

낙동강 수계 중의 댐 건설에 의한 주변의 국지기상환경 변화 - II. 수치모델을 이용한 추정 -

전 병 일 · 이 영 미*

신라대학교 환경공학과 · 부산대학교 대기공학과

(2001년 4월 30일 접수; 2002년 4월 20일 채택)

A change of local meteorological environment according to dam construction of Nakdong-River

- II. Estimation using numerical model -

Byung-Il Jeon and Young-Mi Lee*

Dept. of Environmental engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

*Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Manuscript received 30 April, 2001; accepted 20 April, 2002)

This study was carried out for reading the change of local meteorological environment according to dam construction of Nakdong-river using numerical model. The study used PSU/NCAR Mesoscale Model version5(MM5) for inquiring effect of formation of artificial lake after dam construction. The colleague simulated temperature mixing ratio, latent heat flux and sensible heat flux in two cause of existing lake and not. Temperature and mixing ratio in southwest of Andong lake increased because of the air that was warm and moist above the lake moved to southwest due to the northeasterly wind. In the case of existing lake around Andong, latent heat flux increased much in the daytime after sunrise. However, sensible heat flux decreased but it didn't change distinctly in southwest of Andong like the other values.

Key word : meteorology, environment, dam, lake, MM5

1. 서 론

댐 건설로 인해 인공호수가 형성되면 그에 따른 지형의 변화로 인해 주변 환경이 변하게 된다. 특히 기상조건에 가장 민감한 식물생태계, 즉 농작물은 급격한 주변환경 및 기상의 변화에 의해 입는 피해가 엄청나다. 댐 건설로 인해 형성된 인공호수는 열용량이 매우 크므로 여름에는 냉원, 겨울에는 열원의 역할을 하여 댐 주변의 기상환경을 변화시킨다. 또한, 넓은 수면과 많은 저수량을 가진 호수 주변은 호수면에서의 증발과 현열 출비에 의하여 안개발생도 증가하고 이로 인해 일조시간이 감소하여 농작물에 큰 영향을 준다.¹⁻³⁾

본 연구에서는 댐에 의한 주변의 기상환경 변화를 알아보기 위해 수치모델을 이용하여 댐이 건설되기 전과 건설 후의 기상변화를 추정하였다. 수피에 의한 기상변화 연구는 국외의 큰 호수 주변을 대상으로 이루어졌는데 이용된 수치모델은 대부분 대기모델과 해양 및 호수모델을 접합한 것이었다. 1993년에 Hostetler et al.⁴⁾은 Pennsylvania State/NCAR Mesoscale Model(MM4)를 이용하여 regional model과 lake thermal model을 결합하였고, 1997년에 U.S. Navy's Coupled Ocean-Atmosphere Mesoscale Prediction System(COAMPS)⁵⁾가 개발되었다. 최근에는 Jordan et al.⁶⁾이 MM5와 Princeton Numerical Ocean Model(POM) 및 Great Lakes Environmental Research Labotary Donelan Wave Model(GDM)을 결합하여 미국의 Lake Erie를 대상으로 모델을 수행하였다.

Corresponding Author : Young-Mi Lee, Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
Phone : +82-51-583-2652
E-mail : claris75@yahoo.com

본 연구에서는 수치모델인 MM5를 이용하여 댐 건설전과 후의 평균기온, 대기 중 수분의 양을 나타내는 혼합비, 호수의 형성에 의해 증가하는 잠열 그리고 현열을 추정하여 비교 및 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 모델의 개요

본 연구에서는 인공호수의 형성에 따른 주변의 기상변화를 추정하기 위해 미국의 기상연구소(National Center for Atmospheric Research)와 펜실베이니아 주립대학이 공동 개발한 모델인 PSU/NCAR Mesoscale Model version5(MM5)⁷⁾를 이용하였다. 초기의 MM5는 주로 중규모(Mesoscale)에 적용되었으나 근래에는 중규모뿐만 아니라 meso- β 및 meso- γ scale(2-200km)인 전선, 해륙풍, 산곡풍, 도시열섬등의 연구에도 유용하도록 보완되었다. 이 모델은 다중격자체계(multiple-nest capability)이며 더 많은 물리적 현상을 고려할 뿐만 아니라 4차원 자료동화

를 지원한다. 또한 정수역학(hydrostatic dynamics)에 수직기압경도의 수직가속항이 추가된 비정수역학(nonhydrostatic dynamics)을 고려하여 비정수상태에 적용가능하도록 하였다. MM5는 강수, 행성 경계층내, 지표면, 대기복사와 관련된 여러 물리적 과정을 상세히 고려하고 있으며 실시간 입력자료를 필요로 한다.

