

임하 다목적댐 건설 후 주변지역 기후 및 작물생산력 변화

윤진일* · 황재문** · 이순구***

Simulation of Local Climate and Crop Productivity in Andong after Multi-Purpose Dam Construction

Jin Il Yun*, Jae Moon Hwang** and Soon Gu Lee***

ABSTRACT: A simulation study was carried out to delineate potential effects of the lake-induced climate change on crop productivity around Lake Imha which was formed after a multi-purpose dam construction in Andong, Korea. Twenty seven cropping zones were identified within the 30 km by 25 km study area. Five automated weather stations were installed within the study area and operated for five years after the lake formation. A geostatistical method was used to calculate the monthly climatological normals of daily maximum and minimum temperature, solar radiation and precipitation for each cropping zone before and after the dam construction. Daily weather data sets for 30 years were generated for each cropping zone from the monthly normals data representing "No lake" and "After lake" climatic scenarios, respectively. They were fed into crop models (ORYZAI for rice, SOYGRO for soybean, CERES-maize for corn) to simulate the yield potential of each cropping zone. Calculated daily maximum temperature was higher after the dam construction for the period of October through March and lower for the remaining months except June and July. Decrease in daily minimum temperature was predicted for the period of April through August. Monthly total radiation was predicted to decrease after the lake formation in all the months except February, June, and September and the largest drop was found in winter. But there was no consistent pattern in precipitation change. According to the model calculation, the number of cropping zones which showed a decreased yield potential was 2 for soybean and 6 for corn out of 27 zones with a 10 to 17% yield drop. Little change in yield potential was found at most cropping zones in the case of paddy rice, but interannual variation was predicted to increase after the lake formation.

Key words: Crop model, GIS, Climate change, Artificial lake, Agrometeorological forecasting.

다목적댐 건설의 결과로 전국 각지에 많은 인공 호가 생겨났으며, 이로 인해 인공호 주변지역의 기후변화가 보고되어 왔다^{9,13,14,19}. 인공호 주변지역의 기후변화는 지역주민들의 생활뿐 아니라 농작

* 경희대학교 농학과 (Department of Agronomy, Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea)

** 안동대학교 원예육종학과 (Department of Horticulture and Breeding, Andong National University, Andong 760-749, Korea)

*** 안동대학교 농생물학과 (Department of Agricultural Biology, Andong National University, Andong 760-749, Korea)

본 연구는 농림부의 1995년도 첨단농업기술개발과제 "전국 농업기상 감시 및 실시간 작황진단체계 구축" (과제번호 295133-4) 및 한국수자원공사의 지원에 의해 수행되었음.

<'97. 6. 4 接受>

물의 생산성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다³⁾.

기후변화에 미치는 인공호의 영향잠재력은 호수의 크기(면적, 수심)에 따라 달라진다. Timofeev는 열 및 수분 교환량은 호수면적에 좌우됨에 착안하여 호수의 길이가 주풍향을 축으로 하여 500km 이상이면 대인공호(large reservoir), 1km 이상 500km 미만이면 중인공호(limited reservoir), 그리고 1km 미만이면 소인공호(small reservoir)라 구분하였다¹⁸⁾. Dussart et al.⁴⁾은 면적에 덧붙여 수심을 고려하였는데 깊이가 3m 이하이거나 면적이 10km² 이하인 것을 못(pond), 깊이가 3m 이상 10m 이하이거나 면적이 100km² 이하인 것을 소호수, 그 이상의 것을 대호수라 하였다. 따라서 다목적댐 건설에 의해 형성된 국내 대부분의 인공호는 소호수로 분류된다.

소호수가 주변기후에 미치는 영향에 대한 연구는 극히 제한되어 있고 그나마 연구 결과가 단기간 조사자료를 근거로 한 것이다. Gregory et al.⁶⁾은 헝가리의 Balaton호에 의해 주변의 일최고기온이 3℃까지 낮아졌고 습도가 높아졌으나 이러한 경향은 호수로부터 300m 이내에 나타남을 보고하였다. Made¹⁵⁾는 독일의 Susser See 사례를 통해 호수 주변의 주간온도는 낮아지고 야간온도는 높아졌으나 그 영향의 크기는 1~2℃ 이내이며 호수로부터 10~20m 거리에 한정됨을 보고하였다. 또한 Thornthwaite²⁵⁾는 러시아의 Ribinsky댐이나 미국의 Mead호 주변에서는 월평균기온이 호수의 영향을 받지 않는 곳과 비교하여 뚜렷한 차이가 없다고 보고하였다. 국내의 경우 Lee¹³⁾는 인공호의 생성에 따라 안개의 발생이 많아짐을 보고하였고 이와 비슷한 결과가 Hong⁹⁾, 그리고 Lee et al.¹⁴⁾ 의해 보고된 바 있다.

국지기후 변화에 따른 농작물 생육을 연구한 경우는 더욱 희소한데, 한국전력공사 기술연구원에서 수행한 강원도 도암댐 주변 연구결과에 의하면 감자, 무, 배추의 생육은 댐 인접지역과 대조지역 사이에 차이가 없었고, 따라서 도암댐 건설에 따른 인근지역 농업에 대한 영향은 없을 것으로 유추하였다¹⁹⁾. 반면 안동댐 인접 안개상습지는 대조지역과 비교하여 벼의 출수기가 지연되고 등숙률이 저하되는 것으로 보고되었다³⁾. 이러한 연구결

과들은 담수전과 후의 기후변화 조사에 토대를 둔 것이 아니라 호수가 생성된 후 댐 인접지역과 대조지역 사이의 공간적 비교에 근거하므로 진정한 의미의 담수 전후 기후변화의 영향이라고 단정할 수 없다. 실제로 다목적댐 건설계획이 수립되더라도 기상관측망 구성과 작물재배실험 등 기본적인 자료수집이 이루어지는 일이 거의 없으며, 국내외를 막론하고 댐건설지역은 대체로 산간협곡으로서 인근에 대규모 평야지대가 있는 경우가 드물어 농업생산성에 미치는 영향을 체계적으로 분석한 사례는 보고되지 않았다.

다목적댐 건설에 의해 1990년에 경북 안동시 남동쪽에 생성된 임하호의 경우 생성된 저수지면적이 홍수 만수위 기준으로 28.7km²로서 분류상 소호수에 속하는데, 인접지역에 비교적 넓은 평야가 있고 농작물 재배가 지역경제에서 상당한 비중을 차지하므로 기후변화와 농업에 미치는 영향에 대해 주민들의 관심이 높은 곳 중 하나이다. 본 연구에서는 호수생성 전 후의 호수 원근 농경지에 대해 국지적 기후 시나리오를 도출하고, 이에 따른 각 농경지의 주요 작물 잠재생산력을 모의함으로써 다목적댐 건설지역의 농업 생산성 변화 방향을 예측하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 담수전 기후 추정

기존의 연구결과들을 근거로 임하호에 의한 잠재적인 기후변화영향권을 호수중심 반경 10km로 가상하여 임하호를 포함하는 동서 30km, 남북 25km의 장방형 공간을 연구대상지역으로 설정하였다. 이 지역의 북쪽에는 임하댐보다 10년이나 앞서 건설된 안동댐이 위치하고 있는데 지역내 유일한 기상청 소속 정규관측소인 안동기상대는 안동호가 생성되기 전인 1970년 7월부터 1978년 4월까지 대구측후소 안동분실 형태로 운영되었으나, 안동댐이 건설된 기간인 1978년 5월부터 1982년 3월까지 폐쇄되었다가 1982년 4월에 다시 관측을 시작하여 오늘에 이르고 있다. 따라서 안동기상대 기후자료는 안동호나 임하호의 영향을

전혀 받지 않았던 1978년 이전 7년치, 안동호만의 영향을 받았던 1982년 이후 1990년까지 9년치, 그리고 안동호와 임하호의 영향을 동시에 받았을 것으로 믿어지는 1991년 1월 이후의 자료로 분류할 수 있다. 본 연구의 목적은 새로 건설된 임하댐에 의한 기후 및 잠재생산력 예측이므로 담수전 배경 기후로서 안동호의 영향이 반영된 1982~1990년 자료를 이용하였다.

이 기간 중 대상지역내 기후값의 공간적 변이를 알아보기 위해 월별 일최고기온과 일최저기온의 평균값, 강수량 적산값의 분포는 기상연구소 발간 1961~1990년 “그물망 기후도” 작성기법을 적용하였다⁷⁾. 이 방법의 요지는 일정 면적의 토지가 갖는 지형특성으로부터 국지기후를 추정하는 것인데, 우선 남한 전역의 250m 단위 격자점의 해발고도 자료를 1:25,000 지형도 상의 등고선 값으로부터 판독하여 수치화된 지형화일(digital elevation model: DEM)을 작성한 후, 이를 토대로 사방 1km 기준격자의 토지가 갖는 지형특성을 평균표고, 경사도, 경사향, 개방도 등의 양적 지형인자로 나타낸다. 다음에는 이들 기준격자 중 기상관측소가 포함된 격자들만 선발, 지형인자를 독립변수로 두고 월별 평균기온이나 강수량을 종속변수로 둔 최적 통계모형을 작성한다. 마지막으로 미관측격자의 지형인자를 이 통계모형에 입력하여 기후값을 추정하는 방법이다.

