

## 産業活動에 起因한 二酸化炭素의 放出豫測

—Prediction of CO<sub>2</sub> Release by Industrial Activity Originating—

李 春 澤\*  
Lee, CHoon Taek

이 報文은 日本의 M. Hayashi 그리고 T. Nakayama 兩氏가 發表한 報文인 것을 번역 技術解説로써 將來 우리나라 Energy 事情에 現在보다 더 效率化 向上을 促하게 하고자 하는 意味에서 紹介하는 것이다.

### 要 旨

産業活動에 의해서 大氣中에 排出되어지는 CO<sub>2</sub>의 豫測手法으로써 1983年度 美環境保護局의 報告書 「地球氣候安定化의 政策選定」 및 世界的으로 폭넓게 쓰여지고 있는 J. Edmonds & J. Reilly 兩氏가 發表한 報文 「長期 地球 Energy CO<sub>2</sub> 모델」 등을 使用해서 各種 化石燃料의 窮極 可採埋藏量으로부터 CO<sub>2</sub>의 放出量을 豫測 檢討해 본 것이다.

大氣中の CO<sub>2</sub> 濃度는 産業革命 以後의 約 280ppm에서 最近 約 350ppm으로까지 增大되어가고 있다는 報告다. 그 原因은 地球森林 開發과 石炭 등의 化石燃料 燃燒에 의해 大氣中에 放出되어지는 CO<sub>2</sub> 때문인 것이다.

現在 人類는 年間 炭素換算으로써 約 52億톤의 化石燃料을 消費하여 發生시킨 CO<sub>2</sub>를 大氣中에 放出하고 있다. 世界氣象機構(WMO)와 유엔環境計劃(UNEP)이 主權하는 氣候變動의 政府間판넬(IPCC)의 報告에서는 만약 아무런 對策도 公示하지 않고 있다면(시나리오 Bau: Bussiness as Usual), 全地球的 平均氣溫은 來世紀의 10年안에 0.3℃씩 上昇이 豫想된다고 한다. 이와같은 變化는 過去 1萬年間に 비유할수 없을만큼 急激한 變化도 있다고 하는 것이다. 이것은 2025년에는 1℃, 來世紀末 까지는 3℃의 氣溫上昇이 豫想되고, 이에 따른 海面上昇은 2030년에는 20cm, 來世紀末까지에는 65cm로 豫想하고 있다.

### 1. 放出量의 現狀

유엔의 Energy 統計年鑑, 資源統計資料를 基礎로해서 化石燃料의 生産量 및 CO<sub>2</sub>에의 轉換率을 考慮해서 Marland, G. & R.M. Rotty 兩氏가 推定한 1950年 以後의 CO<sub>2</sub> 發生量의 推移를 圖1로 나타냈다.

化石燃料 全體로서의 放出量은 1950年 炭素換算으로써 16億톤에서 1984年の 52億톤으로 平均 年間比率 1億톤 強의 比率로써 늘고 있다. 1973년까지는 CO<sub>2</sub>의 發生量 혹은 化石燃料의 消費量은 年次와 함께 對照的으로 年率 4%로 增大되고 있지만 1973年の 第1次 오일 쇼크 以後 CO<sub>2</sub>의 發生量은 年 1.5%의 增大로 變化하고 있다.

\*鑛業資源(地下資源開發技術士). 韓國資源研究所技術情報室責任研究員

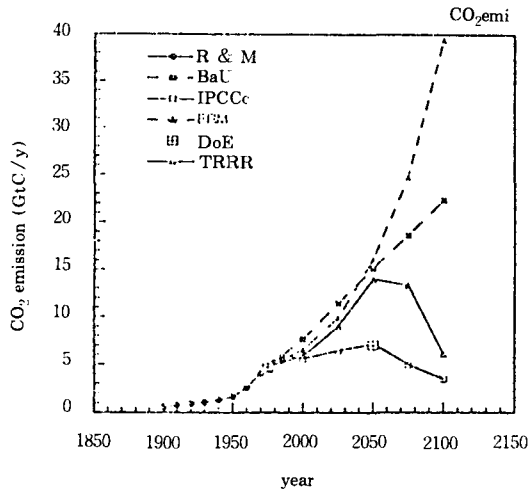


그림 1 炭素放出량의 經年變化

原油價格의 上昇에 따른 石油 消費 低迷의 한편에서 石炭使用의 伸張이 特徵인 것이다. 따라서 새로운 Energy 需給體制의 再構築, 時期가 到來한 것이라 볼수 있다.