2.2. 입력자료

본 연구에서는 MM5를 이용하여 동아시아 지역에서부터 4개의 등지격자체계인 two-way nesting 방법으로 30km, 10km, 3.3km, 와 1.1km의 분해능을 통해 Lambert-conformal 격자투영법을 사용하여 안동호 주변의 국지기상변화를 수치모의 하였다(Fig. 1). 총 4개의 모델영역 중 가장 작은 영역인 안동호를 중심으로 52km×52km의 수평영역이며, 연직으로는 23개의 sigma좌표로 고도 약 16km까지이다. 본 연구에서는 안개의 발생이 빈번한 10월 중 동풍

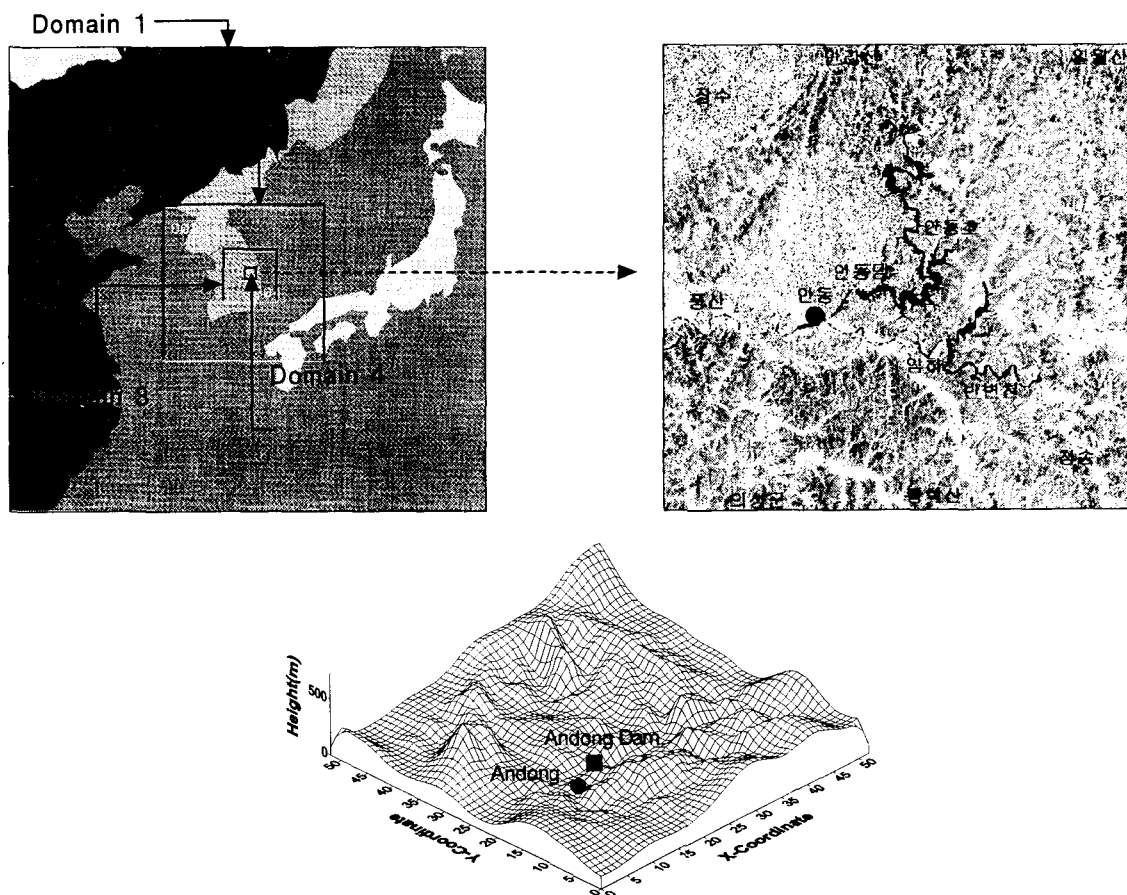


Fig. 1. The nested domain for modeling and terrain height.

계열의 바람이 불어 안동시가 안동호에 의한 영향을 크게 받을 것이라 사료되는 23일과 24일을 대상으로 모델을 수행하였다. 기상자료는 2000년 10월 23일의 0300LST부터 24일의 0300LST까지의 NCEP 전지구 자료(GDAS)를 이용하였고 land-use는 USGS의 자료를 이용하였다. 모델의 검증에 위한 기상자료는 기상청에서 제공하는 안동의 일기상통계표를 이용하였다.

본 연구에서는 인공호수의 형성에 의한 기상변화를 알아보기 위해 두 가지 경우를 가정하여 모델을 수행하였다. Case 1은 호수가 형성되지 않은 경우이고 Case 2는 댐의 건설로 인해 호수가 형성된 경우이다. Case 1은 안동호를 주변과 같은 토지상태인 농경지라 가정할 것 외에 다른 지역의 토지상태 및 기상자료는 Case 2과 동일하다. Case 1은 모델영역 중 농경지 및 삼림이 77.6%이며 논이 14.4%, 호수는 2.6%였으며, Case 2는 호수가 차지하는 비중이 없애고 논이 17%였다. 본 연구에서 사용한 Case 1과 Case 2의 land-use를 그림에 나타내었다(Fig. 2).