본 연구에서는 경북도내 9개 관측소(안동, 대구, 포항, 선산, 의성, 울진, 울산, 영덕, 영주) 기후자료를 1982~1990년에 한정하여 월별 평균값을 작성한 다음 “그물망 기후도” 작성기법에 따라 기준격자의 추정값을 계산하였다. 이들 추정값을 실측값에 의해 보정하기 위해 안동기상대의 9년간 실측 평균값으로부터 이 관측소가 위치한 격자의 “그물망 기후도” 추정값을 뺀 편차를 모든 격자에 적용하였다. 즉 각 격자의 담수전 기후값을 안동기상관측소 실측값에 의해 일괄 보정함으로써 “그물망 기후도” 작성과정의 오차가 이후 단계로 전이되는 것을 방지하였다. 연구대상지역의 담수전 일사량 분포 추정에도 동일한 방법을 사용하였는데, 다만 일사 미관측 기상대의 경우 기상연구소에서 개발한 방법에 의해 일조시수로부터 추

정된 일사량 자료로 대치하였다²⁾.

2. 담수후 기후변화 추정

담수에 의한 기후변화를 정량화하기 위하여 먼저 담수직전 임하호 주변에 설치한 본 연구 전용 기상관측망으로부터 월별 기후자료를 수집하여 정리한 후, 앞에서 추정된 750개 격자점 가운데 기상관측소가 포함된 격자의 담수전 기후치의 편차를 계산하였다. 최종적으로 이 편차를 호수에 의한 영향으로 간주하여 호수 관련 지리인자를 독립변수로 하는 기후편차 추정 회귀식을 작성하여 그 회귀식으로 댐 주변지역의 격자점별 기후변화량을 추정하였다. 우선 임하호 주변에 설치한 5개의 무인기상관측소(automated weather station: AWS)에서 1991년 1월부터 1995년 12월까지 5년간 일최고기온, 일최저기온, 일사량 및 강수량을 관측하였다(그림 1).

다음에 AWS 포함격자의 담수전 기후 추정값과 5년간 관측평균값간의 편차를 월별로 계산하였다. 이 과정에서 기온의 경우 호수의 영향이 없는 지역의 자연기후 변동량을 고려하기 위해 담수전 지형기후 추정에 사용된 9개 관측소 중 안동을 제외한 8 곳(대구, 포항, 선산, 의성, 울진, 울산, 영덕, 영주)의 1991년 1월부터 1995년 12월까지 5

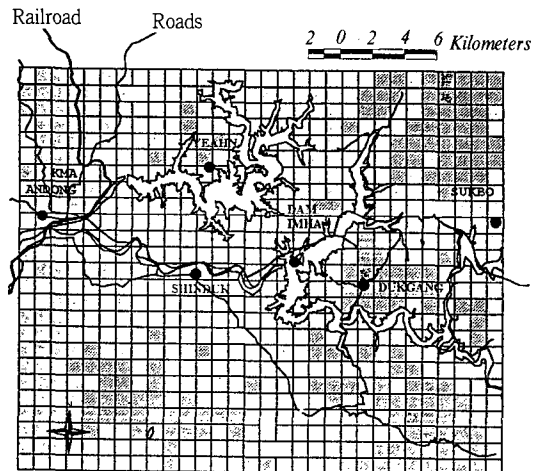


Fig. 1. Geography of the study area on 1 km resolution with the location of weather observation sites around Lake Imha.

년간 관측된 평균값과 1982~1990년 평균기후값 간 편차를 얻었다. 이 편차는 임하호 생성과 무관하게 경북도내 전지역에서 임하호 생성시점 전후 14년간 겪은 기후의 자연변동분으로 간주할 수 있으므로 앞서 얻은 AWS 포함격자의 담수전후 기후편차값에서 이 값만큼 제거하였다. 이상의 방법으로 얻어진 기후변화량은 담수전 기후를 추정하기 위하여 사용된 지형인자의 영향이 배제된 것으로서 오로지 호수의 영향에 의한 기후변화량으로 간주할 수 있다.

따라서 이 편차를 종속변수로 하고 호수관련 지리지형변수만을 독립변수로 하는 회귀모형을 작성하여 임하호 주변지역 미관측격자의 기후변화량을 추정하였다. 사용된 호수관련 인자는 호수중심으로부터의 거리(DIST), 호안거리(CODI), 호수방향(LD), 그리고 각 격자 평균표고(AVEL)와 위 3개 변수간 상호작용(DIST*AVEL, LD*AVEL, CODI*AVEL) 등 6개였다. 호수관련 인자에 대한 정량화 방법은 DIST의 경우 임하호내에서 수량이 가장 많아 호수중심으로 판단되는 좌표점을 기준으로 각 AWS 까지의 직선거리(km 단위)로 하였고, CODI는 호수 가장자리 좌표를 판독하여 AWS 좌표까지의 최단거리(km 단위)를 계산하였으며, LD는 호수중심으로 판단되는 좌표점을 기준으로 남북, 동서, 북동과 남서, 그리고 북서와 남동방향으로 4개의 직선을 그어 만들어진 8개의 범위 중에 각 AWS 설치지점이 어디에 속하는지를 판정하여 북향을 시작으로 시계방향으로 1~8로 표현하였다.

이와 같이 정량화된 6개의 변수를 독립변수로 두고 앞서 계산된 관측소 포함 격자의 기후변화량을 종속변수로 하여 월별, 기후치별 기후편차 추정 회귀식을 도출하였다. 호수 생성으로 나타나는 기후변화는 호수에서 멀어질수록 그 변화가 작아 궁극적으로 그 편차가 0이 되어야 하므로 AWS 이외에, 앞서 자연기후변동량 추정에 사용된 연구대상지역 밖의 기상청 정규관측소 포함 격자에 대해서도 호수관련 변수를 계산하였다. 따라서 회귀분석에 사용된 자료의 수는 5개 AWS에 8개 정규관측소를 합하여 모두 13개이다. 모형의 회귀계수는 최소자승법으로 추정하였으며, 최적 독립변수

조합은 전향선택법(Forward Selection Method)에 의해 선발하였다²²⁾. 담 주변지역의 미관측 격자점별로 호수영향 인자인 6개 독립변수를 계산한 다음 월별, 기후치별 최적 기후편차 관계식에 대입하여 각각의 기후변화량을 추정하였다.

3. 작물모형의 적용

대상지역내 주작물은 벼와 밭작물로 나누었으며 밭작물의 기후생산력은 다시 광합성경로의 차이에 따라 C₃와 C₄ 작물로 분류하고 각각 콩과 옥수수를 대표작물로 선정하였다. 벼 성장모형으로는 국제미작연구소와 화란 Wageningen 농업대학에서 공동으로 개발한 ORYZA1을 사용하였다. C₃ 밭작물인 콩의 성장모형은 미국의 University of Florida에서 개발한 SOYGRO, 그리고 옥수수 성장모형은 미국농무성과 Texas A&M 대학에서 공동 개발한 CERES-maize를 이용하였다. 이들 작물모형의 실행을 위해 필요한 공통적인 입력자료는 재배할 지역의 토양물리화학성(예외 : ORYZA1)과 일별 기상자료, 그리고 비배관리정보이며, 유전적 특성과 관련된 모수를 조절함으로써 특정 품종을 모의하도록 되어있다.

ORYZA1은 비료, 재배기술, 수분이 제한요인이 되지 않는 조건에서 생육기간 중 일별기상자료(일사량, 최저 및 최고기온)를 토대로 매일의 생산속도를 계산하므로 벼 생산에 있어서 재배기술적인 요인을 배제한 잠재생산성을 모의하는 데 이용될 수 있다¹²⁾. 이 모형은 대기 중 이산화탄소 증가에 따른 지구온난화 현상으로 인한 아시아지역의 쌀 생산성 변화를 예측하기 위해 한국, 일본, 말레이시아, 인도, 인도네시아, 방글라데쉬, 중국 등 각 나라별로 주요 재배품종에 대해 포장검증을 거친 바 있다¹⁶⁾. 한편 토양조건을 실제 밭 상태와 가깝게 흉내낼 수 있도록 작성된 SOYGRO와 CERES-maize는 IBNSAT(International Benchmark Site Network for Agrotechnology Transfer)을 통한 장기간의 개선 및 검증실험을 거쳐 현재의 모형이 확립되었다^{10,11)}. 따라서 본 연구에서는 이들 모형의 제반 성능에 관한 검증과정을 생략하고, 주어진 토양 및 관리조건을 토대로 기후변화에 따른 수량반응만을 추적토록 하였다.

연구대상지역 내에서 실제로 작물재배가 이루어지는 토지를 1:25,000 토지이용도(국립지리원 발간) 상에서 검색, 27개의 단위재배구역(Cropping Zone Unit ; CZU)을 동정한 다음, ARC/INFO 지리정보 처리 프로그램(ESRI Inc., California, U. S. A.)을 이용해 수치정보화 하였다. 이들의 지리적인 위치가 그림 2에 표현되어 있으며 각각의 면적, 식별번호, 행정동명이 표 1에 수록되어 있다.

각 CZU의 토양물리화학성은 농업과학기술원에서 발간한 전국 토양해설도 안동군 편에서 발췌하였는데, 단일 CZU에 한 개 이상의 토양통이 혼재되어 있는 경우에는 가장 자주 나타나는 토양통의 특성을 전체 CZU의 특성으로 간주하였다.