## 2. 輩出量 豫測 모델

將來의 産業活動에 수반해서 배출되는 CO<sub>2</sub>

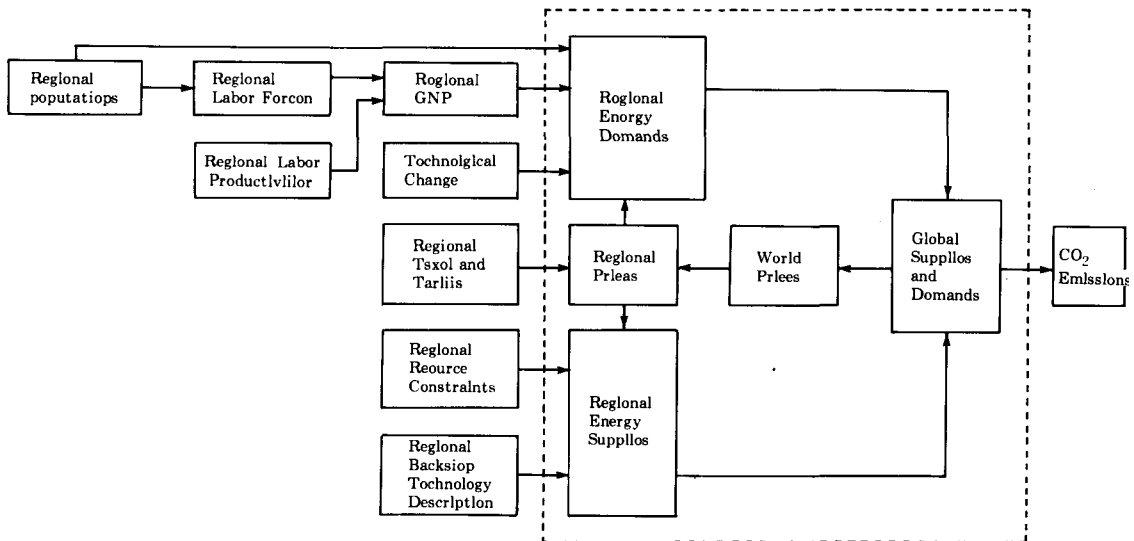


그림 2 「長期地球 Energy CO<sub>2</sub> 모델」의 構成

의 豫測은 例를들면 1991年의 IPCC의 第3部會 報告(Houghton 外, 1990)와 1989年에 美環境保護局이 發表한 「地球氣候의 安定化를 위한 政策選擇」(Lashof과 Tirpak, 1989), 1989年 Energy省의 「Energy 技術이 地球上의 CO<sub>2</sub> 輩出에 미치는 影響」이란 標題로서 紹介되고 있다(Chang 外, 1986).

美 Energy省은 Energy 關連技術을 開發하는 것에 따라 CO<sub>2</sub>의 輩出量을 어느程度 削減하는 것이 可能한가를 試算했다.

IPCC의 第3作業部會에서는 氣候變動의 科學的 豫測을 行하는 第1作業部會에 必要한 溫室效果氣體, 二酸化炭素, 메탄, 亞酸化窒素, CFCs, 一酸化炭素, 窒素酸化物的 輩出을 社會的 發展, 對策技術과 關聯시켜서 네가지의 시나리오, A, B, C, D로써 現在부터 2100년까지를 豫測하고 있는 基本的인 파라메타로해서 人口增加와 經濟成長을 共通으로 設定하고 있다. 人口는 來世紀의 中間쯤으로써 105億에 達할 것으로 하고 있다. 經濟成長은 今 다음의 10年間에 OECD諸國에서는 年 2~3%, 東歐와 開發途上國에서는 3~5%로하고, 그 以後에는 下降하는 것으로 하고 있다.

