

# 이스라엘의 수자원 개발과 관개용수

## Israel Water Resources Development and Water Allocation for Irrigation (Israel country paper submitted to ICID 15th Congress)

Y. Shevah\*

G. Kohen\*

김 주 창\*\*역

Kim, Ju-chang

### 1. 서 언

이스라엘은 독립후 30여년의 짧은 기간에 수자원을 개발하여 약 19억㎡의 물을 농업, 공업 및 생활용수로 공급하고 있다. 현재 이스라엘은 가용 수자원을 모두 이용하고 있으며 추가적인 용수 수요는 새로운 방법, 즉 물의 수입, 해수의 담수화, 가정 하수의 재이용 등으로 충당해야할 형편이다. 이스라엘도 한발에 의해 피해를 보고 있으며, 수자원의 고갈, 과도한 취수, 수질의 악화 등 문제에 직면하고 있다.

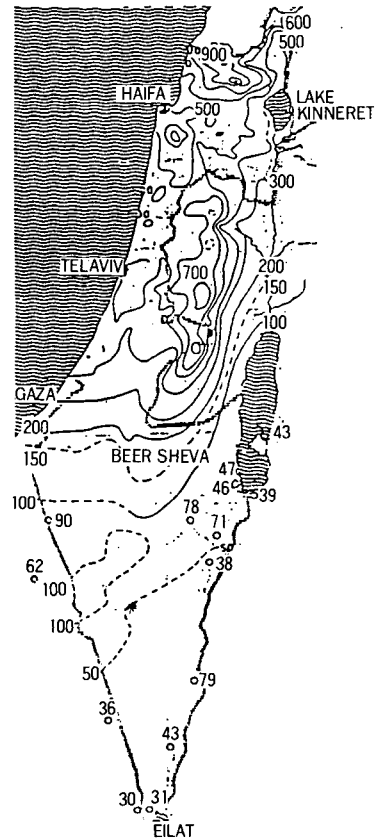
현재 관개는 가용 수자원중 가장 큰 수요를 차지하지만 생활용수와 공업용수의 증가로 어려움을 당하고 있어 관개농업을 지키기 위한 여러 조치들이 필요하게 되었다.

### 2. 기 후

연평균 강우량은 북부지역의 900mm에서 남부지역의 30mm까지 지역에 따라 다르다. 또 실제 강우량은 평균 강우량과 크게 다르게 나타날 경우가 많다. 1989년부터 1991년까지 3년간은 큰 한발이 있었으며, 1992년에는 강우량이 연평균의 2배에 달하였다.

온도는 건기인 4월부터 10월까지 대단히 높아

작물의 증발산량이 크므로, 이 시기에는 관개를 하지 않고는 작물을 재배할 수 없다.



<그림-1> 년평균 강우량(mm, 1921~1980)

\* Israel Water Commission

\*\* 농어촌진흥공사 농어촌연구원

### 3. 수자원, 수질 및 용수 수요

#### 가. 수자원

국가수자원의 80%가 북부지역에 있고 20%가 남부지역에 있는 반면 농경지는 65%가 남부지역에 있고 35%가 북부지역에 있다. 그러므로 북부지역의 물을 200km 정도 남쪽으로 끌어오지 않으면 안된다.

이스라엘의 가용수자원은 16억 m<sup>3</sup>이며 이중 95%가 이미 개발, 이용되고 있다. 이용 수자원의 약 33%는 율단(Jordan)강의 물인데 해면하 212m의 표고인 키네레트(Kinneret) 호수에서 양수해야 하며, 55%는 지하수이고 나머지는 하수의 재이용등이다.

이스라엘의 수자원을 분류·요약하면 다음과 같다.

- 1) 율단강과 그 지류로서 키네레트 호수에서 양수한다.(약 33%의 점유율)
- 2) 지하수 대수층으로 얇은 해안 지역 대수층(Limestone 대수층)과 깊은 산간 지역 대수층(Limestone Dolomite 대수층)이 있다.(약 55%의 점유율)
- 3) 하수의 재이용으로 처리된 하수를 대수층에 충전시키는 것이다. 약 200만 인구의 수도 텔아비브 지역의 하수가 가장 많다.(약 8%의 점유율)
- 4) 염수의 담수화로 남부 도시 에일랏(Eilat)의 상수용과 네게브 사막지역의 마을들에 상수를 공급하는 소규모 담수처리 공장들이 있다.