작성된 담수전후 기후평년값은 월별평균값으로서 작물모형 입력을 위해 일별자료로 변환시켜야 한다. 이 과정에서 연차변이를 고려하기 위해 담



Fig. 2. Approximate boundaries and their identification numbers of the cropping zones which served as a map unit for the simulation experiment.

Table 1. Some geographical features of the 27 CZUs(cropping zone units) in Andong area, where crop growth simulation was carried out.

CZU#	Field-ID	Area(ha)	Perimeter(km)	Description
1	Wonlim dong	299.3	15.1	Wonlim, Namsun, Andong
2	Gugye dong	291.7	12.2	Gugye, Danchon, Euisung
3	Danchon	1,240.1	28.4	Gwanduk, Danchon, Euisung
4	Andong Univ.	1,320.9	32.5	Songchon, Andong
5	Chumok dong	176.3	11.4	Chumok, Imha, Andong
6	Shingye dong	114.1	7.3	Shingye, Oksan, Euisung
7	Shinduk dong	162.5	7.7	Shinduk, Imha, Andong
8	Gogok dong	192.9	14.4	Gogok, Imha, Andong
9	Hyunha dong	311.8	17.8	Hyunha, Gilan, Andong
10	Cheonjeon dong	69.2	4.5	Cheonjeon, Imha, Andong
11	Imha dong	113.5	5.7	Imha, Imha, Andong
12	Odae dong	230.1	6.9	Odae, Imah, Andong
13	Gil-an	442.2	10.6	Gilan, Gilan, Andong
14	Mukgye dong	503.7	15.2	Mukgye, Gilan, Andong
15	Wi dong	299.6	16.4	Widong, Imdong, Andong
16	Dok kol	114.1	7.5	Dokkol, Imdong, Andong
17	Goolmae kol	64.2	6.1	Goolmae, Imdong, Andong
18	Josan maeul	296.4	14.4	Galcheon, Imdong, Andong
19	Soogok dong	127.9	10.7	Soogok, Imdong, Andong
20	Yangji mal	231.8	11.8	Gocheon, Imdong, Andong
22	Dukgang	91.9	5.9	Dukgang, Imdong, Andong
23	Yonggye	50.6	3.8	Yonggye, Imdong, Andong
24	Haji kol	92.5	9.0	Hajikol, Gilan, Andong
25	Jayang ji	134.5	6.0	Jidong, Imdong, Andong
26	Seongmok dong	352.2	12.0	Seongmok, Eubchon, Chungsong
27	Gusoo dong	581.5	27.4	Gusoo, Gilan, Andong
28	Boogok dong	50.6	4.9	Boogok, Jinbo, Andong

수전과 후 각각의 기후평년값과 그 변이에 토대를 둔 다년간의 일별자료를 생산하였다. 즉 월별 기후평년값이란 기후학적 관점에서 볼 때 최소 30년 동안의 평균값에 해당된다. 이미 작성된 월별 기후평년값들은 비록 30년에는 미치지 못하지만 담수전후 상당기간 동안의 매년 기후값을 산술적으로 평균한 대표값에 해당하므로 실제 해당기간 중 겪었던 기후의 연차변이에 대해서는 어떤 정보도 제공하지 않는다. 이러한 결점을 보완하고 현실감 있는 일기상 자료를 도출하기 위해 여러 가지 통계학적 기법이 이용되어 왔다^{5,21,26}. 본 연구에서는 Pickering et al.²⁰에 의해 제시된 일기상자료 추산법에 따라 담수 전후 30년씩의 일기상자료를 모의하였으며, 각 작물재배구역별 기후평년값은 동일 CZU에 포함된 기준격자의 기후평년값을 산술 평균하여 사용하였다.

작물모형의 실제 적용을 위해 품종 관련 모수와 재배 관련 초기조건을 설정했는데, ORYZA1의 품종특성은 Shin & Lee²³가 이미 작성한 “화성벼”의 특성을 수정없이 사용하였고, 파종기는 4월 15일, 이앙기는 5월 25일, 재식밀도는 m^2 당 23.6주로 하였다.

SOYGRO모형의 품종특성은 국내 중만생종에 맞추기 위해 기상상태형에 따라 분류한 10개의 품종군 가운데 우리 나라 품종들이 주로 해당되는 제 5군을 선택하였다^{1,17}. 제 5군 품종은 파종후 성숙기까지 135~140일이 소요되며, 5월 중순에 파종하면 대체로 9월 말~10월 초 사이에 생리적 성숙기에 도달한다. 이러한 품종특성을 갖도록 조정된 SOYGRO(version 5.42) 모형을 각 재배구역 모두 5월 15일에 $60cm \times 15cm$ 간격으로 주당 2묘씩, 파종심도 3cm, 파종량 $50kg/ha$ 이 파종되도록 모의하였다. 재배기간 중 관개는 하지 않도록 하여 자연강수의 효과에 의지하도록 하였으며, 질소비료는 뿌리혹박테리아에 의한 대기질소고정분을 기본으로 하되 질소대사과정에서 stress가 50%에 도달하면 ha 당 $50kg$ 을 공급하도록 모의하였다.

옥수수생장모형 CERES-maize에는 주로 미국에서 재배되고 있는 수십종의 Hybrid 품종 유전특성이 이미 내장되어 있어 사용자가 용이하게 선

택할 수 있다. 이들 가운데 작물시험장 전작과에서 국내 재배가능 품종으로 추천한 B73 \times MO17 품종을 본 연구에 사용하였는데, 이 품종의 주요 특징은 발아 후 영양생장기간을 생육개시온도 $8^\circ C$ 를 기준으로 하는 생장온도일수(growing degree days: GDD)로 환산하여 220 GDD, 한계일장을 12.5 시간으로 가정하여 이보다 일장이 한시간 길어지는데 따른 발육지연량이 0.52 일, 출수에서 생리적 성숙기까지 등숙기간이 880 GDD, 식물체당 최대종실립수가 730개, 최적환경조건에서 등숙속도가 하루에 10mg, 그리고 출엽간격(phylochron interval)이 75 GDD이다. 이 품종 특성을 갖도록 조정된 CERES-maize(version 3.0) 모형을 각 재배구역별로 공히 4월 15일에 $60cm \times 25cm$ 간격으로 파종하여 출현시 재식밀도가 m^2 당 5.5본, 파종심도 4cm, 파종량 $20kg/ha$ 등으로 국내 재배관리관행과 맞추었다. 관개 및 시비 처리는 콩의 경우와 동일하였다.

4. 생육모의 결과의 해석

상기 벼, 콩, 옥수수 모형들에 27개 재배구역의 담수전 30년, 담수후 30년간씩 일기상자료를 입력하여 생육을 모의하였다. 모형 출력자료로는 출수(개화)일, 생리적 성숙기, 수확기 등 발육단계 관련 변수, 성숙기의 지상부 건물중, 종실 수량, 부산물 등 작물체 성장변수, 누적강수량, 증발산량, 지표유거량, 토양수분 잔류량 등 토양수 관련 변수, 공중질소고정량, 질소흡수량, 지상부 전질소함량 등 양분관련 변수 등이다.

이들 중 분석에 이용한 변수는 생리적 성숙기에 얻게 되는 종실수량으로서, 각 재배구역의 담수전후 기후시나리오 하에서 얻을 수 있는 잠재생산력(기후생산력)을 나타낸다고 가정하였다. 그런데 계산된 담수 전후 종실수량은 연차 기상변이를 반영한 30년간의 표본들 가운데 하나라고 볼 수 있으므로, 또 다른 30년간의 표본과는 다를 수 있다. 즉 담수후 표본평균값이 담수전 모집단 평균값의 범위를 벗어나는지 여부를 통계적 유의성에 입각해 검정할 필요가 있으므로 30년간 표본평균값(\bar{y})과 표준편차(s)로부터 아래 공식에 의해 담수전 종실수량 모집단평균의 95% 신뢰한계를 계

Table 2. Regression coefficients of the lake-related spatial variables to the change in maximum/minimum temperature, solar radiation and precipitation after the dam construction

Element	Month	b0	b1	b2	b3	b4	R ²
Daily maximum temperature	1	1.4078	-0.0267			-0.0002	0.62
	2	0.4087		-0.0161			0.57
	3	0.8607	-0.0073	-0.0001			0.63
	4	-0.5386		0.0280			0.69
	5	-0.4495	0.0165				0.61
	6	0.9776		-0.0071	-0.0004		0.71
	7	1.2951		-0.0592			0.59
	8	-0.7297		0.0110			0.69
	9	-0.3876		0.0188			0.66
	10	0.9306		-0.0051	-0.0001		0.64
	11	1.1082	-0.0231			-0.0001	0.68
	12	0.8848		-0.0108		-0.0001	0.63
Daily minimum temperature	1	1.2519		-0.0587			0.62
	2	1.1646	-0.0242			-0.0001	0.72
	3	1.1701		-0.0139	-0.0001		0.60
	4	-0.6968	0.0081			0.0001	0.55
	5	-0.8187		0.0069	0.0001		0.60
	6	-0.4553		0.0268			0.64
	7	-0.6825	0.0179			0.0005	0.53
	8	-0.8948		0.0088	0.0001		0.61
	9	0.6934		-0.0089			0.55
	10	0.5295	-0.0141			-0.0005	0.59
	11	0.7823		-0.0417			0.58
	12	0.7569		-0.0094	-0.0001		0.66
Solar radiation	1	-17.0957		0.2132	0.0014		0.63
	2	16.2752	-0.2891			-0.0016	0.62
	3	-14.7453		0.3896	0.0010		0.67
	4	-21.6671		0.2664	0.0024		0.64
	5	-17.9304	0.3770			0.0015	0.63
	6	21.2805		-0.2554	-0.0021		0.67
	7	-23.8567	0.5741			0.0023	0.85
	8	-24.9181	0.4947			0.0031	0.67
	9	13.2864	-0.4587			-0.0011	0.67
	10	-12.0915		0.1432	0.0012		0.68
	11	-16.9108		0.4119	0.0014		0.58
	12	-15.8918		0.4005	0.0014		0.60
Precipitation	1	-11.1760		0.1368	0.0010		0.67
	2	6.3419		-0.0787	-0.0005		0.69
	3	10.1883	-0.2253			-0.0007	0.65
	4	-13.8954		0.5902	0.0005		0.58
	5	13.2375	-0.3908			0.60	
	6	-17.5831	0.3137			0.0024	0.65
	7	17.2215		-0.2043	-0.0018		0.57
	8	-17.6149	0.3094			0.0026	0.59
	9	-36.6481	0.6392			0.0045	0.70
	10	-11.0629	0.3832			0.0009	0.69
	11	-5.2530		0.0657	0.0004		0.59
	12	3.4301		-0.0307	-0.0004		0.68

