

대규모 해안매립에 따른 기상장 변동의 수치해석

이성대

한라대학교 건축·토목공학부

A Numerical Analysis of Regional Atmospheric Circulation with Large Scale Reclamation of Coastal Region

SEONG DAE LEE

Dept. of Civil Eng., Halla Univ., Wonju 220-712, Korea

KEY WORDS: Numerical analysis 수치해석, Mesoscale circulation 중규모기상장, Coastal reclamation 해안매립, Vegetation effects 식생효과, Turbulence closure 난류종결

ABSTRACT: Three dimensional numerical experiments that included the land-use transformation by the large scale reclamation were used to investigate the mesoscale air flow over the coastal regions. In this paper the surface temperature of the inland was determined through the surface heat budget consideration with inclusion of a layer of vegetation. The vertical diffusion coefficients of momentum, heat and specific humidity in the constant flux layer were taken from the Monin-Obukov similarity theory of Businger(1971) and above the surface layer were obtained by the turbulence closure proposed by Mellor and Yamada(1975). It has shown that the resulting model is able to reproduce the air circulation in coastal regions, and the simulated characteristics agree with the known properties of this circulation. A series of numerical experiments were then carried out to investigate the diurnal response of the air flow to various types of surface inhomogeneities.

1. 서 론

임해역은 내륙지를 연장하는 대체 공간의 의미 외에도 각종 자원의 공급원, 도시용지 및산업입지의 공간으로서 역할과 기능이 증대되고 있다. 우리나라의 경우 각종 생산 시설의 설치와 개발이 비교적 용이한 수심 20m이내의 연안해역만도 국토의 1/4에 해당하는 등 어느나라보다 개발의 잠재력이 높다. 더욱이 최근 고도경제성장에 따라 대규모 항만을 비롯한 산업입지가 임해지향적으로 배치되고 국토자원의 효율적 이용을 위해 해양 인공섬 및 신항만의 건설, 해양성 레크리에이션 기지의 개발 등 내만지역의 고밀도 이용과 이를 배경으로 하는 해안도시들의 성장이 두드러짐에 따라 산업입지, 도시개발을 위한 대규모 매립, 간척 등 해안의 개발수요가 더욱 가속화 되고 있다.

이같은 연안역에서의 매립 등과 같은 임해지역에서의 대규모 토지이용의 변화에 따른 내만해역의 원활한 이용과 방재대책을 위한 기상·해상의 예측이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이같은 관점에서 천해설계파나 구조물 설계와 추산은 항만구조물의 설계조건을 결정하기 위한 기초자료로서 반드시 필요하지만, 설계파의 추산을 위한 가장 기초적인 외력조건인 바람장의 변동이나 크기를 추산하는 것은 그 추산정도에 따라 설계파 추정에 크게 영향을 받게된다. 특히 최근 빈발하고 있는 항만구역 내에서의 해난사고나 선박의 충돌사고 그리고 항내에서의 안전사고 발생 등은 항내침입파에 의한 경우 보다는

국부적인 바람장에 의한 영향이 더 큰 것으로 보고(과학기술처, 1991)되기도 한다.

우리나라 남해안이나 서해안과 같이 내만이 추가 되는 해역은 육지의 영향을 크게 받으므로 시간적 뿐만 아니라 공간적으로도 바람장의 변동이 심하여 이들 지역에서의 기상장의 기구를 이해하는 것은 기상장 자체 뿐만 아니라 대기환경적인 측면에서도 매우 중요한 과제이다. 특히 우리나라의 임해지역은 최근 도시화 및 공업화에 따른 대규모 매립이 계획되고 있거나 현재 진행 중에 있는 실정이며 이에 따른 지표면에서의 열수지 변화와 해안선 부근의 고유한 국지풍 순환인 해륙풍 변동상황을 이해하고 그 풍계를 파악하는 것은 매우 필요하다 하겠다.

