

窒素質肥料은 성층권을 損傷시키는가?

=一酸化窒素形成에 関한 重要な

問題点들이 아직까지 남아있다=

다음의 記事는 미시간大學의 大氣海洋學科의 R. J. Cicerone 박사에 의해 1977년 9월 뉴욕에서 열렸던 세계비료 협의회에서 발표된 論文에 기초한 것이다.

主要内容은 "오존층"에서 발생하는 것으로 믿어지는 매우 중요한 과정들을 토의하며, 일산화질소를 생기게하는 (일으키는) 토양과정들 (Soil Processes)의 메카니즘에 관한 부적절한 지식과 오존을 파괴하는 것으로 생각되는 방법에 關係 토의하고 있다.

窒素質肥料 使用 增加의 結果로서 大氣中の 一酸化窒素濃도가 相當히 增加되고 大氣의 오존층이 破壞해갈 가능성이 있다는 문제에 對해서는 大氣學者, 토양學者, 科學者, 환경문제전문가, 저널리스트들이 주목을 끌여온 문제이다.

이 記事의 目的은 첫째 왜 오존(O₃)層이 地球生活에, 또 세계 기후의 安定을 위해 그렇게도 중요하고 必擧한 것으로 믿어지는가를 간단히 설명하고 一般的으로 地球의 大氣속에서 특히 오존층의 化學作用속에서의 일산화질소의 활동 윤곽과 일산화질소가 지구의 窒素循環속에서 어떻게 포함되어 있는가를 간단히 설명함으로써

그것이 왜 문제가 되는가를 說明하려는데 있다.

다지막으로 窒素質肥料 使用 增加가 空氣中の 일산화질소 농도를 높힐 것이라고 생각되는 원인에 관해서 몇가지를 지적할 것이며, 또 앞으로의 그 효과와 정확성에 관하여 믿을만한 推定을 가능하게 하기 위하여서는 어떠한 연구조사가 必要한가에 대하여 이야기하고자 한다.

오존層의 重要性

① 放射障蔽

그림 1의 연속선은 incident radiation 파장에 부딪히는 오존(O_3)分子的 흡수 횡단면을 나타낸다. 이것은 各各의 오존分子들의 effective absorption Geometrical area를 나타내고 있으며 오존이 빛을 흡수하는 效率의 척도이다.

오존은 파장의 범위가 200-300 nm되는것을 강하게 흡수하는것 같이 보인다.

스펙트럼의 可視部分은 약 400 nm (보라와 파랑)에서 600 nm (빨강)의 파장범위이다; 그래서 오존을 흡수하는 최대한도는 자외선 (UV) 지역인 것이다.

그림 1에 있어서의 점선은 중간緯度 보통狀態에서 大氣를 통하여 地球表面에까지 통과하는 각 파장의 햇빛의 우수리를 나타낸다

파장이 400nm에서 700nm인 可視光線은 거의 完全히 통과한다 아마도 그것은 스펙트럼의 이부분의 빛이 地表上的 動物들이 눈으

로 볼수있는 유용한 빛이기 때문이다.

이 曲線은 자외선 인접 부분에서의 放射에 있어서도 大氣는 투명하다는 것을 나타낸다. 그러나 파장이 약 300 nm인 곳에서는 그 透明度는 갑자기 매우 낮은 水準으로 떨어진다.

310 nm보다 더 짧은 자외선을 흡수하는 空氣의 이 막대한 능력은 산소와 오존분자 때문인 것이며 인간의 DNA(유전물질)와 전형적인 단백질들과 강하게 상호작용을 함으로써 대부분의 동물과 몇몇가지의 植物들이 세포수준에 있어서 해로운 파장이 240에서 300 nm인 자외선帶를 사실상 제외한다.

이러한 파장의 紫外線은 어떤 작은 有機體들과 單細胞生物들에 대하여 치명적인 것이며 人間에 있어서는 피부색깔이 밝은 사람들에게 피부암을 유발시키며 다른 여러 종류의 질병의 원인이 되는 것으로 현재 알려져 있다.

사실상 空氣가 수억년전에 방출하여 오존층이 형성되었을때까지는 海洋이외의 육지위에 生命體란 아무것도 없었다는 것을 科學者들은 확신하고 있다.