Note: b0 = constant, b1 = DIST, b2 = CODI, b3 = DIST*AVEL, b4 = CODI*AVEL

산하였다²⁴⁾.

$$L = \bar{y} \pm 1.96 \frac{s}{\sqrt{30}}$$

결 과

1. 담수에 따른 기후변화

담수에 따른 월별 기후변화량 추정에 사용된 회귀모형들은 표 2에 수록되어 있다. 6개 후보변수 가운데 LD와 LD*AVEL을 제외한 모든 변수들이 한번 이상 독립변수로 채택되었다. LD의 경우 그 값이 연속적인 다른 변수들과는 달리 인접한 1(북동)과 8(북서)이 불연속이므로 회귀분석의 후보변수로는 적절치 못했던 것 같다.

이 모형들의 계산결과에 의하면 호수주변의 일 최고기온은 10월부터 이듬해 3월까지 지속적으로 담수전보다 상승하고 나머지 기간에는 하강한 경향이었는데, 예외적으로 6, 7월에는 상승한 것으로 나타났다. 대체로 기온변화폭은 겨울철에 크고 여름철에 적었으며 영향권의 공간적 분포는 대체로 호안으로부터 5 km 이내인 것으로 보인다(그림 3). 일 최저기온의 변화도 최고기온과 유사한

경향인데, 하강기간이 4월에서 8월까지로 단축된 반면 6, 7월에도 예외없이 기온이 낮아졌다. 변화폭도 역시 겨울철에 커서 호수인접지역에서는 1℃ 이상을 보였다(그림 4). 월별 강수량은 2, 3, 5, 7 그리고 12월에 증가하였고 나머지 달에는 감소한 것으로 나타나 계절별 변화경향이 기온만큼 뚜렷하지 않았다. 상대적으로 갈수기인 1월달에는 강수량 감소가 컸으며, 다우기인 7월과 8월에는 변화가 작아서 연간 총강수량의 변화는 담수 전후 유의차가 없었다(그림 5). 일사량은 2월, 6월, 9월만 제외하고 나머지 기간 중 약간씩 감소하였는데, 11월~1월까지의 감소폭이 최고 7~9% 정도로서 컸으며 나머지 달은 5% 이내의 감소율을 보였다. 2월, 6월, 9월에도 호수인접지역에서만 약간 일사량이 증가하는 경향을 보이나 증가율은 5% 이내로서 낮았다(그림 6). 이러한 결과는 인공호수 생성후 안개발생 증가 등으로 일사량이 감소할 것이라는 일반상식이나 전남 순천지역에서 주암호 생성 후 연중 일사량이 감소했던 결과⁸⁾와 일치하지 않는 것이다.

2. 기후변화 시나리오에 따른 농작물 생산성의 변화

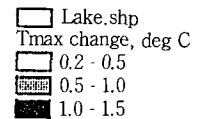
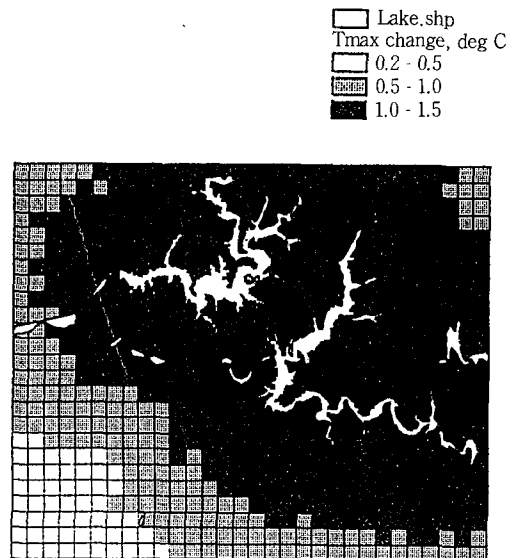
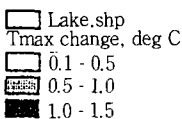
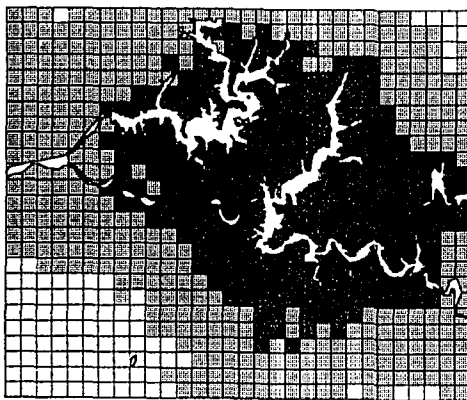


Fig. 3. Predicted change in daily maximum temperature after formation of Lake Imha for January(left) and July(right).

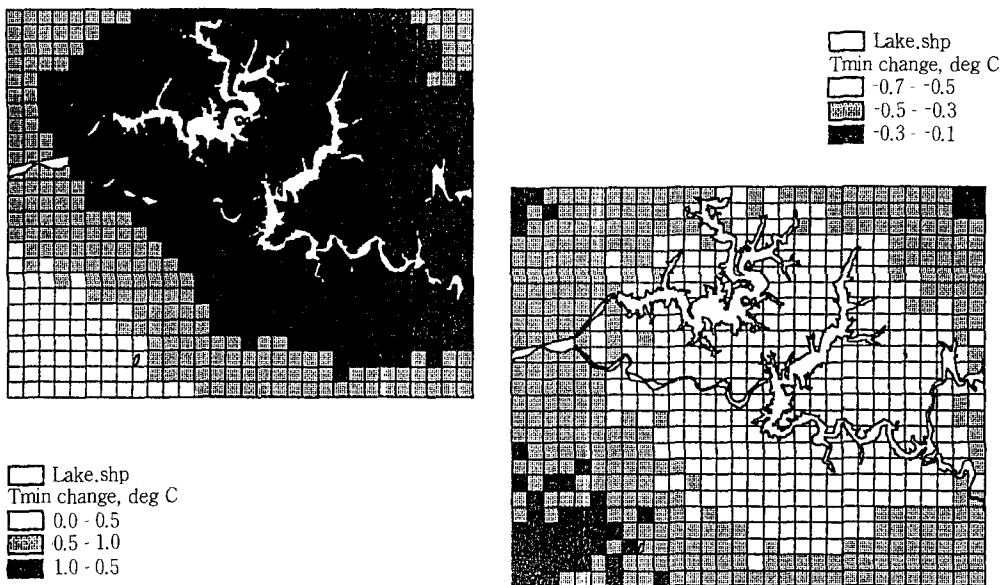


Fig. 4. Predicted change in daily minimum temperature after formation of Lake Imha for January(left) and July(right).

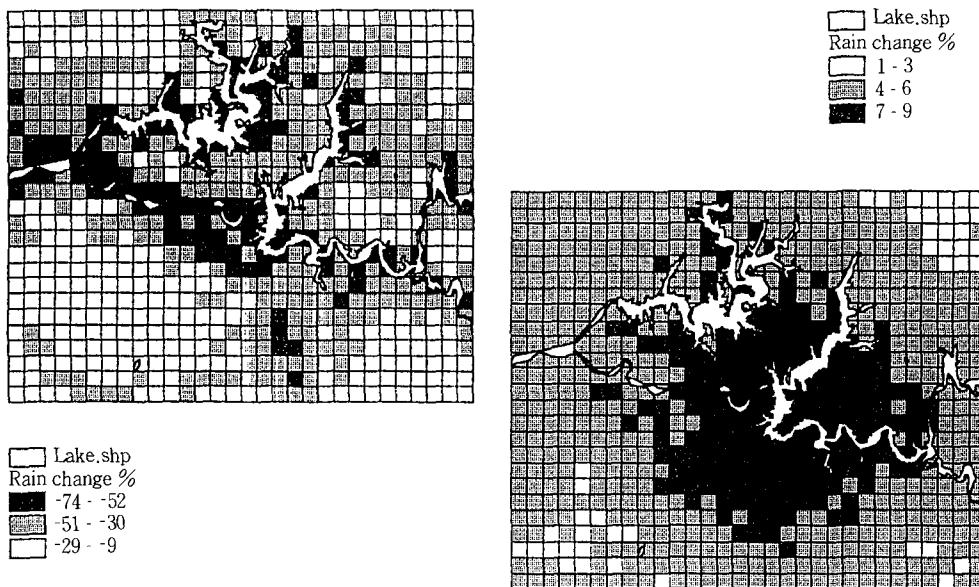


Fig. 5. Predicted change in precipitation amount after formation of Lake Imha for January (left) and July(right).

