

작전기상 지원을 위한 PC 클러스터 기반의 기상수치예보시스템

A Numerical Weather Prediction System for Military Operation Based on PC cluster

이 용 희* 장 동 언** 안 광 득* 조 천 호***
Lee, Yong Hee Chang, Dong-Eon Ahn, Kwang-Duck Cho, Chun-Ho

ABSTRACT

Weather conditions have played a vital role in a war. Many historical records reported that the miss use of weather information is the main reason of the lost a war. In this study we demonstrated the possibility of applying the numerical weather prediction system(NWPS) for military operations. The NWPS consists of PC-cluster as a super computer, data assimilation system ingesting many remote sensing observation, and graphic systems. High resolution prediction in NWPS can provide useful weather information such as wind, temperature, sea fog and so on for military operations.

주요기술용어 : Numerical Weather Prediction(기상수치예보), PC-cluster(PC 클러스터), Data Assimilation(자료동화), Weather Prediction for Military Operation(작전기상), Super Computer(슈퍼컴퓨터)

1. 머리말

전장에서 날씨를 보이지 않는 군대의 역할을 한다. 더욱이 양호한 기상은 정교한 현대 무기의 효과와 명중률을 향상시키며, 지원체계의 능력을 향상시키고 악조건하의 기상은 전투력 저하는 물론이고 경우에 따라서는 작전계획을 변경 및 취소해야 할 정도로 영향

을 미치게 된다. 이처럼 기상은 전쟁의 중요한 관건이 되며 어떻게 기상을 잘 이용하여 아군에게는 유리하게, 적군에게는 불리하게 작용하도록 하느냐가 작전기상연구의 동기가 될 수 있다^[1].

과거에서부터 현대의 전쟁사에서 기상의 영향은 경우에 따라 전쟁의 승패에 결정적인 영향을 주고 있는 사실을 쉽게 찾아 볼 수 있다^[1,2,3,4]. 몽고의 일본 원정은 항해 도중 만난 태풍으로 막대한 전력의 손실을 입어 싸워 보지도 못하고 실패로 돌아갔으며, 나폴레옹의 워털루 전투에서의 패배는 계절적인 비로 인하여 땅이 진흙탕이 되는 바람에 효과적인 군사이동 및

* 기상청 기상연구소 기상연구사
** 기상청 기상연구소 기상연구관
*** 기상청 기상연구소 예보연구실장

중야포 사격이 불가능해짐에 따라 적에게 군사력을 재정비할 시간을 준 것이 원인이 되었다. 최근 군사기술이 발전할수록 날씨가 전쟁에 더욱 큰 영향을 미치고 있다. 걸프전 당시 1990년 1월 18일 이라크 영내로 공중작전이 개시될 예정이었는데 바그다드 지역의 기상 악화가 예상되었다. 1월 18일 아침에 바그다드 북쪽 아타지 로켓 생산 시설을 폭격할 예정이었던 F-16은 구름 때문에 알루마이라 비행장으로 표적을 바꾸었다. 구름이 레이저 빔을 방해하기 때문에 짙은 구름은 레이저 유도 폭탄의 사용에도 지장을 주었다.

최근 기상관측장비의 정밀화 및 다양화로 인하여 고해상도의 정밀한 기상 관측 자료가 생산되며, 슈퍼컴퓨터 성능이 급속히 발전함에 따라 국지적인 기상을 예측할 수 있는 기상예측기술이 개발되었다. 우리나라의 공식적인 기상정보 생산 기관인 기상청은 위성관측, 수치예보모델의 운영 등을 통하여 국민 및 유관 기관에 기상정보를 제공하여 각종 산업 활동과 국민생활의 편익에 도모하고 있다. 기상청에서는 불특정 다수인 국민을 대상으로 기상정보를 제공하고 있는 관계로 악기상이 예상될 때 기상 특보 발표나, 주어진 예보 지역 내의 최고 및 최저기온, 강수량 등과 같이 일상적인 기상정보만 제공하고 있다. 그러나 군작전과 관련하여 기상청에서 생산하는 이러한 기상정보를 그대로 이용하기에는 한계가 있다. 반면에 군작전과 관련하여 필요한 기상정보는 주변의 정밀한 지형지세와 작전환경을 고려한 모일 모시의 작전지역 고산의 결빙 확률이나 적의 화학탄 투여 시의 예상되는 오염지역분포와 같은 군사용으로 재생산되거나 가공된 기상정보이어야 한다.