Energy 經濟시나리오로부터 CO<sub>2</sub>의 放出量을 豫測하는 代表的인 모델로써 오크 릿츠 綜合大學의 Energy 解析研究所(ORAU: Oak Ridge Associated University/IEA: Institute of Energy Analysis)로써 Edmonds와 Reilly 兩氏가 作成한 「長期 地球 Energy, CO<sub>2</sub> 모델

(Long-term global energy CO<sub>2</sub> model)」이 있다.

모델의 構成은 圖2에 나타낸바와 같이 地球規模로써의 Energy의 供給, 製造, 需要, 消費, 流通에 基本的인 要因으로서 人口, 經濟狀態, 技術開發에서 長期的으로 推定한다.

이 모델을 基本으로해서 Energy 資源과 效率의 效果에 關係해서 檢討한다. 이후 이 모델을 製作者에 연유해서 ERM이라고 부르기로 한다.

石油와 가스의 供給量은 石炭 其他에 比해 制約이 크고, 圖3으로 나타낸바와 같이 가까운 將來에 最大로 達했다가 이후 減少한다. 特히 中近東으로부터의 供給은 政策的으로 決定하는 것으로 하고, 内部 파라메타로써 設定한다. 水力, 地熱 등의 自然 Energy는 供給量에 限界가 있는 것이며, 開發에 費用과 技術面에서의 制約이 있고 環境과 cost面에서는 바람직한 Energy源으로 있지만 世界的으로는 需要를 낮게 잡고 있다.

枯渴되지 않는 Energy源으로서의 太陽, 原子力, 合成燃料, Biomass 등의 供給은 市場에

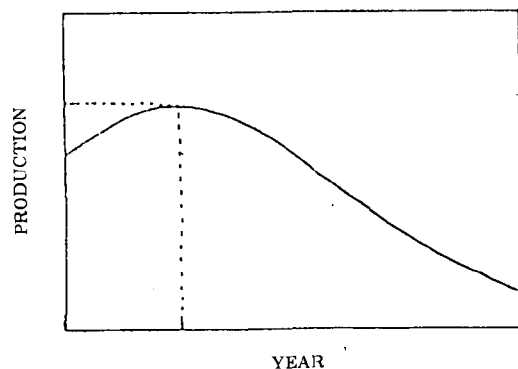


그림 3 石油供給의 年次展開패턴

普及 比率과 cost의 바란스로써 決定된다. 石油와 天然가스의 供給에는 限度가 있고 豫測計算에서 制約要因이 된다.(志鷹과 遠藤, 1991).

그들은 窮極埋藏量(Total Resources), 窮極可採埋藏量(TRRR: Total Recoverable Resources Remaining)으로써 調査되고 있다. 石油와 天然가스의 確認可採埋藏量은 1990年의 石油鑛業連盟의 調査에서 各各 約1兆 바렐과 120兆 立方바렐이었다. 또 石炭은 1989年의 世界 Energy會議에 의하면 約1兆 3千億톤이었다.

이들의 값어치로부터 1975년까지의 使用量을 加算해서 1975年 時點의 可採埋藏量을 逆算해 본다. 그 量은 表 1에 나타낸바와 같이 ERM로써 規定值로 주어진 값어치 보다는 적다.

原子力 Energy에 關係해서는 資源量을 Energy量으로 變換하는 適當한 方法이 없으므로 ERM로써 採用한 값을 使用했다. 이들의 값을 使用해서 ERM로써 豫測한 CO<sub>2</sub>의 輩出量을 圖1에 나타낸 것이다.

圖1에는 Marland와 Rotty에 의한 과거의 輩出量(R & M)과 IPCC의 無對策으로서의 輩出量 豫測(BaU)과 ERM의 既定值에 의한 輩出量의 豫測(ERM)을 同時에 나타내고 있다. 이 두가지의 豫測은 最近年에 있어서 化石燃料의 使用量 增大는 大개 外插에 相當하고 있다.

이들에 대해서 보다 現實的인 窮極可採埋藏量을 制約條件으로해서 人力한 경우(TRRR), 化石燃料로부터의 CO<sub>2</sub> 輩出量은 2050年 근처에서 限界點에 到達하게 되고, Energy源을 化石燃料 以外에서 依存하게 될것이다.