1) 벼
안동지역 27개 작물재배구역(CZU)의 담수 전

후 30년씩 일기상자료를 이용하여 벼 성장모형 ORYZA1을 구동한 결과 정조중으로 평균 6.8~

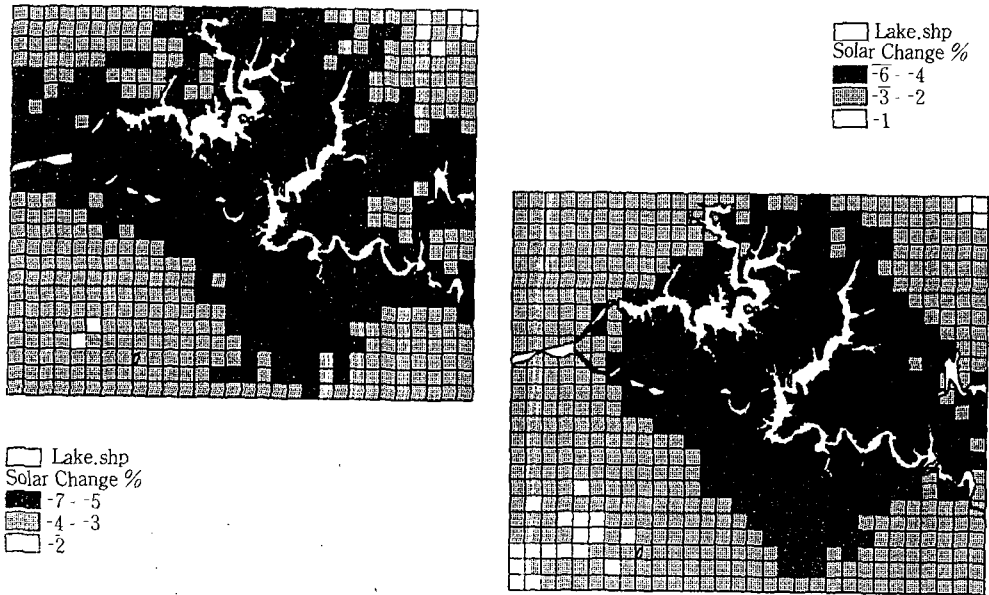


Fig. 6. Predicted change in solar radiation after formation of Lake Imha for January(left) and July(right).

8.1톤/ha의 잠재수량을 얻었다(표 3). 이 값은 각 CZU의 30년 평균값으로서 연차변이를 나타내는 표준편차는 0.5~0.7톤/ha였다. 이 표에 의하면 벼 수량은 적은 양이긴 하나 담수 후에 늘어났음을 알 수 있다. ORYZA1 모형은 담수상태에서 거의 전 일생을 보내는 논벼(paddy rice)를 흉내내므로 생육 도중 물 부족에 의한 생리장애가 전혀 없다는 가정하에 생육을 모의한다. 더구나 토양물리성, 비옥도, 병해충요인도 모두 최적 상태로 두므로 최종 수량의 지역간 변이는 일사량과 기온에 의해 결정된다. 특히 출수후 등숙기간 중 일사량의 다소는 수량형성에 결정적인 작용을 하게 되는데, 임하호 주변지역의 담수 후 9월 일사량은 담수 전보다 오히려 약간 증가한 것으로 예측되었으며 이에 따라 대부분 CZU에서 약간씩의 수량증가 경향을 보이게 된 것으로 추정된다. 그러나 CZU별로 담수 전후 수량차를 t-test로 검정해 보면 현하동(CZU 9)에서만 95% 수준에서 통계적 유의성이 인정될 뿐 나머지 지역의 수량 차이는 의미가 없는 것으로 드러난다. 즉 이 정도의 수량차는 통상적인 연차변이의 범주를 벗어나지 않아서 담수전 평년기후 조

건하에서도 해에 따라 얼마든지 나타날 수 있다는 뜻이다. 만약 유의수준을 50%로 낮출 경우 담수 전후 수량차는 18개 CZU에서 인정된다.

일반적으로 한 지역의 작물재배는 장기간에 걸쳐 거의 연속적으로 수행되므로 토지생산성의 평가는 평균수량으로 표현되는 수량성(yield capacity)과 연차간 변이로 표현되는 안정성(yield stability) 양면을 고찰할 필요가 있다. 계산결과를 ① 수량증가-변이감소, ② 수량증가-변이증가, ③ 수량감소-변이감소, ④ 수량감소-변이증가 등 4 부류로 나누어 보면 제 1 그룹은 담수에 의해 일어난 국지기후변화가 벼의 생육에 유리하게 작용한다고 볼 수 있으며 27개 구역 중 남계리(CZU 2) 등 6곳이 해당된다. 그러나 수량증가폭이 작아 실질적으로 담수에 의해 생산성이 개선되었다고 보기는 어렵다. 제 2 그룹은 약간의 수량생산력 증가가 예상되나 연차변이가 담수전보다 커져서 생산안정성이 오히려 떨어지는 지역으로서 안동 지역 27개 재배구역 가운데 여기 해당되는 곳은 11개로서 다수를 차지하였다. 제 3 그룹은 연차변이가 줄어들어 안정성은 높아졌으나 종실수량이 감소한 곳으로서 안동지역에서는 한 곳도 해당되

Table 3. Rice yield characteristics of each cropping zone after lake formation in Andong. Yield (Y, Y') is expressed as rough rice weight per unit land area (kg/ha) averaged over 30 years, and the yield variation (sd, sd') is expressed as a sample standard deviation.

CZU#	Before		After		Change		Variability		Field ID
	Y	sd	Y'	sd'	(Y'-Y)	%	(sd'-sd)	%	
1	6960	553	6967	571	7	0	18	3	Wonlim dong
2	6831	557	6978	555	147*	2	-2	-0	Gugye dong
3	6899	579	6968	504	69	1	-75	-13	Danchon
4	6909	562	6952	562	43	1	-0	-0	Andong Univ.
5	7738	596	7827	647	90*	1	51	9	Chumok dong
6	7491	616	7596	589	104*	1	-27	-4	Shingye dong
7	7179	534	7282	616	103*	1	82	15	Shinduk dong
8	7467	482	7592	561	125*	2	78	16	Gogok dong
9	7292	635	7572	663	280**	4	28	4	Hyunha dong
10	6877	509	7060	613	183*	3	104	20	Cheonjun dong
11	6825	541	6890	670	65	1	129	24	Imha dong
12	7072	584	7043	678	-29	-0	94	16	Odae dong
13	6996	562	7049	583	53	1	22	4	Gilan
14	7106	624	7192	607	87*	1	-17	-3	Mukgye dong
15	7124	504	7157	549	33	0	45	9	Wi dong
16	7266	665	7400	662	134*	2	-3	-0	Dok kol
17	7520	583	7520	572	0	0	-11	-2	Goolmae dong
18	7509	611	7619	632	110*	1	21	3	Kosan maul
19	7118	615	7172	621	54	1	5	1	Soogok dong
20	7717	624	7910	642	192*	2	18	3	Yangji mal
22	7857	694	8088	614	231*	3	-80	-12	Dukgang
23	7315	608	7475	640	159*	2	32	5	Yonggye
24	7454	618	7532	630	78*	1	12	2	Haji kol
25	7689	612	7840	650	151*	2	38	6	Jayang ji
26	7687	687	7818	677	131*	2	-10	-1	Seongmok dong
27	7570	669	7719	720	148*	2	51	8	Gusoo dong
28	7522	649	7630	662	108*	1	13	2	Boogok dong

Note : (Y'-Y) followed by '*,**' implies that the difference has a statistical significance based on 50% and 95% confidence limits, respectively.

지 않는다. 제 4 그룹은 담수에 의해 수량이 감소했을 뿐 아니라 연차변이는 더욱 심해져 가장 큰 타격을 입는 곳인데, 역시 해당 CZU는 하나도 없다. 이들의 위치를 지도상에 표시해 보면 수량의 연차변이가 약간 커져서 수도작 경영상 위험 부담이 늘어난 곳이 몇 지점 확인되지만 생산성이 전반적으로 나빠진 곳은 없다고 할 수 있다. 이들 지역의 지리적인 분포양상에 특별한 규칙성은 발견되지 않는다(그림 7).

