

# 地球環境과 農業·農業土木

全 禹 亨\* · 穴 瀬 眞\*\*  
 (\*安城産業大學校 農村開發學科 \*\*東京農業大學 綜合研究所)

1972年 「Only One Earth=돌도 없는 地球」라 하는 슬로건을 걸고, 스웨덴의 스톡홀름의 UN人間環境會議는 환경보전을 호소하였다. 그 호소에도 불구하고 70년부터 80年代에 걸쳐 石油危機와 先進國의 不황으로 환경문제의 관심에 제동을 걸었다.

그간 환경문제는 날로 악화되어 오존층의 파괴, 지구의 온난화, 열대림 문제등 인류의 존재까지도 위협하는 현상이 서서히 나타나게 되었다.

국제會議가 開催되나 있다.

그리고 1992年 6月 브라질에서 지구 頂上 회의가 개최되어, 그곳에서 지구를 지키기 위한 氣候溫暖化, 生物多樣化, 地球憲章 등에 대하여 국제적 결정을 검토했다. 오늘날 메스컴에 환경문제가 대두되지 않는 날이 없을 정도이다.

이와같이 지구환경은 중요한 시기를 맞아, 여기에 지구 규모의 문제점을 열거하여 이러한 제반문제가 농업과 어떠한 관계가 있는가를 알아보고 농업·농업토목의 입장에서부터 고찰을 해보려 한다 그림. 1은 지구 규모의 환경문제를 정리하고 그 상호 관계를 나타낸 것이다.

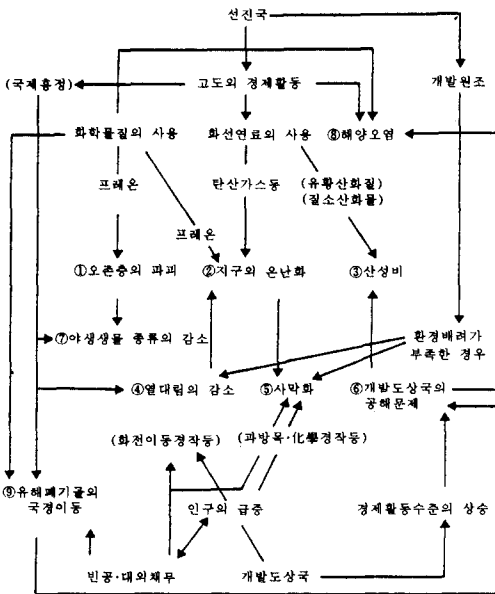


그림. 1. 지구환경문제의 상호관계

따라서 이러한 위기감을 극복하고 지구와 인류를 지키기 위한 긴급 과제를 가지고 각종

## 1. 地球의 溫暖化

지구의 온도는 太陽으로부터의 日射에너지와 지구가 우주를 향해서 내뿜는 熱輻射와의 균형에 의해 결정된다. 태양으로부터 일사는 대부분 可視光 部分이며, 大氣를 통해서 지표면에 흡수된다. 가시광을 흡수하고 가열된 지표면은 赤外線영역의 熱輻射를 한다.(그림. 2 참조)

그러나 大氣중에는 赤外線輻射를 흡수하는 온실효과 가스가 존재하고 지표면으로부터 열을 흡수한다. 흡수된 열은 지표면의 아래 방향으로 輻射된다. 결국 이와 같은 日射에 더하여 대기로부터 아래방향으로의 복사도 있으므로, 지표면은 보다 높은 온도가 된다.

이 대기의 역할을 온실효과라 한다. 이 온실효과를 만드는 대기중의 가스濃도가 인간활동에 의해 상승하고, 지표면의 온도가 올라간다. 이것이 지구의 溫暖化이다.

이와같이 지구를 둘러싼 대기가 비닐하우스의 비닐과 같은 역할을 하고, 지구전체를 온실과 같이 따뜻하게 한다.