이같은 중규모 지역풍계의 해석은 대상이 되는 영역 내부의 현상을 지배하는 기본방정식과 적절한 초기조건 및 경계조건을 이용하여 모델화할 수 있으며 이에 관해서는 Kozo (1982), Kondo et al.(1990)의 연구가 있으나 이같은 풍계의 입체적 기구를 이해하는 것은 매우 어려운 문제이다. 특히 대규모 매립 등과 같은 토지이용 변화는 지표면에서의 대규모 열적변화를 야기하는 것이 되며 이같은 지표면 열수지의 예측이 필수적이다. 지표면 열수지 문제에 관해서는 식생환경을 고려한 Deardorff(1978), 吉川 등(1990)의 연구가 있으며 최근 식생 등과 같은 녹지환경의 중요성이 인식됨에 따라 이에 관한 다양한 연구가 이루어지고 있는 실정이다(Rogers, 1995). 기상장해석을 위해서는 바람장 뿐만 아니라 확산에 직접 영향을 주는

난류장을 예측하는 것이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 연직방향의 대상영역을 두개의 층으로 나누어 지표면에 가까운 접지층에서 연직방향확산계수는 Monon-Obukov의 상사법칙에 의한 Businger의 보편함수(竹内·近藤, 1981)를, 그리고 상층부인 Eckman층에서는 Yamada의 난류closure모델(Yamada, 1975)을 각각 사용하여 계산하였다.

본 연구에서는 지표면의 열수지 변화 특성을 고려할 수 있는 식생모델을 적용한 중규모지역(수평방향크기; 10~100km)에 대해 정역학평형을 가정한 기상장모델(Yamaguchi *et al*, 1992)을 이용하여 해안지역의 대규모 매립 등과 같은 광범위한 토지이용 형태의 변화에 따른 바람장의 변동을 해석하여 임해지역의 개발 및 토지이용 계획수립을 위한 기초자료를 제공하는 것이다.

2. 기본방정식

본 연구에서 적용하는 모형은 해륙풍이나 지형의 영향을 고려하는 산곡풍장을 해석하는데 적용하는 수평방향의 크기 10~100 km범위를 가지는 중규모(Mesoscale)기상장모델을 기본으로 하였다. 중규모지역 국지풍계의 해석은 대상이 되는 영역 내부의 현상을 나타내는 기본방정식과 적절한 초기조건 및 경계조건을 이용하여 모델화할 수 있으며 특히 지표면에서의 경계조건은 해안역의 급격한 도시화 및 공업화에 따른 지표면 열수지의 지역적인 차이와 지형의 형상을 고려하도록 하였다.

3차원 지역기상을 지배하는 대기운동의 기본방정식은 운동량, 질량, 열에너지 등의 보존법칙에 기초하는 운동방정식, 湍位방정식, 비습방정식, 연속방정식 및 정역학 평형식을 사용하며 이들은 각각 다음과 같다.

$$\frac{du}{dt} = fv - C_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (K_H \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_H \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_v^m \frac{\partial u}{\partial z}) \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = -fu - C_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (K_H \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_H \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_v^m \frac{\partial v}{\partial z}) \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} (K_H \frac{\partial \theta}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_H \frac{\partial \theta}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_v^e \frac{\partial \theta}{\partial z}) \quad (3)$$

$$\frac{dq_v}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} (K_H \frac{\partial q_v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_H \frac{\partial q_v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_v^q \frac{\partial q_v}{\partial z}) \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial z} = -\frac{g}{C_p \theta} \quad (6)$$

여기서 $\Pi = (\frac{P}{P_{\infty}})^{R/C_p}$ 이고 P 는 압력(mb), P_{∞} 는 기준압력(=1000mb), R은 건조공기의 가스정수(=0.28705 (J/gK)), C_p 는 정압비열(=1005(J/Kg·K)), g는 중력가속도, x, y, z 는 직교좌표계의 동서, 남북, 연직방향, u, v, w 는 x, y, z 방향의 속도성분, t는 시간, θ 는 온위, q_v 는 비습, f 는 Coriolis parameter, K_H 는 수직방향 확산계수, K_v^m , K_v^e , K_v^q 는 각각 운동량, 열, 비습의 연직방향 확산계수를 나타낸다.