CO<sub>2</sub>의 發生源으로서 石油, 石炭의 減少에 對應하는 것 같이 合成石油, 合成가스의 比率이 增大하고 있다. 또 Energy 需要區分을 보면 水力發展등의 制約再生可能 Energy는 限界點에 到達하고 있는 것에 반해 原子力과 太陽등의 無制約 再生可能 Energy는 오히려 增大되고 있다. 이들의 代替 Energy의 導入은 價格으로

써 左右되고 그 妥當한 豫測이 必要하게 된다.

표 1 窮極可採埋藏量(ERM 과 今回의 想定)

	oil	coal	gas	nuclear	syn. fuel
ERM	21,250	271,000	13,950	14,423	2,078,605
Present study	7,410 (1.3Tbbl)	40,000 (1.3Tt)	6,300 (120Tm3)	14,423	2,300 (0.4Tbbl)

(unit in EJ, T: tera)

### 3. CO<sub>2</sub> 濃度

大氣中の CO<sub>2</sub> 増大分과 産業起因의 CO<sub>2</sub> 放出量의 兪바란스는 「未知의 吸收源 問題」로써 論議되어 왔다. 이 兩者의 比는 大氣殘留率이라고 말하며 NOAA의 Taus 등에 의한 最近의 炭素循環研究에 의하면 0.56~0.59이다.

### 4. Energy 効率

産業活動에 따른 CO<sub>2</sub>의 輩出을 減少시키는 方法은 여러가지가 檢討되고 있다. 日本에서 世界에 寄與할 수 있는 對策技術로써는 Energy 效率의 向上이 있다. 日本은 1973年과 1976年의 두번에 걸친 石油危機를 主로 省 Energy 技術開發로 克服시킨 經驗이 있다. 이 때문에 이 分野의 技術은 世界에 대해서 어느 程度 貢獻할 수 있다고 日本은 믿고 있다.

CO<sub>2</sub>를 發生하고 있는 主要한 産業의 各 分野에서의 檢討한 例를 아래에 몇가지 紹介해 둔다.

#### [電力]

表 2에는 主要工業先進國에서 火力發電所에 의한 發電量과 放出하는 CO<sub>2</sub>量을 比較한 것이다. 日本에서는 1Kwh 當 炭素換算 0.15kg로 있으며 다른 先進工業國에 대해 約 6割의 排出量인 것이다. 今後 課題로서는 電力의 需要는 今後 점점 多方面에서 増大하는 것으로부터 電力 供給 시스템의 效力向上으로서 큰바인드 시

스텝의 導入과 地域分散型의 교체에 의한 熱電力 併給, 燃料電池의 開發을 들수가 있다. 또 火力發電所는 CO<sub>2</sub>의 大量 發生源으로 있기 때문에 排出가스로부터의 CO<sub>2</sub>의 除去, 固定과 有效物質에의 變換 혹은 海洋投棄의 檢討인 것이다. 이들에 관해서는 아직 調查研究를 開始했 을 뿐이다.

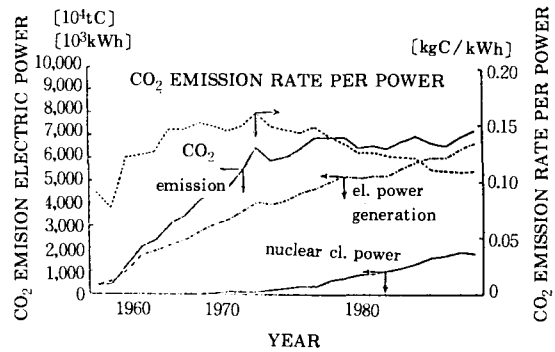


그림 4 發電에 隨伴한 CO<sub>2</sub> 發生量의 變化

표 2 發電에 隨伴한 CO<sub>2</sub> 發生量의 變化 (外國과의 比較)

Japan	WG	USA	UK	Italy	France	Canada
0.15	0.22	0.22	0.23	0.17	0.21	0.22
0.10	0.14	0.16	0.18	0.13	0.02	0.05

(unit in KgC/KWh)

#### [鐵鋼]

現在 日本의 鐵鋼業에서는 銑鐵 1톤 當의 Energy 使用量은 24 MJ로써 거의 限界에 있으며 이 以上の 省 Energy는 困難한 狀況에 있다. 이 Energy源 單位는 表 3에 나타낸바와 같이 外國과 比較해서 적으며, 보다 적은 Energy 消費인 것이다. 이 以上の 改善은 例를 들면 熔融還之爐의 導入등 시스템 그것의 變更이 想定되지만 實現하는데에는 時間과 費用이 必要한 것이다.