#### 나. 수질

지하수의 채수는 해수가 해안 대수층으로 침투하는 것을 방지하기 위하여 엄격히 통제되고 있다. 대수층이 염분으로 오염되면 수질 문제가 생겨 지하수를 이용할 수 없게 되기 때문이다. 보통, 연간 총 채수량은 강우로 자연 보충된 양과 인공적으로 함양된 양의 합계보다 적도록 한다.

그러나, 채수량이 공급량에 거의 가깝고 한발시에는 불가피하게 한도를 초과하기 때문에, 대수층내의 자연적 흐름상태가 변하고 담수영역이 줄어들

게 된다. 한편, 유역으로부터 비료의 사용과 인간 활동의 증가로 오염물질의 유입이 증가하면서 지하수의 광물질 함량과 오염도도 증가한다.

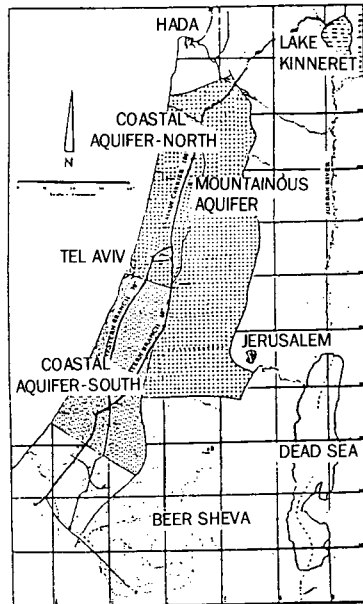
따라서, 오염된 용수원으로 부터 관개되는 지역은 작물 생산에 지장이 생기며, 아보카도와 귤같이 염분에 민감한 작물부터 피해를 입게 된다.

수질의 염도 문제에 대해서는 다음과 같은 대책이 필요하다.

- 1) 용수공급 계획을 다시 만든다. 염분의 근원, 염분에 민감한 작물, 염도가 낮은 물 등을 고려하여 용수공급을 재배치한다.
- 2) 새로운 농장개발에서는 염분에 강한 작물을 선택하여 재배한다.
- 3) 이중의 용수공급 조직을 채택한다. 두개의 용수공급관로를 설치하고 작물의 소요에 따라 수질이 다른 물을 각 관로별로 공급하는 방법과 1개의 관로에 시간을 달리하여 수질이 다른 물을 공급하는 방법이 있다.
- 4) 수질에 따라서 물값을 다르게 부과한다.

#### 다. 용수공급조직

이스라엘은 물이 귀하고 물의 지역적 분포도 좋지 않아 물을 배당된 양에 따라 압력관로로 공급하는 국가적 종합 용수공급망이 설치되어 있다. 또



<그림-2> 이스라엘의 주요 수자원 및 대간선

한, 모든 물이 펌프로 양수된 것이고 이스라엘 전체 전력 사용량의 20%가 양수를 위하여 사용되고 있는 실정이다.

국가용수공급조직의 핵심 “국립 대간선”(National Carrier)은 연간 11억m<sup>3</sup>의 물을 보내며, 이 중에서 4억m<sup>3</sup>의 물은 올단강에서 남부지역으로 보내는 것이다. 나머지 공급량은 지역적으로 분포된 관정에서 공급한다. 국립 대간선은 강우가 많은 북부지역과 강우가 적은 남부지역을 연결하고, 지역적으로 분포된 용수공급망과도 연결하여, 용수의 수요와 공급간 불균형을 보충해 준다. 관개 소요가 작은 겨울철에는 국립 대간선의 물로 대수층을 함양한다.

라. 용수 소요

현재의 총 용수 소요는 연간 19억m<sup>3</sup>로 35%인 7억m<sup>3</sup>는 생활 및 공업용수이고, 65%인 12.3억m<sup>3</sup>는 관개용수이다. 관개용수는 그 2/3가 음료수와 같은 정도의 수질이고 나머지는 하수를 처리하여 만든 것이다.

대부분의 용수조직은 농업용수 생활용수 및 공업용수를 통합한 하나의 조직으로 되어 한발시 용수가 부족하면 생활용수, 공업용수, 농업용수의 순서로 우선권을 갖는다. 인구의 증가와 공업용수의 증대에 따라 관개용수의 몫은 1960년에 77%이던 것이 1990년에 65%이고 2000년에는 57%로 감소할 것으로 예측하고 있다.