본 연구에서는 장방향 격자에서 수치계산을 행하는 경우, 직교좌표계에서는 임의로 지형을 나타낼 수 없음을 고려하여凹凸에 의한 Z'좌표계를 이용한다(Pielke, 1984).

$$Z^* = S \frac{Z - Z_G}{S - Z_G} \quad (7)$$

여기서 Z 및 Z_G 는 높이 및 표고, S는 계산영역의 높이(=2,800m)이다.

그리고 연직방향 확산계수는 대기경계층을 크게 2층으로 나누어 지상에서 50m까지를 접지층, 그 윗부분을 Eckman층이라 하여 각각 다른 모델을 적용하도록 하며 난류 Closure model에 의해 Eckman층에서의 난류확산계수를 그리고 접지층에서는 Monin -Obukov의 상사법칙을 풍속 및 기온의 평균치의 연직분포에 적용하여 운동량과 열유속 및 연직방향 확산계수를 구하도록 하였다. 수평방향 확산계수는 대기의 상태에 따라 결정되는 연직방향 확산계수와는 달리 계산을 안정하게 행하기 위한 목적으로 사용하는 경우가 대부분이다. 따라서, 수평방향 확산계수는 일정치로서 $10^3 \sim 2 \times 10^4 (m^2 / sec)$ 정도의 값을 주는 방법(Ozoe *et al*, 1983)이나 기본방정식에서의 확산항을 무시함에 따라 발생하는 계산의 불안정성을 배제하기 위한 Filtering을 이용하는 방법(이성대, 1997)이 사용되고 있다. Filtering의 이용은 주로 2차원 해륙풍장의 해석에 적용되고 있으나 여기서는 다음과 같이 3차원의 경우에도 확장하여 수행하였다.

$$\phi_{i,j} = (1-s)\phi_{i,j} + \frac{s(\phi_{i-1,j} + \phi_{i+1,j} + \phi_{i,j-1} + \phi_{i,j+1})}{4} \quad (8)$$

여기서 ϕ 는 u, v, w등과 같은 물리적인 변수, s는 계산의 안정에 필요한 적절한 계수, 첨자 i, j는 격자점을 나타낸다. 이 같은 Filtering을 이용하면 상면경계에서 발생하는 불규칙 진동에 의한 상층부에서의 변동을 없애기 위한 흡수층(absorption layer)의 도입을 방지할 수 있는 장점이 있다(Takano, 1977).

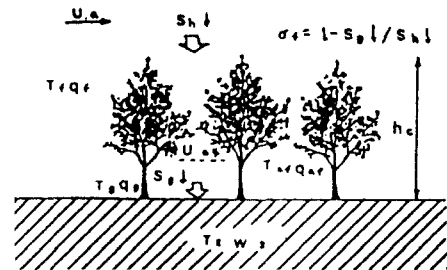


Fig. 1 Model of vegetation environment

육상에서의 지표면 열수지 계산은 식생을 고려한 모형 (Deardorff, 1978)을 사용하였으며, 이의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 본 모형에서는 식(9)와 같은 식생 상에서의 열수지식으로부터 식생내에서의 온도 T_{af} 와 비습 q_{af} 를 결정하도록 하였다.

$$S_h \downarrow + R_h \downarrow - S_h \uparrow - R_h \uparrow - (S_g \downarrow + R_g \downarrow - S_g \uparrow - R_g \uparrow) = H_f + L_w E_f \quad (9)$$

여기서, S 는 태양의 단파방사, R 은 장파방사이며 화살표는 유속의 방향, H 는 현열(전도) 유속, E 는 잠열(증발) 유속이고 L_w 는 잠열을 나타내고 있다. 또 첨자 h 는 식생의 상공, f 는 엽상 그리고 g 는 지면을 각각 나타내고 있다.

그리고 태양의 단파방사(일사) $S_h \downarrow$ 는 다음과 같다.

$$S_h \downarrow = T_r R_o \cos z \quad (10)$$

여기서 T_r 는 대기의 투과율, R_o 는 태양정수(=323.3 cal/m² sec), z 는 천정각을 의미한다.

그리고 장파방사 $R_h \downarrow$ 는 다음 식과 같다.

$$R_h \downarrow = [C_{cloud} + (1 - C_{cloud}) 0.67 (1670 q_a)^{0.08}] \sigma T_a^4 \quad (11)$$

여기서 C_{cloud} 는 운량, q_a 는 식생상에서의 비습, σ 는 Stefan-Boltzman 상수, T_a 는 식생상에서의 온도를 나타내고 있다.