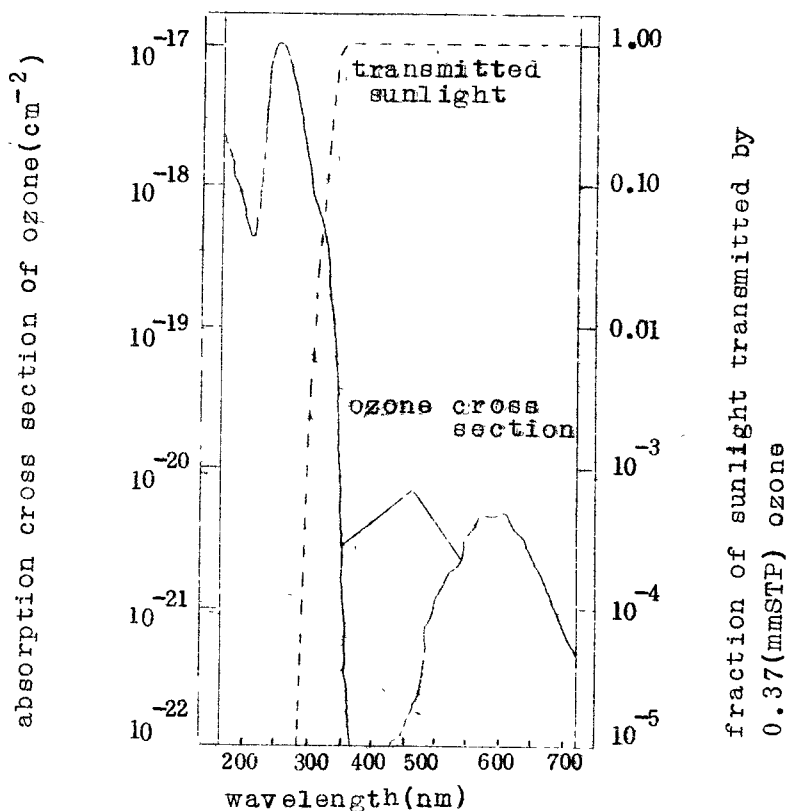


그림 1 : 오존 흡수횡단면의 의존상태와 incident solar radiation의 파장에 대한 공기투명도

② 熱의 均衡 維持

오존層은 지구의 열균형을 維持하는데 있어 또하나의 중요한 역할을 한다.

그림 1은 大氣圈上部에 있어서의 오존분포 곡선을 나타낸다; 해발 약 25 km의 高度에서 最大値를 나타내는 Gaussian 曲線이다.

이 높은 高度의 오존이 solar 자외선으로 부터 흡수하는 에너지는 大氣圈 上部에 있어서의 에너지의 가장 큰 원천이며, 이 에너지는 대기권 (高度 10-50 km인) 의 온도를 유지하여 주며, 높은 고도에서의 바람과 열의 Kinetic energy 로서 表示한다.

이러한 온도轉化는 大氣圈의 이 부분의 stratification (層化) 를 일으키며, 여기에서부터 成層圈이라는 이름이 도출되는 것이다.

성층권의 오존(stratospheric ozone)은 earth back 로부터 표면으로 방사된 적외선방사 (infrared radiation) 를 부분적으로 방사함으로써 육지의 바람과 기후에 대한 영향력을 발휘한다.

오존의 형성과 파괴의 메카니즘

그림 2 에서 지적된 바와같이 오존의 發生은 太陽自體의 作用에 依한다. 매우 짧은 파장의 햇빛은 2 개의 강력한 勵起原子를 발생시키기 위해 산소분자(O_2)를 분리시킨다.

오존은 이 勵起原子들이 다른 산소분자들과 결합할때 형성된다.

오존의 생성에 있어서 소비되는 太陽力(solar power) 量은 人類의 現在 전력발생능력보다 더 큰 것이다.