현재 군사용 기상정보는 공군 기상전대와 같은 군사체체의 기상정보 생산기관에서 담당하고 있다^[5]. 그러나 전국토를 대상으로 국지적인 군작전용 기상정보를

단위부대에 실시간으로 제공하기에는 한계가 있다. 군사용 기상예측과 정보의 생산은 기상수치예보를 바탕으로 이루어 질 수 있으며 기상수치예보는 슈퍼컴퓨터의 발전과 같은 역사선 상에서 발전하여 왔다. 1940년대에 세계 최초로 범용 컴퓨터가 개발된 이후, 오늘날에는 컴퓨터 계산 성능의 급진적인 발달로 인하여 개인용 컴퓨터의 성능이 10여년 전의 슈퍼컴퓨터의 성능을 능가하는 계산 처리 능력을 갖추게 되었으며, 아울러 통신 기술의 발달로 네트워크를 통하여 초고속으로 자료교환이 가능하게 되었다. 최근에는 고속 네트워크를 이용한 "개인용 컴퓨터(PC)의 클러스터"를 이용한 분산 병렬 처리 시스템이 발달하게 되었으며, 이러한 분산 병렬처리시스템의 운영은 저가의 하드웨어를 이용한 초고속 환경을 제공할 수 있으므로 기상수치모델의 운영을 위한 비용을 최소화함으로써 기상수치모델의 개발 및 운영에 획기적인 전기를 마련하는 계기가 되었다^[6]. PC 클러스터 기술을 이용한 기상수치예보시스템의 개발은 고가의 슈퍼컴퓨터에 의존하지 않고 미래의 상세한 기상정보의 실시간 생산을 가능하도록 함에 따라 효율적인 작전기상을 지원할 수 있는 여건이 마련되었다. 미육군 연구소(U.S Army Research Laboratory)에서는 화학전, 미사일 전을 대비한 바람예측을 체계적으로 실시하고 있으며, 고해상도의 바람장을 예측하기 위해 기후모델(수백 km이상)과 중규모 모델(수km-수십km), 미세규모 모델(수백m)를 연동으로써 고분해능의 바람장을 예측하고 있다^[7]. 그러나 상기 연구는 슈퍼컴퓨터를 사용하는 체계로 구축되어 있어 고비용의 계산비용과 운영비가 들게 된다.

이 논문에서는 작전기상지원을 위해 최소비용으로 운영할 수 있는 PC 클러스터의 기반에서 작전기상 지원 수치예보시스템의 구축에 대해 소개하고 그 활

용성을 논의하고자 한다. 2장에서는 기상수치예보시스템의 주요 요소인 기상수치예보시스템과 클러스터에 대해 소개하고, 3장에서는 기상수치예보시스템을 통한 작전기상지원의 가능성을 발굴하고, 4장 결론 및 제언에서는 작전기상지원시스템의 운영에 대한 제언을하고자 한다.

2. 기상수치모델과 클러스터

2.1 기상수치모델

이 연구에서 사용한 기상수치모델을 중규모 기상모델인 MM5이다^[8]. 본 방정식은 σ 좌표계 (x, y, σ)에서 압력방정식(식 1), 동서, 남북 연직 운동량 방정식(식 2, 식 3, 식 4), 열역학방정식(식 5)이다.

압력방정식

$$\frac{\partial p'}{\partial t} - \rho_0 g w + \gamma p \nabla \cdot \mathbf{V} = - \mathbf{V} \cdot \nabla p' + \frac{\gamma p}{T} \left(\frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \right) \quad (1)$$

운동량방정식(동서성분)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = - \mathbf{V} \cdot \nabla u + v \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} \right) - e w - \frac{u w}{r_{earth}} + D_u \quad (2)$$

운동량방정식(남북성분)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = - \mathbf{V} \cdot \nabla v + u \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} \right) - \frac{v w}{r_{earth}} + D_v \quad (3)$$

운동량방정식(연직성분)

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\rho_0}{\rho} \frac{g}{p^*} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} + \frac{g p'}{\gamma p} = - \mathbf{V} \cdot \nabla w + g \frac{p_0}{p} \frac{T'}{T_0} - \frac{g R_d}{c_p} \frac{p'}{p} \quad (4)$$

열역학방정식

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \mathbf{V} \cdot \nabla T + \frac{1}{\rho c_p} \left(\frac{\partial p'}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla p' - \rho_0 g w \right) + \frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \quad (5)$$

이류항은

$$\mathbf{V} \cdot \nabla \equiv u \frac{\partial A}{\partial x} + v \frac{\partial A}{\partial y} + \sigma \frac{\partial A}{\partial \sigma} \quad (6)$$

여기서

$$\sigma = - \frac{\rho_0 g}{p^*} w - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} u - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} v \quad (7)$$

발산항

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = \frac{\partial u}{\partial x} - \sigma p^* \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial \sigma} - \frac{\rho_0}{p^*} \frac{g \partial w}{\partial \sigma} \quad (8)$$

