

海外農業資料 4

食糧과 에너지와 農業廢棄物處理

金正夫 編譯
李廣遠

데이비드 피멘탈

世界の 食糧 에너지 人口 및 環境…… 1

로웰 힐/스티브 에릭슨

農業 에너지 확보의 經濟的 制約…… 10

코드 티첸

유럽의 바이오가스 開發史…… 27



韓國農村經濟研究院

RP 2233

解題

세계의 급격한 人口增加에 따라 食糧의 増産이 요청되고 있는 오늘날 世界는 食糧生産을 위한 化石 에너지의 불안정한 供給, 점차 확산되고 있는 환경의 파괴와 같은 심각한 문제에 직면하고 있다. 이와같은 문제를 검토하기 위해 美國의 코넬大學은 1975년 農業廢棄物 管理會議를 열고 그 會議錄을 발간하였다.

이 책에 소개한 글들은 이 會議의 會議錄 「Energy, Agriculture and Waste Management」중에서 코넬大學의 데이비드 피멘탈教授의 「World Food, Energy, Man and Environment」와 로웰 힐, 스티브 에릭슨 教授의 「Economic Restraints on Reallocation of Agricultural Energy」, 西獨 Institut für Pflanzenbau and Saatgutforschung의 研究員 코드 티첸氏의 「Frow Biodung to Biogas — Historical Review of European Experiment」를 번역한 것이다.

피멘탈教授의 論文은 世界가 人口過剩과 環境資源의 制約으로 인하여 食糧의 적절한 供給能力을 급속히 상실해 가고 있다는 것을 지적하고 있다. 특히 막대한 化石燃料를 소비하는 美國의 農法을 소개하고 美國의 農法을 이용하여 全 世界人口에게 美國人의 平均食事 水準의 食品을 제공할 경우 현재 알려진 石油埋藏量은 13年分에 지나지 않다는 사실을 밝혔다. 또 耕地面積의 制約도 중시한 피멘탈教授의 글은 끝으로 현재 世界人口는 우리가 이용 가능한 에너지 資源과 土地資源을 가지고 美國人의 食生活 水準으로 食品을 공급할 수 있는 人口密度를 넘어섰다는 결론을 내렸다.

두번째로 실은 로웰 힐과 스티브 에릭슨의 글은 피멘탈教授의 주장과는 달리 食糧生産에 소요되는 에너지는 다른 부문에서 소비하는 에너지량에 비하여 지극히 미미한 양에 지나지 않으므로 일반 消費財를 생산하는데 투입되고 있는 만큼의 에너지를 食糧生産에 投入할 수 있다면 食糧問題는 해결될 수 있다는 주장을 펴고 있다. 에너지 效率을 증가시키기 위한 投入物의 절감이나 投入代替, 새로운 에너지源의 開發, 消費習慣의 변화는 經濟

的, 社会的, 政治的 費用이 뒤따르기 때문에 현재의 食糧生産 体制가 가장 合理的이고 經濟的이라는 주장이다. 化石燃料 1 cal를 절약하기 위하여 6 cal의 食糧을 생산하지 못한다면 人類의 食糧問題는 해결될 수 없다는 것이다.

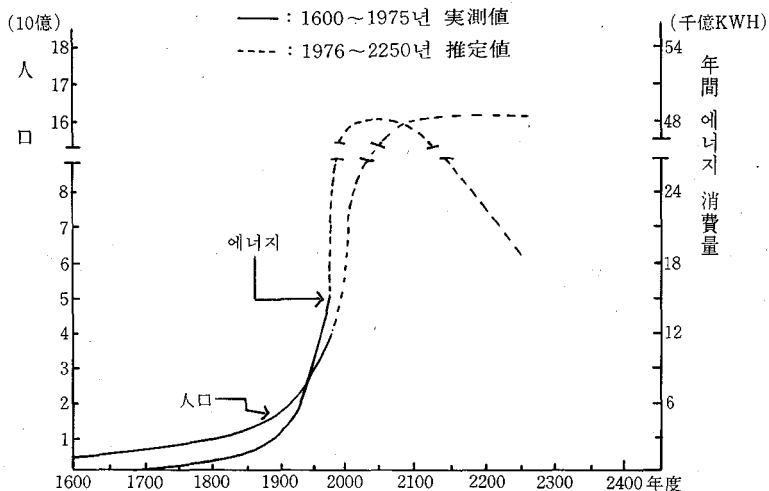
끝으로 코드 티켄의 글은 에너지危機 이래로 주목되고 있는 可燃性 메탄 개스를 유럽에서 開發해 온 역사적인 과정을 소개한 것이다. 그는 메탄개 스 發生施設의 필요성은 經濟的인 측면에서 評價될 것이 아니라 農業廢棄物의 효율적이고 위생적인 처리를 위해서도 고려되어야 한다는 結論을 내리고 있다.

세계의 食糧 에너지 人口 및 環境

데이비드 피멘탈

오늘날 세계는 人口過剩과 環境問題의 制約 때문에 食糧의 적절한 供給能力을 급속히 상실하고 있다. 현재의 세계 인구는 약 40億에 달하고 있다. 몇몇 국가에서 出生率이 減少하고 있지만, 지금과 같은 人口增加率을 기준으로 国立科学院(National Academy of Sciences Committee)이 将来의 人口를 計測한 結果, 서기 2000년에는 세계 인구가 약 70億에 달할 것으로 추정하였다<圖 1>. 国立科学院은 이와 같은 폭발적인 人口增加를 멈추게 할 수 있는 가능한 방법이 현재는 없다는 結論을 내렸다.

圖 1 世界の 人口增加와 에너지 消費趨勢 및 予測(1600~2250)



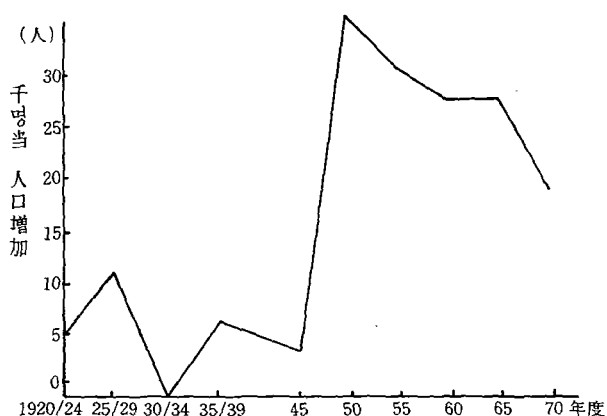
지금부터 2000년전 지구 상에는 美国人口 密度와 비슷한 약 2億 안팎의 인류가 생존했었다. 그 후 世界人口는 1650年代에 약 5億에 불과 하다가 얼마후인 1700年代 이후부터 폭발적으로 증가하기 시작하였음을 <圖1>에

서 알 수 있다.

世界人口의 급속한 증가와 化石燃料의 指數的인 이용이 동시에 일어나고 있음을 주목해야 한다. 삶의 質의 개선과 더불어 일부 化石 에너지는 인류의 질병 퇴치와 인류에게 충분한 식량 공급을 위한 농업생산 개선에 이용되었다. 효율적인 人類의 질병 퇴치와 食糧増産은 모두 현재의 급속한 人口増加에 크게 기여하였다.

이들 요인 가운데서도 효율적인 公衆保健衛生事業에 의한 死亡率減少가 人口増加의 가장 큰 원인이며, DDT와 살충제에 의한 말라리아 모기의 박멸이 그 좋은 예이다 (生産과 施用에 所要된 실질적인 에너지 양에 주목해야 한다). 세일론에서는 DDT를 살포한 결과, 1946~47년의 死亡率은 DDT 사용전의 年間 1,000명당 20명에서 14명으로 下落하였다. 모리셔스의 경우 年間 死亡率은 DDT 사용 전의 1,000명당 27명에서 사용 후에는 15명으로 減少하여 人口는 DDT 사용전의 5,000명에서 35,000명으로 증가하였다(圖 2).

圖 2 모리셔스의 人口増加 趨勢(1920~1970)



〈圖 2〉에 의하면 모리셔스에서는 1920~45년 사이의 人口増加率は 人口 1,000명당 5명이었으나, 말라리아에 대한 방역이 이루어진 1945년 이후에는 人口 1,000명당 35명으로 크게 増加되었다가 서서히 減少되고 있다. 25년이 지난 지금의 増加率は 1920~1945년 수준의 약 4배에 달하고 있다. 그 동안 세일론이나 모리셔스의 出産率は 모두 減少되지 않고, 인구는 폭

발적으로 증가 하였다. 최근의 자료에 의하면 医療技術과 의약품의 발달로 사망율이 크게 감소된 국가에서도 그와 비슷한 결과가 나타났다. 이러한 사실은 상대적으로 公共保健衛生政策으로 死亡率은 감소시킬 수 있으나 出生率은 변화시키기 어렵다는 것을 말해 준다. 出生率은 사회와 宗教制度와 깊은 관계를 가지고 있다.

세계 인구의 증가로 여러 곳에서는 狩獵採取經濟를 더 이상 지탱할 수 없게 되었고, 이로 인해 보다 영구적인 營農法을 개발하게 되었다. 첫 번째로 채용한 技術이 나무나 덩굴을 베어내고 그 자리를 불태우는 火田農業이다. 火田農業은 나무나 덩굴을 베고 그 자리를 불태워 잡초를 제거하고 土壤의 肥沃度を 높인다. 火田農業에 의한 作物生産은 土壤의 肥料分이 고갈되기 전 몇 년간은 매우 좋다. 火田農業으로 營農을 한 후 그 곳을 다시 林野로 만들어 土壤의 肥沃度を 회복하게 하는 데는 약 20년이 걸린다.

火田農業에 의한 營農에는 도끼와 괭이 등 몇 가지 農機具와 상당한 人力이 소요된다.

이러한 사실은 멕시코의 옥수수 재배에 관한 루이스의 調查報告에서 밝혀졌는데, 그에 의하면 1 ha의 옥수수를 栽培하는 데는 총 1,144時間의 勞動이 소요되었으며, 勞動 이외의 投入物로는 도끼, 괭이 그리고 種子 뿐이다 <表 1>. 또한 과테말라의 옥수수 생산에서도 이와 유사한 資料가 수집되었다 <表 2>.

멕시코의 ha당 옥수수 生産量은 1,944kg으로서 이를 cal로 환산하면 약 6,842,880 kcal가 된다. 人당 1일 3,000 kcal를 供給한다면, 이는 6명

表 1 멕시코의 人力에 의한 옥수수生産에 대한 에너지 投入量

投 入	ha당投入量	kcal/ha
勞 動 ¹⁾	1,144hrs	622,622
도끼 및 괭이 ²⁾	16,500kcal	16,500
種 子 ³⁾	10.4kg	36,508
計		675,730
옥수수収量 ¹⁾	1,944kg	6,842,880
産出에너지/投入에너지		10.13

1) <表 4> 参照.

2) 도끼와 괭이는 중량이 23kg으로 假定, <表 3> 参照.

3) $10.4\text{kg} \times 3,520\text{kcal/kg} = 36,608\text{kcal}$.

이상의 熱量을 供給할 수 있는 生産量이다. 즉 이를 다른 말로 표현하면 옥수수를 한 사람에게 1년 동안 供給하는데 필요한 土地는 1/6ha가 되는 것이다. 또한 1/6ha를 營農하는 데 필요한 시간은 1人당 年間 190時間 또는 약 5週에 달한다.

耕地面積은 供給이 不足하

表 2 과테말라의 人力에 의한 옥수수 生産에 대한 에너지 投入量

投入物材	ha당投入量	kcal/ha
勞 動 ¹⁾	1,415hrs	770,114
도끼 및 쟁이 ²⁾	16,500kcal	16,500
種 子 ³⁾	10.4kg	36,608
計		823,222
옥수수収量	1,066kg	3,752,320
産出에너지/投入에너지		4.56

1) 土壤이 肥沃하지 못한 과테말라의 San Pedro Necta에서의 옥수수 생산량임, <表4>의 労働에너지 投入 参照.

2) 도끼와 쟁이의 무게는 23kg으로 假定, <表3>参照.

3) $10.4\text{kg} \times 3,520\text{kcal/kg} = 36,608\text{kcal}$.

다. 세계의 총토지면적 130억ha 가운데 耕作에 적합한面積은 7~10%에 불과한 것으로 추정된다. W.Paddock과 P.Paddock은 「사막은 아주 좋은 土壤일 수도 있지만 비가 내리지 않으며, 北極은 습기는 있으나 온도가 알맞지 않으며, 산악은 너무 기복이 심하여 못쓴다」고 지적하였다. 美国은 国土의 22%가 耕作에 적합하지만, 南

美는 全国土의 6%가 耕作에 알맞고, 南美 人口는 美国人口와 거의 비슷하다. 더우기 세계의 거의 모든 耕地面積이 耕作되고 있어, 美国, 캐나다 그 밖의 세계 도처에서 경작되지 않고 남아 있는 耕地面積은 현재의 耕地面積의 1% 정도에 불과할 것이다. 어느 나라보다 耕地面積이 큰 美国에서도 거의 모든 土地資源이 이미 生産에 이용되고 있다.

세계의 總土地面積 가운데서 耕地面積 이외의 나머지面積 가운데 약 22%는 畜産을 위한 牧場, 放牧地, 牧草地 등으로 이용되고 또한 30%는 林野가 차지하고 있다.