3. 결 과

3.1 기상상태

MM5를 수행하기 위해 대상으로 선택된 2000년 10월 24일 09시의 지상일기도는 Fig. 3과 같다. 우리나라는 전반적으로 일본 북해도에 중심을 둔 고기압의 영향으로 동해안지방과 대부분 지역은 북동기류가 탁월하게 나타나고 있다. 중국북부지방에 중심을 둔 저기압은 화중지방과 화남지방까지 길게 한랭전선을 형성하고 있으나 아직 우리 나라까지는 영향을 미치지 못하고 있다. 중국내륙에는 차고 건조한 고기압이 세력을 키우고 있으나 아직 미약한 상태로 보이며 점차 우리 나라로 이동성 고기압화되어 영향을 미칠 것 같다. 따라서 이 날은 본 연구

의 대상으로 매우 적당하다고 판단되며 특히 안동호에서 안동시로 수증기의 이류가 발생할 수 있는 날이라고 할 수 있겠다.

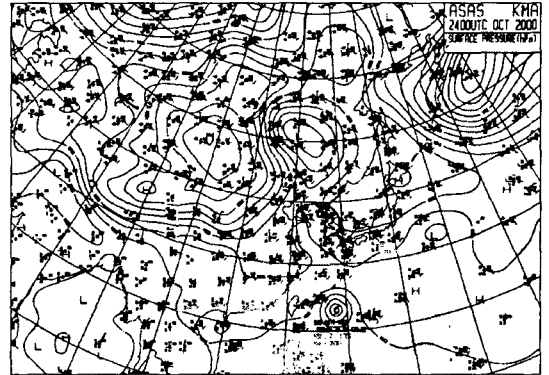
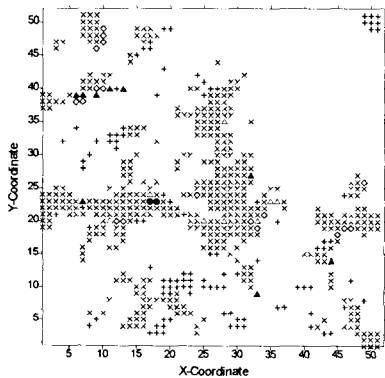
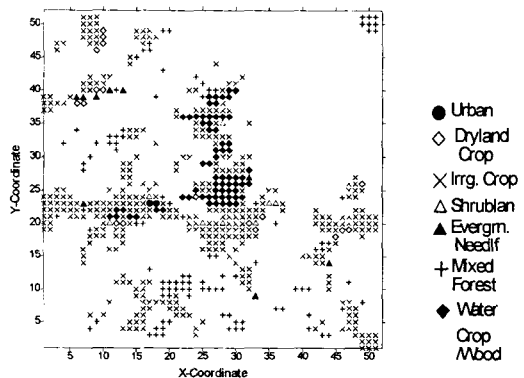


Fig. 3. Synoptic weather map of 0900LST October 24, 2000.

Fig. 4는 MM5를 이용해 안동호 주변의 공기이류에 가장 큰 영향을 주는 바람장의 수치모의 결과를 2000년 10월 24일 03시부터 6시간 간격으로 나타낸 것이다. 모든 시간에 동풍계열의 바람이 우세하여 안동댐의 남서쪽에 위치해 있는 안동시로 호수상공의 습윤한 공기가 이루어져 안동시를 포함한 안동호의 남서쪽의 국지기상에 영향을 줄 것으로 추정된다. 모든 시간대에 영역의 북서쪽에 위치해 있는 고지대 부근에서 풍향의 변동이 심한 것을 알 수 있다. 또한 시간이 지날수록 안동호 주변의 바람은 북동풍에서 남동풍으로 서서히 풍향이 변화되면서 불고 있다. 이 결과는 안동축후소에서 관측한 풍향과 거의 동일하다. 따라서 본 연구의 수치모델결과와 유사하여 다른 기상요소의 비교에도 별 무리가 없는 것으로 판단된다.



(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 2. Land-use of domain for modeling.

