 碩士學位論文(1984).
5. 日本 環境廳, 「總量規制 Manual」, 公害研究 對策센터(1975).
6. 張榮基, “總量規制에 의한 大氣汚染 規制方案 研究,” 서울대학교 環境大學院 碩士學位論文(1985).
7. Fronza, G. and Melli, P., “Assignment of Emission Abatement Levels by Stochastic Programming,” *Atmospheric Environment*, 18(1984), pp. 531-535.
8. Jang, Y.K. and Kim, J.W., “Total Emission Control Strategies for the Management of Air Pollution in Ulsan Industrial Complex,” First International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality, May, 1985, Seoul.