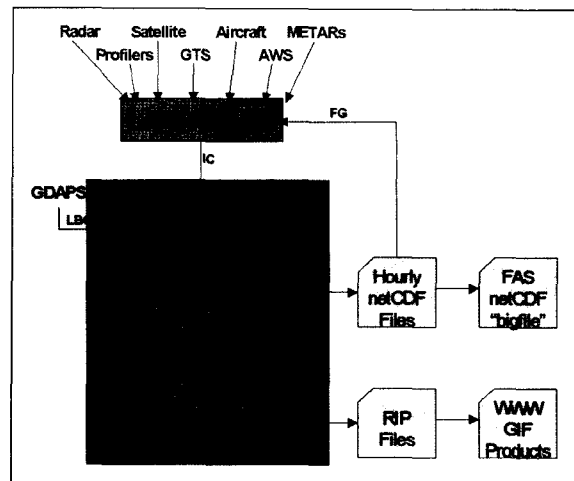
이류항은 식 (6)으로 정의되며 발산항은 식 (8)로 정의된다. 여기서 T 는 기온, u, v, w 는 바람의 동서, 남북, 연직 성분, p 는 압력, g 는 중력가속도를 각각 나타낸다. 식 (1)의 우변의 마지막 항은 MM5 시스템에서는 포함되지 않았으나 이 항은 팽창하는 공기에 가해지는 가열으로 유도되는 압력증가를 의미한다. 식 (2)에서 식 (4)의 eu 와 ew 는 전향력 성분 중에서 흔히 생략되는 부분을 포함하고 있으며 y 방향

은 식에서는 북쪽을 향하지만 모델에서는 이 전향력은 각 격자방향에 따라 회전하도록 코드화 되어 있으며 $u \frac{\partial u}{\partial y}$ 와 $\left(\frac{u^2 + v^2}{r_{earth}} \right)$ 는 곡률효과를 의미한다. 식 (1), (2), (3)에는 지형 효과로 나타나는 수평 경도를 반영하는 기울어진 σ 면을 설명하는 항이 추가적으로 들어 있다. 이 식들 외에 수증기나 구름, 강수 등 미세구름물리 변수를 위한 예단 방정식이 준비되어 있다.

이상의 방정식은 Arakawa-B 격자체계에서 시공적으로 유한차분 된다. 사용된 공간 유한차분법은 2차 중앙차분법이 사용되었으며 예외적으로 강수량 항에서는 1차 전진(upstream)법이 적용되었다. 시간 차분법은 2차 등넘기법이 적용되었으며 일부 항들은 시간 분리(time split)법이 적용되었다. T, qv, qc, 이류, 물리, 경계, 전향력, 확산은 상대적으로 긴 시간적분간격으로 적분되며 등넘기법이 적용되며, u, v, w, p' 등의 변수는 작은 적분시간으로 적분되며 전진법이 사용된다. 식 (3.2)에서 (3.5)의 왼쪽항에서 빠름항(fast term)이 있는데 이는 보다 작은 시간적분간격에서 계산되는 음파를 반영하고 있다. 복사나 적운모수화 기법에서는 격자의 크기에 상관없이 30분 등과 같이 일정한 시간간격으로 적분되기도 한다.

2.2 기상수치예보시스템의 열개

기상수치모델은 기상장과 관련된 변수들이 편미분 방정식의 형태로 구성된 원시방정식을 시간에 따라 수치 적분하여 그 해를 구하는 것으로 초기치 문제와 경계치 문제를 풀어야 한다. 기상수치예보시스템은 기상수치모델을 포함하여, 자료동화, 전산기를 망라하는 종합시스템이다. 그림 1과 같이 기상수치예보시스템은 초기 기상장을 마련하기 위한 전지구에 걸친 각종 기상자료의 수집, 기상모델과 관측치의 불일치를 줄이기



[그림 1] 기상수치예보를 위한 기본 열개.

기상관측자료의 수집 및 분석이 이루어지는 전처리과정, 클러스터에서의 기상모델 수행과정, 그래픽 처리 및 2, 3차 응용예보변수를 생산하는 후처리 과정으로 나누어진다.

위한 자료동화과정(data assimilation), 그리고 수치예보결과를 이용한 그래픽 작업에 해당하는 후처리 과정으로 나누어진다. 또한 수치예보의 결과는 각종 역학적, 열역학적, 통계학적인 기법이 동원되어 2차 혹은 3차 변수로 가공되어 유용한 자료를 생산한다. 수치예보모델은 막대한 전산자원을 요구하게 되어 전세계 슈퍼컴퓨터의 활용도에 있어 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이 연구에서는 이러한 막대한 계산비용을 PC 클러스터를 개발하여 적극 활용함으로써 가격대 성능비가 높은 기상수치예보시스템으로 발전하게 되었다.

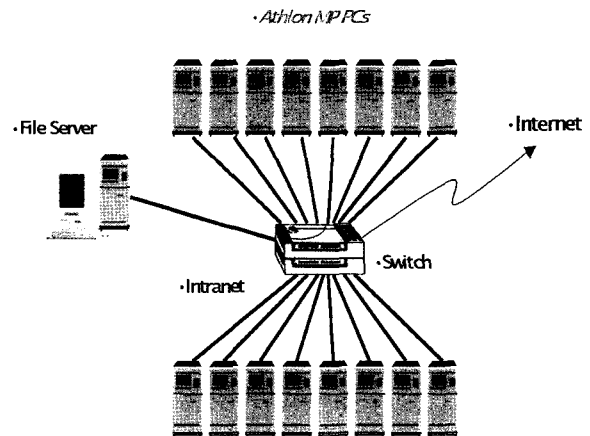
작전기상지원을 위한 기상수치예보시스템의 개발은 슈퍼컴퓨터를 통한 초고속의 연산, 초고속 네트워크를 통한 실시간으로 방대한 기상자료의 수집, 고해상도 예측이 가능한 수치예보기술과 자료동화기술의 발달 등을 통하여 가능하게 되었다. 슈퍼컴퓨터(클러스터)의 발달은 고해상도의 예측을 실시간으로 수행할 수