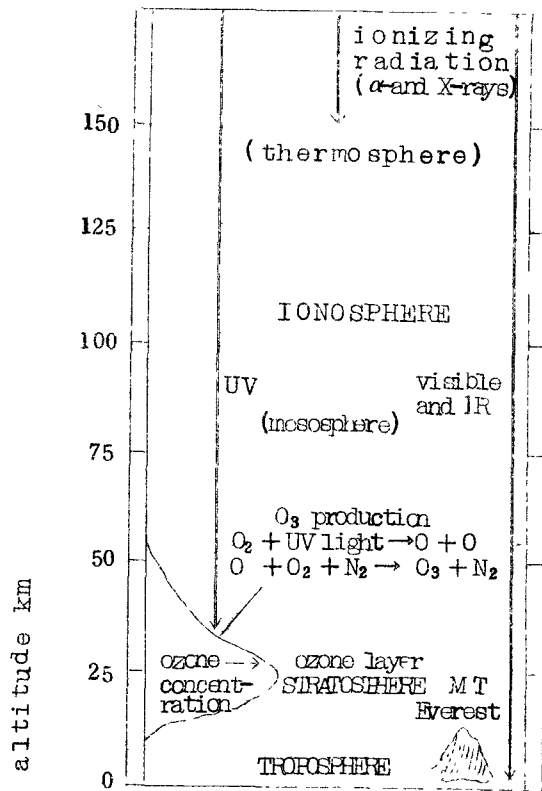
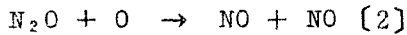
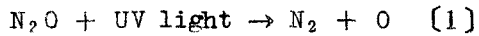


그림 2 : 대기권내의 오존의 분포

그러나 오존은 일산화질소를 포함하고 있는 질소산화물들을 수반하면서 化学的連鎖作用에 의해 파괴된다. 일산화질소(N_2O)는 두가지의 메카니즘에 의해 大氣中에서 파괴되어진다; 그대다수는 아마도 95%는 - 햇빛이 그것을 방정식 [1]과 같이, 질소와 산소原子로 쪼갤때 없어진다. 그러나 남은 5%는 free Oxygen 原子들과 상호작용하여 nitric oxide(NO) (방정식 [2])를 형성한다.



그러하여 이것은 이산화질소를 産出하기 위해 오존과 반응할 수 있으며, 이산화질소는 차례로 산소원자와 반응함으로써 오존을 파괴시킨다.

그 결과를 보면, 2개의 오존분자가 공기내에서 제거되고 nitric oxide (NO)가 再生되어, 그 순환(cycle)을 다시 시작할 수 있게 된 것이다.

그러므로 nitric oxide는 촉매(catalyst)로서 作用하고 있으며, 오존이 生成되는 高度(35-40 km)에 있어서는 각 nitric oxide分子들이 이런 式으로 數万個의 오존分子들을 파괴할 수 있다. 科学的資料들에 의하면 이 過程은 自然의 가상 큰 오존파괴 system 中の 하나인 것이다. 전반적으로 이 過程은 均衡상태에 있는 成層圈에서의 오존 농도를 維持하면서, 매년 太陽이 生成하는 것과 같은 量의 오존을 파괴한다.

촉매인 Chlorine 과의 連鎖反應은 aerosol products의 관심에 대한 기초가 되며, Chlorofluorocabons 을 使用하는 냉동 단위공장으로 부터 발생하는 것이다. 일산화질소는 오존을 파괴하는데 기여하는 이외에 공기를 덥히고, 太陽과 地球 양쪽으로부터의 적외선을 흡수하기 때문에 또한 중요하다.

大氣中の 일산화탄소를 增加시키는데 관계되는 것은 最近 環境學者들간에 중요한 관심거리가 되어온 것이다.