인구의 증가에 따라 관개용수로 공급되는 깨끗

<표-1> 년도별 용수 공급 및 수요

용수공급	1990		1991(한발년)		2000	
	백만m <sup>3</sup>	%	백만m <sup>3</sup>	%	백만m <sup>3</sup>	%
(용수공급)						
담 수	1,530	80	1,070	75	1,500	70
염분 함유수	170	9	150	11	200	10
하수 재이용	200	11	200	14	400	20
계	1,900	100	1,420	100	2,100	100
(용수수요)						
생활 및 공업	670	35	620	43	890	43
관개(담수)	860	45	450	32	660	31
관개(불량수질)	370	20	350	25	550	26
계	1,900	100	1,420	100	2,100	100

한 물의 양은 점점 더 줄어들 것이며, 2000년에는 생활용수와 공업용수가 8.9억m<sup>3</sup>으로 증가하고 관개용수(담수)는 1990년의, 8.6억m<sup>3</sup>에서 6.6억m<sup>3</sup>으로 줄어들 것이 예상된다. 따라서, 관개용수 부족량은 여러가지 방법으로 개발 공급하지 않으면 안 된다.

4. 물관리와 통제

이스라엘이 용수 소요량을 확보하는데는 여러가지 문제점들이 있다.

- 1) 연속적인 심한 한발에 따른 수자원의 고갈
- 2) 수원에서의 수질 악화
- 3) 수자원개발 비용의 증대와 기술의 불확실성
- 4) 기득권에 따른 부문간의 이해대립 즉 관개용수를 생활용수로 전환할 경우 기득권자가 반대하는 것.

이런 문제들을 다루기 위해서는 법률적, 행정적, 그리고 운영면에서의 종합적인 조치가 있어야 한다.

이스라엘의 물에 관한 법은 가용 수자원의 엄격한 통제와 효과적인 이용을 규정하고 있다. Water commission이 용수분배의 업무를 관장하며 용수의 사용을 위해서는 매년 면허를 받아야 하며 합법적인 목적에 대해서는 누구나 용수를 공급받을 권리가 있다. 그러나 용수의 사용이 끝나면 이 권리는 소멸한다.

수자원 관리방법은 다음과 같다.

- 1) 채수의 조절, 양수의 재배치, 인공적 함양, 지표수의 저류 등으로 대수층을 보전하고 복구한다.
- 2) 계절적 및 장기적 저류, 한발의 완화, 수질의 개선 등을 목적으로 인공적 함양처럼 지표수와 지하수를 연결하여 이용한다.
- 3) 법률, 허가제도, 가격제도, 관리기구 등에 의해 용수조직이나 하천을 관리한다.
- 4) 용수 사용량의 측정을 의무화한다.
- 5) 용수사용료 조정기금을 설치하여 지역간 용수사용료의 격차를 줄인다.
- 6) 용수공급조직에서의 물 손실을 억제하고 물 사용자의 용수절약에 대한 장려금 제도를 시행한다.

## 5. 수자원 개발

기존 수자원은 거의 모두 개발되었기 때문에 앞으로의 생활용수 공급을 위해서는 관개용으로 쓰이는 깨끗한 물을 전용하고 먹을 수 없는 수질의 물 자원을 개발하는 것이다. 따라서 용수공급의 최종 해결책은 대규모 해수 담수화라 할 수 있다.

향후 10년안에 새로운 개발방법이 출현할 것이 예상되는바 홍수의 이용, 오폐수의 처리이용, 인공강우 그리고 제한된 범위의 해수 담수화 등이 있다. 그리고 사용 효율, 특히 관개효율을 높임으로서 용수를 크게 절약하는 것도 수자원 개발과 같은 효과를 갖는다.

### 가. 홍수의 이용

울단강이나 다른 하천의 수위가 높아져 홍수가 일어날 때 이 홍수를 끌어들이 저수지에 저류시키거나 지하수를 함양하는 방법이 있다. 이렇게 저수된 물은 한발시에 취수하여 이용할 수 있다. 그러나 홍수가 단기간에 일어나고 발생빈도도 예측 불가능하고 알맞은 지형조건도 드물어 실제로 홍수를 저류하여 이용할 수 있는 수량은 많지 않다.

### 나. 하수의 재이용

하수나 오폐수를 적절히 처리하여 재이용하지 않으면 환경에 큰 위협이 된다. 그러므로 하수를 처리하여 관개용수로 쓰는 것은 환경보전 차원에서 대단히 중요하다.