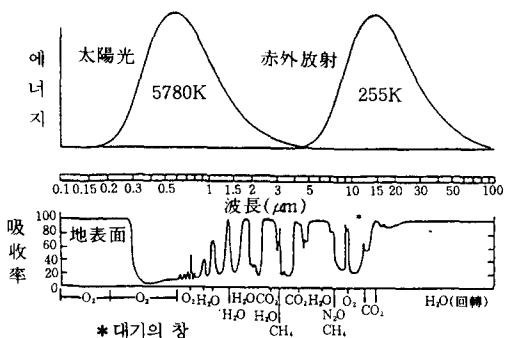


그림. 2. 방사에너지의 분포와 대기의 투과율

이 대기의 電磁波吸收의 상태를 그림. 2에 나타냈다.

이 온난화에 기여하는 온실효과 가스는 그림. 3과 같다. 온실효과 가스중 온난화로의 주체적 역할을 하는것은 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)이며,

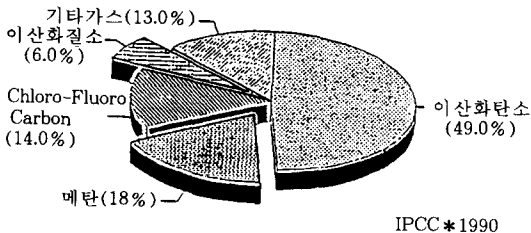


그림. 3. 각 온실효과 가스의 지구온난화에 기여  
※ 기후변화의 정부간 토론회

이산화탄소의 대부분은 化石燃料의 消費에 의해 생기는 것으로 생각할 수 있다.

이 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 時代的인 농도변화의 경향을 그림. 4에 나타냈다. 산업혁명이후 대기중의 CO<sub>2</sub>농도는 상승하기 시작하여, 이 100년사이에 25%가 증가했고, 특히 최근에는 매년 1.5ppm씩 증가하고 있다. 인간이 손을 대기전의 자연상태에서는 CO<sub>2</sub>의 농도는 275 ppm 전후 이었던것이, 森林의 耕地化 등에 의해 상승하고, 또한 化石연료의 소비가 증가해서 급격한 상승이 되었으며 불과 200년사이에 현재 약 350ppm이 되었다고 이야기 하고 있다.

CO<sub>2</sub>등의 온실효과 가스가 늘어난 경우에 실제 어느정도 온도가 상승할까의 문제는, 온실효과의 영향을 이해하는데 중요하고, 많은 연구가 발표되어 있지만, 현재 CO<sub>2</sub>농도의 2배 증가에 의한 평균온도의 상승은 3° ± 1.5° 정도로 알려져 있다.

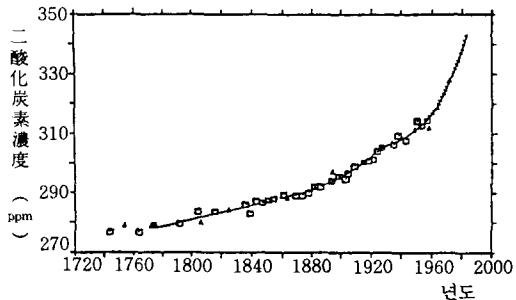


그림. 4. 이산화탄소 농도의 증가경향

이 온난화에 의해 어떠한 영향이 農業生産, 生態系에 나타나는가를 고찰한 것은 그림. 5와 같다. 이 그림과 같이 온난화에 따라 生物과 주변환경에 여러가지 영향이 발생하는 것을 알 수 있다.