있게 하였으며, 네트워크의 발달은 실시간으로 각종 자료의 수집과 분석을 가능하게 하여 일련의 과정이 주어진 시간 내에 매우 집약적으로 처리할 수 있게 되어 원하는 시점에서 원하는 형태의 기상정보를 생산하고 분배할 수 있는 기반이 마련되었다. 이는 작전 기상이라는 특화된 형태의 정보로 가공하여 실전에 활용할 수 있음을 의미하기도 한다.

2.3 기상수치예보시스템을 위한 클러스터의 개발

일반적으로 사용되는 범용 네트워크 장비를 사용하여 클러스터 장비를 구성하는 방법과 범용 장비의 사용에 따른 문제점을 해결하고 클러스터의 노드(node)의 확장성을 고려할 수 있는 전용 네트워크 장비를 사용한 구성으로 나누어 볼 수 있다. 범용 네트워크 장비를 사용할 경우에는 네트워크의 가격을 대폭 줄여줄 수 있는 장점이 있어 이를 적극 활용함으로써 슈퍼컴퓨터로서 클러스터의 경제성을 높일 수 있다(그림 2).

기상수치예보를 위해 클러스터를 활용하기 위해서는 병렬처리기술이 뒷받침되어야 한다. 병렬 컴퓨터 기술은 크게 나누어 분산메모리 방식과 공유메모리 방식으로 구분할 수 있다. 병렬 프로그래밍 접근법을 메시지 패싱(message passing)이라고 하며, 병렬 프로그램을 작성하기 위해 가장 잘 개발된 일반적인 방법이다. 분산메모리 방식의 병렬 컴퓨팅에 빠른 속도로 메시지 패싱의 표준화가 되는 MPI(Message Passing Interface) 표준을 따르는게 일반적이며, 공유 메모리 방식의 병렬 컴퓨터 환경에서는 OpenMP가 잠정적인 표준화가 이루어져 있다. MPI 프로그래밍은 프로그래머가 일을 하나하나 분석하여 메시지의 전송 및 동기화 등과 같은 일련의 문제를 고려하여 프로그램을 작성해야 한다. 이는 모델 개발자에게 과



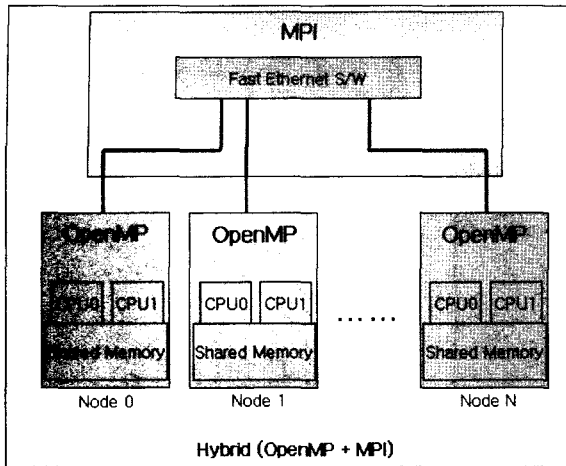
[그림 2] PC 클러스터의 개념도.

개별 PC를 고속의 네트워크로 연결하여 분산/병렬 처리를 하도록 구성된 초고속 컴퓨터.

도한 프로그래밍 부담을 준다는 단점이 있지만 프로그램의 성능을 최대로 이끌어 낼 수 있다는 장점이 있다. 반면에 OpenMP는 사용자가 순차 프로그램에 몇 개의 컴파일러 directive만을 추가함으로써 공유메모리를 참조하는 thread를 생성하도록 하는 병렬 기법이다.

이 연구에서는 기상수치예보를 가장 경제적으로 할 수 있는 시스템을 개발하고자 혼합형 병렬화를 적용하였다. 혼합형 병렬화는 MPI와 OpenMP의 장점을 모두 활용하여 프로그래밍 함으로써 대칭형 CPU를 사용하는 SMP(Symmetric Multi-Processing) 노드들로 구성된 클러스터 시스템의 성능을 최대한 활용할 수 있게 해준다. 즉, 노드내부에서의 병렬화는 OpenMP를 통해 구현하고, 노드간의 병렬화는 MPI를 이용하여 성능의 극대화를 이루도록 하였다(그림 3).