土地資源이 作物生産에는 지극히 중요함에도 불구하고 土地의 質은 급격히 나빠지고 있다. 그 예로서 美国의 경우 해마다 36億%의 土壤이 流失되는데, 이 土壤은 주로 河川, 貯水池, 또는 바다로 유입되고 있다. 流失되는 이 비옥한 表土는 주로 耕作地, 住宅地, 植物이 많이 자라지 않고 있는 다른 地域의 土壤이다. 건축 地域과 같은 裸地에서는 ha당 약 1,120%의 土壤이 유실되고 있으며, 옥수수 生産地域의 ha당 平均 表土 流失量은 44.1%에 달한다. 옥수수 産地인 아이오와州에서는 年間 ha당 平均 36%이 유실되고 있는데 이 州는 土壤流失量을 年間 11%으로 減少시키는데 目標을 두고 있다.

美国은 作物栽培를 위하여 글자 그대로 土壤을 남용하고 있다. 우리는 肥沃한 土壤을 언제까지 계속 남용할 것인가.

作物生産에 있어 水資源은 지극히 중요한 또 다른 資源의 하나이다.

1974년 美国 中西部地域의 旱魃은 물의 重要性을 인식시켜 주었다. 農作物을 栽培하기 위해서는 엄청난 양의 물이 필요한데 亞熱帶地方에서는 옥수수 栽培에 cm^2 당 약 122cc의 물이 필요하다. 이는 옥수수 栽培面積 ha 당 약 12.2萬 ℓ 에 달하는 양이다.

현재 世界耕地面積은 13%가 관개되고 있다. 灌溉法의 이용으로 世界の 可耕面積은 크게 增加될 수 있지만, 관개로서 生態系를 改造하자면 에너지를 필요로 한다. 물 1 ℓ 의 무게는 1.0kg이며, 作物栽培面積 1 ha 에 cm^2 당 122cc의 물을 공급하려고 깊어 90m의 地下에서 揚水하는 데는 약 2,060 ℓ 의 燃料(약 19.7萬 kcal)가 필요하다. 이와같이 灌溉에는 많은 에너지가 필요하기 때문에 灌溉를 한다고 世界の 栽培面積이 增加될지는 미지수이다.

앞에서도 언급한 바와 같이 人口增加에 따라 인류는 化石 에너지 資源을 활용해 왔다. 사실 에너지 사용은 人口增加보다 더 급속하게 증가하였다. 美国의 예를 보면 美国人口가 2배로 증가하는 데는 60년이 걸렸지만, 에너지 소비량은 지난 20년 동안에 2배로 증가 하였다. 지난 30년 동안에 세계 인구가 2배로 증가한 반면, 에너지 소비량은 지난 10년 동안에 2배로 증가했다는 사실은 더욱 놀라운 일이다.

食糧生産에 있어서 에너지 이용은 世界經濟의 다른 부문 보다도 급속히 증가해 왔다. 옥수수栽培를 하나의 일반적인 예로 들면, 옥수수 生産에 투입되는 에너지는 지난 25년 동안 3배 이상으로 증가되었음이 밝혀졌다(表 3, 4). 그런데 美国의 옥수수 생산을 위한 에너지 投入을 보면 1970년의 질소비료 생산에 投入된 에너지 消費量은 2,200,000 kcal 로서, 이것은 1945년에 사용된 총에너지 소비량과 거의 비슷한 양이었다는 것은 주목할 만한 사실이다. 그 밖에 1970년에 에너지가 많이 소비된 부문은 機械部門(1,037,400 kcal), 燃料部門(1,971,420 kcal), 乾燥部門(296,400 kcal) 그리고 電氣部門(765,700 kcal)으로 나타났다.

옥수수 건조는 1945년부터 1970년 사이에 에너지 소비를 크게 증가시킨 요인의 하나일 뿐만 아니라 부분적으로 옥수수增産의 요인이라 할 수 있다. 옥수수는 生育期間이 길어 태양 에너지를 많이 흡수하여 이를 穀物로 전환하기 때문에 가을 늦게까지 수확하지 못하여 옥수수를 건조할 기회가 없으

며, 따라서 貯藏하기 전에 건조시켜야 하는 것이다.

1970년 美國에서는 1ha의 옥수수 栽培에 7.1百萬kcal의 化石연료가 사용되었는데, 태양 에너지 投入에 비하면 매우 적은 양이다. 生育期間中 1ha의 옥수수 栽培地에 投射되는 태양 에너지는 약 5,046百萬kcal인데, 이 가운데서 약 1.2%에 해당하는 63.6百萬kcal는 옥수수 줄기로, 0.4%는 옥수수 낱알(ha當 6,272kg)로 전환된다. 그러므로 옥수수 생산에 태양 에너지 投入을 포함할 경우 化石연료에 의한 에너지 投入量 7.1百萬kcal는 옥수수 栽培에 投入되는 총에너지 投入量의 11%에 해당된다. 化石연료 投入에너지 kcal當 2.52kcal의 옥수수를 생산하는 좋은 收益은 부분적으로는 태양 에너지를 식물체로 전환시키는 效率이 높기 때문이다<表 4>. 대부분의 作物들은 태양에너지를 흡수하는 데 있어서 옥수수 보다 덜 효율적이다.

動物性蛋白質을 생산하는 데는 엄청난 양의 飼料에너지가 소요된다고 말할 수 있다. 예를 들면 1kcal의 쇠고기 단백질을 생산하기 위하여 소에게 먹여야 하는 飼料(곡물, 기타)의 양은 모두 123kcal에 이른다. 그러나 우유 단백질 생산은 훨씬 效率의이어서 1kcal의 우유 단백질을 생산하는 데는 22kcal의 飼料가 필요하다.

表 3 年度別 美國의 옥수수 生産에 대한 ha當 에너지 投入量

投入物材	1945	1950	1954	1959	1964	1970
勞 動(hours) ¹⁾	57	44	42	35	27	22
機 械(kcal) ²⁾	444,600	617,500	741,000	864,500	1,037,400	1,037,400
燃 料(liters) ³⁾	140	159	178	187	197	206
질 소(kg) ⁴⁾	8	17	30	46	65	125
인 산(kg) ⁴⁾	8	11	13	18	20	35
가 리(kg) ⁴⁾	6	11	20	34	46	67
중 자(kg) ⁵⁾	11	13	16	19	21	21
관 개(kcal) ⁶⁾	103,740	128,440	148,200	170,430	187,720	187,720
살 중 제(kg) ⁷⁾	0	.11	.34	.78	1.12	1.12
제 초 제(kg) ⁸⁾	0	.06	.11	.28	.43	1.12
건 조(kcal) ⁹⁾	9,880	34,580	74,100	163,020	247,000	296,400
전 력(kcal) ¹⁰⁾	79,040	133,380	247,000	345,800	501,410	765,700
수 송(kcal) ¹¹⁾	49,400	74,100	111,150	148,200	172,900	172,900
옥수수수량(kg/ha) ¹²⁾	2,132	2,383	2,572	3,387	4,265	5,080

1) ~ 12) : 附錄 參照.

表 4 美国 옥수수生産에 대한 總에너지 投入量

單位 : kcal

投入物材	1945	1950	1954	1959	1964	1970
勞 動 ¹⁾	31,022	23,947	22,859	19,049	14,695	11,974
기 제 ²⁾	444,600	617,500	741,000	864,500	1,037,400	1,037,400
연 료 ³⁾	1,339,800	1,521,630	1,703,460	1,789,590	1,885,290	1,971,420
질 소 ⁴⁾	140,800	299,200	528,000	809,600	1,144,000	2,200,000
인 산 ⁵⁾	25,520	35,090	41,470	57,420	63,800	111,650
가 리 ⁶⁾	13,200	24,200	44,000	74,800	101,200	147,400
종 자 ⁷⁾	77,440	91,520	112,640	133,760	147,840	147,840
관 개 ²⁾	103,740	128,440	148,200	170,430	187,720	187,720
살 충 제 ⁸⁾	0	2,662	8,228	18,876	27,104	27,104
제 초 제 ⁹⁾	0	1,452	2,662	6,776	10,406	27,104
건 조 ²⁾	9,880	34,580	74,100	163,020	247,000	296,400
전 력 ²⁾	79,040	133,380	247,000	345,800	501,410	765,700
수 송 ²⁾	49,400	74,100	111,150	148,200	172,900	172,900
총 계	2,314,442	2,987,701	3,784,769	4,601,821	5,540,765	7,104,612
옥수수수확량 ¹⁰⁾	7,504,640	8,388,160	9,053,440	11,922,240	15,012,800	17,881,600
産出에너지/投入에너지	3.24	2.81	2.39	2.59	2.71	2.52

1) 農業労働者 한사람이 週當 40時間을 勞動하는데 21,770kcal되는 것으로 假定하였음.

1970年の 경우 : $(22시간/40시간) \times 21,770kcal = 11,974kcal$.

2) <表 1> 参照.

3) 연료 1 ℓ = 9,570kcal (52).

4) 질소 1 kg = 17,600kcal (생산, 가공포함).

5) 인산 1 kg = 3,190kcal (생산, 가공포함).

6) 가리 1 kg = 2,200kcal (생산, 가공포함).

7) 옥수수종자 1kg=3,520kcal. 이는 최근에는 交配種 옥수수 종자를 생산하는데 노력이 들어 2배가 되었다.

8) 살충제 1 kg=24,200kcal (생산, 가공포함).

9) 제초제 1 kg=24,200kcal (생산, 가공포함).

10) 옥수수 1 kg은 3,520kcal로 假定.

1970년 옥수수 栽培에 사용된 ha당 化石에너지 總量은 平均 742ℓ (7.1 百万kcal)이었다. 그런데 1970년 美国의 作物栽培面積은 면화와 담배를 제외하면 134百万ha로 추산되었다.

1970년의 美国의 추정인구는 200百万명이므로 1人당 平均作物栽培面積은 약 0.7ha가 된다. 그러나 美国農産物의 20%가 輸出되고 있는 점을 감안하면, 1人당 国内用 食糧生産面積은 0.56ha로 추산된다.

食糧生産을 위해 1人당 消費하는 燃料를 보면, 1人당 燃料消費量은 416ℓ에 해당한다 ($742ℓ/ha \times 0.56ha/人 = 416ℓ$). 그런데 여기에 加工, 分

配, 調理 등에 사용된 에너지를 포함시키면 食品体系를 위한 총에너지 投入量은 燃料로 換算하면 1人当年間 1,273ℓ에 달하는 것으로 추산된다. 만일 美国式 農法으로 1年間 40億의 세계 인구에게 美国式의 식사를 제공하려면 50,920億ℓ의 燃料에 해당하는 에너지가 필요하다.

美国式 農法을 이용하여 營農을 할 경우 얼마나 에너지가 필요한가를 알기 위하여 이미 알려졌거나 潜在的인 세계의 石油매장량의 고갈시기를 추정한 바 있다. 이미 알려진 石油매장량은 869,120億ℓ로 추정되고 있으며, 이 原油를 燃料로 이용할 수 있는 비율을 76%로 가정하면 이용 가능한 燃料의 양은 660,530億ℓ가 된다. 만일 石油가 유일한 에너지源이 되고 또 이 石油를 오로지 세계인구의 食糧生産에만 사용한다면 660,530億ℓ의 유류는 단지 13개년의 사용량에 지나지 않는다($660,530\text{億}\ell / 50,920\text{億}\ell = 13\text{년}$).

세계의 인구는 지구가 가진 生育能力의 한계에 급속히 접근하고 있다. 美国의 農法을 이용하여 美国에서 消費되는 것과 같은 식사를 세계의 40億 인구에게 제공하려는 데는 에너지 資源의 制約이 있다는 것은 이미 앞에서 언급한 바 있다. 그러나 여기에는 에너지資源의 制約 이외에도 耕地面積의 制約이 추가된다. 動物性蛋白質이 많은 식사를 하는 美国에서 한 사람에게 食料를 공급하기 위해서는 약 0.56ha의 耕地面積이 소요되는 것으로 나타났다. 세계의 40億 인류에게 현재 공급될 수 있는 耕地面積은 1人당 0.36ha에 지나지 않는다. 따라서 현재의 세계 인구는 우리가 이용 가능한 에너지 자원과 土地資源으로 美国의 食생활 수준으로 食品을 공급할 수 있는 인구밀도를 넘어선 것이다.

附錄：〈表3〉의 註

- 1) 美国의 作物栽培面積 ha당 勞動時間의 平均.
- 2) 트랙터, 트럭, 기타 農機械의 제작과 수리에 投入된 에너지량의 추정에는 Berry와 Fels의 資料를 이용하였다. Berry와 Fels는 약 1,530kg의 자동차를 만드는 데 31,968,000kcal의 에너지가 소요된다고 추정하였다. 本稿의 추정에서는 25ha의 옥수수 農場에 필요한 트랙터, 트럭, 기타 등을 포함한 全 農機械의 製作에 244,555,000kcal (11,700kg의 機械에 해당)가 사용된 것으로 假定하였다. 이들 農機械의 耐用年數는 10

년, 수선은 모든 총농기계 생산의 6% 또는 약 15,000,000kcal로 각각 假定하였다. 이에 따라 1970년의 年間 옥수수 ha당 농기계 생산 및 수리에 소요되는 에너지는 1,037,400kcal였다. 農場의 트랙터와 기타 농기계 보유대수는 1964년에 이미 최고 수준에 도달하여 지속되고 있으며, 1945년의 트랙터와 기타 농기계수는 지금의 1/2 수준이었다.

3) DeGraff와 Washbon은 옥수수 재배에 있어 트랙터 사용에 필요한 ha당 연료 소요량은 140 l 라고 밝혔다. 옥수수 수확면적 ha당 농기계 사용을 위한 연료 소요량 산출은 農務省과 統計局 資料를 기준으로 하였다.