인간활동에 의한 CO<sub>2</sub>의 排出 발생원을 나타내면 그림. 6과 같이 化石연료이용에 의한 것이 약 70% 정도로 거의 대부분을 점하고 있다. 이 가운데는 공장, 자동차등의 배출가스가 주요인이지만 본고에서는 농업적측면에서

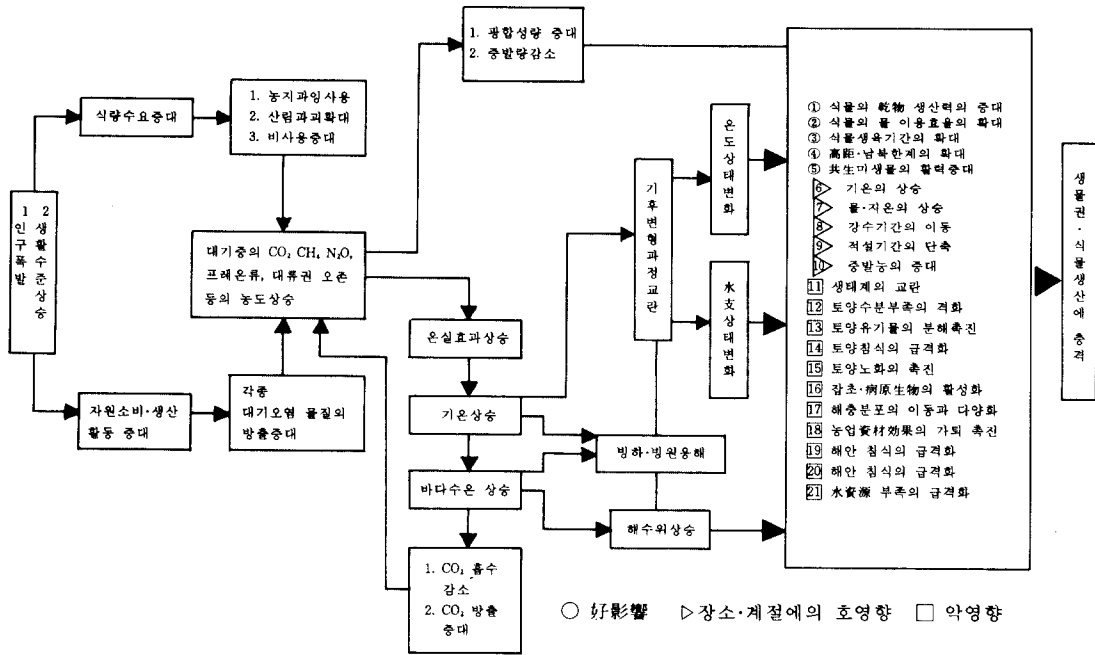


그림. 5. 대기조성과 지구기후의 인위적변화와 식량생산·생태계의 영향

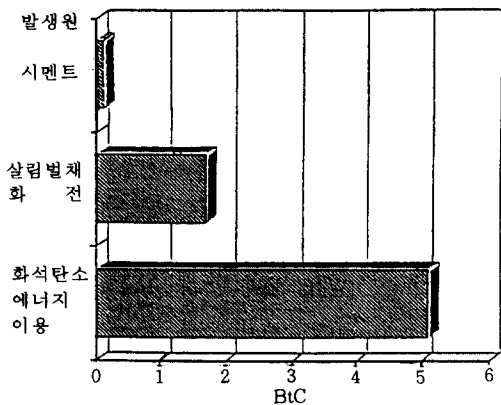


그림. 6. 인간활동에 의한 이산화탄소의 배출

만 고찰하고자 한다.

농업에 있어서 化石에너지의 문제는 1973年 제1차 석유파동때 미국 코넬대학의 피넨텔 박사등에 의해 연구가 시작된 이후 많은 분석 결과가 나와 있다(문헌 3, 內嶋의 연구에 의함)따라서 에너지산출/투입비는

[에너지산출/투입비]=

$$\frac{[\text{可食部의 발열량}]}{[\text{투입자재-노력에너지량}]}$$

으로 算出하고, 다음 표. 1은 농업생산에 의한 에너지 投入과 産出의 비를 비교한 것이다.