혼합형 병렬화를 이용한 기상수치모델(MM5)의 효율을 살펴보기 위하여 단일 네트워크의 단일 병렬화로 MM5를 실행하였을 때 걸리는 시간을 100%로 두



[그림 3] 혼합형 병렬화의 구조: 분산 메모리 방식과 공유메모리 방식의 장점만을 활용하는 병렬 처리기술

[표 1] 혼합형 병렬화 및 네트워크 대역폭 증가에 따른 수행 시간(secend)과 성능향상(%)

네트워크 대역폭	단일형 병렬화	혼합형 병렬화	성능 향상
fast ethernet	3559.7s	2996.2s	119%
channel bonding	3102.6s	2525.3s	123%
성능향상	115%	119%	141%

고 이에 대한 상대적인 연산 수행 시간을 측정하여 성능을 비교하였다. 표 1에서와 같이 혼합형 병렬화는 단일형 병렬화(MPI)의 경우에 단일 네트워크에서는 119%, channel bonding에서는 123%의 성능향상을 보이는 것으로 나타났다. 혼합형 병렬화의 효과는 대체로 119~123%의 성능향상을 가져오는 것으로 나타났다. 하지만 channel bonding 기법과 혼합형 병렬화 기법을 모두 사용하였을 때의 효과를 종합하면 141%의 성능 향상을 보여 클러스터의 계산 성능이 획기적으로 개선된 것을 알 수 있다. 이는 범용 네트워크 장

비를 이용하여 슈퍼컴퓨팅의 획기적으로 개선되었음을 의미한다.

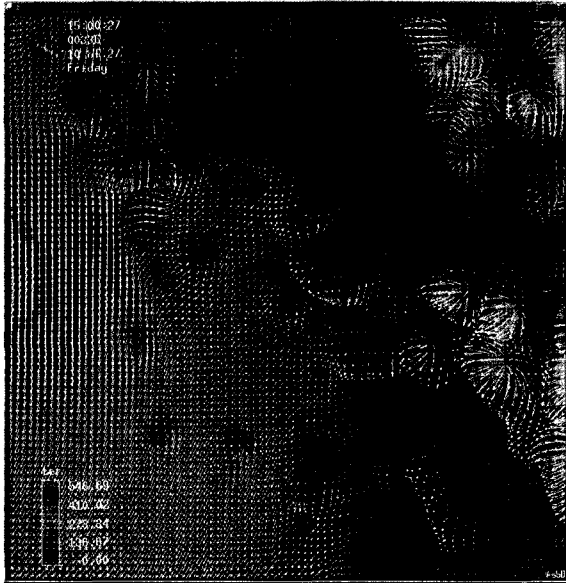
따라서 PC 클러스터에서의 병렬연산속도의 향상은 클러스터의 네트워크 구성과 적절한 병렬화 기법의 적용으로 얻을 수 있었으며 이는 경제적인 기상수치예보시스템을 구현할 수 있는 기반이 되었다.

3. 기상수치예보시스템을 이용한 작전기상

3.1 상세기상예측기술

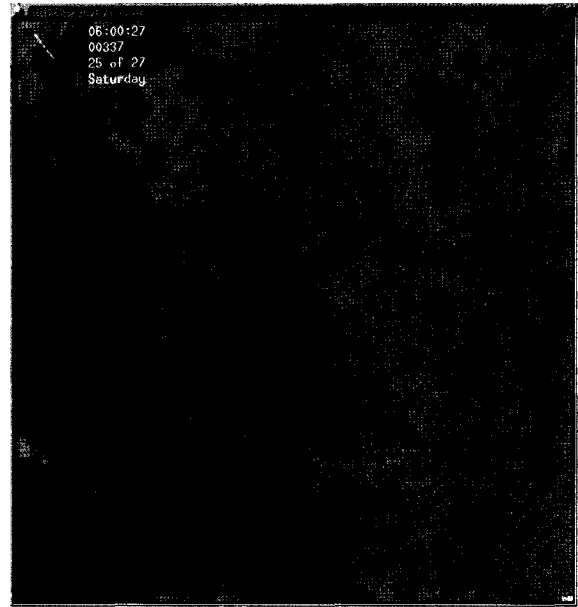
그림 4에는 인천 지역을 중심으로 1km 해상도로 기상수치예보시스템으로 예측한 바람장을 나타내었다. 그림 4의 상단에는 야간인 00시의 바람장으로 야간에 육풍이 우세하여 내륙에서 바다로 바람이 불고 있다. 또한 야간에 산풍이 우세하여 강화도(그림의 좌상단)에서는 육풍과 산풍이 합쳐져서 복잡한 형태의 바람을 나타내고 있다. 그림 4의 하단에는 주간인 15시의 바람장으로 주간에 해풍이 우세하여 바다에서 육지로 부는 바람이 매우 우세하게 나타난다. 특히 서울 주변의 산악 효과를 잘 표현하고 있다. 특히 1km 해상도의 결과는 실제 지형고도를 잘 반영하고 있으며 섬에서 일어나는 해륙풍도 묘사하고 있다. 이러한 고해상도 바람장의 이용은 작전에 있어서 사격에 미치는 영향이 매우 크다. 바람이 작전에 미치는 영향으로 탄도에 미치는 영향을 살펴보면, 바람은 탄도의 진행에 이상을 가져오게 되며 특히 사정거리가 멀 경우에 더욱 영향이 크다. 바람이 탄도에 미치는 영향은 풍속과 포탄의 크기에 비례한다. 포병사격에 정확성을 기하려면 풍향과 풍속을 감안하여 수정을 가하여야 하므로 위와 같은 상세기상정보가 필수적이라고 할 수 있다.