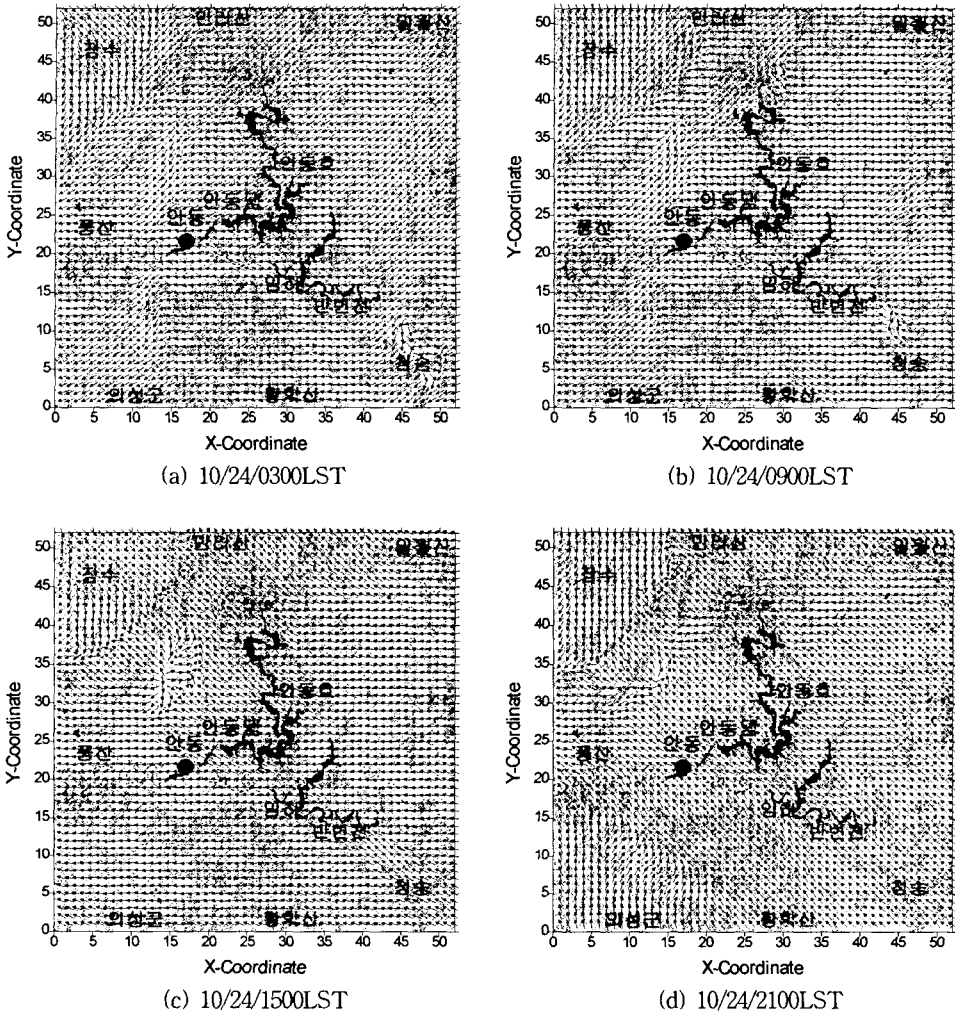


Fig. 4. Variation of horizontal wind distribution calculated from the MM5.

3.2. Case 1과 Case 2의 시간별 변화

먼저 Fig. 5에 10월 23일 0300LST부터 10월 25일 0300LST까지 각 요소의 변화를 인공호수가 형성되지 않은 경우(Case 1)와 형성된 경우(Case 2)로 나누어 시간별로 나타내었다. 기온의 경우 case 2가 case 1보다 전반적으로 높아 댐의 건설로 인해 형성된 호수가 열원의 역할을 하였고, 낮에는 일부 기온이 감소하여 냉원의 역할을 하였다. 24일 0500LST에 1.17℃가 상승하여 가장 크게 상승하였고 3시간 후인 0800LST에는 1.16℃가 상승하여 야간과 오전을 중심으로 호수의 형성으로 인해 기온이 상승함을 알 수 있다. 또한 24일 1300LST에 0.326℃가 하강한 것을 비롯하여 주간에는 일부 하강한 것을 알 수 있는데 이는 주간에 일사로 인해 비열이 큰 호수가 육지보다 온도가 낮아 냉원의 역할을 하기 때문이다. 하지만 기온의 감소폭은 야간의 상승폭에 비

해 매우 작아서 그 효과가 그리 크지 않았다.

혼합비의 변화를 보면 기온과 마찬가지로 23일 야간과 24일 오전 사이에 호수위의 습윤한 공기인해 혼합비가 증가하는 경향을 보였으며, 주간에는 거의 변화가 없거나 일부 감소하였다. 가장 크게 증가한 시간은 24일 0600LST에 0.46g/kg, 0700LST에 0.39g/kg이었으며, 크게 감소한 시간은 24일 1400LST에 0.49g/kg이었다.