큰 도시의 하수를 재이용하는 것은 이미 시행되고 있으며 이스라엘 전체에서 하수의 약 50%인 연간 2억<sup>m</sup>가 처리 이용되고 있고 2000년까지 70% 수준인 연간 7억<sup>m</sup>를 재이용할 계획이다. 2개 지구의 하수 처리 재이용 상황을 기술하면 다음과 같다.

#### 1) Dan 지역 사업

이스라엘 수도인 텔아비브지역에서 연간 1억<sup>m</sup>의 하수를 처리한다. 처리된 물은 지하수 함양에 사용되며, 흙을 통해 지하수 대수층으로 들어가면서 2차적인 자연 처리가 된다. 이 물은 다시 채수하여 관개용수, 공업용수, 비음용 생활용수로 사용한다.

#### 2) Kishon 계획

소도시, 집단거주지 등에서 비교적 단순한 방법으로 하수를 처리하여 사용하며, 식용이 아닌 작물의 관개에 이 물을 사용한다.

이 계획중 가장 큰 것이 Quishon 지구인데 연간 2,500만<sup>m</sup>의 하수를 처리하여 30km 떨어진 Yizre'el 평야에 관개용수로 공급한다.

### 다. 해수 및 염수의 담수화

염수를 담수로 바꾸는데는 역삼투법과 증류법이 사용된다. 다단계 증류법에서는 염수를 고압으로 급속히 증발시킨 후에 응결시킨다. 주어진 열로 가장 많은 수증기를 만들기 위하여 여러 단계로 한다. 역삼투법에서는 물분자는 통과시키고 염분 분자는 통과시키지 않는 반투수성 막을 사용한다.

이스라엘에서는 지난 30년간 담수화에 많은 노력을 기울여 왔으며, 현재는 역삼투법을 이용하여 염수를 담수로 만든다. Eilat 시에 있는 해수 담수화 공장은 폐쇄하고, 역삼투법을 이용한 공장을 신설하여 염분을 포함한 지하수를 담수화하며 매일 13,500<sup>m</sup>의 물을 음료수로 생산 공급하고 있다.

네게브 사막지역의 집단 거주지에서도 역삼투법과 전해법 등으로, 염분을 함유한 지하수를 담수화하여 용수로 공급하고 있다.

이 방법에 의한 수자원 확보도 장래에 점차 증가될 것이다.

### 라. 인공 강우

인공 강우에 대한 실험이 여러번 시행되었는데 첫 실험인 1961~1967에는 이스라엘 북부지역에서 겨울철 강우의 양을 증가시키려고 옥화은(Silver iodide)의 미세한 입자를 공중에 살포한 바, 그 지역에서 강우량이 15% 정도 증가하였다.

두번째 실험은 1969~1975에 시행하였으며 해당지역에 13%의 강우가 증가하는 결과를 얻었다.

이들 실험의 효과는 특별한 장비를 갖춘 비행기를 이용하거나 특별한 지상 장비로 인공강우를 일으킬 수 있다는 것을 알려주었지만 강우가 가장 필요한 한발시에 구름 자체가 없다는 것이 제약 조건이 되고 있다.

마. 용수 절약

용수의 절약으로도 수자원개발과 같은 효과를 거두므로 용수를 절약하고 용수효율을 높이는 방법이 많이 연구되었다. 물의 순환 재이용과 용수절약 기술의 개발이 필요한 바, 새로운 관개기술로 동일한 양의 물을 더 멀리 보내고, 더 많은 수확량을 얻고, 노동력을 줄이는 것 등이 연구되었다.

이 방법으로 지난 수년동안에 용수공급량의 증가와 작물 생산비의 증가없이 관개면적을 크게 늘릴 수 있었다. 시비기술의 발전, 신농사기술의 도입, 물방울(드립)관개, 컴퓨터 자동급수조절, 관개 장치의 이용 등으로 단위면적당 관개용수량이 크게 감소되었다. ha당 평균물 사용량은 약 9,000m<sup>3</sup>에서 5,500m<sup>3</sup> 정도로 감소되었지만 ha당 농업생산은 오히려 크게 증가하였다.

이스라엘의 용수절약 및 용수효과 증대 기술은 기존 수자원으로 부터의 공급량을 결과적으로 늘리는 보편적 해결책이라고 할 수 있다.

농민들도 이런 개발에 중요한 역할을 하였다. 물방울(드립)관개, 미니 살수기, 기계화 이동 장치, 컴퓨터 설계 및 조절 장치 등을 사용함으로써 새로운 관개시설의 보급을 촉진시켰다.

농민들이 새로운 관개조직을 채택하게 된 주요 이유는 다음과 같다.