그림 5에는 15시의 바람장으로 영흥도에서 화학물



[그림 4] 인천지역을 중심으로 예측한 1km 해상도의 지상바람.

00시에는 육풍이 우세하고(상단), 15시에는 해풍이 우세하며(하단) 섬주변의 산곡풍과 해륙풍의 상호작용과 복잡한 지형의 효과를 잘 반영함.



[그림 5] 영흥도를 지나는 유적선. 인천지역을 중심으로 예측한 1km해상도의 바람장으로부터 유도된 영흥도를 지나는 공기케의 궤적을 나타냄. 주간에 영흥도에서 오염물질이 방출되었을 경우 서울도심으로 수송됨.

질(혹은 방사능 물질)이 노출되었다고 가정하고 영흥도를 지나는 상하층 바람의 유적선(trajecory)을 나타내었다. 주간에 발생한 해풍은 공기의 궤적을 영흥도에서 서울 도심으로 향하게 하고 있다. 따라서 화학물질의 노출로 서울시민이 위험에 노출되게 된다. 이러한 고해상도의 바람장을 바탕으로 한 유적선은 화생방전의 범위와 대응태세를 결정하는 중요한 정보로 활용이 가능하다. 일반적으로 바람이 화생방에 미치는 영향으로서는 화학제, 생물학제, 방사능 낙진 등에 의한 오염지역에 영향을 미친다. 15노트 이상의 풍속에서는 바람이 가스, 연막화학제, 방사능, 구름 및 안개의 효과를 감소시킨다. 선풍이 있거나 바람이 일정치 않은 지역에서 오염성 작용제를 사용하는 것은 사용자가 피해가기 쉬워 매우 위험하다. 유동성 작용제는

청명한 날 혹은 공기가 유동하지 않는 맑은 날 밤에 수증기 형태로 살포하는 것이 효과적일 수 있다. 또한 비록 바람이 핵무기의 영복사전 영향 및 폭풍에 영향을 미치지 못하지만 초기핵 방사능 지대의 범위에 대해 영향을 미치지 못하지만 핵무기의 표면 폭발, 지하 폭발, 공중폭발로 인하여 발생하는 낙진지역 판단에는 중요한 요소가 된다. 이밖에 바람이 작전에 미치는 영향은 낙하산에 미치는 영향, 체감온도에 미치는 영향, 불쾌지수, 레이더에 미치는 영향 등으로 나누어 볼 수 있는데^[2] 이러한 영향은 작전의 계획단계부터 치밀하게 고려되어야 할 것이며 이에 대해서는 기상수치예보시스템이 유용한 정보를 산출할 수 있다. 특히 고해상도 예측은 지역적 특성을 잘 반영하여 작전지역의 기상학적인 취약점을 우선 파악하여 이를 극복하기 위한 대책을 수립할 수 있는 유용한 정보도 부가적으로 제공한다.

3.2 산악 기상

1998년 4월 3일자 조선일보 또는 중앙일보 등 주요 일간지에는 천리행군중 기습폭설로 특전사 장병 6명이 사망한 사고를 보도하고 있다. 사고 후 육군은 산악지형에서의 기상이 때로는 예기치 못한 재난을 불러올 수 있다는 것을 잘 인식하여 불필요한 인명 손실을 피하여야 하겠다는 취지의 “천리행군 준수사항” 책자를 발행하였다². 위 사례는 산악기상에 대한 사전 숙지의 중요성을 알려주는 예이다.

그림 6에는 기상수치모델로 예측된 결빙 가능 지역을 나타내었다. 그림에서 등치면은 0°C 면을 나타내는데 지형고도가 나타나는 부분은 결빙이 가능한 지역을 나타낸다. 경북북부지방의 태백산맥 시작으로 북한 지역의 대부분이 결빙가능지역이며 상대적으로 따뜻한 바다의 영향을 받는 서울과 황해도 해안지역은 결

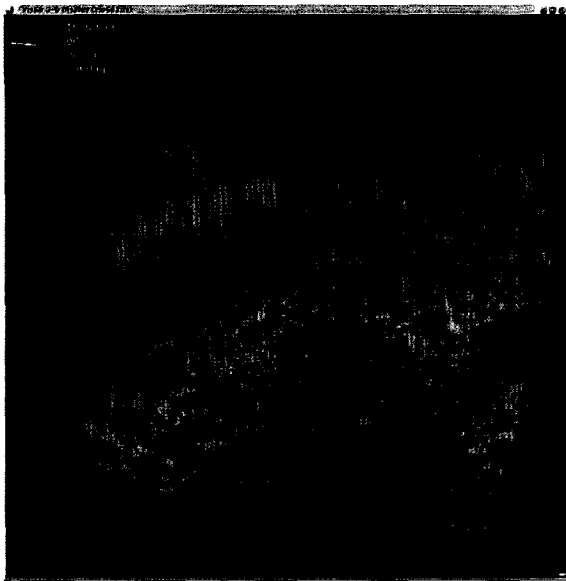


[그림 6] 기상수치모델로 예측된 결빙 가능 지역. 등치면은 0°C 면을 나타내게 되어 그림에서 지형고도가 나타나는 부분은 결빙이 가능한 지역을 나타냄. 태백산맥의 경북지역 북부 지역을 시작으로 북한 지역의 대부분이 결빙가능지역이며 상대적으로 따뜻한 바다의 영향을 받는 서울과 황해도 해안지역은 결빙이 나타나지 않은 것으로 예측함.