그림 3 : 질소 순환

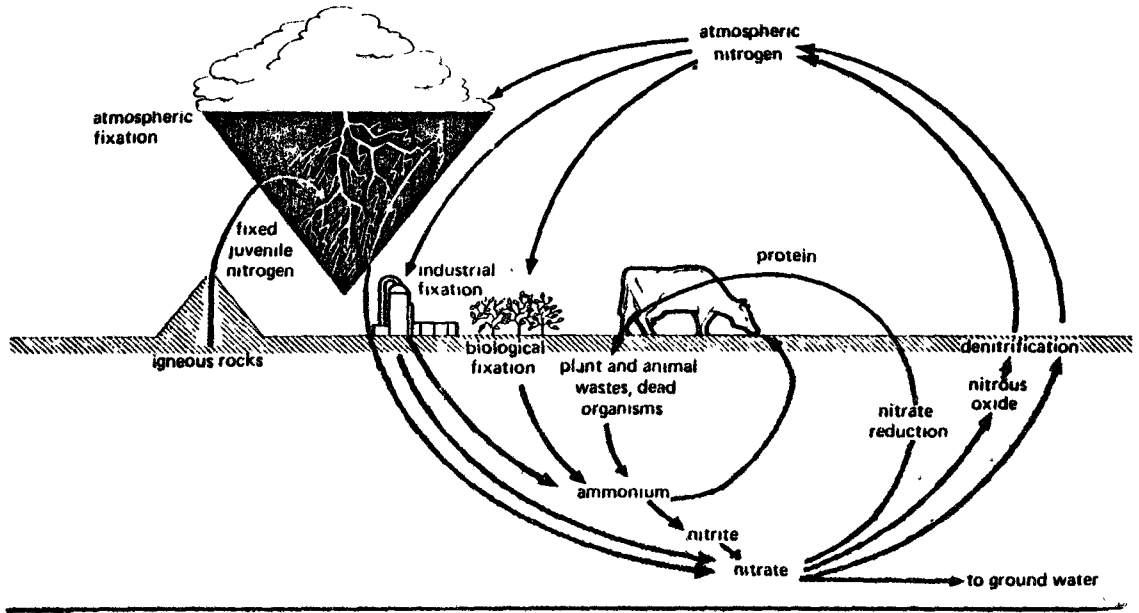
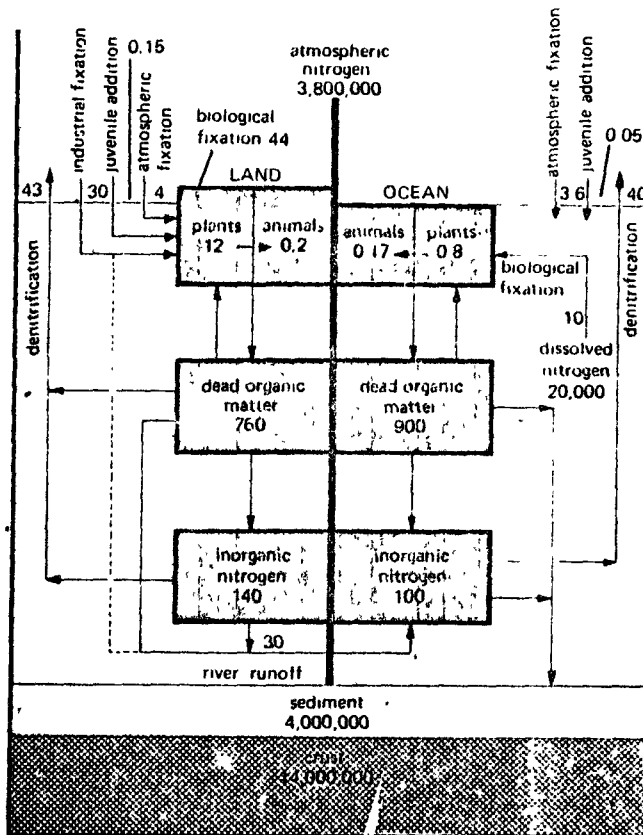


그림 4 : 지구의 지각암석권, 生物圈, 大氣圈에서의 질소분포와 질소의移動



일산화질소와 Chlorofluorocarbons 은 둘다 물속에서 쉽게 용해되지 않는다.

그그래서 降雨와 같은 大氣 정화과정에 의해서는 제거되지 않는다. 일산화질소 전부가 地面으로부터 오존層에까지 올라갈 수 있을런지 아닌지는 알려져있지 않지만, 大量의 일산화질소가 그대로 남을 수 있고 또 잔존하고 있다는 것은 명백한 것이다.

一酸化窒素의 起源 - 窒素週期

大氣中에서 일산화질소가 어떻게 發生하는지를 알기 위해서는, 生物圈에서 nitrogen compounds를 포함하고 있는 과정의 体系인 "窒素週期" (nitrogen cycle)을 설명하는 것이 必要하다. 이것은 그림 3에서 例證된다. 생물학상의 영양물들을 包含하는 다른 化学的 循環들과 같이, 窒素는 저장소로부터 취해짐으로써, 각종의 살아있는 有機체들을 통하여 循環되고, 결국 어떤 저장소나 다른 저장소로 되돌아 간다.

가장 중요한 窒素저장소는 大氣의 80%를 이루고 있는 窒素分子 (N_2)이다.