#### [시멘트]

이 業界도 鐵鋼과 大개 똑같은 狀況인 것이

다. 圖5에 시멘트 生産에 의해 排出되는 CO<sub>2</sub>의 國別의 經年變化를 나타냈다.

日本은 낮은 排出源 單位인 것이다.

표 3. 鐵鋼生産에 隨伴한 Energy 使用量의 外國과 的 比較

Japan	USA	UK	WG	France	Brazil
100	135	117	107	114	116

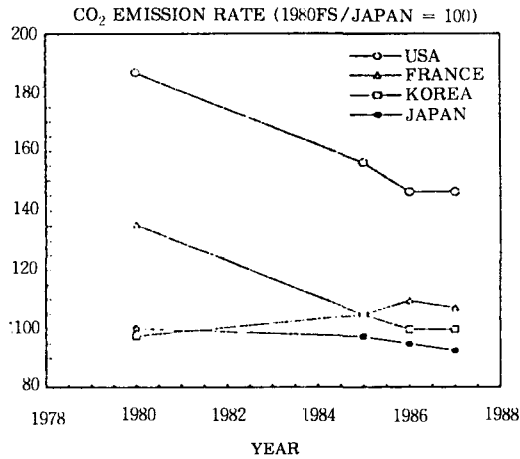


그림 5. 시멘트 生産에 의해 排出되어지는 CO<sub>2</sub>의 經年變化

### 5. 效率向上 効果

ERM에서는 Energy 利用 末端으로서의 Energy 效率向上을 낮은 경우로서 0, 높은 경우로서 年率 3%, 既定值로서 1%를 想定하고 있다. 1950년부터 1986년에 걸쳐서 世界全體에서 總生産(GWP)當의 CO<sub>2</sub> 放出量은 26%가 減少하고 있으며 年率 0.83%에 相當하고 있다.

日本の 省 Energy 技術을 世界的으로 普及 하려면 年率 1%를 넘는 Energy 效率 向上이 되어야 한다고 豫想한다. 그러나 이와같은 效率 向上이 長期에 걸쳐서 實現 可能하다고 생각 할 수는 없고 適當한 時點 以後에는 新 Energy의 導入을 期待할 수 없다는 것은 부득이

하다.

어쨌든 ERM로써 終端 Energy의 效率을 向上시킨 경우의 計算例를 圖6에 紹介한다. 어느 것이건 窮極可採埋藏量을 制約條件으로 해서 考慮한 경우로써 Energy 效率을 年 1.2%와 1.4%로 한 경우인 것이다. Energy 效率을 增大함에 따른 化石燃料의 使用量은 平均적으로 減少하고 먼저 보내게 된다. 利用效率의 向上을 年 1.2%로 設定한 경우의 ERM에 의한 CO<sub>2</sub>의 發生源을 圖7로 나타낸다.

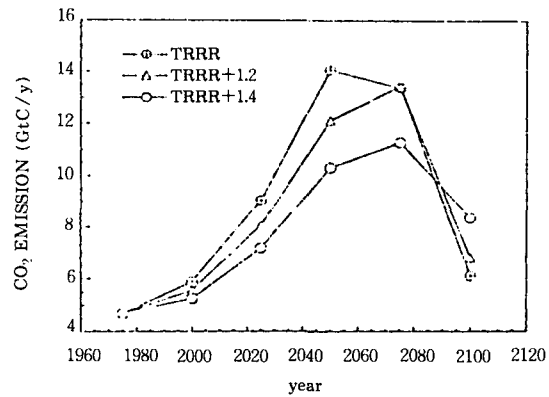


그림 6. TRRR 想定으로써 Energy 效率을 向上시킨 例

이것에 의하면 將來的으로는 合成燃料의 效率을 向上시킨 合成燃料의 寄與는 크다 하겠다. 이것은 이 모델을 開發한 當時 美國의 Energy 需給事情을 대개 反映하고 있다고 생각하는 것이다.