2) 콩

표 4는 SOYGRO 성장모형을 27개 작물재배구역에 적용시켜 담수전 30년 및 담수 후 30년 기상 자료를 이용해 계산된 종실수량의 평균값과 그 편차에 관련된 결과물이다. 여기에 수록된 종실수량은 주어진 기상 및 토양조건 하에서 제 5 성숙군에 속한 품종이 담수 전후 동일한 재배관리법으로 경작했을 때 보일 수 있는 잠재생산력의 30년 평균값이다. 이 잠재수량은 지역적으로 ha당 2.5톤에서 3.7톤까지 그 공간적 변이가 벼보다 상당히 큰 데, 이는 상대적으로 좁은 연구대상지역내 기상조건의 변이보다는 발작물의 재배특성상 토양

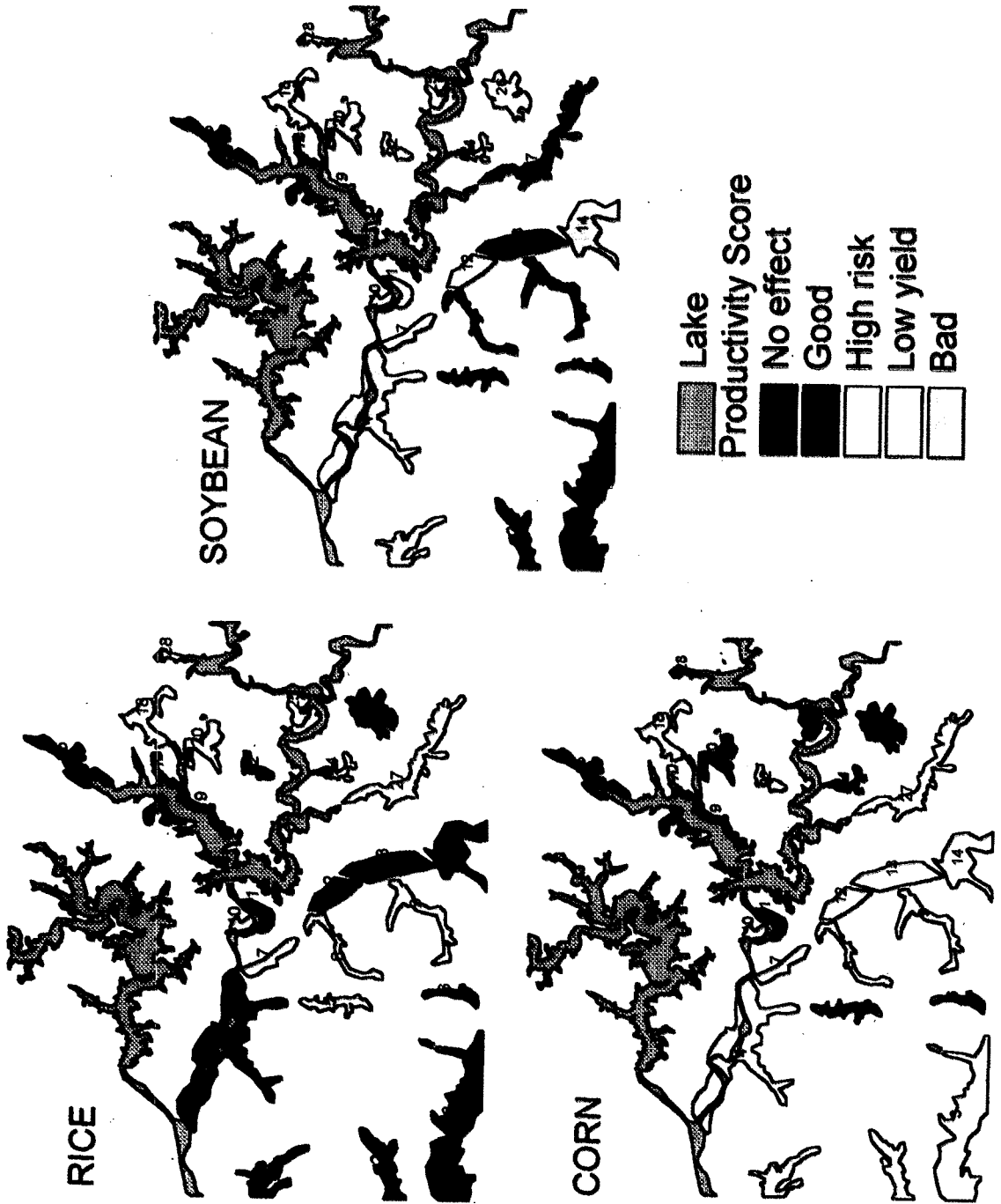


Fig. 7. Geographical distribution of productivity score for paddy rice, soybean, and corn crops after formation of Lake Imha.

Table 4. Soybean yield characteristics of each cropping zone after lake formation in Andong. Yield (Y, Y') is expressed as seed dry weight per unit land area (kg/ha) averaged over 30 years, and the yield variation (sd, sd') is expressed as a sample standard deviation

CZU#	Before		After		Change		Variability		Field ID
	Y	sd	Y'	sd'	(Y'-Y)	%	(sd'-sd)	%	
1	3214	425	3114	407	-100*	-3	-18	-4	Wonlim dong
2	3076	288	3084	356	8	0	69	24	Gugye dong
3	3132	335	3126	348	-5	-0	13	4	Danchon
4	3197	347	3132	426	-65*	-2	79	23	Andong Univ.
5	3122	599	3109	603	-13	-0	4	1	Churnok dong
6	3163	337	3171	340	9	0	3	1	Shingye dong
7	3325	258	3241	294	-85*	-3	36	14	Shinduk dong
8	3097	551	3199	357	102*	3	-194	-35	Gogok dong
9	2983	661	3099	467	116*	4	-194	-29	Hyunha dong
10	3342	339	3223	402	-119*	-4	63	19	Cheonjun dong
11	3003	435	2855	398	-148*	-5	-37	-8	Imha dong
12	3220	365	3140	353	-80*	-2	-12	-3	Odae dong
13	3167	358	3123	381	-44	-1	23	6	Gilan
14	2762	528	2493	748	-270**	-10	220	42	Mukgye dong
15	2647	621	2647	525	0	0	-96	-15	Wi dong
16	2777	611	2816	611	39	1	1	0	Dok kol
17	3194	314	3167	343	-27	-1	29	9	Goolmae dong
18	3221	338	3157	378	-65*	-2	40	12	Kosan maul
19	3207	298	3132	372	-75*	-2	74	25	Soogok dong
20	3380	251	3331	358	-48*	-1	108	43	Yangji mal
22	3096	1176	2693	379	-403*	-13	-797	-68	Dukgang
23	2570	1165	2616	415	46	2	-750	-64	Yonggye
24	3712	1584	3104	374	-608**	-16	-1210	-76	Haji kol
25	3526	1606	3165	733	-361*	-10	-873	-54	Jayang ji
26	2285	1270	2660	604	375*	16	-666	-52	Seongmok dong
27	2530	1466	2866	727	336*	13	-739	-50	Gusoo dong
28	3716	1559	3246	407	-470*	-13	-1152	-74	Boogok dong

Note : (Y'-Y) followed by '*' and '**' implies that the difference has a statistical significance based on 50% and 95% confidence limits, respectively.

조건의 차이에서 연유한다고 볼 수 있다.

이 표를 토대로 담수 전후를 비교해 보면 잠재수량이 감소한 곳은 전체 27개 중 18개로서 증가한 곳보다 압도적으로 많으며, 감소정도는 담수전과 비교하여 최고 15%에 달한다. 그러나 종실수량의 연차 변이 정도는 커진 곳과 작아진 곳이 거의 반반으로서 그 경향이 뚜렷하지 않다. 95% 신뢰한계를 적용할 경우 담수 전보다 잠재수량 감소가 통계적 유의성을 갖는 경우는 18개 지역 중

CZU 14(북계동)와 CZU 24(하지골) 두 곳만 확인된다. 이들 중 특히 북계동에서는 담수에 의해 수량의 연차 변이도 커지고 있어 농업경영 측면에서 가장 불리해진 곳이라 할 것이다. 한편 신뢰한계의 유의수준을 50%로 낮추면 담수전후 수량차이가 인정되는 곳이 벼와 마찬가지로 18곳인데 이들 중 수량감소가 인정되는 곳은 15개이다.

수량차의 유의성 여부에 관계 없이 전체 27개 구역을 ① 수량증가-변이감소, ② 수량증가-변이

Table 5. Maize(corn) yield characteristics of each cropping zone after lake formation in Andong. Yield (Y, Y') is expressed as seed dry weight per unit land area (kg/ha) averaged over 30 years, and the yield variation (sd, sd') is expressed as a sample standard deviation

CZU#	Before		After		Change		Variability		Field ID
	Y	sd	Y'	sd'	(Y'-Y)	%	(sd'-sd)	%	
1	4180	1372	4523	1506	343*	8	133	10	Wonlim dong
2	4121	1502	3870	1387	-251*	-6	-115	-8	Gugye dong
3	3827	1241	4097	1310	270*	7	69	6	Danchon
4	4007	1204	4336	1310	329*	8	105	9	Andong Univ.
5	4323	1976	4269	1767	-54	-1	-210	-11	Chumok dong
6	3903	1660	4305	1354	402*	10	-306	-18	Shingye dong
7	4345	1266	4823	1371	478**	11	106	8	Shinduk dong
8	4588	1534	3903	1052	-684**	-15	-481	-31	Gogok dong
9	4902	1575	4400	1779	-502*	-10	204	13	Hyunha dong
10	5804	1265	6218	1471	414*	7	206	16	Cheonjun dong
11	4192	1602	4356	1594	164	4	-8	-1	Imha dong
12	4570	1518	5040	1577	470*	10	59	4	Odae dong
13	3759	1227	4364	1494	605**	16	268	22	Gilan
14	3990	1352	4309	1608	319*	8	256	19	Mukgye dong
15	4483	1214	4623	1473	140	3	259	21	Wi dong
16	4411	1770	4763	1588	352*	8	-182	-10	Dok kol
17	3863	1603	4460	1549	598**	15	-55	-3	Goolmae dong
18	4488	1312	5205	1406	717**	16	94	7	Kosan maul
19	4103	1722	4176	1364	73	2	-358	-21	Soogok dong
20	4312	1765	4439	1869	126	3	104	6	Yangji mal
22	5341	1729	4408	1977	-933**	-17	248	14	Dukgang
23	4945	1951	4554	1997	-391*	-8	45	2	Yonggye
24	4048	1600	4385	1498	337*	8	-101	-6	Haji kol
25	4387	1425	4251	2074	-136	-3	650	46	Jayang ji
26	4700	1691	4688	1484	-12	-0	-207	-12	Seongmok dong
27	4771	1824	4508	1553	-263*	-6	-271	-15	Gusoo dong
28	4870	1572	4992	1596	122	3	23	1	Boogok dong

Note : (Y'-Y) followed by '*' and '**' implies that the difference has a statistical significance based on 50% and 95% confidence limits, respectively.