표-1. 농업생산의 에너지산출/투입비

농업생산의 종류	산출/투입비
화전이동농업	65
자급농업(벼+두류재배)	41
옥수수재배(조방)	30
보리+근대재배	2.5~5
벼재배(일본)	1~2
기계화감자재배	1.6
과수+야채재배	0.1~1.0
우유생산	0.4~0.5
계란생산	0.2
집약적 가정육계생산	0.1

근대 농업은 土地, 勞動生産性を 비약적으로 증대시켰지만 [에너지산출/투입비]는 현저히 저하하고 있다. 그리고 현재의 高生産性 農業은 석유에너지에 의해 의지하고, 농업도 化石 연료를 대량으로 소비하고 있다. 이것으로부터 에너지원의 전환이 필요하게 된다.

지금까지 온난화에 대하여 効果가스로서 主體적 역할을 하는 CO<sub>2</sub>를 중심으로 논하였지만, 다음에 CO<sub>2</sub>에 이어서 중요한 溫室效果氣體는 CH<sub>4</sub>(메탄)이며, 근래 현저한 증가 경향을 나타내고 있다. 그것은 그림. 7과 같이 매년 1%의 비율로 증가하고 CO<sub>2</sub>의 증가율 4%에 비하여 급격한 증가율을 나타내고 있다. 이 發生源의 내역은 표. 2와 같이 논, 저습지, 목재의 연소 등이 주요한 發生源으로 되어있다.

이중 논에 의한 CH<sub>4</sub>발생의 기구는 표. 3에 나타난것과 같고, 논 的 湛水 조건 아래에서 CH<sub>4</sub>發酵의 메카니즘이 확실히 나타나 있다.

CH<sub>4</sub>발효에 관한 논 토양의 生育환경정비로서 토양의 환원억제를 생각할 수 있고, 落水의 조기화, 乾畚化, 中間낙수, 間斷관계, 암거배수 등의 대책이 있다. 이들의 기술이 CH<sub>4</sub>발생의 억제에 연결 되는 것으로 생각할 수 있다.

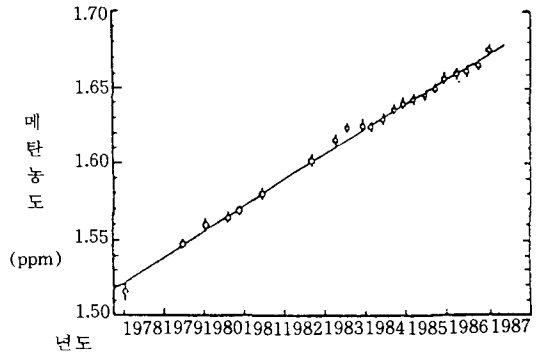


그림. 7. 메탄농도의 변화

표-2. 각종발생원으로부터 메탄발생량

	(10 <sup>6</sup> 톤 炭素/年)
논	60~140
저습지	60~160
매립지	30~ 70
해양, 호소, 기타(생물기원)	15~ 35
반추 동물내장	66~ 90
시로아리	2~ 42
천연가스채굴	30~ 40
석탄채굴	35
목재의 연소	55~100
기타(비생물기원)	1~ 2
합 계	337~714

표-3. 담수 토양의 환원과정과 미생물

담수후 의경과 일수	물질 변화	반응이 일어나는 토양 Eh <sub>v</sub> (V)	CO생성	미생물의 대사형식	유기물의 분해형식
초 기	분자상태의 산소의 손실	+0.6 ~+0.3	활발히 진행한다	산소호흡	호기적·반혐기적 분해과정
	질산의 손실	+0.4 ~+0.1		아초산형 및 탄질형의 질산환원	
	Mn(II)의 생성	+0.4 ~-0.1		Mn(IV,III)의 환원	
	Fe(II)의 생성	+0.2 ~-0.2		Fe(III)의 환원	
	S(II)의 생성	+ 0 ~-0.2		황산환원	
후 기	CH <sub>4</sub> 의 생성	-0.2 ~-0.3	완전히 생성하지 만 정체없이 감소한다	메탄발효	혐기적 분해과정

## 2. 오존층의 破壞

그림. 8은 오존(O<sub>3</sub>)층의 분포를 나타낸 것으로서 주로 成層圈에 분포하고 있다. 이 대기중의 O<sub>3</sub>는 微量成分이지만, 지구환경을 현상대로 보전하기 위하여 중요한 역할을 하고 있다.