4) 옥수수 栽培에 施肥된 肥料量은 USDA의 推定値를 기준으로 하였다.

5) 옥수수 栽培에 있어 비교적 密植을 했던 1970년에는 ha당 약 21kg의 옥수수 (61,750 kernels 또는 83,980kcal)가 종자로 필요하며, 密植을 하지 않았던 1945년에는 약 10.5kg의 옥수수가 종자로 사용되었다. 交配種 種子는 특별히 생산되기 때문에 이에 대한 1970년의 에너지 투입은 147,840kcal로 추정되었다.

6) 1964년 美國의 옥수수 총재배면적의 3.8% 만이 灌溉되었으며, 이러한 관개면적은 가까운 장래에도 크게 변화될 것으로 보이지 않는다. 관개면적이 비록 적은 比率이지만 관개는 에너지 수요의 관점에서 비용이 많이 든다. Smerdon의 자료에 의하면 한 경작기간에 30.48cm의 물을 1 ha의 옥수수 재배면적에 관개하는 데는 4,921,166 kcal가 소요되는 것으로 추정되었다. 세계의 식량문제에 관한 보고서에서는 관개에 있어 이보다 더 높은 에너지 비용이 필요한 것으로 나타났다. 1964~1970년 사이에 옥수수 재배면적의 3.8%만이 관개되고 있는 한 이들 관개면적 ha당 에너지 사용량은 187,720 kcal로 추정되었다. 1945년의 관개면적 비율은 농작물 총재배면적에 대한 관개면적 비율이다.

7) 옥수수 재배면적 ha당 살충제 사용량은 1945년에는 아주 少量이거나 거의 사용되지 않았으며, 그 후 점차 사용하기 시작하여 1964년에는 최고 수준에 달했다.

8) 옥수수 재배면적 ha당 제초제 사용량은 1945년에는 거의 사용되지 않다가 그 후로 증가되기 시작했다.

9) 貯藏을 위하여 건조할 때에는 水分含量을 26.5%에서 13%로 줄여야 하는데, 이러한 방법으로 5,080kg을 건조 시키는 데는 약 1,008,264kcal의 에너지가 소요된다. 이러한 방법으로 건조된 옥수수의 양은 1945년에는 전체의 10%에 지나지 않았지만, 1970년에는 전체의 30%로 추산되었다.

10) 1970년에는 總電力生産量의 약 2.5%가 농업에서 소비되었으며, 농업에서 소비한 전체 2.5%의 電力을 생산하는 데는 424.2兆 Btu의 化石연료가 사용된 것으로 推定되었고, 이를 다시 1970년의 農作物 재배면적을 기준으로 하면 ha당 765,700kcal로 계산된다. 초기의 전력생산에 사용된 연료 사용량은 統計資料를 이용하였다.

11) 輸送에 사용된 열량의 산출은 美國商務省, 統計局 그리고 運輸省의 資料를 이용하였으며, 1945년의 수송에 사용된 ha당 에너지는 49,400kcal이었고, 1964년과 1970년에는 172,900kcal로 推定되었다.

12) ha당 옥수수 收穫量은 당해년도를 기준으로 前年度와 前前年度の 資料를 이용한 3개년 平均値이다.

農業 에너지 확보의 經濟的 制約

로웰 힐
스티브 에릭슨

- I. 食糧과 에너지
- II. 營養과 소비자選擇
- III. 食糧生産效率 增大
- IV. 에너지 사용권리에 대한 소비자의 控制
- V. 經濟政策 基準

化石燃料의 供給이 줄어들고 있고 食糧供給 또한 충분하지 못한 최근에 들어와서는 增加一路에 있는 世界人口의 營養的 요구에 대처할 食糧生産体系和 마케팅体系的 效率에 관심이 집중되고 있다. 食糧生産의 에너지 效率을 提高시키기 위한 提案들에서는 중요한 經濟的, 社會的效果와 인센티브가 대개 인식되지 않고 있지만 食糧供給의 國際的 重要性 때문에 農學者들은 「一定量の 化石燃料로 얻어지는 食糧의 量을 늘릴 다른 食糧生産体系가 없을가」하는 의문에 직면하지 않을 수 없게 되었다. 이 의문에 대한 해답은 복잡하여 에너지와 食糧間의 經濟的, 物理的 여러 관계와 消費者 選擇에서 營養이 가지는 역할을 이해할 필요가 있다.

本稿는 이러한 여러가지 관계를 고찰하면서 에너지 效率을 改善하기 위한 몇가지 提案에서提起된 社會的, 經濟的 制約에 관하여 검토하기로 한다. 그리고 마지막으로는 합리적인 食糧生産体系를 수립하기 위한 經濟政策을 선택하는데 유용하리라고 생각되는 기준도 검토해 볼 생각이다.

I. 食糧과 에너지

食糧生産이란 먹을 수 없는 에너지 형태를 먹을 수 있는 에너지 형태로 轉換시키는 일종의 에너지 轉換過程이다. 어떠한 轉換過程에서나 에너지의 損失은 불가피한 것이다. 農業은 그 주된 에너지源의 하나를 태양에서 얻고 있기 때문에 독특한 것으로 看做되는 경우가 흔하다. 태양이나 바람, 降雨과 같은 資源은 無償으로 얻어지는 資源이기는 하지만 農業이 原始的인든 機械的인든 轉換過程임에는 변함이 없다. 이러한 轉換은 가장 低廉한 에너지供給(즉 가장 풍부한)을 귀한 형태(즉 價值가 큰)로 전환하는데 목표가 있다.

에너지源은 技術的인 면에서 보다 經濟的인 면에서 선택되며 그 선택은 投入物과 產出物의 상대적 價值에 의해 정해진다. 土壤, 물, 勞動을 食糧으로 轉換시키는 動機는 投入에너지에 대한 產出에너지의 比率이 아니라 人間의 必要를 충족시키기 위한 基本적 需要에 의하여 정해지는 食糧의 價值인 것이다.

그러나 食糧은 에너지投入을 여러가지 방식으로 結合할 수 있기 때문에 여러가지 형태로 생산할 수 있다. 그러므로 어떤 형태로 食糧을 생산할 것인가를 선택하는 것은 상대적 價值와 코스트에 의해 결정된다. 消費者의 食品선택은 그의 價格에 대한 상대적 價值概念에 기초를 두고 있다. 농부들이 어떤 에너지源을 선택하고 어떤 營農方式과 結合시키느냐 하는 것도 그들이 統制하는 資源의 收益性에 의해 설명된다. 만일 生産者가 어떤 投入財(예 肥料)를 1달러로 購入하여 그것에다 勞動力과 土地를 結合시켜 3달러에 상당하는 食糧(穀物 1부셀)으로 전환시킨다면 그것은 그의 肉体的 能力과 資本能力의 범위안에서 그렇게 하는 것이다. 게다가 에너지源의 結合方式은 投資單位당 최대의 收益을 얻을 수 있는 것을 선택할 것이다.

微視的 차원에서, 個人 企業主들의 意思決定을 지배하는 經濟原則은 에너지 이용의 총체적인 변화를 설명해 준다. 農業生産에 있어서 土地와 勞動을 化学肥料과 化石燃料로 代替하는 것은 單位당 資源에 投資되는 달러당 收益率에 의해 決定되었다. 예를 들면 옥수수 栽培農場에서 經營主와 家族勞動에 대한 時間당 收益은 1931년의 0.24달러의 낮은 水準에서 1946년에는 2.62달러로 增加하였다. 1930년과 1957년 사이에 時間당 勞動收益

은 4년동안 2달러를 상회하였다. 그러나 土地收益率도 낮았다. 일리노이 주의 農家調査報告에 의하면 1964년 현재 農場所有資本(주로 土地)에 대한 收益率은 약 5%수준에 머물러 있었으며, 1971년에는 약 5.6%였다. 그밖의 研究結果를 보아도 農業生産에서의 土地收益率은 投資의 4~6% 범위 내에 있다는 것을 알 수 있다.

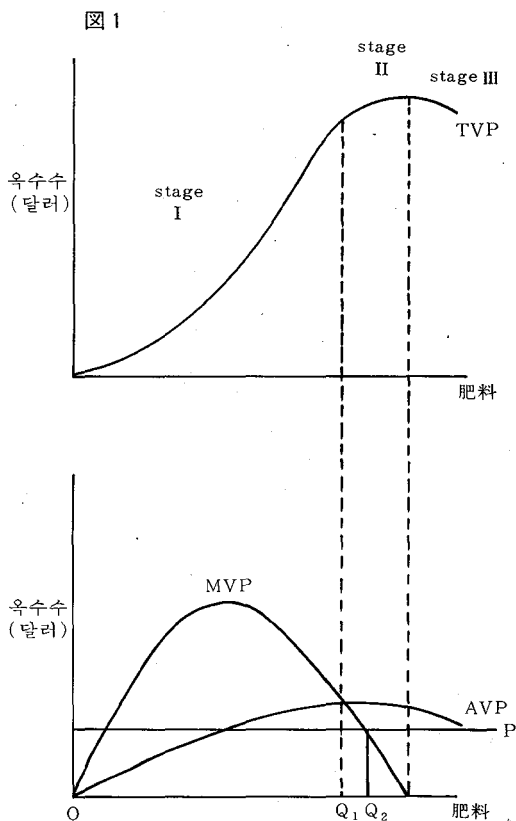
그러나 化石燃料 에너지 사용에 대한 收益은 1959년부터 1973년까지 投入에너지 價値의 2~3배나 되었다. Pimental의 보고에 의하면 1964년과 1970년 사이에 化石燃料 에너지를 1kcal씩 추가로 投入할 때 마다 옥수수는 2.6kcal씩 增收되었다. 投入과 産出間의 價格比率은 이 物量比率이 보여주는 것보다 더 많은 經濟的 收益을 초래한다. 예를 들면 1959년과 1964년, 1970년, 1973년의 4期間동안의 投入財(全에너지) 코스트 변화로 産出(옥수수)價値의 변화를 나누면 1959년부터 1964년 期間동안 에너지의 달러당 限界生産價値는 3.34달러였으며, 1964~1970년에는 1.91달러, 1970~1973년에는 3.33달러였다. 이들중에서 가장 낮은 收益이라도 에너지를 더 많이 사용하게 만드는 강력한 誘因이 된다. 더욱 微視的 觀點에서 보면, 중앙 일리노이地域에서 窒素質肥料 1달러價値의 附加的投入에 따라 增收된 옥수수 生産收益은 1964년 價格으로 7.23달러였고, 1971년 價格으로는 13.36달러, 1974년 價格으로는 11달러나 되었다. 勞動力은 적게 소요되는 대신 化石燃料과 肥料, 化學製品, 鐵 그리고 再生不能한 資源은 더 많이 소요되는 當農方式의 변화를 에너지 保護論者들은 개탄할지 모르지만 그것을 不合理的이라거나 經濟的인 면에서 非效率的이라고는 할 수 없다.

價格關係를 배제하는 에너지의 效率比較는 稀少한 資源을 가장 유용하게 配分하는 第1次的 市場機能을 무시한 것이다. 1헥타의 옥수수를 생산하는데 1920年代의 農業은 1970年代 農業보다 적은 化石燃料을 사용한 반면 1920年代의 農業技術은 1970年代보다 耕耘이나 運搬作業에 많은 畜力을 사용하였고 收穫作業에도 많은 人力을 사용하였다. 投入單位당 옥수수 生産量으로 效率를 측정할 경우 1920年代의 農業은 1970年代보다 훨씬 非效率的으로 보이고 이와 마찬가지로 肥料使用面에서는 1970年代의 農業은 1920年代에 비하여 非效率的으로 보인다. 그렇지만 당시에 존재했던 資源價格을 고려하면 兩期間의 資源分配는 經濟的으로 합리적이었다는 것을 알 수 있다.

이 과장적인 一例에서 본 바와 같은 過誤는 時点間의 비교에서와 마찬가지로 栽培農法間의 效率을 비교할 때도 나타난다. 中國의 水稻作 栽培는 投入單位當 化石燃料의 사용이 극히 적지만 勞動力 이용면에서의 美國의 基準에서 비교해 보면 극히 非效率의이다. 두나라의 農法選擇은 生産物과 資源과의 상대적 費用에 기초를 두고 있으며 政策決定者는 費用이 가장 적게 드는 技法을 선택하는 경향이다.

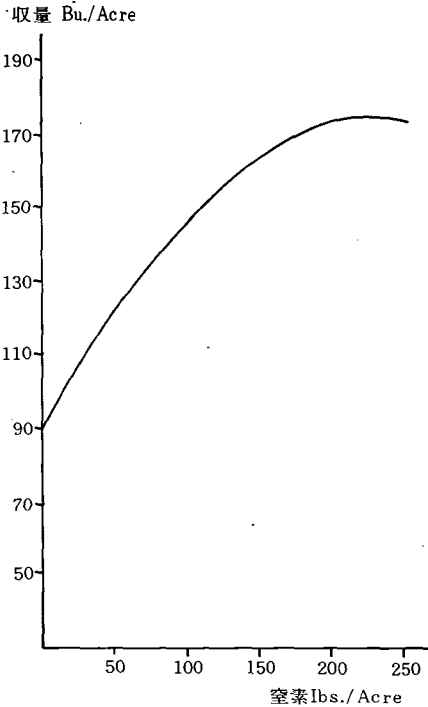
이와 마찬가지로 現代農業에 대해 批評家들은 「勞賃이 너무 비싸기 때문에 農夫들은 飼料單位當 최대의 우유를 생산할 수 있도록 소의 飼料를 조절하는 人夫를 고용하기 보다는 소들이 실컷 먹을 수 있게 하는 쪽을 택한다」고 지적했는데 이러한 지적은 資源配分을 지배하는 經濟的 誘因이나 經濟的 基本原則에 대한 이해의 부족을 말해 주는 것이다.