증가, ③ 수량감소-변이감소 ④ 수량감소-변이증가 등 4 그룹으로 나누어 보면, 제 1 그룹은 담수에 의해 일어난 국지기후변화가 농작물(여기서는 일반 C₃형 밭작물)의 생육에 유리하게 작용한다고 볼 수 있으며 고곡동(CZU 8), 현하동(CZU 9), 구수동(CZU 27) 등 세 곳이 해당된다. 구수동의 경우 수량은 평균 13% 증가하였으며 수량의 연차변이를 나타내는 표준편차는 50%나 감소하여 담수후 상대적으로 안정적인 높은 수량을 얻을

수 있는 곳으로 변했다. 제 2 그룹은 수량생산력 증가가 예상되나 연차변이가 담수전보다 커져서 생산안정성이 오히려 떨어지는 지역으로서 안동 지역 27개 재배구역 가운데 여기 해당되는 곳은 없었다. 제 3 그룹은 연차변이가 줄어들어 안정성은 높아졌으나 생산잠재력인 종실수량이 감소한 곳으로서 원림동(CZU 1), 임하동(CZU 11), 오대동(CZU 12), 덕강(CZU 22), 하지골(CZU 24), 자양지(CZU 25), 성목동(CZU 26), 그리고

부곡동(CZU 28) 등 8개였다. 이 가운데 하지골은 수량감소경향이 95% 신뢰한계에서도 인정되었다. 제 4 그룹은 담수에 의해 수량이 감소했을 뿐 아니라 연차변이는 더욱 심해져 가장 큰 타격을 입는 곳으로 여기에는 안동대 부근(CZU 4), 신덕동(CZU 7), 천전동(CZU 10), 북계동(CZU 14), 고산마을(CZU 18), 수곡동(CZU 19), 양지말(CZU 20) 등 10개 지역이 포함되었다.

이들의 위치를 지도상에 표시한 것이 그림 7인데 피해를 입을 것으로 추정되는 제 4 그룹은 대체로 임하댐 하류의 강변 평야지대와 호수 인접지역, 그리고 길안천 상류지역으로 나타난다. 임하댐의 남서쪽(남선면 일대)은 전혀 영향이 없거나 오히려 생산성이 좋아지는 양상이다.

3) 옥수수

안동지역 27개 재배구역에서 옥수수 품종 B72 × MO17을 담수전과 후 30년씩 재배했을 때 출수기는 7월 초순경이고 생리적 성숙기는 8월 하순으로 나타났다. 실제 우리나라 중부평야지대의 옥수수 수확기는 9월 상중순으로서 생리적 성숙이 후 1~2주째가 수확적기라고 한다면 모의생장의 결과는 현실과 대체로 일치함을 알 수 있다. 실험조건 하에서 종실생산 잠재력은 ha당 평균 3.8톤에서 6.2톤 정도로 재배구역간 변이가 심한 편이며 이는 콩의 경우와 마찬가지로 토양조건에 차이 때문이다. 표준편차로 나타낸 수량의 연차변이는 C₃ 식물인 콩보다 훨씬 커서 이 지역이 무관개 재배법으로 옥수수를 경작하기는 어려운 환경임을 보여준다(표 5). 이 표를 토대로 담수 전후 옥수수 종실 잠재수량을 비교해 보면 27개 구역 중 증가 18개소, 감소 9개소로서 콩의 경우와는 다른 경향을 보였다. 반면 수량의 연차변이가 늘어날 것으로 추정되는 구역이 17개소로서 생산의 불안정화 경향이 뚜렷하다.

유의수준 95% 신뢰한계에서 담수전후 수량차이가 확인되는 지역은 여섯 곳으로 신덕동(CZU 7), 고곡동(CZU 8), 길안(13), 굴매동(17), 고산마을(18), 덕강(CZU 22) 등인데, 고곡동과 덕강을 제외한 나머지 네 곳에서는 담수후에 모두 수량이 증가하였다. 수량증가폭은 11~17%로서 콩

의 경우보다 컸다. 만약 50% 신뢰한계를 적용한다면 수량증가지역은 13곳으로 늘어나며, 반면에 담수후 수량이 감소한 곳은 6곳이 생겨난다.

이들을 다시 ① 수량증가-변이감소, ② 수량증가-변이증가 ③ 수량감소-변이감소, ④ 수량감소-변이증가 등 4 그룹으로 나누어 보면(그림 7), 첫 번째 그룹에는 신계동(CZU 6), 독골(CZU 16), 굴매동(CZU 17) 등 세 곳만 해당된다. 이곳의 수량증가폭은 8~15%이며 수량의 연차변이(표준편차)는 3~18%가 줄어들어 임하호 생성 후 C₄ 작물의 생산성(수량+변이)은 오히려 개선되었다고 볼 수 있다. 두 번째 그룹에는 연구대상지역 내 대규모 경작구역들을 포함하여 가장 많은 재배구역이 이 범주에 속하는데 수량성의 증가와 함께 생산불안정성이 커지므로 전체적인 농업경영상의 이익 역시 불안정해진다고 할 수 있다. 세 번째 그룹은 연차변이가 적어져 생산안정성은 높아졌으나 대신 절대수량 자체가 줄어드는 지역으로서 구계동(CZU 2), 고곡동(CZU 8), 구수동(CZU 27) 등 3개소가 해당된다. 네 번째 그룹은 담수에 의한 기후변화가 옥수수 농사에 절대적으로 불리하게 작용하는 경우로서 현하동(CZU 9), 덕강(CZU 22), 용계(CZU 23) 등 세 곳이 해당된다. 이들 중 앞서 콩의 경우에서도 생산성이 나빠지는 것으로 확인된 곳은 한 곳도 없다. 즉 인공호수에 의한 안동지역 기후변화는 C₃, C₄ 작물에 서로 다르게 영향한다고 볼 수 있다.

고 찰

인공호 주변지역의 기상변화 중 가장 뚜렷한 것은 안개에 의한 시정악화로써 지역주민 뿐 아니라 기상학자들의 주된 관심사항이다^{9,13,14}). 안개일수의 증가 및 지속시간의 연장은 궁극적으로 작물재배기간 중 누적일사량의 감소로 이어지고 이것은 광합성율의 저하를 가져온다. 광합성율은 작물생장량의 상한을 결정하므로 결국 안개 증가는 작물의 잠재생산력을 떨어뜨린다. 그러나 작물의 실제 생산성 즉 최종수량은 반드시 성장량이 높다고 하여 높아지는 것은 아니다. 작물의 수량은 그것을

구성하고 있는 여러가지 수량구성요소들의 상호작용의 결과이기 때문이다. 벼의 경우 광조건이나 토양조건이 양호하여 광합성율이 높아 경엽(莖葉)의 생장이 빠르다 할지라도 차후 결정되는 수당립수(穗當粒數), 등숙율(登熟率) 그리고 입중(粒重)이 낮아질 수 있어 양호한 생육조건이 반드시 높은 수량을 가져오는 것은 아니다. 이처럼 작물의 수량은 기상환경, 토양환경 그리고 그것을 구성하는 수량 구성요소들 사이의 복잡한 상호작용의 결과이다. 따라서 작물의 수량을 특정 기상요소나 토양의 성분함량으로 의해 설명하기는 불가능하다. 수량에 미치는 특정 환경요소의 효과를 밝히는 것은 현재로서는 수리적 모형을 통해서만 가능하며, 본 연구에서도 이 접근방법을 채택하였다.

작물모형의 구동을 위해 작성된 담수 전후 기후변화 시나리오는 담수후 단지 5년간의 관측자료를 토대로 한 미흡한 것이긴 하나, 다목적댐 주변 지역의 기후변화가 단순히 안개 증가에 그치는 것이 아니고 일사량의 감소, 나아가 기온과 강수량까지 해당됨을 말해준다. 특히 일사량 감소 현상이 두드러지며, 겨울철의 기온상승이 확인되었다. 박 등¹⁹⁾이 강원도 평창군 도암면의 해발 700m에 위치한 도암호 주변에서 3년간 관측한 바에 의하면 기온은 계절에 무관하게 대조지점보다 호수주변에서 항상 높았으며 가을-겨울의 기온상승폭이 봄-여름보다 컸다. 또한 호수의 영향은 반경 3~8km 이내에서 나타나는 것으로 보고하였다. 본 연구의 대상인 임하호는 그 지리적 위치나 규모가 도암호와는 크게 다르지만 기온 관측결과는 유사한 점이 있다.