잠열과 현열은 기온 및 혼합비와는 달리 일사가 있는 주간에 큰 차이를 나타내었다. 호수가 형성될 경우 잠열은 23일 1200LST에는 131.1W/m², 1500LST에는 114.6W/m², 24일 1500LST에는 88.6W/m²가 상승한 것을 비롯하여 매우 큰 폭으로 상승하였으며 감소한 경우는 거의 없었다. 잠열은 지상에서 물이 증발될 때 포함되는 열이므로 잠열이 크게 증가한 것은 호수의 형성으로 인해 수분이 크게 증가

낙동강 수계 중의 댐 건설에 의한 주변의 국지기상환경 변화

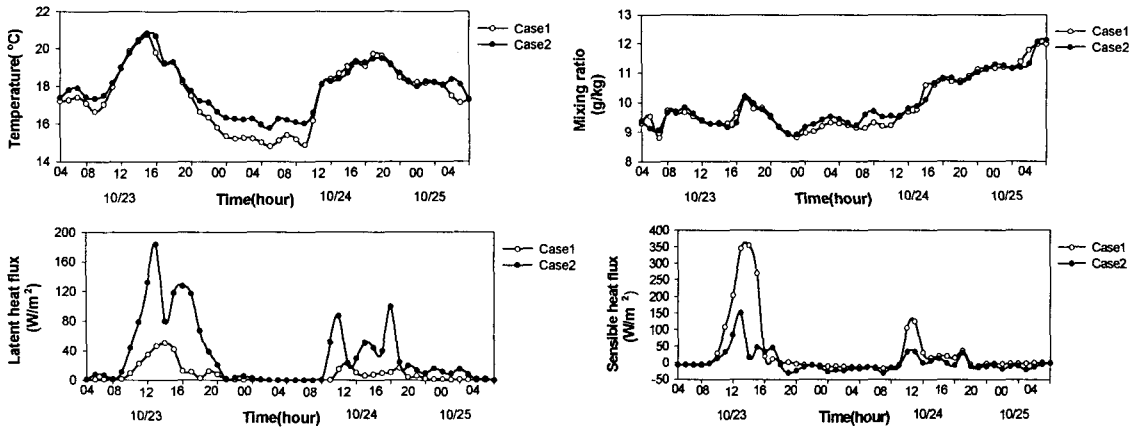


Fig. 5. Hourly variation of meteorological factor result from modeling.

한 것을 의미한다. 현열은 공중에서 수증기가 응결하여 구름이 될 때 방출하는 열로써 일반적으로 잠열과는 반대의 경향을 나타낸다. 현열의 변화를 보면 잠열과 마찬가지로 주간에 큰 변화를 보이나 잠열이 호수형성으로 인해 증가한 반면 현열은 급격히 감소함을 알 수 있다. 23일 1300LST와 1400LST에 각각 337.7W/m^2 , 222.4W/m^2 로 가장 크게 감소하였고 24일 1000LST에 약 91W/m^2 가 감소하였다.

3.3. 바람장에 따른 기상장 분포

호수의 유·무에 의한 영향을 크게 받을 것이라 예상되는 기온과 혼합비, 잠열 및 현열을 중심으로 모델 수행 기간인 2000년 10월 23일 0300LST부터 25일 0300LST 중 24일 0300LST부터 2100LST의 결과를 분석하였다. 본 연구에서는 위의 시간 중 10월 24일 0900LST를 중심으로 기온, 혼합비, 잠열 및 현열의 변화를 분석하였다. 본 연구에서는 바람장에 따라 안동호 상공의 공기가 이동하여 주변지

역에 어떠한 기상장을 유도하는지 알아보기 위해 24일 0900LST의 모델 영역내 값과 두 경우의 차이를 다음 그림에 나타내었다. 각 그림에서 두 경우의 차이는 호수가 형성된 경우인 case 2에서 형성되지 않은 경우인 case 1을 뺀 것이다.

기온의 경우(Fig. 6), Case 1과 case 2 모두 모델 영역 내에서 $12^{\circ}\text{C} \sim 17^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보이며, 산이 밀집되어 있는 북쪽이 안동과 그 이하의 지역보다 $2^{\circ}\text{C} \sim 3^{\circ}\text{C}$ 정도 낮아 case 1과 case 2가 비슷한 분포를 보였다. 그러나 case 1과 case 2의 차이를 나타낸 그림을 보면 붉은 선으로 나타난 지역이 호수형성에 의해 기온이 상승한 곳이고 나머지는 하강하거나 혹은 변화가 없는 곳인데, 안동호 주변과 안동을 포함한 호수의 남서쪽은 기온이 상승하고 나머지는 그렇지 않은 것으로 나타났다. 이는 북동풍에 의해 안동호 상공에서 남서쪽으로 이루어진 공기에 의한 것이라고 할 수 있다. 가장 크게 기온이 상승한 곳은 약 1.2°C 가 상승한 안동호의 상류지역