또 Energy 供給(圖8)으로서 原子力의 寄與는 急速하게 增大하고 있지만 이것도 이 모델을 開發한 1980年 當時의 事情을 反映하고 있으며 原子力에의 社會的 合意는 將來에는 이루어질까 어떨까에 달려 있다 하겠다. 이와같은 狀況으로서 太陽 Energy와 地熱 Energy 등의 無制約 再生可能 Energy의 開發이 期待되어진다고 말할 수가 있다.

그에 關해서 太陽發展으로서 대표되는 地熱, 核融合 등을 포함 無制約 Energy 資源과

Biomass의 2050年 cost를 ERM로써 既定値의 2/3, 각각 기가솔 當 1975年의 價格으로 比較해서 10, 1.4로 設定한 경우의 Energy 供給의 例를 圖9에 나타냈다. 2050年에서의 液體燃料은 8.3, 固體燃料은 2.3과 比較해서 太陽Energy는 값이 싸지만 太陽發電이 原子力發

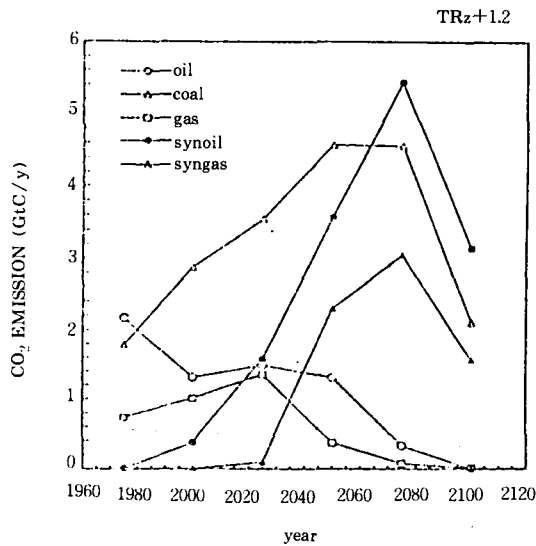


그림 7. TRRR(1.2%)에 있어서 CO<sub>2</sub> 排出源

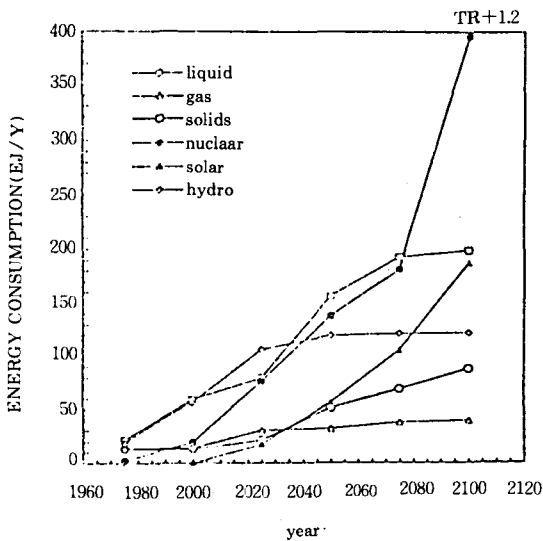


그림 8. TRRR(1.2%)에 있어서 Energy供給

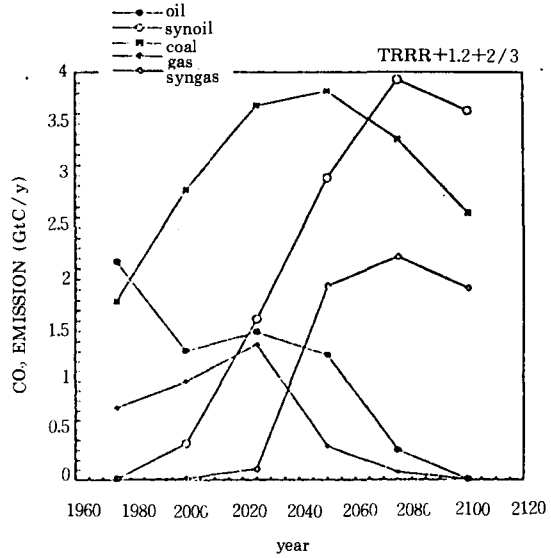


그림 9. 太陽 Energy 利用을 擴大한 경우의 Energy供給

電을 누르고 Energy 供給의 主役으로 될 것이 豫測되고 있다.