도양박테리아의 活動이나 ionizing events (예를들면 번개불)와 같이 各種의 生物에 의한 作用과 大氣의 作用에 의하여, 혹은 인공적인 化学的 作用에 의하여 窒素는 動物이나 植物에 의해 단백질로 흡수되어 질 수 있는 비교적 단순한 합성물의 형태로 固定된다. 동물의 대변속에, 또 살아있는 有

機體가 죽을때 남기는 잔재(殘滓) 속에 들어있는 더 복잡한 窒素 合成物들은 ammonium, nitrate와 아질산염 이온으로 분해되고, 結局은 固定된 形態로 여러번 再使用된 後에, 그것들이 包含하고 있던 窒素는 가스형태로 되어 토양속에 있는 denitrifying organisms의 活動結果 大氣속으로 되돌아 간다.

그것의 多量은 기본窒素가스로 방출되고, 이 경우에 窒素週期는 完成되지만, 얼마간은 일산화질소의 형태로서 공기속으로 되돌아 간다; 이미 진술한 바와같이, 비록 이것의 대부분은 햇빛에 의해 변형되어 元素로 되돌아 가지만, 다른 방도에 의해 일산화질소로 분해되는 일부는 항상 남게되는 것이다.

窒素循環段階

그림 4는 窒素循環에 있어서의 저장소들과 段階들에 관한 것이다. 大氣中の 窒素含量은 數10億 tonne이라고 일컬어진다; 예를들어 大氣中에는 3,800,000 billions tonnes에 있고, 죽은 有機體에는 760,000 million tonnes이 있다.

이러한 저장소들사이의 변경율은 화살표에 의해 表示되며, 年間 數百萬 tonnes N속에 있는 것이다. C. C. Delwiche에 의해 1969년이나 1970년에 작성된 이 도표는, 30m.m. t.p.a. N이 工業에 의해 固定되었음을 보여준다: 그러나 1975년에는 60m.m. t.p.a로 되므로써 두배가 되었다.

이 數値와 大氣中の 전체窒素含量에 대한 數値는 사실상 단하나의 정확한 量이다. 現在, 生物的인 窒素固定과 空中窒素固定을 합한 自然窒素 固定率은 例証된 것처럼 70m.m.t.p.a. 가 아니라, 200m.m.t.p.a. 에 달하는 것으로 생각되고 있다.

固定되어진 窒素는 動植物에 의해 흡수된다. 動物들의 배설물은 自然的過程에 의해 암모니아化(ammonified) 되며, 窒化(nitrified) 된다. 그리하여 固定된 窒素는 " 죽은 有機物 " 을 거쳐서 " 無機物 " 로 된다. 약간의 암모니움, 질산염과 아질산염은 물속의 과정에서 용해되며, 얼마간은 脫窒되고 또 가스로서 遺失된다.

물론 地上과 마찬가지로 물속에서도 窒素循環過程(nitrogen cycle) 이 있지만, 해양에서의 固定率과 脫窒率에 관한 知識은 大氣中에서나 地上에서의 것보다 덜 알려져 있다.

窒素循環에 관한 연구가 現在 增加되고 있는데, 이것은 오존層에 미치는 일산화질소의 영향에 관한 관심때문만이 아니라, 효율적인 窒素固定과 질소이용에 대한 커다란 욕구때문이며, 또한 질산염에 의한 水質汚染때문이기도 한 것이다.

人類에 의한 窒素固定率 (60m.m.t.p.a.) 은 地球總固定率의 상당한 비율(약 1/4) 을 구성하고 있다.

人類는 現在 상당한 정도로 窒素循環을 변경시키고 있으나 많은 의문점들이 제기된다; 예를들어, 이 循環의 나머지가 增加된 窒素 固定을 보충하기 위해 속도가 빨라질 것인가? 脫窒化는 窒素固定

과 보조를 맞출 것인가? 즉, 질소와 일산화질소는 窒素가 제거되는 것만큼 빨리 空氣中으로 되돌아 가게 될 것인가?

現在 알려져 있는 바에 의하면, 대부분의 脫窒化는 窒素元素前에 中間物로서 일산화질소를 産出한다. 窒素로 환원되기 前에, 얼마나 많은 量이 空氣中으로 사라지는지는 現在 알려져 있지 않다.