빙이 나타나지 않은 것으로 예측하였다. 이러한 결빙 가능지역은 행군 시에 동상이나 저체온증과 같은 위험에 노출될 수 있는 지역을 말하므로 작전계획 수립 시에 개별 병사들에 대한 월동장비 수준, 체력안배를 위한 행군 속도의 조절 등의 계획이 사전에 수립되어야 한다. 특히 산악지역은 기상변화가 심하므로 수시로 변화하는 기상정보의 이용은 불필요한 인력의 손실을 방지할 수 있다.

3.3 해양 기상

그림 7에는 서해상에서 발달하는 해무를 기상수치모델을 통하여 수치모의하고 이를 3차원으로 가시화하였다. 동중국해와 황해에 발생한 해무는 바람에 따라 그 발달과 소멸의 과정이 달라지는데 정교한 기상



[그림 7] 서해상에서 발생한 해무에 대한 수치모의 결과의 3차원 가시화.

수치모델을 통하여 그 흐름을 미리 파악하고 대비할 수 있도록 해준다. 이러한 사전 예측은 적군에게는 안개속 같은 불리한 상황이 되지만 아군에게는 이를 극복하고 유리한 작전을 펼칠 수 있도록 하는 제3의 아군의 역할을 할 수 있도록 하는 것이다.

또한 태풍의 경우에도 다양한 정보를 활용하여 태풍이 한반도로 북상하기 전에 합정들을 소개하여 전력을 보존하는 계획의 수립단계에서 기상수치예보시스템을 활용할 수 있을 것이다.

4. 맺음말 및 제언

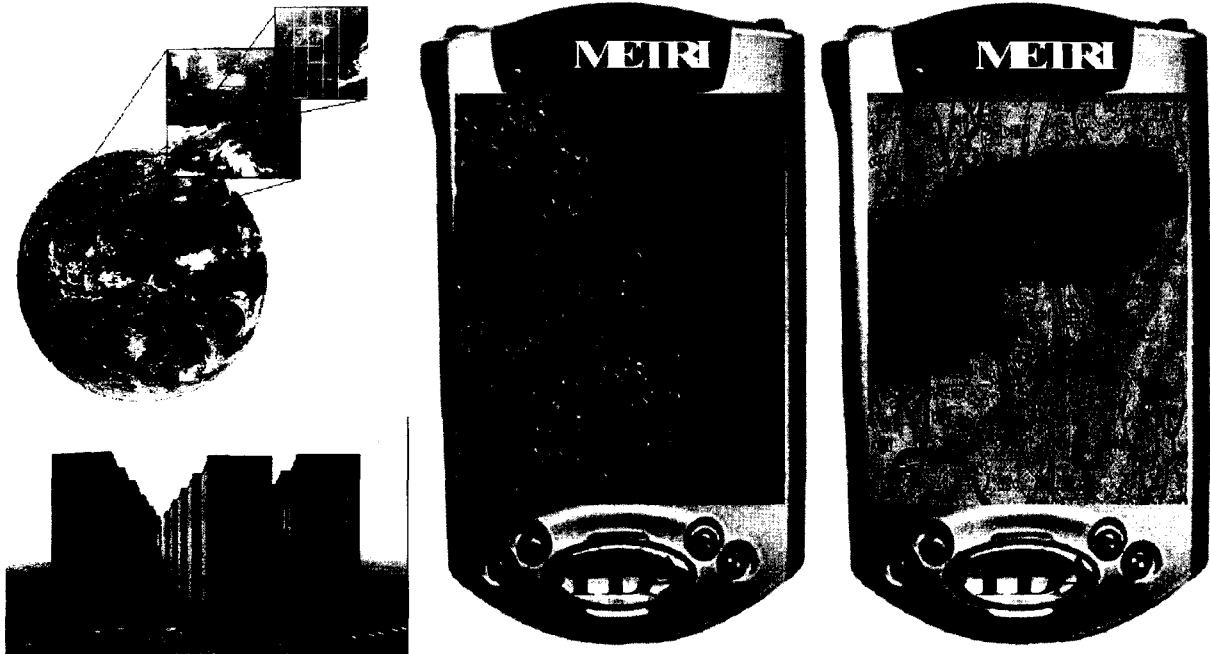
기상은 전쟁의 승패를 좌우하는 중요한 요소이자 반드시 극복해야하는 과제이다. 미래의 기상을 미리 예측한다는 것은 전쟁에서 이길 확률을 높이는 중요한 요소임에 틀림없다. 이 연구에서는 클러스터 기술

에 의한 슈퍼컴퓨팅 기술과 고해상도 예측을 통한 작전기상 지원용으로 활용가능성 등을 검토해 봄으로써 작전기상을 지원하기 위한 수치예보시스템으로서의 가능성을 알아보고자 하였다.