日本에서도 이 分野의 技術開發에 따라 地球 環境問題에 貢獻될 것이 아닌가 생각하게 된다.

## 6. 結 論

産業活動에 따른 大氣中에 排出시키는 CO<sub>2</sub>의 將來豫測 모델로해서 Edmonds와 Reilly 兩氏가 開發한 「長期世界 Energy, CO<sub>2</sub>모델」(ERM)을 쓴다. 化石燃料의 埋藏量에는 限界 가 있고 最近의 調査에 의하면 窮極可採埋藏量 은 ERM로써 內部的으로 주고 있는 量에 比較해서 꽤 많고 石油으로써 1/3, 石炭으로써 1/6, 天然가스으로써 1/2, 合成燃料에 이르러서 는 1/1000인 것이다.

이와 같은 制約條件을 넣은 CO<sub>2</sub> 放出量의 將來豫測은 將來의 對照的인 增大에 대해서 100年 以內에 限界點에 到達하게 되는 狀況을 나타내고 있다. 즉 Energy의 供給으로써 化

石燃料 以外の 새로운 Energy 源을 開發하여  
야 함은 부득이하다.

이와같은 業態를 적어도 먼저 보내기 위하여  
Energy 效率의 向上이 當面한 課題라 하겠다.

石炭은 將來에 있어서도 主要한 Energy 源  
으로서 使用되어 갈 것이다. 地球環境問題의  
觀點에서 石炭利用에 따라 排出되는 CO<sub>2</sub>를 減  
少시키지 않으면 안된다. 이때문에 우선 石炭  
을 大量으로 使用하고 있는 先進工業國만이 아  
닌 Energy 大部分을 石炭에서 얻고 있는 開發  
途上國에 있어서도 省 Energy 를 위시하는 技  
術革新이 必要한 것이다. 先進國에서는 例를들  
면 將來에 있어서 石炭 가스化 發展시스템과 燃  
料電池의 開發과 實用化인 것이라고 사료된다.

더우기 CO<sub>2</sub>의 放出增大를 減少하기 위하여  
는 日本에서 實現시킬 省 Energy 技術을 世界  
적으로 普及시킬 일이다. 이때문에 國際協력이  
이제부터 重要하게 될 것이라 展望한다.

#### 引用文獻

- 志鷹義明, 遠藤元治 1991: 化石燃料의 資源量과 炭酸  
가스問題, 燃料協會誌, 70, 51-61.  
日本石油鑛業連盟, 1990: 石油·天然가스等の資源  
에 するヌタデイ.

Cheng, H.C., M. Steinberg and M. Beller, 1986 :  
Effects of Energy Technology on Global CO<sub>2</sub>  
Emissions, DOE/NBB-0076.

Edmonds, J. and J. Reilly, 1983 : A long-term glo-  
bal energy-economic model of carbon dioxide  
release from fossil fuel use, Energy Economics  
5, 74-88.

Houghton, J.T., G.J. Jenkins and J.J. Ephraums,  
1990 : Climate Change, The IPCC Scientific  
Assessment. Cambridge University Press.

Lashof, D.A. and D.A. Tirpak ed. 1989 : Policy  
options for stabilizing global climate, USEPA.

Marland, G., 1989 : Fossil fuels CO<sub>2</sub> emissions :  
Three countries account for 50% in 1988.  
CDIAC Communications, Winter 1989, ORNL,  
USA.

Marland, G. and R.M. Rotty, 1984 : Carbon diox-  
ide emissions from fossil fuels : a procedure  
for estimation and fuels : a procedure for esti-  
mation and results for 1950-1982, Tellus, 36B,  
232-261.

Tans, P.P., T.J. Conway and T. Nakazawa 1989 :  
Latitudinal distribution of the sources and  
sinks of atmospheric carbon dioxide derived  
from surface observations and an atmospheric  
transport model, J. Geophys. Res., 94, 5151-  
5172.