이러한 經濟原理는 잘 알려진 것이다. <圖 1>에서 보는 바와 같이 만약



어떤 投入物(예컨대 肥料)을 사용하는 것이 이롭다고 가정하면, 各單位의 肥料를 계속적으로 投入하는 편이 첫 單位보다 收量이 많을 것이기 때문에 적어도 OQ_1 만큼 肥料를 投入하는 것이 유리할 것이다. OQ_2 單位의 購入은 마지막 投入單位의 限界價值를 그 投入單位의 限界費用과 投入財에 대한 收益을 極大化시켜 주는 것이다. 일반적으로 投入量 OQ_2 는 平均生産曲線의 極大點을 넘어 位置하게 된다. 化石燃料나 肥料의 使用을 줄이면 에너지 效率

圖 2 窒素肥料가 옥수수收量에 미치는 效果
Urbana, Illinois, 1968~1970



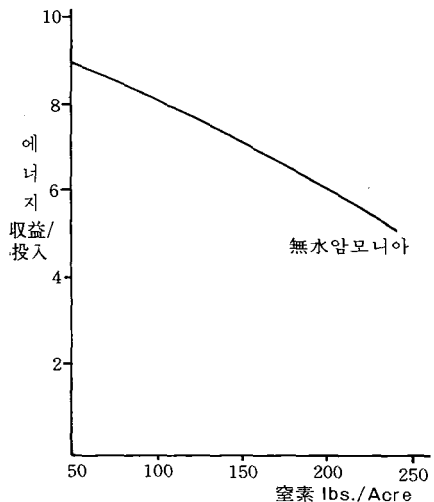
용의 縮小는 결국 總產出量을 減少시킬 것인데 이것은 에너지의 單位當 產出을 極大化시키려는 사람들이 일반적으로 무시하는 사실이다.

肥料는 이러한 原理를 설명하는 하나의 좋은 본보기이다. <圖2, 3>은 中央 일리노이地方에서 옥수수에 投與한 窒素에 대한 전형적인 反應을 보여주고 있다. 50파운드의 窒素를 처음 투여했을때 에너지 投入單位當 最大收益을 올렸다. 그러나 窒素를 추가로 投入했을때 窒素單位當 產出은 減少하여 에이커당 처음 50파운드 投

을 提高시키게 될 것이라는 말은 資源을 非合理的으로 사용해 왔다는 증거가 아니라 농부들이 資源을 가장 經濟的인 방법으로 사용해 왔다는 것을 말해준다. 投入量 減少가 單位當 收益을 減少시킨다고 하면, 농부들은 經濟的으로 不合理的한 <stage I>에서 當農하게 된다. 단지 投入物의 價格이 最大 平均生産價值와 똑같은 경우에만 OQ_1 이 經濟的으로 合理的 投入物使用 水準이 될 것이다.

이 水準以下の 어떤 價格으로 投入物을 사용한다면 投入單位當 最大 物量生産을 가져오는 점을 초과할 것이다. <圖1>에서 보는 바와 같이 投入物 사

圖 3 옥수수의 窒素施肥에 따른 에너지 投入單位當 收益



入時의 8.86에서 200파운드 投入時에는 5.95로 減少하였다. 비록 에너지效率은 거의 1/3가까이 減少되었지만 窒素肥料의 生産과 輸送에 投入된 에너지는 cal당 거의 6cal의 옥수수를 生産하고 있다. 앞에서 지적한 바와같이, 投入物과 生産物에 1974년 價格을 적용할 경우에는 肥料에 대한 收益率은 더욱 높게 나타나게 된다. 食糧이 부족한 現단계에서 6cal의 食糧供給을 減少시켜 化石燃料 1cal를 절약하여야 한다는 것은 말하기 어렵다.

II. 營養과 消費者 選択

美国内の 集團間이나 國家間の 飲食物 水準을 비교한 것을 보면 대부분 熱量攝取를 기준으로 하고 있다. 이러한 測定方法은 國家間の 營養水準을 비교하는 데는 아주 편리한 방법이다. 印度와 아프리카人は 1일 1,200~2,000cal를 섭취하고 있는데 비하여 美國人は 平均 3,000cal의 熱量이 함유된 飲食物을攝取하고 있는 것으로 報告되어 있다. 그러나 熱量攝取를 기준으로 한 비교가 완전한 것일 수는 없다. 必要한 營養은 熱量이상의 것을 포함하기 때문이다. 그러므로 食糧生産에 사용된 에너지 cal당 產出된 熱量을 기준으로 食品을 비교하려는 시도는 營養의 觀點에서 보면 오류를 범하기 쉽다. 穀物の 熱量을 生産하는 데는 野菜보다 에너지가 훨씬 적게 所要된다고 하여 신선한 果實이나 菜蔬를 옥수수 가루나 밀가루로 代替할 수는 없는 것이다. 또한 肉類를 生産하는데 所要되는 에너지는 穀類보다 몇곱절 더 많지만 肉類는 熱量 때문에 消費되는 경우는 거의없기 때문에 肉類와 穀物の 비교는 합당하지 않다. 옥수수와 穀物을 主食으로 하는 國家에서 볼 수 있는 營養失調의 원인은 熱量不足에 있다기 보다 蛋白質 缺乏에서 오는 경우가 많다.

에너지效率이 높은 형태의 食糧生産을 장려하기 위한 食品比較는 消費者의 選好性에 큰 영향을 미치는 便宜性을 看過하기 쉽다. 날 감자나 生鷄, 加工되지 않은 한 바구니의 완두콩은 바쁜 主婦들에게는 간편한 食事의 훌륭한 代用이 되지 못한다. 이 두 食事에 필요한 食品을 生産, 加工, 販賣하는데 드는 化石燃料 형태의 에너지는 대부분의 消費者에게는 관계가 없다.

熱量水準의 비교 또한 食性이나 食習慣, 文化의 차이에 따라 다르기 때

문에 사람들을 오해하게 만들기 쉽다. 이같은 요인이나 이와 비슷한 요인을 消費者 選好라는 범주에 넣는 경우가 흔하다. 그래서 군감자는 감자튀김보다 cal당 費用이 화폐가치로나 生産, 加工에 소요된 化石燃料의 양으로 측정하더라도 훨씬 적은데도 불구하고 군감자는 튀긴감자의 좋은 代用品이 될 수 없는 것이다.

營養價值에 기준을 두고 食品을 購入하지 않으려는 消費者들의 태도는 食品承認 計劃이나 福祉, 厚生計劃 그리고 널리 알려진 朝飯用 食品調査에서 문제가 되어왔다.

1945년에 한 經濟學者는 最少의 費用으로 필요한 모든 營養이 고루 들어 있는 食單을 발표하였다. 이 食單은 대부분의 美國사람이 취하고 있는 食單보다 生産과 加工에 소요된 에너지가 적은 것이었다. 그렇지만 535파운드의 밀가루와 107파운드의 양배추, 13파운드의 시금치, 134파운드의 팬케이크 가루 그리고 25파운드의 돼지간을 材料로 한 이 食單은 주부들의 호감을 사지 못하였다.

先進國에서의 식사는 娛樂, 事業의 機能, 社會的 快感, 心理的 逃避形態나 接待形態를 취한다. 기본적으로 生理的 必要를 충족시키기 위한 營養素源으로 食品이 사용되는 경우는 지극히 드물다. 熱量이 많다는가 營養의 기준을 보고 食糧을 구입하는 일도 거의 없다. 또 cal를 기준으로 食品을 사고 파는 경우도 드물며 營養을 기준으로 하여 사고 팔지는 않는다. 대부분의 경우 食品 cal는 價格에 계산되지 않고 있다.

營養失調가 주요 문제로 대두된 나라에서 조차 전통적인 食單을 바꾸기는 어렵다. 라이신 含有量이 높은 옥수수品種의 開發은 주된 cal源을 옥수수에서 얻고 있는 南美地域의 라이신 不足을 해소할 萬能의 食品으로 여겼다. 그러나 이것이 開發된지 10년이 지난뒤에도 이 옥수수는 이 地域에 널리 보급되지 못하였다.

III. 食糧生産의 效率性 증대

世界의 食糧供給은 더 좋은 飲食物을 취하고 싶은 욕망만큼 빨리 증가하지 않을 것이며, 人口가 증가함에 따라 최소한의 생활에 필요한 食糧도 생산해 내지 못할 것 같다. 化石燃料의 供給이 줄어들고 있는데 당면하여 食

糧增産의 必要性 때문에 에너지가 적게드는 代替食糧 生産體系와 그 結果를 檢討하지 않을 수 없다. 食糧生産에 있어서의 化石燃料의 非效率的인 사용은 現 人口를 먹여살릴 우리 能力을 줄어들게 할 것이며 食糧과 人口의 충돌 速度를 가속화시킬 것이다.

農業에서 에너지 效率을 증대시키는 기회는 있다. 이 기회에는 모두 經濟的, 社會的 또는 政治的 費用이 따른다. 그 潛在性과 影響을 평가하기 위하여 다음과 같은 4 個項 — 1) 投入物의 節減, 2) 投入代替, 3) 새로운 에너지源의 開發, 4) 消費習性의 變化 — 을 검토해 보기로 한다.

1. 投入物의 節減

에너지 效率에 관해 쓴 많은 著述들을 보면 다른 投入物에 비하여 化石燃料 使用량을 줄이면 稀少한 化石燃料을 더욱 效率的으로 사용하게 된다는 생각을 한다. 은연중 시사하고 앞에서도 지적한 바와 같이 資源利用에 대한 이런 형태의 조절은 投入 化石燃料의 平均的인 物理的 生産性을 增大시키겠지만 대부분의 경우 總産出面에서는 상당한 費用이 따르는 것이다. 예를들면 에너지로 換算했을 때 1970년의 옥수수 生産에는 1945년보다 機械는 133%以上, 畛畧은 47%, 窒素는 1,500%, 그리고 磷은 344%나 더 사용되었다. 1970년의 生産量은 1945년의 2.38배였다. 1949~51년 投入量(input mix)을 사용하여 1972년 수준의 옥수수收穫을 하려면 2배의 土地와 5 배 이상의 勞動力이 필요할 것이다. 1972년에 1945년 技術보다 高에너지技術을 사용하여 옥수수를 生産한 결과 약 5 천만 에이커의 土地를 다른 作物 — 주로 땅콩 — 生産을 위해 돌릴 수 있었다.

化石燃料의 단위당 生産量은 總生産量을 減少시킴으로써 늘릴 수 있다. 그러나 世界人口와 食糧의 현재와 같은 均衡을 이루는 條件下에서는 이것은 政治的으로나 經濟的見地에서 選択될 수 있는 것은 아니다. 스타인하트의 다음과 같은 말은 理論的인 根拠 뿐 아니라 확고한 實証의 証拠로도 뒷바침 되고 있다. 「에너지投入 增大를 통한 食糧增産은 더욱 어려워질 것 같다». 이것은 가장 단순한 형태로 말한 收穫遞減의 法測이다. 그러나 價格과 費用을 考慮하지 않고는 投入 化石燃料의 效率性을 증대시키기 위하여 總投入物의 縮小를 勸할 근거는 없는 것이다.

2. 投入代替

農業生産에서 化石燃料의 節約을 권고하는 주장들은 대개 化石燃料를 다른 형태의 에너지로 代替할 필요성이 있다는 것을 밝히고 있다. 그러나 이 주장들은 대개 食糧의 追加單位를 생산하기 위한 代替源의 費用의 차이를 무시한 것이었다. 化石燃料를 勞働으로 代替하는 것은 적은 耕作地에 손으로 散布하는 것과 같은 부분적인 代替를 늘릴 경우를 생각할 때 단순한 示唆로 보일 것이다. 그러나 完全代替에 따른 費用을 비교해 보면 문제의 중요성을 쉽게 알 수 있다. Earl Cook 博士는 美国農場에서 사용되는 化石 에너지 費用을 100만 Btu*당 약 15달러로 보고 있다. 반면에 時間당 3달러를 벌고 1時間에 500Btu를 生産하는 農場 勞働者는 100만 Btu당 6,000달러의 비용이 드는 것이다. 그러한 代替가 정당화되려면 人間の 勞働價值가 거의 제로에 가깝든가 아니면 化石燃料 價格이 현재보다 400배로 올라야 하는 經濟的 諸關係가 요구된다. 에너지 效率의 增大는 Steinhart가 「손으로 殺虫劑를 뿌리는 것이 機械나 비행기를 이용하는 것 보다 勞働量이 더 필요하지만 그렇게 해서 節約된 에너지는 에이커당 18,000kcal 내지 300kcal 이다」고 한 말에도 밝혀져 있다. 이 情報은 機械設備를 勞働으로 代替하도록 권할 적절한 基準은 되지 못한다. 왜냐하면 손으로 散布할 때의 費用이나 健康의 위험도, 그리고 옥수수를 수백 에이커의 面積에 뿌릴때의 代價가 무시되기 때문이다.