첫째의 역할은 오존층이 太陽光으로 부터 紫外線을 차단하는 장애물이 되는 것이다. 태양광으로부터 자외선은 그림. 9에 나타낸것과 같이 오존층의 존재에 의해 地上에 도달하지 않는다. 이 290nm以下の 자외선은 核酸 등의 중요한 生體物質에 손상을 주는 것이다.

두번째의 역할은, 기후에 관한 것으로서 오존층이 성층권 상부를 뜨겁게하는 히-타의 역할을 하고 대류권과 달리 안정된 기상조건을 구성하고 있는 것이다.

1973년 말에 미국의 化學者 로란도는 人工 化合物질 프톤[-11, CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>]이 성층권에서

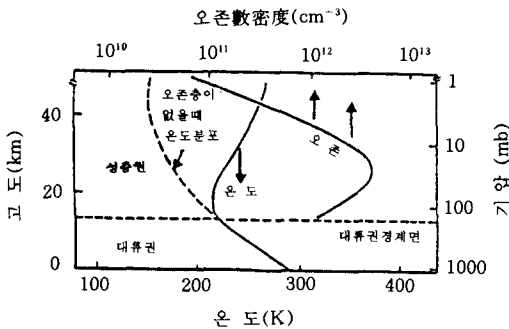


그림. 8. 대류권과 상층권-온도와 오존분포

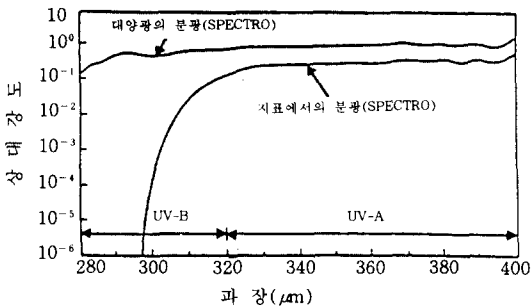


그림. 9. 지구대기를 통과하기전의 태양광 분광과 지표에 있어서의 분광

분해되고, C<sub>l</sub>이 오존층을 파괴한다고 하는 증대한 사실을 발견하였다. 이것이 오존층의 파괴이다.

이 오존층 파괴의 主役은 프톤이지만, 농업에 관계있는 것으로서, 수입농산물의 훈증(燻蒸)이나 밭의 토양처리제 등에 폭 넓게 쓰여지고 있는 브롬화메칠도 오존층 파괴의 한 원인으로 되어 있다. 브롬화메칠로부터 분해된 브롬(Br)이 프톤과 함께 오존층을 파괴하는 것으로 밝혀졌다. 현재 브롬화메칠 削減의 기술개발이 이루어지고 있다.

## 3. 開發途上國에 있어서 人口의 爆發的 增加

80년대부터 85년에 걸쳐 年평균 人口증가율은 世界平均 1.7%, 선진지역에서는 0.6%, 개발도상국에서는 2.1%이었다. 이 도상지역의 증가률이 이대로 가면, 약 33년간에 지역의 인구는 배가 증가하게 된다.

이와 같이 二極構造를 가진 세계인구의 증가경향은 앞으로도 계속되리라 생각된다. 표. 4에의하면, 1985년부터 2025년의 40년간에 36억의 人口증가가 예상되고, 그것을 선진지역과 도상지역으로 나누면, 95%는 도상지역에, 5%가 선진지역에서의 증가로 되어있다.

이와 같이 발전도상국에 있어서 人口증가는 환경문제에 큰 영향을 미친다. 그 모델의 그림은 그림. 10과 같고, 人口의 폭발적 증가가 다음에 이야기되는 여러가지 환경문제의 최대 背後要因이라고 볼 수 있다.