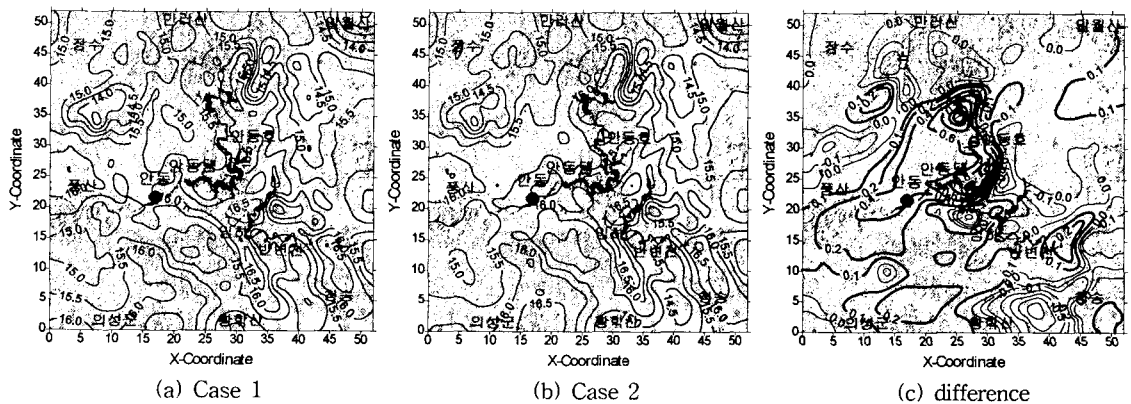


Fig. 6. Distribution and difference of air temperature at 0900LST 24 October.

(25,35)이며, 가장 크게 감소한 곳은 황학산과 청송 사이의 지역(38,4)이었다.

혼합비의 경우(Fig. 7), 기온과 마찬가지로 case 1과 case 2가 값이 조금 차이가 날 뿐 영역내의 분포는 비슷하였다. Case1과 Case2의 혼합비 차이를 나타낸 그림을 보면 기온과 마찬가지로 안동호와 안동을 포함한 남서쪽 지역은 혼합비가 상승하고 나머지 지역은 하강하거나 변화가 없었다. 가장 크게 상승한 곳은 안동댐 부근(25,25)으로 0.39g/kg이 상승하였고, 가장 크게 감소한 곳은 만리산과 안동호 상류 사이 지역(22,41)으로 약 0.22g/kg이 감소하였다. 그림에서 보는 바와 같이 안동호에서 북동풍에 의해 남서쪽으로 이류된 공기는 이 지역의 기온을 상승시킬 뿐 아니라 습한 공기를 공급하여 대기의 수분을 증가시켰다.

잠열의 분포를 보면(Fig. 8) 기온 및 혼합비와 마찬가지로 case 1과 case 2가 비슷한 분포를 보이거나 최고값과 최저값이 나타나는 곳은 조금 차이가 났다. Case 1의 호수가 형성되지 않은 경우에는 만리산의 남동쪽(32,43)에서 97.9W/m²인 최고값이 나타

났으나 호수가 형성될 경우인 case 2에는 안동호 중심(31,24)에서 130.449W/m²의 최고값이 나타나 호수의 형성이 잠열의 분포에 매우 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Case 1과 Case 2의 잠열의 차이는 아직 일사가 그리 강하지 않은 0900LST라서 기온 및 혼합비와 같이 안동호의 남서쪽으로 퍼져나가는 분포가 확실히 나타나지는 않지만 안동호 부근의 잠열이 크게 상승하는 것을 보여 안동호 형성에 의한 잠열 상승을 뚜렷히 보여주고 있다.

현열의 분포를 보면(Fig. 9) case 1과 case 2의 경우 모두 안동(17,23)에서 다른 지역보다 현저히 높은 104.8W/m², 112.7W/m²의 최고값을 보여 도시화가 현열 분포에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 현열을 잠열과 반대의 경향을 나타내므로 호수 형성후 감소한 지역을 굵은 선으로 나타내었는데 현열의 차이를 보면 잠열과 달리 호수의 형성에 의한 차이가 뚜렷히 나타나지 않았다.