그러나 여름철의 기온하강은 예상한 만큼 뚜렷하지 않으며 일사량은 월별로 오히려 증가한 경우도 있는 등, 다른 지역에서 실시한 유사 연구결과와는 다른 점도 있다^{8,19)}. 그 원인으로는 담수 후 1993년 여름의 이상저온, 1994년의 가뭄 등 기후의 연차변이가 특히 심했고, 댐의 저수율이 저조하였던 사실을 들 수 있다. 또한 연구대상지역의 기후는 임하댐이 건설되기 이전에 더욱 큰 규모인 안동호의 영향을 이미 받고 있었던 사실⁹⁾도 간과할 수 없다. 이러한 상황들은 임하호에 의한 미약

한 기후변화 “signal”을 검출하는데 너무 큰 “noise”로서 작용했을 가능성이 있다. 따라서 본 실험에서 계산된 기후변화량이 인공호 건설 전의 평년기후 조건에서도 흔히 볼 수 있었던 연차변이의 범주를 벗어나는지 여부는 좀더 장기간에 걸친 기상관측이 이루어진 후에야 알 수 있을 것이다.

이러한 미비점을 감안한 상태에서 5년 동안의 관측값 평균을 담수후 기후평년값으로 간주하고 이 시나리오를 토대로 작물생육을 모의하였으므로, 새로운 시나리오가 작성되거나 기후변화의 실제양상이 알려진다면 본 연구에서 예측된 것과 다른 결과를 얻게 될지도 모른다. 그러나 생육모의에 사용된 작물모형들은 이미 국내외 여러 지역에서 다양한 품종과 재배조건 하에서 검정을 거쳤으므로 이들에 의한 생산성 변화 예측결과는 신뢰할 만하다고 본다. 또한 대다수 작물모형의 기본구조는 작물별로 유사하므로, 설혹 적용되는 모형의 종류가 달라지더라도 본 연구에서 사용한 기후변화 시나리오 하에서 크게 차이나는 결과를 낳을 것으로는 우려되지 않는다. 더욱 현실적인 문제는 실제 농업시스템은 컴퓨터상의 생육모의실험처럼 주어진 환경변화에 그대로 순응하는 것이 아니라 끊임없이 개선, 발전한다는 점이다. 예컨대 온도 환경이 바뀌면 그에 상응한 품종을 선택하고, 비가 오지 않을 경우 관개작업을 하는 등, 육종 및 재배기술 측면에서 농민들은 항상 최적상태를 유지하고자 노력한다. 따라서 주어진 환경변화에 따라 “정직하게” 반응하는 컴퓨터 생육모의 결과를 토대로 한 본 연구결과를 실제 작황과 단순비교하는 일은 의미가 없을 것이다.

적 요

1990년 임하 다목적댐 건설에 의해 경북 안동지역에 생성된 담수면적 28.7km²의 임하호가 주변 지역의 국지기후 및 주요 작물의 잠재생산력에 미친 영향을 구명하기 위해 임하호 주변 30 km×25 km 지역을 대상으로 무인기상관측망을 구성, 5년간의 특별관측을 수행하였다. 수집된 자료를 토대로 담수전후 기후시나리오를 작성하고 이를 작물

모형에 입력하여 최종 건물생산량을 추정한 바, 주요 결과는 다음과 같다.

1. 담수후 5년간 일최고기온은 담수 전보다 평균적으로 한후기(10월~3월)에 상승하고 난후기에 하강하였으나, 예외적으로 6월과 7월에는 상승하였다. 일최저기온은 담수 전보다 평균적으로 난후기(4월~8월)에 하강하고 한후기에 상승하였다. 담수 전후 기온의 변화정도는 겨울철에 크고 여름철에 적었다.
2. 담수후 5년간 강수량은 담수 전보다 평균적으로 2, 3, 5, 7, 12월에 증가하였고 나머지 달에는 감소하였으나 연간 총강수량의 변화는 인정되지 않았다. 월별 일사량은 2, 6, 9월을 제외하고는 담수전에 비해 5% 가량 감소하였다.
3. 담수 전후 30년간씩의 벼 생육모의실험에서 대상지역내 27개 재배구역 중 담수에 의해 잠재수량의 변화가 인정되는 곳은 한 곳 뿐으로 담수전에 비해 정조 기준 4%의 증가를 보였다.
4. 담수 전후 30년간씩의 콩 생육모의실험에서 대상지역내 27개 재배구역 중 담수에 의해 잠재수량 감소가 인정되는 곳이 2개였으며 최대 감수율은 16%였다.
5. 담수 전후 30년간씩의 옥수수 생육모의실험에서 담수에 의해 옥수수의 잠재수량 감소가 인정되는 곳이 총 27개 중 6개였고 최대 감수율은 17%였다.

LITERATURE CITED

1. 조재영(편집대표). 1986. 전작 (4정). 향문사. pp539.
2. Cho H.M, Cho C.H, Yoo G.B, Chung K.W and Park S.H. 1987. Climatological features of some meteorological parameters affecting solar radiation and development of irradiance model. Journal of Atmospheric Research 4(1): 45-54.
3. Choi S.H, Choi J.S, Lee S.P, Lee K.S, Choi D.W, Choi K.B and Sim Y.G. 1989. Influence of climatic factors on rice yield in the foggy area. Res. Rept. RDA(rice) 31(3): 67-72.
4. Dussart B.H, Lagler K.F, Larkin P.A, Scudder T, Szesztay K and White G.F. 1972. Man-Made Lakes as Modified Ecosystems, Scope Report 2, International Council of Scientific Unions.
5. Geng S, Auburn J.S, Brandsetter E and Li B. 1988. A program to simulate meteorological variables: Documentation for SIMMETEO. Agronomy Progress Report No. 204. Dept. of Agronomy and Range Science, Univ. of California, Davis, CA.
6. Gregory S and Smith K. 1967. Local temperature and humidity contrasts around small lakes and reservoirs. Weather 22(12): 497-506.
7. 과학기술처. 1992. 전국 그물망기후값 추정 및 기후도 작성 연구(Ⅲ). p. 379.
8. 한국수자원공사. 1995. 임하 및 주암다목적댐 건설에 따른 기상환경변화 조사 (4차). 연차보고서, p. 306.
9. Hong S.G. 1982. Increase of the fogs in Andong due to the construction of Andong reservoir. Journal of Korean Meteorological Society 18(2): 26-32.
10. Jones C.A and Kiniry J.R. (eds) 1986. CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M University Press, College Station, Texas.
11. Jones J.W, Boote K.J, Hoogenboom G, Jagtap S.S and Wilkerson G.G. 1989. SOYGRO : User's Guide. Florida Ag. Exp. Station Journal No. 8304.
12. Kropff M.J, van Laar H. H and Matthews R.B. (eds) 1994. ORYZA1: An Ecophysiological Model for Irrigated Rice Production. IRRI, Los Banos, Philippines.
13. Lee C. B. 1981. Changes of fog days and

- cloud amount by artificial lakes in Chuncheon, *Journal of Korean Meteorological Society* 17(1): 18-26.
14. Lee C.B, Bong J.H and Cho H.M. 1990. Aspects of local climatic change due to dam construction. *Journal of Atmospheric Research* 7(1): 75-81.
 15. Made A. 1956. Über die methodik der meteorologischen gelandevermessung. *Dutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin* 5: 2-25.
 16. Matthews R.B, Kropff M.J, Bachelet D and van Laar H.H. (eds) 1995. *Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia*. IRRI & CAB International, Wallingford, UK.
 17. Martin J.H, Leonard W.H and Stamp D. L. 1976. *Principles of Field Crop Production* (3rd ed.) Macmillan Publishing Co., New York, NY.
 18. Nemeč J. 1973. Interaction between reservoirs and the atmosphere and its hydro-meteorological elements. In Ackermann W.C, White G.F and Worthington E.B. (eds.), *Man-made Lakes: Their Problems and Environmental Effects*. Geophysical Monograph Series, AGU, Washington, D.C., Vol. 17, p398-405.
 19. 박순용, 김준호, 이종범, 이태영. 1993. 수력 발전소 건설전후의 미기상학적 기후변화 연구. 용역과제 연구보고서(KRC-90C-T05), 한국전력공사 기술연구원. p. 589.
 20. Pickering N.B, Hansen J.W, Jones J.W, Chan H and Godwin D. 1994. Weather-Man: A utility for managing and generating daily weather data. *Agron. J.* 86(2): 332-337.
 21. Richardson C. W and Wright D. A. 1984. WGEN: A Model for Generating Daily Weather Variables. USDA-ARS, ARS-8, Washington, DC.
 22. SAS Institute Inc. 1985. *SAS user's guide: Statistics Ver. 5*, p. 956.
 23. Shin J.C and Lee M.H. 1995. Rice production in South Korea under current and future climates. In Matthews R.B, Kropff M.J, Bachelet D and van Laar H. H. (eds), *Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia*. IRRI & CAB International, Wallingford, UK. pp. 199-215.
 24. Steel R.G.D and Torrie J.H. 1980. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach* 2nd ed., Mc-Graw-Hill, New York, NY.
 25. Thornthwaite C.W. 1958. Introduction to arid zone climatology. In *Climatology and Microclimatology*, AZR XI, UNESCO, p15-22.
 26. Wallis T.W.R and Griffiths J.F. 1996. Simulated meteorological input for agricultural models. In *Preprints of 22nd Conference on Agricultural and Forest Meteorology* (Jan. 28-Feb. 2, 1996, Atlanta, Georgia), American Meteorological Society, pp. 358-361.