## 4. 熱帶林·野生生物 種類의 감소

17세기이후 유럽을 시작으로 各國에서 막대한 면적의 森林이 伐採되어 왔다. 예를 들면 프랑스에서는 전에 80%이었던 산림이 14%로 감소했다. 미국에서는 산림면적이 오래전에 3분의 2로 감소되었다고 이야기하고 있다.

표-4. 주요지역별로 본 인구의 추리

지역	인구수(백만인)			증가수(비율)	
	1950년	1985년	2025년	1950~1985년	1985~2025년
세계	2,515	4,854	8,467	2,339(100.0%)	3,613(100.0%)
선진지역	832	1,174	1,352	341(14.6%)	178(4.9%)
도상지역	1,683	3,680	7,114	1,997(85.4%)	3,434(95.1%)
아프리카	224	557	1,581	333(14.3%)	1,024(28.3%)
아시아	1,291	2,713	4,761	1,423(60.8%)	2,047(56.7%)
라틴아메리카	165	404	760	238(10.2%)	357(9.9%)
오세아니아	3	6	12	3(0.1%)	7(0.2%)

주) 선진지역에는 유럽전지역, 북아메리카, 일본, 오스트리아와 뉴질랜드, 구소련이 포함된다. 도상지역에는 아프리카의 전지역, 라틴아메리카 전지역, 일본을 제외한 아시아지역 및 미쿠로네시아, 메라네시아, 보리네시아.

- 1) 일본을 제외
- 2) 오스트리아와 뉴질랜드 제외

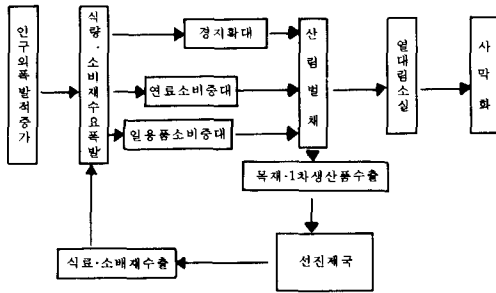


그림. 10. 열대림消失의 모델

그러나 표. 5에서 보는바와 같이 이들 선진제국의 산림면적은 현재로서는 안정하다고 볼 수 있고, 산림면적의 감소는 거의 열대림에서 일어나는 것으로 예측되어 있다.

현재 열대림은 火田, 過放牧, 薪炭材의 過伐, 商業用 伐採 등에 의하여 연간 1,130萬 ha가 감소하고 있다고 이야기 하고 있지만, 이 배후에는 인구의 폭발적 증가가 따르고 이것은 앞에서 살펴본 바와 같다. 상업용 목재의 벌채에 우리 나라도 무관하지 않으며, 산림자원이 좋지 않은 우리 나라로서는 많은 재원을 수입에 의존하지 안될 형편이지만 대체재료 개발에 힘을 기울여야 된다고 본다.

특히 일본의 예를 들어보면 심각하다고 생각된다. 일본은 현재 세계 목재 수입량의 4분

의 1을 수입하는 수입국으로서 특히 라왕 원목의 52%(제 1위), 각재로는 제 2위를 차지하는 수입국으로서, 동남아시아, 필리핀, 인도네시아의 산림을 자르고, 말레이시아의 산림을 잘라넘기고 있다.

산림국인 일본은 자기나라의 나무는 그대로 두고, 몇백년에 걸쳐 키운 동남아시아의 나무를 쓰러뜨리고 있다. 일본이 산목재를 사들여 그 영향으로 열대림의 파괴를 일으키고 있는 모순으로, 자연파괴의 회생을 볼 수 있다.

열대림의 감소에 따른 동·식물 종류의 絶滅도 또한 큰 환경문제이다. 열대림은 수만~500만 종의 생물이 살고 「씨의 寶庫」라 불리고 있다. 세계 生物數의 40~50%가 열대림에 살고, 열대림은 또한 세계의 遺傳子資源의 寶庫이기도하다. 지구의 긴 역사 중에 어느 생물의 자연생태계의 짜임새를 유지하는 역할을 가지고 있고, 생물종류의 다양성 유지가 없으면 인류의 생존에도 문제가 생긴다고 할 수 있다.