다른 예를 들면 이렇게 하여 代替가 이루어졌을 경우 投入物의 상대적인 直接費用 뿐 아니라 전체적인 체계의 변화와 그 變化가 의미하는 費用의 增加가 무시된다. 肥料를 거름으로 代替하면 에이커당 110만kcal 以上の 에너지를 節約할 수 있었다는 結論을 주의깊게 살펴보자. 이 比率로 거름을 施肥하려면 에이커당 거의 10 t의 거름이 필요하고 그러기 위해서는 에이커당 1년생 수소 4마리를 180일동안 먹여야 한다. 飼育期間中 이 소들은 162북셀의 옥수수나 施肥된 그 農土에서 나오는 全生産物을 飼料로 거의 消費하게 될 것이다. 家畜이나 穀物生産은 地域間이나 地域内の 형태에 따라 特化되어 있기 때문에 施肥費用(貨幣金額과 에너지)에는 運送과 貯藏 등에 소요되는 費用을 포함시켜야 한다. Heichel은 커네티컷트州 農民들이

*1Btu=0,252kcal.

현재의 價格關係로는 家畜의 糞尿를 2 마일밖에 運送할 수 없다고 말하고 있다. 그래서 家畜飼育地를 分散시키려면 費用이 증가하기 때문에 앞으로 家畜의 糞尿를 肥料源으로 이용하기는 상당히 어려울 것 같다.

購入肥料의 요구량을 줄이기 위해서는 輪作을 할 수도 있다. 그러나 耕作地가 늘어나지 않고서는 穀物의 總生産을 유지할 수 없다. 옥수수를 連作하지 않고 1 에이커의 옥수수 生産水準을 유지하려면 옥수수, 雜穀, 豆類를 輪作하는 3 에이커의 土地가 있어야 한다. 지난 10년이상 일리노이州의 可耕地 總供給面積은 약 3,000만 에이커를 유지해 왔다. 1974년에는 약 1,000만 에이커의 面積에 옥수수를 栽培하였다. 그런데 3년 輪作을 할 경우 現在水準의 農業生産을 유지하기 위해서는 豆類栽培地 1,000만 에이커와 雜穀栽培地 1,000만 에이커가 추가로 필요할 것이다. 現 일리노이州의 雜穀, 牧草와 輪作式牧場을 로테이션시킬 경우 같은 水準의 전체 옥수수栽培 面積을 유지하려면 1,510만 에이커의 土地가 더 필요하게 될 것이다. 生産性에 差異가 생기면 총 옥수수 供給량은 現在水準보다 減少하게 될 것이다. 이러한 형태의 代替를 위한 規模의 拡大는 費用이 많이 드는 廣大한 土地開墾이나, 山地開發, 排水, 灌溉 등이 필요하게 된다. 이것은 결코 에너지를 節減하는 代案은 아닌 것이다.

1940년과 1973년 사이에 美國에서 畜力を 機械로 代替하여 農業生産 效率는 減少되었는데 畜力を 다시 利用하게 되면 에너지 不足을 어느정도 해결할 수 있을 것이라는 主張이 있었다. Pimental은 멕시코에서 황소를 動力源으로 이용할 경우 옥수수의 cal 產出比率은 投入되는 에너지의 kcal당 3.4kcal라고 推定하였다. 그러나 機械화된 美國의 農業生産에서는 投入된 에너지의 kcal당 2.5kcal의 옥수수가 生産된다고 그는 주장하고 있다. 畜力を 유지하는데 필요한 飼料의 양은 USDA의 統計가 보여주는 바와 같이 1940년 한해에 4,200만 에이커의 穀物耕作地가 飼料栽培地로 이용되었다. 이러한 飼料를 생산하는 데는 150만대의 트랙타에 쓰여질 化石燃料가 추가로 필요하였다. 에이커당 옥수수의 收量を 50붓셀로 잡으면 畜力에 필요한 牧草와 귀리를 供給하기 위해서 10억붓셀 이상의 옥수수가 食糧生産에서 제외되는 셈이다. 그러므로 이와같은 投入代替는 최소한의 燃料使用을 제외하면 어떠한 基準으로도 받아들일 수 없는 것은 분명하다.

單位面積당 穀物生産이나 에너지 單位당 穀物生産에 중점을 두는 것은

總食糧의 増産이라는 주요한 目標을 벗어나는 것이다.

부족한 化石燃料을 代替可能한 형태의 에너지로 代替할 기회들은 있다. 그중에서도 가장 신속한 반응은 價格關係의 변화에서 볼 수 있다. 肥料價格의 上昇은 콩에 비하여 옥수수의 상대적 收益性을 떨어뜨린다. 또한 燃料價格이 상승함에 따라 디젤 燃料가 추가적인 엔진 調整經費로 代替된다. 가솔린에 비하여 값이 저렴한 디젤 燃料費는 디젤용 트랙터를 급격히 증가시키게 되는 誘因이 되고 에너지의 效率을 높여준다. 穀物 乾燥用 燃料費價格의 上昇으로 農民들은 農場에서의 穀物損失이 늘어나고 秋耕이 지체됨에도 불구하고 乾燥에 필요한 燃料를 줄이기 위하여 옥수수 收穫을 늦추게 된다. 畜舍의 冷暖房을 위하여 化石燃料 대신 建築物 設計와 斷熱에 대한 投資가 추가될 수도 있다.

이것은 化石燃料의 消費를 줄이기 위하여 投入物間의 수 많은 代替機會의 몇가지 예에 지나지 않는다. 또 이것은 모두 그것을 채택케 하는 經濟的 자극이나 적어도 否定的 刺戟의 제거에 달려 있다. 現在의 價格關係는 에너지 集約農業으로 지향하는 추세를 계속시키고 있으며 따라서 에너지 效率을 低下시키는 결과는 불가피하다.

3. 새로운 에너지源의 開發

既存의 投入物을 代替하는 構想은 아직까지 알려지지 않았거나 入手할 수 없는 投入物과 技術에 外挿할 수 있다. 開發研究를 하게되면 農業의 化石燃料을 代替할 수 있는 여러가지 方案이 있을 것이다. 畜舍暖房과 穀物 乾燥를 위한 태양에너지는 제한된 것이기는 하지만 이미 사용되고 있고 앞으로 10년이 지나면 그 사용이 확대될 것은 틀림없다. 공기중에서 窒素를 뽑아서 뿌리와 土壤에 보낼 수 있는 植物을 심으면 필요한 肥料量을 줄일 수 있다. 이러한 能力은 단지 大豆類에만 국한된 것이 아니라는 것은 여러 研究結果에서 증명된 것이며 앞으로는 大豆 이외에도 이러한 能力을 主要作物에 遺傳的으로 結合시키는 方法을 찾게될 것이다. 에너지 效用을 改善하기 위한 收穫에 관한 研究 또한 좋은 結果를 약속해 줄 것이다. 遺傳을 통한 옥수수의 増産은 作物成長에 필요한 총에너지에 준 影響에 미치지 못하는 것이다. 실속 遺傳의 方法에 따른 변화가 收穫量과 價格에 관련된다고 하더라도 옥수수와 같은 作物의 化學的 構成에 대한 遺傳的 機能調節

의 가능성이 있다는 것은 증명된 사실이다. 라이신(아미노산)이 많이 함유되어 있는 옥수수과 triticale은 單位面積當 營養物을 더 많이 생산할 수 있는 가망이 있다. 低濕狀態에서도 成熟할 수 있는 短期雜種의 育種은 穀物乾燥에 소요되는 燃料을 節減시킬 것이다. 單位面積當 전체 옥수수의 總收穫量은 總生長日數와 函數關係에 있기 때문에 總生産과 乾燥用 燃料와의 사이에는 트레이드 오프關係가 요청되는 것이다.

燃料나 에너지源으로서의 農業廢棄物은 다른 資源開發에 소요되는 費用이 늘어남에 따라 開發될 可能性은 크다. 130붓셀의 옥수수를 收穫하고 남는 廢棄物(옥수수 속과 줄기)에서 얻을 수 있는 에너지는 에이커당 약 7千萬 Btu이다. 이 에너지를 熱機関에 사용할 경우 2%의 效率이 있다면 作物을 生産하는데 소요되는 약 1.4백만 Btu의 機械動力을 제공할 수 있을 것이다. 그러나 廢棄物을 處理하고 貯藏하는 문제가 클 것이다.

植物이 태양에너지를 食品으로 바꾸는 效率은 매우 낮다. 1일동안 일리노이州에 放射되는 태양에너지는 평균 1平方피트당 1,250Btu지만 에이커당 130붓셀의 옥수수는 이 에너지의 겨우 0.6%만을 이용할 뿐이다. 결정에 달한 成長期에도 光合成의 效率은 약 3~4%에 불과하다. 태양의 막대한 양의 에너지를 높은 比率로 흡수하여 이것을 食品으로 전환시키는 技術을 開發하기 위해서는 研究가 필요한 것이다.

4. 消費習性の 변화

美國사람들이 섭취하고 있는 평균 食單의 cal량은 後進國의 경우보다 거의 50%나 많은 것으로 推定되고 있다. 美國人이 섭취하는 3,000cal의 熱量은 그들이 먹는 고기를 생산하는데 또 다른 3,000cal의 穀物이 필요한 것이 문제이다. 이와같이 널리 알려진 비교 때문에 美國은 食糧不足國家에 食糧을 供給하여야 한다는 主張이 많다. 無肉食單의 強調, 穀物輸出의 增大와 選別的인 輸出制限은 食糧不足의 단기적인 문제를 해결하는 적절한 解決策은 아니다. 그것은 食糧의 大量輸送과 分配의 어려움과 肉類消費의 급격한 減少가 食糧生産을 위한 經濟的 誘因에 미칠 影響을 무시하기 때문이다. 그것은 또 家畜에게 먹이지 않은 옥수수를 數世代동안 썰이나 밀을 먹여왔던 사람들이 쉽게 소비하리라는 부정확한 假定을 내리고 美國 옥수수 消費가 蛋白質缺乏을 해결하지 못한다는 사실을 무시하고 熱量을 營養

의 尺度라고 생각하기 때문이다.

결국 美国 消費者들의 食生活의 변화를 원하는 내용에는 추가로 다음과 같은 두가지 誤謬가 있다. 1) 食生活의 改善으로 인한 人口增加(幼兒死亡率의 減少, 寿命의 延長, 出産率의 增大)는 1人당 食品供給의 短期的 成果를 쉽게 逆轉시킬 것이다. 2) 현재의 食糧生産은 전체 에너지配分 문제의 극히 작은 일부에 지나지 않는다. 食糧은 다른 에너지 사용을 선택하는 문제와 분리시킬 수 없다. 다른 에너지 사용을 생각하지 않고 肉類와 穀物가운데서 어느 하나를 선택케 하는 것은 食糧과 燃料와의 관계를 무시하는 것이다. 可耕地와 태양에너지를 이용하는데 충분한 化石燃料가 공급되면 世界的인 규모로 食糧을 적절하게 供給할 수 있는 것이다. 食糧生産에서의 制約要素는 土地가 아니라 에너지다. 만일 현재와 같은 化石燃料의 供給이 다른 消費財 生産보다는 食糧生産에 사용 된다면 현재의 世界 食糧不足 문제는 해결될 수 있을 것이다.

輸送部門이나 一般家庭 또는 工場 등에서 化石燃料의 사용이 줄어들면 後進國에 대한 穀物供給에는 牛肉의 消費減少와 똑 같은 가능성이 생기게 될 것이다. 게다가 肥料과 化石燃料을 輸送하고 分配하는데 드는 費用은 同量의 穀物보다 적게 든다. 肉類消費의 減縮은 설득력이 있어 過剩 섭취하는 사람들에게는 자기희생을 감수하게 만들지만 長期的이나 短期的으로 광범위한 饑饉問題를 해결하는 效果의인 接近方法은 못된다. 이 문제의 해결책은 모든 에너지 供給을 經濟的인 면에서 합리적으로 사용하고 이 供給을 消費者에게 가능한 모든 方法으로 配分하는데 있다.

IV. 에너지 사용에 있어서의 消費者主權의 役割

經濟學者들은 오랫동안 消費者主權 문제를 論議하여 왔다. 消費者의 購買意向이 生産을 자극하는지 아니면 商品을 供給하려는 製造業者의 努力이 消費者의 購買意向을 움직이게 하는지는 대부분 아직도 미해결 상태에 있다. 최근의 消費者 活動을 보면 消費者는 意思를 決定할 때 여전히 상당한 自由意志가 있으며 消費者는 商品 不買運動이나 購買패턴의 變경을 통한 意思表示를 반대하지 않고 있다.

市場組織의 基本原理는 消費者가 맥주를 사든, 콜라를 사든, 닭고기와

돼지고기 그 무엇을 사든 消費者가 選擇할 수 있도록 허용하고 있다. 農業이 cal당 高率의 에너지가 投入되는 農產物 生産形態에서 낮은 에너지 投入 生産形態로 변화하여야 한다는 건의는 消費者의 선호가 立法化되는 새로운 社會秩序를 提示하거나 또는 消費者 選好가 資源을 가장 가치있게 사용하도록 配分하는데 영향을 미치지 않는다는 부정확한 가정에 立脚하고 있다.

에너지 消費를 줄이기 위하여 消費者 選好를 立法化시킬 의향이라면 누구의 가치판단에 기초를 두어야 하는지 신중히 고려하여야 할 것이다.

에너지의 保存을 위하여 肉類와 같은 일부 食品들을 除去하는 基準은 분명치 않다. <表 1>에서 보는 바와 같이 投入 單位당 에너지 產出率이 家禽보다는 낮으나 쇠고기와는 별차이가 없는 — 특히 쇠고기에 投入하는 일부 에너지가 직접 사람이 消費하기에 적당하지 않다고 생각할 때 — 食品이 몇몇 있다.