4. 고찰

MM5를 이용하여 안동호를 중심으로 호수가 형

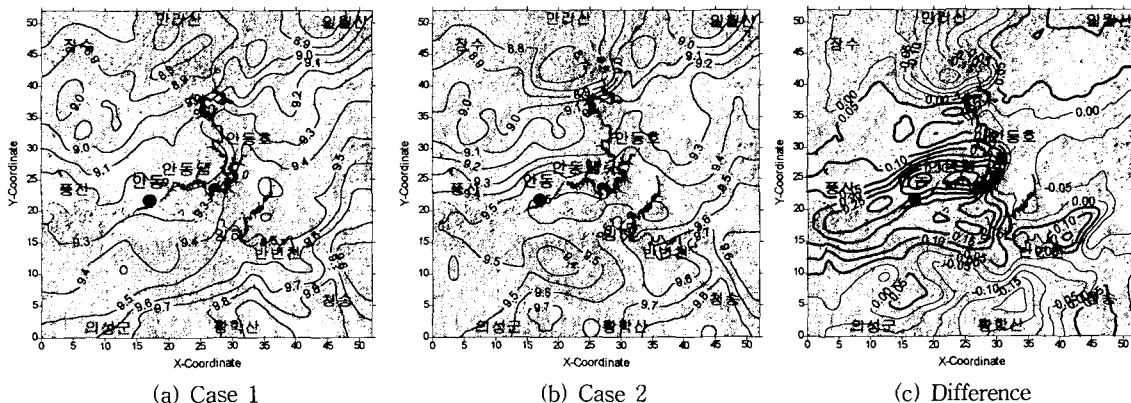


Fig. 7. Distribution and difference of mixing ratio at 0900LST 24 October.

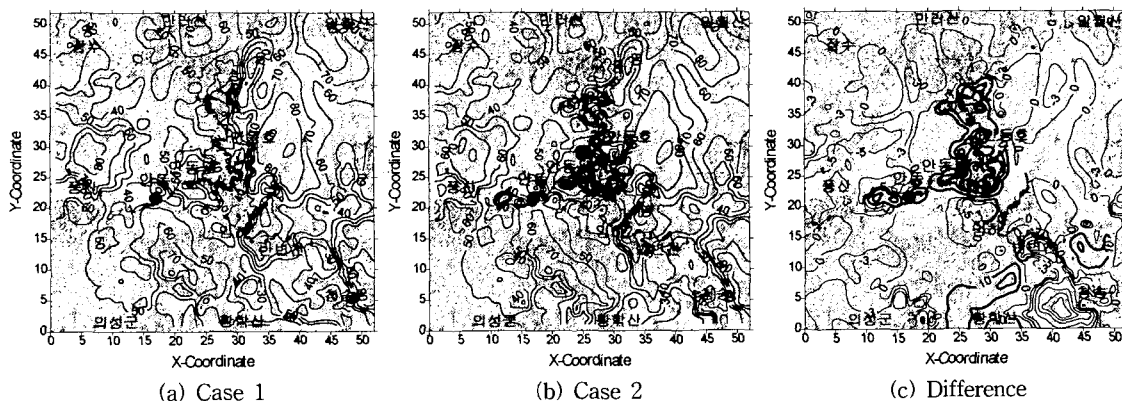


Fig. 8. Distribution and difference of latent heat flux at 0900LST 24 October.

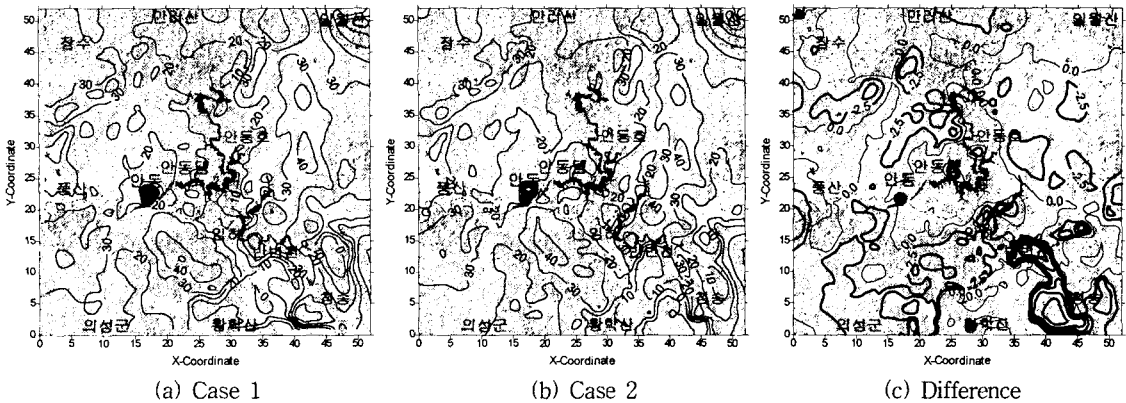


Fig. 9. Distribution and difference of sensible heat flux at 0900LST 24 October.