세계 식량의 85%는 8가지의 품종이지만, 그 원래의 종류는 어느것도 열대림의 식물이며, 의약품 속에는 열대 식물로부터 만들어지는 것도 있다. 열대림은 후대에 남겨야할 재산이기도 하다.

표-5. 세계의 산림면적동향예측

(단위 : 100만 ha)

지역	1978년	2000년
소련	785	775
유럽	140	150
북아메리카	470	464
한국, 일본, 뉴질랜드 오스트라리아	75	74
(소계)	(1,470)	(1,463)
라틴아메리카	550	329
아프리카	188	150
아시아·태평양지역	361	181
(소계)	(1,099)	(660)
합계	2,569	2,23

### 5. 砂 漠 化

현재 乾燥地域을 중심으로 사막화가 진행되고 있고, 매년 사막화 면적은 600만 ha에 달한다고 보고되고 있다. 사막화라는 것은 「土地가 가진 生物生産력이 감퇴하면서 파괴되어 종국적으로 사막과 같은 상태를 가져오는 과정이다」로 정의되고 있다. 사막화에 의한 토지황폐의 과정은 植被의 貧弱化·감소에 따른 생물생산력의 감퇴, 물과 바람에 의한 토양침식, 토양유기물과 營養含有量의 감소, 토양구조의 劣惡化, 토지생산성의 저하, 토양단면중의 鹽類集積으로 되며, 최후에 사막의 양상을 가져다 준다고 한다.

UNESCO가 작성한 世界乾燥地分布圖에서는 건조지역을 乾燥度指數와 P/E<sub>0</sub>의 値에 기초하여 분류하고 있다.

여기에는 P는 年평균 강우량, E<sub>0</sub>는 펜만(Penman)식으로부터 蒸發散位이다.

농업적 측면에서의 사막화요인으로서의 다음의 4가지를 들 수 있다 과잉경작, 과잉방목, 과잉벌채, 그리고 부적절한 灌溉이다. 이들 요인의 배후에는 전술한 급속한 인구증가에 따

른 압력으로부터 급속한 식량생산이 필요하게 되며, 그것에 따라서 사막화에 박차를 가하게 된다.

다음 그림. 11은 植物被覆度の 저하에 따른 降雨流出量의 증대, 그것에 따른 토양침식을 나타낸 것으로서 사막화의 과정에 있어서 필연적으로 일어나는 과정이다.

먼저 사막화의 요인으로서 부적절한 관개에 의한 鹽類集積 현상으로 생각해도 좋다. 관개는 생산량을 증가시키고, 사막화를 방지하기 때문에 灌溉農法이 주로 시행되어 왔다. 그러나 부적절한 물 관리에 의해 중요한 수자원의 고갈이나 토양의 염류화를 초래하여 사막화를 진행시킨다.

건조지의 지하수는 더더욱 鹽分濃度가 높고

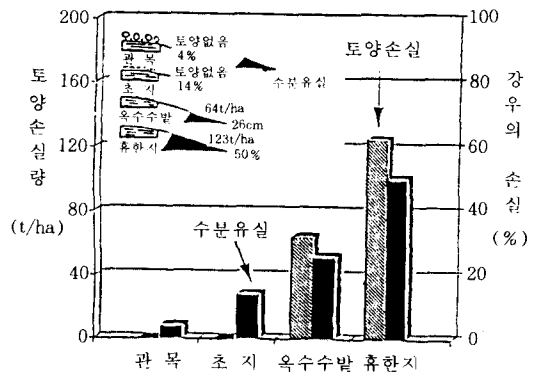


그림. 11. 식물피복도와 토양침식 및 강우유실

4,000~5,000ppm, 높으면 6,000ppm의 경우도 있다. (日本の 河川水에서는 70ppm정도) 이 高鹽分濃度의 물이 모여 증발하면 지표에 소금이 분류되어 나오고, 鹽類土壤으로 되어, 사막화로 진전한다.