表1 穀物生産에 投入된 燃料 및 電力에너지 投入에 의해 生産된 熱量比率

品 目	比率
보 리	6.609
옥수수	3.250
밀가루	5.363
완두콩(생 것)	0.545
완두콩(통조림한 것)	0.288
딸 기(생 것)	0.461
브로콜리(생 것)	0.246
도마도(통조림한 것)	0.167
꽃양배추(냉동한 것)	0.123

機械化된 農業에서 옥수수 생산은 熱量 效率面에서 位置가 매우 낮다. 그러나 다른 農產品과 비교하면 未加工 원두콩의 에너지 단위당 產出 cal는 더욱 낮고 冷凍 꽃양배추는 돼지고기보다 더 非效果의이라는 것을 쉽게 알 수 있다. <表 2>의 各 品目間의 比較를 보면, 加工, 製造過程에서 소모되는 총에너지의 양이 나와 있는데 그것은 消費減少가 營養水準에는 影響을 덜 주고 消費된 에너지에 대해서는 影響이 큰 다른 品目を 보여주고 있다. 예를들면, 설탕을 加工할 때 사용하는 에너지는

고기를 加工할 때 사용되는 에너지의 量만큼이나 많다. 커피와 담배는 거의 營養的 價值는 없지만 전체 果實과 野菜 冷凍産業과 거의 같은 수준의 에너지가 필요하다. 飲料水製造에는 農化學製品과 農機械製造에 드는 에너지를 합친 것보다 더 많은 에너지를 사용하고 있다. 그러므로 中央의 計劃立案者들이 農業生産에서 에너지 資源을 代替用途에 적절하게 配分하기 전에 熱量만이 아니라 전통적인 食糧概念보다 넓은 消費者選好의 領域을

表2 農産物の製造,加工過程中
加熱 및 動力으로 사용된
총에너지

單位: 百万KW

品	에너지 사용량
고기제품	32,308
冷凍과일 및 野菜	7,657
설탕	31,899
飲料水	29,151
로스트 커피	2,511
담배	3,335
農化学製品	17,617
農機械	11,320

감안한 配分基準을 開發하여야 할 것이다. 煙草를 생산하고 乾燥하면서도 牧草乾燥에 필요한 燃料使用을 제한하는 것은 營養과 健康을 極大化시키는 目標은 물론 熱量效率과도 일치하지 않는다. 美国에서, 옥수수를 야외에서 乾燥할 경우 4億7千6百万갤론의 L.P.개스에 상당한 燃料을 節減할 수 있지만 날씨에 따라서는 收穫物の 10%정도가 消失할 수도 있는 것이다. 그외에도 콩의 乾燥에 2千万갤론, 米穀의 乾燥에 1千1百

万갤론, 땅콩 乾燥에 1千万갤론, 수수 乾燥에 7百万갤론의 燃料이 사용되는 등 大量的의 燃料이 農作物 乾燥에 사용되고 있다. 그러나 煙草를 말리는 데는 1억 2,150만갤론의 L.P.개스가 사용되었다. 米穀과 땅콩, 수수, 콩을 乾燥하는데 소요되는 燃料合計 보다도 더 많은 燃料을 煙草의 乾燥에 계속 사용하고 있으면서 穀物乾燥에 사용할 에너지를 節減하기 위하여 어떤 價值判斷에 의거하여 食糧과 飼料生産을 줄여야 한다고 할 수 있겠는가?

清涼飲料와 麥酒製造産業은 容器的 절반이 回收된다고 하더라도 容器를 만드는데만 660億kwh에 달하는 에너지를 사용하는 것으로 推定되었다. 게다가 「美国 製造業 센서스調査」가 分類한 清涼飲料水 製造業은 飲料水製造에 290億kwh에 달하는 에너지를 쓰고 있으며 釀造業者들은 매년 약 4千 bushels의 穀物을 소비하고 있다. 食糧生産에서의 에너지 再配分에는 非食糧代替物도 포함되어야 할 것이다.

Steiart夫婦은 에너지 危機社會에서 성애가 안끼는 冷凍裝置와 주방用具의 妥當性에 관한 의문을提起하였다. T.V 수상기나 電氣골프車 보다 이것을 원하지 않는 理由가 분명하지가 않다. 이러한 實例는 消費者選好의 立法의 위험을 보여주기 위하여 들었을 뿐이다. 자신이 사는 물품은 必需品이고 他人이 사는것은 사치품으로 보는 경우도 흔히 있다. 食品選択은 모든 土地와 에너지 사용과 무관하게 이루어질 수 없다는 것을 인식할 때 특히 그렇다. 例컨데 좋은 農耕地가 가끔 리크리에이션 用地나 産業用地로 전용되고 있는 것이다. 美国 뿐 아니라 世界의 食糧供給 增大에 필요한 基

本要素인 肥料은 天然개스의 부족으로 공급부족 상태에 있다. 이와동시에 수백만 갤론의 개스가 煙草作物의 乾燥나 알콜 飲料 등의 製造에 사용되고 있다. 고기와 빵 가운데서 어느 것을 단순히 선택할 수는 없다. T.V 수상기와 電氣골프車, 리크리에이션 用具 그리고 土地와 勞動力 燃料를 사용하여 만든 모든 消耗品에 이르기까지 선택의 범위를 넓여야 한다. 이것들은 모두가 食用牛 못지 않게 굶주림을 輕減해 줄 食品을 제공해 줄 수 있는 에너지의 供給을 확보하려고 앞다투고 있다. 生産物을 配分하고 또 資源을 다른 生産物의 生産에 配分할 만족할 만한 시스템은 市場價格밖에 없다. 이것은 消費者가 돈으로 選好를 표현케 하는 것이다. 富의 分配에서 不滿을 드러내 주는 것은 現金을 商品券으로 代替하는 配給制度이다. 이것이 流通体制의 실패를 뜻하는 것은 아니다.

수 많은 流通部門의 報告書와 經濟分野의 文獻들을 널리 찾아보아도 熱量 流通을 다룬 實例는 확인할 수 없었다. 市場이나 價格이 存在함이 없이 投入 熱量에 대한 產出 熱量을 極大化할 수 있는 投入物과 產出物의 最適結合에 대한 分析은 學問的 研究의 범주를 벗어나지 못하는 것이다. 將來의 消費分 保存을 포함하여 代替物로 사용되는 이들 資源의 現在價值 뿐 아니라 將來의 價值까지를 반영할 수 있는 방법으로 資源의 價格을 정하는 문제에 重要한 決定을 내려야 할 것이다.

V. 經濟政策 基準

食糧과 에너지에 영향을 미치는 公共政策의 선택은 복잡하며 그 代案分析에는 이들 政策이 가져올 2次的, 3次的인 效果가 포함되어야 할 것이다. 그리고 그 效果를 測定할 容의주도한 基準이 필요한 것이다. 本 論文에서 거론된 여러 관계가 제시한 몇가지 基準을 다음에 열거하는데 이것은 食糧과 에너지問題의 해결을 위해 解決되어야 할 몇가지 設問인 것이다.

1. 長·短期的으로 전체 食糧供給에 영향을 미치는 것은 무엇일까?
2. 어떤 메카니즘에 의해 에너지源이 最終적으로 사용되는 代替產品에 配當될 것인가?
3. 消費財와 代替食品에 대한 消費者選好가 에너지 配分에 어떻게 영향을 미칠 것인가?

4. 消費習慣을 변화시키는데 드는 전체 費用은 얼마나 될까?
5. 에너지 사용의 優先順位는 어떻게 정할 것인가?
6. 다른 나라나 集團에 미치는 經濟的, 社會的 영향은 무엇일까?
7. 개별적인 生産者가 社會的으로 価値있는 商品을 生産하기 위해 이용 가능한 에너지를 사용 하도록 어떻게 動機를 부여 하여야 할 것인가?

유럽의 바이오가스 開發史

코드 티첸

- I. 바이오가스 研究의 背景
- II. 第2次 世界大戰 전후의 바이오가스 開發史
- III. 개스 糞尿 및 勞動所要
- IV. 최근의 研究 및 展望

I. 바이오가스 研究의 背景

바이오가스(Biogas)는 메탄가스(marsh gas CH_4)처럼 有機物의 嫌氣性 분해에서 나온 産物이다. 메탄개스는 1667년 서리(Shirley)에 의하여 발견 되었다고 한다. 일반적으로 메탄개스는 늪이나 호수의 밑바닥에서 植物이 腐敗하여 발생하기 때문에 그 이전부터 알려져 있었다. 따라서 우리는 로빈슨 크루소가 植物이 풍부했던 孤島에 머물고 있는 동안 그에게 바이오개스를 이용하게 하지 않은 作家 다니엘 디포(Daniel Defoe, 1719)를 나무랄 수도 있다. 1630年代初에 헬몬트(Van Helmont)는 15가지 種類의 개스 가운데서 腐敗 過程에서 발생된 可燃개스가 있다고 주장하고 그 成分은 腸속에 있는 개스에도 들어있다고 말했다. 그 후 1790년에 프리스리(Priestley)는 「可燃性 기체에 관한 觀察」에서 「水中에서 腐敗된 物質이 만든 気体」의 발견을 보고하였다. 프리스리는 호수나 江의 沈澱物에서 식물의 腐敗와 可燃性개스 발생간에는 밀접한 관계가 있음을 알아낸 1776년 볼타(Volta)의 연구결과가 옳음을 증명하였다. 또한 酸素測定機에 의한 메탄개스의 분석은 볼타에 의하여 처음으로 시도되었으며 그 후 1804년 달톤(Dalton)에 의하여 그 구조가 자세히 밝혀졌다.

그 후 1808년에는 험프리 데이비(Humphrey Davy)가 진공상태의 증류기에 밀짚의 家畜糞尿를 넣어 메탄개스를 채집하는 실험에 성공했다. 이

것이 糞尿개스(manure gas)研究의 嚆矢라 생각된다. 그러나 험프리 데이비의 研究는 天然개스를 이용하여 에너지 문제를 해결하기 위하여 시작된 것이 아니고 作物生産에 있어 完熟堆肥와 未完熟堆肥의 차이점을 評價하려고 시작한 것이었다.

파스퇴르(Pasteur)의 제자인 게이욤(Gayon)도 1883년과 1884년에 家畜의 糞尿에서 메탄개스를 採集하는 實驗에 성공했다는 기록이 있다. 이에 의하면 게이욤은 35℃에서 家畜糞尿로 부터 採集된 개스량은 너무 많아서 루이 파스퇴르는 어떤 특수한 상태하에서는 嫌氣性 糞尿의 發酵作用으로 연료 및 燈火用 개스를 공급할 수 있다는 結論을 내렸다. 그러나 交通手段과 土木工事に 使役되는 수 많은 말들의 糞尿를 發酵시켜 그 개스로 파리의 市街 照明을 改善하라는 르 피가르(Le Figaro)紙의 讞說은 提議는 실행되지 못했다. 그러나 몇년 후인 1896년 英國의 엑스터(Exeter)에서 市街地 照明에 下水개스(sewage gas)를 이용하기에 이르렀다.

그 후 수 10년동안 糞尿에서 개스를 생산하는 試驗研究는 완전히 중단된 일은 없지만 이러한 糞尿개스 研究結果를 일반 農業用으로 이용하는 것은 經濟的인 면에서 投機로 생각되어 왔다. 그러나 納稅者들의 税金을 사용하는 市当局과 같은 公共機關은 그 개스를 開發할 수 있었다. 그 다음 단계는 加溫浸漬器에 의한 下水處理로서 이 方法은 發酵過程을 加速化 시키고 處理效率를 改善하며 保存時間과 浸漬器의 所要容量 등을 減少 시키는 것이었다. 加溫으로 인한 下水개스의 放出增大는 에너지 供給의 다음 段階가 到來할 때까지 값진 副産物로만 看做되었다. 그 다음 段階는 二次大戰中과 大戰後에 시작되었다.

1951년 西獨에서는 48개 下水處理施設에서 1,600萬 m³ 이상의 下水개스를 생산하였는데 그가운데서 動力生産에 3.4%, 浸漬器 加溫에 16.7%, 都市 개스 供給에 28.5%, 나머지 51.4%는 自動車 燃料로 각각 이용 되었으며 이러한 下水개스는 25년이 지난 지금도 계속 널리 이용되고 있다.

지금까지의 간략한 고찰에서는 메탄박테리아에 대한 微生物學的인 설명은 하지 않았다. 일반적으로 학문은 오랜 기간을 두고 서서히 발전하는 것으로서 微生物學 발전의 발자취는 1868년의 베참(Béchamp)으로부터 1950년의 부스웰(Buswell), 바아카(Barker) 그리고 리브만(Liebmann)으로 이어지고 있다.

메탄을 생산하는 박테리아의 特性을 간단히 要約하면 이 박테리아는 엄격히 嫌氣性 有機物에서 分化된 生理學上的 生命體라고 할 수 있다. 메탄박테리아는 대부분의 다른 嫌氣性 박테리아 보다 酸素나 窒酸鹽과 같은 酸化劑에 아주 민감하다. 또한 메탄박테리아는 공기가 완전 차단된 상태에서 培養體가 액체 또는 半固体에서 쉽게 성장한다. 이들은 비교적 단순한 有機化合物과 無機化合物만 이용하는 것으로 알려졌다. 有機化合物의 複合物은 多段階變移過程을 위하여 박테리아 數가 均衡을 이룰 필요가 있다. 그렇기 때문에 새로운 有機物의 供給이 계속적으로 追加될 때 培養器로부터 나온 가스는 極少量의 잠재적인 有毒性 副產物만을 남기기 때문에 무기한으로 메탄박테리아를 유지할 수 있다. 또한 이들 박테리아는 炭素, 微量無機物, 二酸化炭素, 窒素와 같은 암모니아劑 등이 들어 있는 培養體에서 培養되는데 適正酸度 범위는 6.4~7.2이다. 이들 박테리아群에는 培養에 있어 32°C~37°C 정도가 適正溫度인 好中溫性 박테리아와 55°C 程度가 適正溫度인 好熱性 박테리아가 있다.