성된 경우와 형성되지 않은 경우를 가정하여 2000년 10월 23일과 24일의 기온, 혼합비, 잠열 및 현열의 변화를 분석한 결과를 보면, 기온의 경우 비열이 큰 호수가 형성됨으로 인해 대기보다 물의 온도가 높아 전반적으로 열원의 역할을 하여 기온이 0.5℃에서 1.2℃가 상승하였고, 대기의 온도가 급격히 하강하는 야간에 더 뚜렷히 나타났다. 모델 영역내의 분포를 보면 case 1과 case 2가 비슷한 분포를 보였지만 기온 차이를 보면 북동풍의 영향으로 안동호 상공의 공기가 이루어져 안동호와 안동호의 남서쪽으로 기온이 상승하는 결과를 보였다. 혼합비도 기온과 마찬가지로 호수의 형성으로 인해 야간에 수분이 크게 증가하였으며, 호수가 형성된 경우 안동호를 중심으로 남서쪽의 혼합비가 크게 증가하는 경향을 보였다. 잠열은 일사가 강한 낮에 호수의 형성으로 인해 크게 증가하였으며, 호수가 형성된 후 안동호 주변의 잠열이 크게 증가하여 호수 형성에 의한 수분 증가를 뚜렷히 나타내었다. 현열은 잠열과 반대로 일사가 강한 낮을 중심으로 호수가 형성된 후 크게 감소하였고, 영역내의 값은 안동시가 다른 지역에 비해 현저히 높아 도시화에 의한 현열 증가를 나타내었다. 하지만, case 1과 case 2의 현열 차이의 분포에서는 호수 형성에 의한 영향이 뚜렷히 나타나지 않았다.

5. 결론

인공호수의 형성에 의한 국지기상변화를 알아보기 위해 MM5를 이용하여 안동댐 건설에 의해 인공호수가 형성되지 않은 경우와 형성된 경우로 나누어 기온, 혼합비, 잠열 및 현열의 변화를 비교하여 국지기상환경의 변화를 고찰하였다.

기온은 호수가 형성된 후 비열이 큰 수괴로 인해 대기보다 물의 온도가 높아 호수가 열원의 역할을

하여 대기의 온도가 급격히 하강하는 야간을 중심으로 기온이 0.5℃에서 1.2℃ 상승하였다. 또한, 호수가 형성된 후 북동풍의 영향으로 안동호 상공의 공기가 이루어져 안동호와 안동호의 남서쪽으로 기온이 상승하는 결과를 나타내었다. 혼합비는 호수의 형성으로 인해 야간에 수분이 크게 증가하여 0.1g/kg에서 0.46g/kg 정도 상승하였고, 안동호를 중심으로 안동을 포함한 남서쪽의 혼합비가 크게 증가하는 경향을 보였다. 잠열은 일사가 강한 낮에 호수의 형성으로 인해 50W/m²에서 131.1W/m² 정도 크게 상승하였고, 호수가 형성된 후 안동호 주변의 잠열이 크게 증가하였다. 현열은 일사가 강한 낮을 중심으로 호수가 형성된 후 크게 감소하였고, 안동시가 다른 지역에 비해 현저히 높아 도시화에 의한 현열 증가를 나타내었다. 호수의 형성이 영역내의 현열분포에는 큰 영향을 주지 않았다.

감사의 글

본 연구를 진행함에 있어 모델 수행에 많은 도움을 주신 부산대학교 대기과학과내 대기오염 및 중규모 모델링 연구실의 김유근 교수님과 임윤규 연구원님께 깊은 감사를 드립니다. 본 연구는 신라대학교 부설 낙동강연구원의 2000년 연구과제 중 대기분야로서 진행되었습니다.

참고 문헌

- 1) 이종범, 1981, 춘천지방의 인공호에 의한 안개 및 운량의 변화, 한국기상학회지, 17(1), 18-26.
- 2) 홍성길, 1982, 안동댐 건설이후 안동지방의 안개 증가, 한국기상학회지, 18(2), 26-32.
- 3) 박순용, 김준호, 이종범, 이태영, 1993, 수력발전소 건설전후의 미기상학적 기후변화 연구, 용역과제 연구보고서(KRC-90C-T05), 한국전력공사

- 기술연구원, 589pp.
- 4) Hostetler, R. M., G. T. Bates and F. Giorgi, 1993, Interactive Coupling of a Lake Thermal Model with a Regional Climate Model, *J. Geophys. Res.*, 98(D3), 5045-5057.
 - 5) Hodur, R. M., 1997, The Naval Research Laboratory's Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System(COAMPS), *Mon. Wea. Rev.*, 125, 1414-1430.
 - 6) Jordan, G. P., and T. S. Mark, 2000, A coupled air-sea mesoscale model: Experiments in atmospheric sensitivity to marine roughness, *Mon. Wea. Rev.*, 128, 208-228.
 - 7) Grell, A. G., E. S. Sockwell, W. R. Schoenemeyer, T. Forkel, R. Michalakes, J. Knoche, R. and W. Seidl, 1999, Application of a multiscale, coupled MM5/chemistry model to the complex terrain of the VOTALP vally compain, *Atmos. Environ.*, 34, 1435-1453.