또 乾燥地에서는 灌溉에 의해 물이 下層의 소금을 용해시키고, 그 수분이 毛管上昇하고 표층의 급격한 증발에 의해 鹽類를 放出시켜 사막화하는 경우도 있다.

이와같이 灌溉와 鹽類化의 관계를 나타낸 것이 그림. 12이다. 어느것도 灌溉에 있어서 빈

틈없는 계획이 요구되며 예를들면 排水, 혹은 유달시간을 충분히 행하는 등의 조치가 필요하게 된다. 이러한 사막화의 대응으로서 먼저 綠化를 생각할 수 있다. 그것을 위한 灌溉農業에는 수자원의 확보가 필요하며, 수자원으로서 河川水, 地下水 利用을 생각할 수 있다.

하천수이용에는 대규모적인 水利事業으로 행하여 지는 것과 소규모적인것이 있지만, 하천수는 일반적으로 水量이 풍부하고, 염분을 그다지 함유하고 있지않다. 그러나 下流水에서는 水質이 惡化되어 있는 경우가 있다.

지하수 관개는 深管井, 橫管井式의 관개체계가 있다. 또 集水方式으로서 地下댐이 있다.

일반적으로 乾燥地의 관개에는 적절한 물관리가 필요하며 適量灌溉, 排水對策에 노력할 필요가 있지만, 특히 鹽類對策, 귀중한 수자원

harvesting」의 기술이 필요하게 된다. 넓은 導水지역으로부터 물을 작은면적의 圃場에 이용하는 것으로 이스라엘 등에서 발달되어 있다.

따라서 물의 효율적 이용으로서 농림업 진흥사업 등의 적용도 의의가 있다. 休閒農法도 降雨의존형 농업에서는 중요한 기술이며, 멀칭(mulching)에 의한 蒸發散防止도 빗물의 효과적 이용으로서 의의가 있다.

건조지 농업에서는 토양의 염류화 방지에 대하여 필연적으로 고려할 필요가 있다. 이제까지 暗渠 배수로 지하수위를 낮추고 또 경작층 밑에 空隙이 큰 資材를 매설하여 毛管水를 차단하는 등의 방법이 행하여 왔다. 또 심한 증발산을 억제하여 鹽類集積을 방지하는 의미로서 멀칭도 효과적이다.

사막화 방지는 극히 의의있는 일로서 사막화 대응의 프로젝트(project)가 日本農業土木學會誌(1991年 7月號)에 소개되어 있지만 이러한 연구야 말로 農業土木에 종사하는 기술자로서는 지구적 초대형 프로젝트(Global·Super project)일 것이다.

### 參 考 文 獻

1. 田中正之: 溫暖化する地球, 讀賣科學選集 23
2. 大來佐武郎監修: 地球規模の環境問題, 中央規模
3. 內嶋善兵衛: ゆらぐ地球環境, 合同出版
4. 小山雄生: 土の危機, 讀賣科學選集27

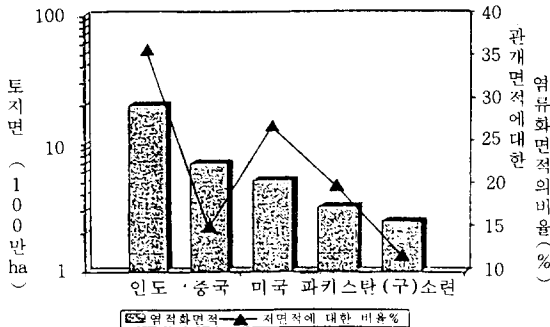


그림. 12. 각국의 관개면적과 염류화의 비율

의 이용법으로서 点滴灌溉 등이 중요한 의미를 가진다.

降雨依存型 농업을 위해서는 빗물을 효율적으로 이용하는 것은 대단히 중요하며 「water