II. 第2次世界大戰 前後의 바이오가스 開發史

메탄가스 박테리아에 대한 生物學的, 生理學的 및 生化學的인 지식은 糞尿 發酵過程을 개선하는데 도움을 준다. 따라서 이러한 지식에 의해 家畜의 糞 糞尿는 適正範圍의 일정한 溫度로 維持保護가 保障된다면 아무 것도 添加할 必要가 없는 가장 적절한 基質임을 알았다.

第2次世界大戰後에 나타난 에너지 供給體制의 崩壞는 獨逸에서 糞尿가스 研究의 復活을 가져 온 契機가 되었다. 樂觀的인 研究結果로 말미암아 畜産農家は 自家에서 생산한 糞尿가스로 그들의 需要를 충족할 수 있을 줄 알았다. 그후 에너지 부족이 극복되었을때 다음과 같은 2가지 사실이 밝혀졌다. 즉 첫째는 中部 유럽과 같은 氣候條件下에서는 바이오가스 생산을 위한 施設投資에 필요한 費用이 中小規模의 農家が 단독으로 負擔하기에는 너무 많은 額數이며, 둘째는 糞尿를 液狀으로 처리하는 것이 勞動을 節約하고 특히 糞尿의 肥料成分을 높여 준다는 事實이다.

이러한 試驗研究는 앞에서 언급한 박테리아에 의한 메탄가스 형성의 지식과 農場廢棄物의 嫌氣性 發酵에서 얻어진 經驗을 토대로 추진되었는데

그 代表的인 研究家は 美国 일리노이州 어바나(Urbana)의 부스웰(Buswell)과 그의 共同研究者들, 아이오와州 에임스(Ames)의 자코브스(Jacobs) 등이다.

프랑스에서는 農家の 燃料不足을 해결하기 위하여 1,000여 개소의 小規模 개스發生施設을 2次大戰中에 만들었으며, 1937년 北部 아프리카에서는 듀셀리어(Ducellier)와 아이스만(Isman)이 원시적인 개스發生施設을 開發하였다.

西獨에서는 3개 研究팀이 거의 동시에 독자적인 방법으로 개스發生施設의 開發을 시작하였다.

그 가운데 한팀은 문헨에서 스트렐(Strell), 괴츠(Goetz)와 리브만(Liebmann)등인데 이들은 그루브(Grub)에 實驗施設을 설치하여 自然狀態의 溫度를 含有한 固体糞尿의 發酵實驗을 30일간 하였다. 이 實驗은 6일 간격으로 糞尿 덩어리의 10%씩을 充填하고 除去하는 방법으로 繼續되었으며, 또한 溫水의 供給과 液体糞尿의 除去는 噴霧와 退出方法으로 循環되었다. 그러나 實驗結果를 이용한 완전한 규모의 개스 發生施設은 건설되지 않았다.

다음 研究팀은 다름슈타트(Darmstadt)의 라인홀트(Reinhold)와 노엑크(Noack)가 構成員인데 이 실험에서는 液体 및 固体糞尿를 하루 2~3회씩 몇분동안 作動하는 세로축의 混合機로 地面 보다 낮은 곳에 설치된 콘크리트 또는 鉄製로 만들어진 發酵室로 보내는 방법을 이용하였다. 또한 이 實驗에서는 개스發生을 위하여 消耗되고 남은 糞尿의 廢棄物을 갈퀴로 끌어내어 貯藏더미에 쌓아놓고 發酵室은 보일러의 蒸氣로 加溫된다. 이러한 방법에 의한 개스 發生施設은 實驗後 소규모 농가에 적지 않게 건설된 바 있다.

세번째로는 알러호프(Allerhop)의 슈미트(Schmidt)와 에게르스그루스(Eggersgluss)가 이에 관한 研究를 시작하였는데 이들의 研究目的은 처음부터 所要勞動力 節減, 糞尿效率 改善, 短期間의 개스 大量生産 등에 있었다. 이러한 형태의 개스 發生施設 설치는 農家の 經營형태에 따라 신중히 調整되어야 하였다. 이 실험에서는 마구간에 간, 짧게 썰은 밀집을 少量으로 이용하였는데 이는 蒐集 및 混合싸이로로 이어지는 파이프로 糞尿에 注入한 물의 양을 줄이기 위한 것이다. 또한 이 실험에서는 1일의 投入

량을 発酵施設能力 m^3 당 有機物 3 kg으로 조정된 発酵室에 퍼 넣었다. 主循環 펌프는 糞尿를 마구간에서 混合싸이로까지 보내고 여기서 다시 発酵室, 貯藏室, 施肥裝置로 보내거나 또는 파이프를 통하여 밭에 보낸다. 이 펌프는 찌꺼기를 없애기 위해 回転式 噴射裝置를 이용하여 発酵室에 있는 糞尿를 循環시키는 것이다. 이처럼 슈미트와 에게르스그루스의 실험은 循環裝置의 설치에 重点을 두었는데 1956년 프랑스의 糞尿개스 創導者 페라우드(Feraud)는 프랑스 農業아카데미 회원들에게 勞動節約을 위한 機械化와 그 절차를 설명하는 가운데서 「알러호프(Allerhop)에 있는 糞尿개스 설비는 送風機와 펌프로 要約된다」고 간단히 評價하였다.

슈미트와 에게르스그루스의 糞尿개스 發生施設 設計는 몇몇 대규모 農場과 소규모 農場에서 採択되어 약 15개소의 糞尿개스 發生施設이 세워졌는데 이들의 發酵施設能力은 $96 \sim 960 m^3$ 이었고, 이에 상응하는 糞尿 貯藏 싸이로의 容量은 $96 \sim 600 m^3$ 이었다. 이들 糞尿개스 施設은 25~220頭の 家畜糞尿(평균500kg)를 공급할 수 있게 設計되었으며 일부는 都市의 下水道 施設과도 연결되어 있다. 그가운데서 하나인 「生物學的 腐植 및 개스生産工場」이 현재 稼動되고 있는데 이의 施設別 內訳 및 規模를 보면 $200 m^3$ 規模의 개스 捕集器 1대, $300 m^3$ 規模의 糞尿貯藏싸이로 1대, 發酵能力 480 m^3 인 浸漬器 2대이며 그 이외의 몇몇 다른 工場은 최근 몇년간 개스 생산을 중지하였다.

그 후 몇년간에 개발된 몇가지 메탄개스 生産方法 가운데서 몇 가지만 더 살펴 보면 다음과 같다.

첫째, 호헨하임(Hohenheim)方式: $10 m^3$ 의 水平圓筒形 鋼鉄發酵槽에 自然溫度를 가진 糞尿를 充填하여 개스를 생산하는 방법이다. 이는 추가적인 液体의 供給이 필요없을 뿐 아니라 잘게 썰은 糞뇨이나 다른 물질의 추가적인 供給이 필요하지 않다. 1일 投入量이 많기 때문에 이에 相應하여 개스 發生率이 높다고 한다.

둘째, 게르트너(Gaertner)와 이코노모프(Ikonnomoff)의 “System Berlin”方式: 發酵室과 개스捕集室은 한 房이며 이 房은 壓力室과 管으로 연결되어 있다. 發酵室, 개스捕集室, 壓力室이 모두 마구간 바닥과 水平을 이루는 약 $65 m^3$ 의 싸이로내에 결합되어 있다. 糞尿는 원치로 터널에 投入되며 최대 개스壓力이 $0.13 kg/cm^2$ 까지 올라가면 개스壓力差에 의하여 자동적

으로 投入이 중지된다. 이러한 방법에 의한 施設은 1953년 티롤(Tirol)의 장크홀츠(Jungholz)에 設置된 바 있으며 아직도 稼動되고 있다.

세째, 포에치(Poetsch)方式: 이는 75mm 두께의 水平 칸막이식의 直立 木材圓筒을 이용하여 加熱과 斷熱材의 投入을 줄인다. 이 施設은 아래부분이 發酵室과 개스 貯藏室으로 되어 있고 윗 부분은 7cm 높이의 液体貯藏池로 설계되어 있다. 自然溫度 條件으로 밀짚 糞尿를 投入하고 排出하는 것이 아직도 문제인데 이의 해결을 위해 싸이로에 있는 通風口가 이용되었고, 加熱된 液体는 噴射 및 退出方法으로 循環되었다. 이러한 포에치의 實驗施設은 펠켄로데(Voelkenrode)에 設置되었었다.

한편 東獨에서도 이와 같은 시기에 메탄개스에 관한 研究開發이 있었는데 이를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 제나(Jena)에서의 케르체르(Kertscher)와 포흐(Poch)의 研究로서 이는 糞尿개스 생산에 관한 化學的 技術의인 分野의 研究였으며 高温(52°C)에서의 發酵過程이 重視된 것이었다.

둘째, 드레스덴(Dresden)과 보르нім(Bornim)의 로세게르(Rosegger)와 노이링(Neuling)의 研究는 에너지 생산과 糞尿處理에 대한 集約的인 研究였지만 에너지 均衡이란 側面에서는 東歐의 氣候條件 때문에 적당하지 않은 것으로 判斷되었다.

세째, 할레(Halle)에서의 슈말푸스(Schmalfluss)와 피들러(Fiedler)의 研究는 바이오개스 生産施設에서 處理된 糞尿를 作物에 施肥하는 試驗을 통한 評價研究 였다.

III. 개스 糞尿 및 勞動所要

第2次 世界大戰後 糞尿개스에 대한 직접적인 研究契機는 에너지 부족에 있었지만 食量과 肥料不足도 이시기에 에너지 부족에 못지 않게 심각하여 이 또한 糞尿개스 研究를 촉구하는 요인이 되었다. 최초의 研究팀이 天然개스 生産을 착수키로 하였을때 다른 研究팀은 家畜 排泄物이 發酵過程에서도 잘못되거나 없어지지 않는다는 사실을 관찰 하였다. 문제는 糞尿의 嫌氣性 處理가 그 질과 양에 어떤 영향을 줄 수 있는가 하는 것이었다. 이 문제를 풀기위해 우리는 브라운슈비히-펠켄로데(Braunschweig - Voel-

kenrode)의 農業研究센터에 있는 前 腐植土 農業研究所(Institute of Humus Husbandry)에서 天然개스생산 研究를 着手하지 않고 3개 반으로 된 本 調査研究팀의 構成員이 되었다. 우리는 試驗圃 근처에 각각 상이한 3가지 형태의 바이오개스 施設을 설치하였다. 우리의 課業은 기술개발이나 改良이 아니라 圃場이나 作物生産 試驗에 적용할 수 있는 糞尿개스와 糞尿의 변형된 製品을 생산할 수 있는 市場性 있는 施設을 선택하는 것이었다.

처음 바이오개스 生産施設은 듀셀리어와 아이스만 方式에 따라 세워졌는데 이 시설은 이태리 会社로부터 導入한 것이었다. 容量 7.5m³, 높이 2.2m, 直径 2.1m로 된 3개의 圓筒型 容器는 鋸齒형 콘크리트 부품으로 구성되어 있다. 이 가운데서 두개의 圓筒型 容器는 糞尿가 投入되면 鐵製 뚜껑이 닫히며 나머지 하나의 容器는 개스 捕集器이다. 또한 이 시설에는 加熱이나 斷熱 施設이 없다. 그러나 프랑스에서는 發酵槽 주위에 糞尿를 놓아 공기접촉에 의한 自体加熱過程을 이용하고 있다. 여기서는 溫水循環加熱裝置와 유리솜으로 만든 차단裝置를 설치하였다.

두번째의 바이오개스 生産施設은 다름슈타트에서 라인홀트方式으로 건설되었는데 이것은 發酵室이 17m³로서 약 10두의 家畜糞尿(500kg)를 처리하는 17m³의 發酵室을 갖춘 農家에 알맞는 규모이다. 증기注入에 의한 加熱裝置는 물이 격리막으로 스며들어 만족스럽지 못했다.

슈미트와 에게르스그루스 方式으로 건설된 세번째 바이오개스 生産施設은 比較調査를 위한 基質의 標本試驗을 할 수 있게 그 규모를 축소하여 설치하였다. 이것은 4m³의 混合槽 1개, 14m³의 發酵槽 1개, 두칸으로 나누어진 8m³의 糞尿貯藏사이로 1개, 그리고 12m³의 개스保管容器 1개로 되어 있다. 糞尿處理施設은 파이프라인 體系로 결합되어 있으며 遠心펌프는 液体糞尿를 전후로 移動시킨다. 또한 加熱에는 蒸氣注入 方法이 이용되었다.

그 후에 설치된 네번째 바이오개스 생산시설은 기술개발 책임을 맡은 포에치가 原型을 設計하고 하노버 工科大学이 세운 것이다.

이상에서 살펴본 施設은 <表1>에서 보는 바와 같이 몇가지 側面에서 달랐다. 그 후에 개발된 바이오개스 생산시설은 이들 3가지 방법에 의한 것 중의 하나와 약간 차이가 있을 뿐이다.