大氣中の N_2O 投入에 대한 窒素固定增加의 影響

空氣中の 일산화질소 수준에 대한 농업상의 질소사용의 効果에 關係 知的인 추정을 할 수 있기에는 對答되어져야 할 어떤 문제들이 남아있다. 그중에서 가장 중요한 것은: 固定된 窒素 전체중의 몇분의 몇이 일산화질소로 방출되고, 몇분의 몇이 元素로서 空氣中으로 방출되는가?

여기에 對答하기 위해서는, 이러한 과정들이 어디에서 어떤 비율로 발생하는가를 아는것이 必要하고, 그 蓄積을 위하여서는, 農作物과 耕야를 통하여, 동물과 人間과 그 배설물을 통하여, 또 물과 空氣中으로 되돌아 가는것을 통하여, 窒素가 大氣로부터 취해지고 肥料로 使用되는 때로부터 농업상의 窒素를 추적할 수 있게 되는 것이 바람직한 것이다.

일산화질소는 肥料가 처음 使用될때, 상당량 방출되는가? 일산화질소로서 또는 암모니아의 형태로 논이나 옥수수밭으로부터 방출되는 비율은 얼마만큼인가?

동물의 배설물로서 사라지는 것은 얼마만큼이며, 일산화질소의 형태로 사라지는 것은 얼마만큼인가?

죽은 有機物이 암모니아化되는 도중에 방출되는 일산화질소는 얼마만큼인가?

그 全般的인 過程은 평균 3年이 걸리는가? 혹은 백년이 걸리는가? 이런 모든 질문들은 적절한 것이며, 여기에 대한 해답이 없는 현재 20세기의 나머지동안에 大氣中에 일산화질소가 얼마만큼 있을 것인가를 말한다는 것은 어려운 일이다.

그러나 1975년부터 2000년까지의 窒素質 肥料 使用에 대하여 적절한 투자를 해볼 수 있다. (그림 5)

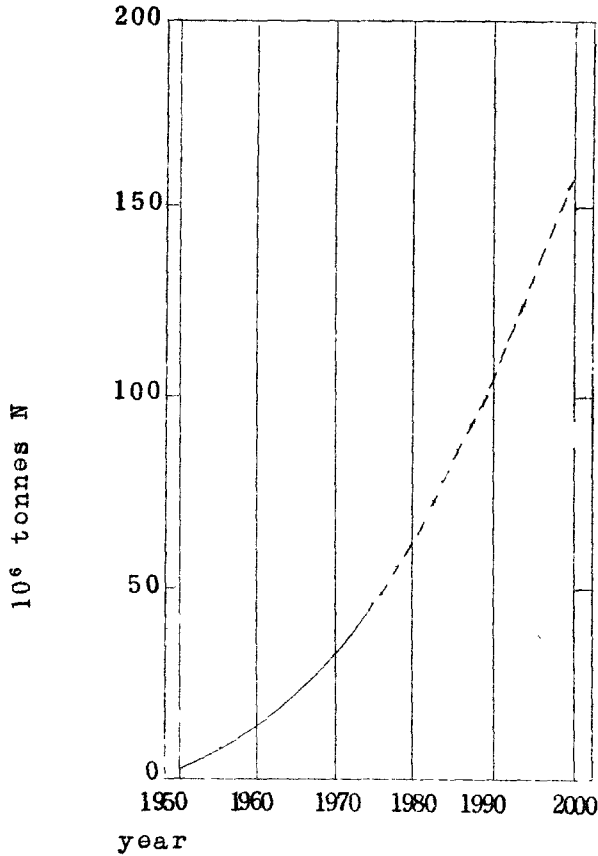
窒素質의 使用은 1949年度에 350万 tonnes N에서 1974年度에 4000万 tonnes N으로 增加되었다. 世界人口의 增加와 그에 따라 必要로 되는 식량에 의해 생각해 볼때, 2000年度の 질소질 必要量은 예상했던 使用量인 165m,m,t,p,a를 증가할 것으로 보인다.

이 數値는 現행의 소비를 실제로 감소시키는 價格을 包含한 現實的 要因들을 參照하여 결정되는 것이다.

그때까지는 인류에 의한 窒素固定 率은 自然的인 地球上的 窒素固定率을 아마 증가하게 될 것이고, 이것에 의해 전세계의 窒素循環은 다소 重要될 것이다.