- 수자원의 부족과 물 사용 최적화의 필요성
- 관개면적의 증가
- 불량농경지(지형의 불량, 낮은 토심, 척박토지 등)의 경작
- 에너지 절약의 필요성

현재 435,000ha의 경지면적중 220,000ha는 관개되고 있으며 연간 소요수량은 12.3억 m<sup>3</sup>으로 강우 상태에 따라 12억~13억 m<sup>3</sup>의 범위내에서 변한다.

1990년 기준으로 경지면적과 주요작물 및 연간 관개수량의 내용은 <표-3>과 같다.

<표-3> 경지면적 주요작물 및 관개수량

작 물	경지면적(천ha)		관개수량(백만m <sup>3</sup> )		계
	비관개지	관개지	담수	수질불량수	
나무 작물	15	75	490	70	560
곡 물	195	72	100	110	210
면 화	-	35	75	95	170
채 소	5	35	165	25	190
양 어 장	-	3	30	70	100
계	215	220	860	370	1,230

6. 관개 개발 및 기술 발전

가. 관개 개발

이스라엘에서는 용수부족과 작물별, 지역별 용수분배의 필요성 때문에 관개용수 조직의 개량이 이루어져 전체 면적이 압력관로로 급수되고, 이렇게 하여 절감된 물로 관개면적을 <표-2>와 같이 증가시켰다.

<표-2> 이스라엘의 관개개발

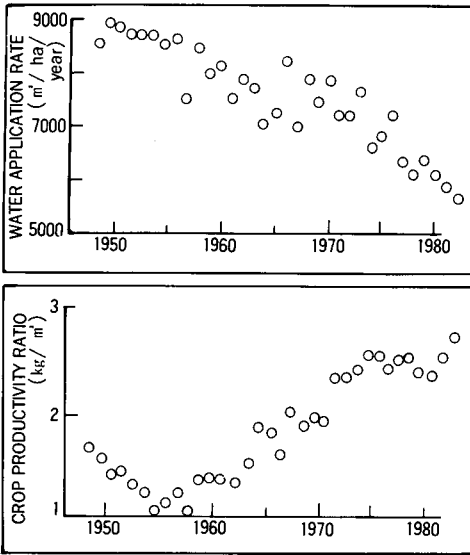
년 도	경작면적 (ha)	관개면적 (ha)	관개수량 (백만m <sup>3</sup> )	ha당m <sup>3</sup>	비교(%)
1950	335,000	47,000	410	8,700	100
1960	415,000	135,000	1,020	7,560	87
1970	415,000	173,000	1,240	7,150	82
1980	425,000	205,000	1,200	5,850	67
1990	435,000	220,000	1,230	5,590	65
2000(추정)	435,000	220,000	1,150	5,250	60

관개용수의 효율과 경제성을 높이기 위하여 관개조직에 대한 연구가 집중적으로 시행되었고, 사용수량을 측정하고 조절하는 장치와 조직 및 그 사용법도 연구소, 농업지도소 그리고 관개장비 제조소에 의해 개발되었다.

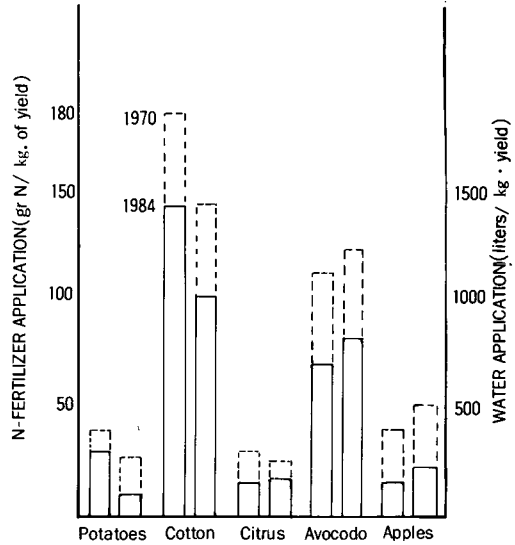
관개면적의 증가와 함께 단위면적당 용수량이 감소되고 수확량은 증가하는 것을 <표-4>에서 볼 수 있으며 이는 관개효율과 생산성의 증가에 기인한다고 볼 수 있다.