기상수치예보시스템을 통하여 미래의 기상을 사전에 예측하고 이를 활용할 수 있는 기반은 클러스터의 개발을 통한 자체 슈퍼컴퓨팅 기술의 개발과 다양한 관측 자료의 활용 기술 및 자료동화 기술 등의 종합적인 기술을 통하여 질 수 있음을 확인할 수 있었다.

그림 8과 같이 작전기상지원을 위한 기상수치예보시스템이 구축된다면 대단위의 PC 클러스터에서 연산이 되어 1차적으로 예측결과에 대한 실시간 데이터베이스를 구축한다. 이 기상수치예보시스템은 기후분석용 작업은 포함하지 않으며 미래의 기상을 예측하여 이를 작전기상에 효과적으로 활용할 수 있도록 데이터베이스를 가공하는 작업을 수행한다. 필요시 이 데이터베이스에 대한 분산처리를 위한 별도의 데이터베이스 엔진의 개발도 고려되어야 한다. 2단계로 전지구-동아시아-한반도의 영역에서 각종 기상장을 단계적으로 제공하게 되고, 이는 다시 개인단말기(PDA)로 중계되고 지리정보시스템(GIS)와 연계되어 상세 기상정보의 표출은 물론 화생방에 대비한 간단한 확산모의 실험을 까지 개인단말기에서 수행되어 일선 지휘관에게 빠른 상황 판단과 더불어 대응시나리오를 모색할 시간적 여유를 가지게 할 수 있게 될 것이다. 또한 기상예측결과와 4차원 표출을 가상현실기법과 접목한다면 모의 기상을 바탕으로 가상 작전을 수행하여 개별 병사들은 기상변화에 따른 준비된 전쟁 즉 유사시에 간접 체험한 전쟁을 수행함으로써 백전백승의 확률을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

결론적으로 작전기상지원을 위한 중심에 기상수치예보시스템이 위치하고 있음을 확인할 수 있었으며



[그림 8] 작전기상 지원시스템을 위한 구성도.

기상수치예보시스템은 대단위의 PC 클러스터에서 연산이 되어 실시간 데이터베이스를 구축하고 이를 전지구-동아시아-한반도의 영역에서 각종 기상장을 제공하게 된다. 이는 다시 개인단말기(PDA)로 중계되고 지리정보시스템(GIS)와 연계되어 상세 기상정보의 표출은 물론 화생방에 대비한 간단한 확산모의 실험을 할 수 있어 일선 지휘관에게 유용한 정보를 제공하고자 함.

기술수준으로도 고가의 슈퍼컴퓨터를 구입하지 않고 클러스터링 기술을 적용하여 저비용으로 실용화가 가능할 것으로 사료되며 향후 각종 통신 기법, 가시화 기법, 시나리오 기술 등과 접목이 된다면 각 분야로 시너지 효과를 얻을 수 있을 것이다. 이를 위해서는 기상 및 군사학 전문가의 교류와 첨단 기상모델링 기술, 슈퍼컴퓨팅 기술, 체계기술과 같은 첨단 기술이 집대성되어야 할 것이다.

감 사 의 글

이 연구는 기상청 기상연구소의 주요사업인 “슈퍼

컴을 활용한 예보능력향상 연구: 단시간 분석 및 예측 시스템 개발”의 일환으로 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] 이지형, “역사적 문헌 및 전사를 통해 살펴본 기상이 작전에 미치는 영향”, 육군(The Army), 234호, 1999.
- [2] 반기성, “전쟁과 기상”, 명진출판사, 2001, 268pp.
- [3] 강호국, 김상태, 남국찬, 박주오, 유철호, 이성복, 이육환, 장만식, 한명덕, “지형 및 기상”, 양서각, 1999, 469pp.

- [4] 공군본부, “역사속의 전쟁과 기상-제2차 세계대전의 운명을 바꾼 날씨”, 월간공군 2002년 8월호, 2002, pp12~14.
- [5] 공군본부, “공군작전과 기상”, 월간공군 2002년 8월호, 2002, pp10~11.
- [6] 김영태, 이용희, 최준태, 오재호, “초고속 네트워크를 이용한 PC 클러스터의 구현과 성능평가”, *한국정보과학회논문집 시스템 및 이론*, **29**, 2002, pp57~64.
- [7] Ronald M. and Saba A., “Coupled mesoscale-microscale model to compute neighborhood scale wind fields”, *Fourth Symposium on the Urban Environment*. 2002.
- [8] Grell, G. A., Dudhia, and D. R. Stauffer, “A description of the fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). Tech. Note NCAR/TN-398+STR”, *National Center for Atmospheric Research*, Boulder, CO, 1995, 122pp.