또한, 그때까지 化學적 手段에 의해 工業적으로 제조되어지는

< 그림 5 . > 년간 질소질비료의 使用 1950年부터 2000年까지



無機質 窒素肥料들이 인위적으로 자극되는 micro - organisms에 의한 自然的固定에 굴복한다 하더라도 일산화질소 放出面에서의 効果는 매우 다르지는 않다는 점을 잊지 말아야 할 것이다 .

오존은 얼마만큼 고갈되었나?

窒素固定率을 높임으로써 大氣中の 일산화질소수준이 증가되어지는 정도에 대해 믿을만한 量的인 推定을 現狀態에서 할 수 없는것 같이 오존의 고갈정도를 예보하는 것도 現狀態에서는 不可能하다 .

그럼에도 불구하고 窒素固定은 增加하게 되어있으며 그것으로써 일산화질소의 많은 量은 大氣中으로 放出된다 .

이러한 결과들의 比率과 크기는 결정되어질 것으로 남는다 . 게다가 大氣中의 일산화질소 量의 增加가 地球전체의 오존층 상실을 유발한다 할지라도 일산화질소수준과 오존상실의 量的인 관계에 대한 적절한 推定을 할 수 있게 되었다 .

지금은 오존층이 3년전에 생각되어졌던 것만큼 일산화질소수준에 있어서의 增加에 대해 민감하다고 생각되어지는 않지만 , 일산화질소수준이 두배가 되면 오존의 농도는 5-10% 떨어질 것으로 예상되고 있다 .

이것은 오존이 1%씩 상실되면 지구에 도달하는 太陽의 자외선을 2%~3% 增加시키게 됨으로써 오존의 效果面에서 중요한 것이다 . 더우기 오존의 분포에 있어서의 어떤 변화는 높은 高度의 바람에 영향을 미치게 될 것이고 오존층에 대한 일산화질소의 영향을 고려하지 않더라도 지구의 기온에 있어서의 변화와 기후의 변화는 일산화질소 농도가 짙어짐으로써 결과되어질 것이다 . 일산화질소의 농도가 2배가 되면 , 지구의 평균기온은 약 0.5℃ 높아지게 될 것이다 .

공기중의 일산화질소 量이 두배가 되는데 걸리는 시간에 대하여서는 우리는 現狀態에서는 단지 속고할 수 밖에 없다 .

최근 , 공기중에는 15億 tonnes의 N_2O 가 있다고 측정된다 . 그래서 總 脱窒素이 1억 5천万 t,p,a였을때 모든 脱窒된 窒素가 일

일산화질소로 바꾸어진다면 空中窒素를 2 배로 되게 하는데는 10년 밖에 걸리지 않을 것이다. 다행히 그럴 가망은 없다.

단지 그 脱窒의 적은部分만이 일산화질소로 될 것이다. 그것은 10% 정도일 것이지만 脱窒이외에 일산화질소를 형성하는 다른 중요한 경로가 있을 것이다.

이러한 질문들에 해답을 하기위한 研究들이 현재 토양학, 해양학 大氣學들 내에서 진행되고 있다. 공기중의 일산화질소 농도는 1970年代동안 눈에 띄이게 增加하지는 않았다. 그러나 1975년 1976년, 1977년과 1960年代의 다른 짧은 기간에 대한 좋은 資料가 있다. 앞으로 10년이나 20년동안 간파할 수 있을만치 그 농도가 증가되지는 않을 것이다. The Fertilizer Institute 와 같은 집단들은 다른 분야에 있는 研究者들 사이의 커뮤니케이션을 촉진시키고 있는데 이것은 중요한 일인것이다. 예를들어 肥料와 動物배설물의 경제학이 변함으로써, 새로운 양식의 使用法이 發展될 것이다. 실로, 한번 폐기된 窒素배설물은 현재에도 再使用되고있다. 그리고, 일산화질소와 오존의 고갈이 연결되고 있음이 명백함으로 脱窒이 얼마나 增加될 것인지 또 그것이 生成할 일산화질소의 추가량이 얼마나 될 것인지 이러한 긴요한 문제들이 해답되어질 때까지 철저한 경제를 해 나가야 할 것이다.

Source : Nitrogen, No.112 March/April 1978