耕作地와 試驗圖에서 여러가지 작물을 대상으로 개스발생 시설에서 생긴 発酵 폐기물로서의 液体堆肥와 慣行의 完熟堆肥를 비교해 본 結果 液体堆肥의 施用이 固体堆肥 施用 보다 높은 収量을 가져 온다는 結論을 얻었다. 이러한 結果는 기적이 아니라 실재는 전체적으로 植物栄養分の 損失을 施設로 막았으며 液体堆肥가 固体堆肥 보다 植物이 吸收 可能한 窒素質을 많이 含有하고 있다는 것이 가장 중요한 사실이었다.

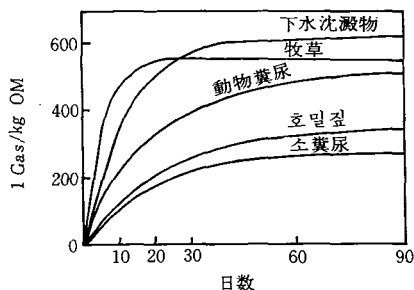
表1 메탄개스 生産方法別 비교

項 目	듀셀리어의 「Batch」法	라인홀트의 「Channel」法	슈미트와 에게르스그루스의 「Fill-and-Draw」法
밀짚의 狀態	無 切 斷	切 斷	짧게 切斷
投入 時期	부패하기 前 상태의 분뇨를 주기적으로 투입	생분뇨를 매일 투입	생분뇨를 매일 투입
1 回投入量	한 가마분	일정하지 않음	3 kg
퍼짐이 除去	퍼짐이 없음	혼합기	회전식 분사기
基質濃度	물기를 흠뻑 흡수한 정도	흐를정도	揚水 可能할 정도
投入中止	전체적으로 오랜 간격	每 日	부분적으로 짧은 간격
발효된 기질의 저장	저장시설 없음	시설뒤에 퇴적	저장 싸이로
시비를 위한 찌기의 처리	액체와 고체로 분리	액체와 고체로 분리	액체와 진흙으로 혼합

이러한 관찰 결과는 糞尿개스가 더 이상 필요 없었던 그 다음 시기의 開發에도 영향을 미쳤는데 勞賃上昇이나 勞動力不足은 이러한 液体堆肥의 施用으로 부분적으로 극복할 수 있었다. 슈미트와 에게르스그루스 방식을 적용할 경우 「生糞尿에서 生糞尿개스까지의 段階」는 加熱體系, 斷熱裝置 개스容器 등을 제거하기 때문에 아주 짧다. 1956년말에 生糞尿施設에 대한 生糞尿개스 生産施設의 비율은 1 : 4였다.

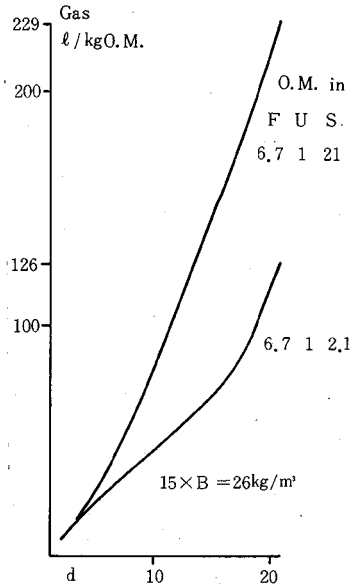
前記한 研究所의 糞尿개스 연구에서 밝혀진 몇가지 結果를 살펴보면 다음과 같다. <圖1>은 90일 동안 30℃ 하에서 實驗한 結果 각종 有機物로부터 얻어진 개스 發生量을 나타내는 曲線이다. 이 實驗은 200년전 프리스리가 행한 바와 같은 反復實驗이었다. 糞尿

圖1 30℃에서의 有機物別 개스 發生量 曲線



개스에 관한 이 그래프는 家畜糞尿에서 발생된 개스량이 가장 적었으며 또한 90 일동안 발생된 개스량의 절반이 15일동안에 생산되고 있음을 보여준다. 이 結果 우리는 糞尿개스 생산에 관한 試驗을 短期間에 하도록 제한할 수 있게 되었다. 그러나 이러한 개스 發生量의 차이를 이해하기 위해서는 基質에 대한 분명한 정의를 내려야 한다. <圖2>에 의하면 밀짚이 많이 섞인 家畜糞尿를 基質로 利用하여 채취된 개스량은 밀짚이 적게 섞인 유사한 基質에서 채취된 개스량 보다 거의 2배가 많다. 또한 <圖3>에 의하면 經濟的인 측면에서 1일 投入量의 重要性을 잘 알 수 있다. 밀짚 家畜糞尿가 가장 적당한 發酵基質인데 이러한 점에서 下水와는 매우 다르다. 이는 投入量을 매우 높일 수 있고 捕集된 개스에서의 탄산개스량이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 새로 充

圖2 35℃에서 밀짚含量別 개스 생산량



註: 이 실험은 소분뇨(F), 오줌(U), 밀짚의 구성을 有機物(OM) 기준으로 다음 2가지 방법으로 실시되었음.

소분뇨(F): 오줌(U): 밀짚(S) = 6.7: 1: 21.

소분뇨(F): 오줌(U): 밀짚(S) = 6.7: 1: 2.1.

圖3 35℃에서 投入量別 개스 생산량과 탄산개스 含量

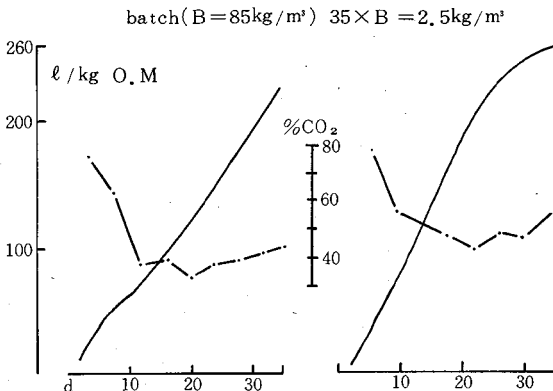
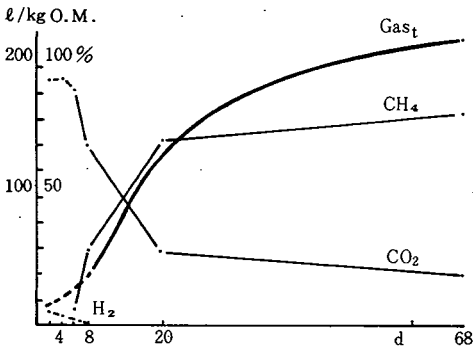


圖4 35℃에서 밀짚으로 부터
發生된 개스의 構成变化



填充된 基質로 부터 捕集된
개스에서 CO_2 에 대한 CH_4
의 비율은 장기간동안 메
탄에 유리하게 증대되었다
<圖4>.

따라서 개스의 效率的인
사용은 投入量, 發酵期間,
개스 貯藏室의 容量 등과
관계가 있다는 결론을 얻
었다. 그 결과 發酵溫度는

일정한 시간에 생산되는 총개스량에 영향을 줄 뿐 아니라 어느 점에서는
 CO_2 에 대한 CH_4 의 비율에도 영향을 준다. 즉 55℃에서의 發酵가 低溫
에서의 發酵 보다 發酵初期에는 메탄 含量이 높은 개스의 生産量이 많다
<圖5>. 근래에는 斷熱資材 및 斷熱方法 그리고 調節裝置의 발달로 옛날
보다 더 높은 溫度에서도 發酵가 가능하다.

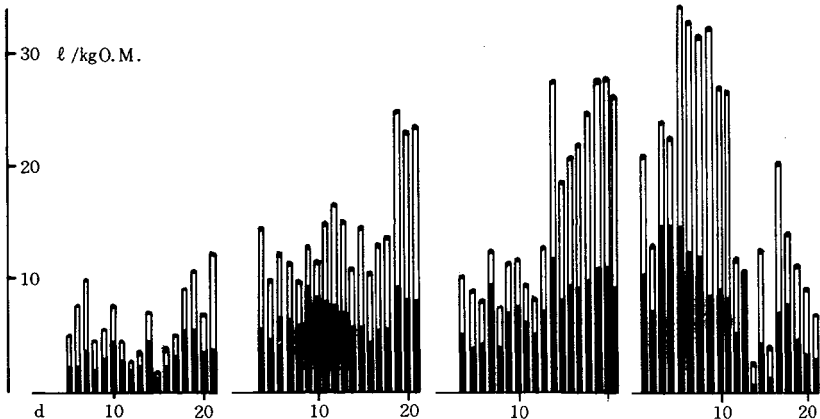
이 實驗은 糞尿개스 생산 뿐만이 아니라 家畜衛生分野와도 관련이 있다.

圖5 溫度差에 따른 개스生産量과 탄산개스량의 변화

(15日間 1日 投入量 2.3kg으로 실험하였음)

—— 탄산개스

	25°	35°	45°	55°
Σ total l	129	316	317	405
Σ CO_2 l	61	135	141	169
%	47	43	44	42



液体糞尿를 耕作地에 施用하는 데 있어서는 衛生的인 이유로 長期貯藏이 필요하다. 高温에서의 好熱性 發酵은 실제로 抗伝染病 衛生效果를 改善하고 長期間이 所要되는 貯藏時間을 단축시킨다.

IV. 최근의 研究 및 展望

1958년에 프랑스 政府의 한 視察團이 糞尿개스 생산 및 研究施設을 視察하기 위해 獨逸을 방문한 바 있다. 그들의 상세한 報告書의 結論은 다음과 같다. 「糞尿發酵에 대한 研究는 일반적으로 메탄개스 生産은 물론 糞尿의 価値増進을 촉진하는 것이다. 그러나 이들 糞尿개스 施設의 이점을 經濟的인 측면으로만 評價할 수 없으며 國家的인 重要性이 있는 것이다. 따라서 그 經濟性이 절대적으로 重要的 것이 될 수 없고 또한 그렇다고 經濟性을 완전히 무시할 수도 없다」.

印度에서는 바이오개스 生産施設이 公開討論을 통하여 비상한 관심을 모으고 있다. 最近의 石油危機와 그밖의 理由로 에너지의 多樣的 生産이 관심을 끌었다. 현재 印度에는 총 8,000개의 바이오개스 생산시설이 稼動되고 있으며 이들 施設의 生産規模는 약 20개 種類에 달한다. 또한 印度의 農林省에서는 앞으로 약 50,000개의 施設을 더 設置할 計劃을 세우고 있다. 그러나 비록 소규모 施設이라 하더라도 최초의 設置費用 때문에 富農을 제외한 대부분의 農家에서는 設置가 어렵다. 1973년에 國營銀行들은 事業推進計劃이 잘 수립된 印度의 8개州의 바이오개스 생산시설에 대한 金融支援에 동의한 바 있다. 그런데 印度에서提起된 문제는 施設의 設置를 補助金이나 融資金에만 의존할 것이 아니라 과감한 費用節減의 重要性을 인식할 필요가 있는 것이다. 그것은 세멘트와 鉄鋼 사용에 대한 代案 開發, 温度, 酸度, 粘度, 混合機의 기능에 따른 發酵率, 개스 生産量, 개스配合 등에 관한 새로운 研究結果를 적용한 施設의 設計 변경으로도 費用은 節減되는 것이다. 또한 印度의 糞尿개스 生産條件은 獨逸의 條件과는 몇가지 차이가 있는데 양자의 차이점과 문제점은 判斷을 내리기가 어렵다.

1961년 英國 國立農業技術研究所(National Institute of Agricultural Engineering)의 네이션(H. J. Nation)은 「農家の 메탄生産」에 관한 資料를 얻기 위해 獨逸을 방문한 후 英國 農工學研究會(British Society for

Research in Agricultural Engineering)에 보고한 報告書에서 다음과 같은 結論을 내렸다. 研究된 여러형태의 시설의 價值는 첫째, 勞動力 節減, 둘째, 糞尿의 價值增進, 셋째, 生産된 개스의 動力化의 어느 한가지나 또는 전부로 만족한 評價를 내릴 수 있다는 見解를 여러 機關에서 상이한 시기에 주장해 왔다. 사실 이 3가지 判斷基準에 結付된 價值와 資本投資에 대한 그 관계는 當農形態, 農家規模, 採択된 工程, 氣候 및 當該地域의 勞動力 事情 등에 따라 變化된다. 結論은 다른 動力源을 이용할 수 있는 경우에는 農場의 糞尿에서 메탄을 생산하는 어떤 형태의 施設도 經濟的인 側面에서 正当化할 수 없다는 것이다. 그러나 國家非常時에는 이러한 개스 發生施設을 많이 설치함으로써 國家의 燃料供給에 기여할 수 있다.

이와같은 네이션의 報告書가 나온지 15년이 지났다. 그동안 우리는 石油危機도 경험하였고 環境保存의 必要에도 직면하지 않을 수 없었다. 어쨌든 오늘날 家畜의 排泄物은 公衆衛生을 해치지 않도록 衛生的으로 처리하여야 한다. 좋지 못한 냄새를 除去하는 好熱性 発酵도 하나의 處理方法일 수 있다. 물론 家畜의 排泄物 處理施設은 處理된 排泄物の 최종 處理를 포함하여 勞動節約型이어야 하며 適正利用效果를 얻을 수 있게 耕作地에 살포하는 方法 등을 예로 들 수 있다.

糞尿로부터의 메탄가스 생산은 優先順位에 의해서가 아니라 값진 副産物 生産으로서도 가능하지 않을까.

海外農業資料 4

食糧과 에너지와 農業廢棄物處理

1980년 7월 10일 발행

發行人 金 甫 炫

發行處 韓國農村經濟研究院

11311 서울특별시 동대문구 회기동 4-102
전화 965-7214

印刷 東洋文化印刷株式會社 값 500원