<표-4> 작물별 관개수량과 수확량

작 물	관개조직별 수량(m <sup>3</sup> /ha)		수 확 량(톤)	
	종래형	신형(현재)	종래형	신형(현재)
(채소류)				
호 박	8,000	5,000	10	20
콩	7,000	4,500	7	10
가 지	12,000	8,500	15	60
토 마 토	11,000	7,500	15	50
(나무작물)				
바 나 나	45,000	25,000	40	85
귤	12,000	7,000	30	65



〈그림-3〉 관개효율과 작물생산성(1948~1982)



〈그림-4〉 질소비료사용과 용수사용(1970, 1984)

나. 관개기술

1) 중력관개

과거 40년간의 관개개발은 취수량의 최소화, 저수지 침투손실 억제, 균등한 급수, 사용수량 측정, 지표배수조직의 건설 등 지표관개에 관한 것이었다. 그러나 중력관개는 점차 압력관개조직, 즉 스프링클러와 드립관개조직으로 바뀌었고 컴퓨터를 이용한 조작, 관리, 측정이 도입되었다. 관개효율을 높이는 과정에서 중력관개가 스프링클러와 드립관개로 바뀌는 것은 불가피하였다.

2) 스프링클러 관개

스프링클러 관개는 적절히 설계되면 80% 이상의 관개효율을 갖는다. 스프링클러 관개가 도입되면서 하루 또는 이틀에 한번씩 관개하는 것이 가능해졌고 이는 지표관개의 5~7일 간격 관개와 큰 차이를 나타냈다.

3) 드립관개

드립관개의 원칙은 작물의 근역에 소량의 물과 비료를 자주 줄 수 있는 것이다. 물을 자주 주기 때문에 염분을 아래로 씻어내고 염분이 작물에 주는 장애를 줄일 수 있는 것이다. 드립관개는 토양과 관개용수에 염분이 많이 포함되어 있는 건조한 지역에서 특히 효과적이다. 드립관개는 생활용수의 하수를 관개에 이용할 수 있게 하고 종래 염도가 너무 높았던 염해지의 경작을 가능케 하고 염도가

높은 물은 관개용수로 쓸 수 있게 해준다.

토양에서 염분을 씻어내는 적정기술을 사용하여 현재 TDS(총용해성 염류) 2,500~3,000ppm 즉 염화물 600ppm과 황산염 700ppm을 포함한 물을 관개용수로 사용하고 있다.

배수에 있어서도 삼투손실이 감소되어 효과적이다. 염분용탈 수량은 식물의 필요수량의 10~20% 정도이고 작물에 따라서 다르다.

4) 자동화 및 컴퓨터 이용

자동화의 도입으로 멀리 떨어져 있는 경지에 대한 관개가 용이하게 되었다. 모든 경지에는 용수조절 시설이 설치되었으며 시간에 의한 조절과 수량에 의한 조절이 있다. 일정 수량이 공급되면 자동으로 용수공급을 차단하는 장치가 있고, 간선 관로에서 누수가 발생하여 압력이 내리면 자동으로 관로의 통수를 차단하는 안전장치도 이용되고 있다.

컴퓨터에 의한 자동장치의 조절도 이루어져 전기요금을 절약한다. 시간별로 전기료에 차이가 있음으로 전기료가 싼 시간에 관개시설이 작동되도록 하는 것이다. 용수사용량은 컴퓨터가 계속 추적하여 관개효율의 저하나 용수의 낭비가 없도록 하고 있다.

다. 결론

향상된 관개기술의 적용으로 관개용수량을 연간

약 9,000m<sup>3</sup>/ha에서 약 5,500 /ha로 감축하여 대단히 큰 효과를 얻었다.

단위면적당 관개수량이 감소하면서도 단위 용수량당 수확량으로 표시되는 용수의 생산성이 크게 향상하여 종래의 1kg / m<sup>3</sup>에서 2.5kg / m<sup>3</sup>으로 증가하였다. 즉 1m<sup>3</sup>의 물로서 2.5kg의 농산물을 생산하게 된 것이다.

물의 값도 인상되었지만 소요노동력이 감소되어 상쇄되었다. 경지 현장에서의 지루한 작업시간이 자동화로 줄어들고 남는 노력은 다른 목적으로 쓸 수 있게 되었다.

개선된 관개조직의 가장 중요한 이점은 단위용수량을 35%정도 줄이고 이렇게 남는 물로 관개면적을 확장한 것이었다.

역자 약력

김 주 창



- 1960. 서울대 농과대학 농공학과 졸업
- 1983. 강원대 대학원 석사
- 현재 농어촌진흥공사 농어촌연구원 농공기술연구소 수리시험장장
- KCID 이사 / 편집 및 학술분과 부위원장