상기 식들을 기지로 하여 (9)식의 각 항들을 $S_h \downarrow$ 와 $R_h \downarrow$ 로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$S_g \downarrow = (1 - \sigma_f) S_h \downarrow \quad (12a)$$

$$S_g \uparrow = \alpha_g (1 - \sigma_f) S_h \downarrow \quad (12b)$$

$$R_g \uparrow = (1 - \sigma_f) \{ \epsilon_g \sigma T_g^4 + (1 - \epsilon_g) R_h \downarrow \} + \sigma_f \frac{\epsilon_g \sigma T_g^4 + (1 - \epsilon_g) \epsilon_f \sigma T_f^4}{\epsilon_f + \epsilon_g - \epsilon_f \epsilon_g} \quad (12c)$$

$$S_h \uparrow = (1 - \sigma_f) \alpha_g \alpha_n \downarrow + \sigma_f \alpha_f S_h \downarrow \quad (12d)$$

$$R_h \uparrow = (1 - \sigma_f) \{ \epsilon_g \sigma T_g^4 + (1 - \epsilon_g) R_h \downarrow \} + \sigma_f \{ \epsilon_f \sigma T_f^4 + (1 - \epsilon_f) R_h \downarrow \} \quad (12e)$$

$$R_g \downarrow = (1 - \sigma_f) R_h \downarrow + \sigma_f \frac{\epsilon_f \sigma T_f^4 + (1 - \epsilon_f) \epsilon_g \sigma T_g^4}{\epsilon_f + \epsilon_g - \epsilon_f \epsilon_g} \quad (12f)$$

여기서 α_g , ϵ_g , T_g 는 각각 지면에서의 Albedo, 사출률, 온도를 그리고 α_f , ϵ_f , T_f 는 각각 식물의 잎에서의 Albedo, 사출률, 온도를 나타내고 σ_f 는 식생에 의한 지면의 피복도를 의미하고 있다.

상기 각 식들은 식생에서의 열수지식에 적용하여 선형화함으로써 T_f 의 값을 얻을 수 있으며 식생내 비습 q_{af} 는 잠열 Flux(증발량) E_f 를 이용하여 얻을 수 있다. 그리고 지면의 온도 T_g 와 비습 q_f 를 구하기 위해서는 지표면에서의 Flux를

지중에서의 온도를 포함한 복원항에 의해 수정하는 강제복원법(Bhumralkar, 1975)을 이용하여 식(7)로부터 계산하였다.

3. 수치계산

3.1 유한차분법

기본방정식을 이산화하여 수치적분을 통해 근사해를 구하는 유한차분법은 대상이 되는 문제와 안정성 등에 의해 여러가지 방법이 사용되고 있다. 여기서는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 대상이 되는 변수의 기지점의 위치가 다른 교호 격자망을 사용하였다. 이 방법은 미지점의 해를 얻기 위해 기지점에서 선형 내삽을 통해 구하여야 하는 등 복잡한 면도 있으나 격자점의 수가 작아도 합리적인 해를 얻을 수 있어서 널리 이용된다. 본 계산에서는 이류항은 풍상차분법, 확산항은 양해법인 신 Dufort-Frankel법, 시간에 대해서는 전진차분법을 각각 이용하였으며 기타 항은 중심차분을 사용하였다(Yamaguchi et al., 1992).

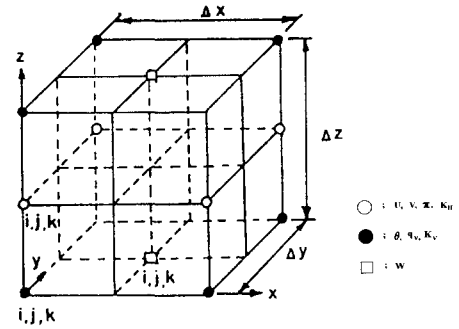


Fig. 2 The staggered grid arrangement

일반적으로 시간간격 Δt 에 따라 계산 결과에 약간의 변동이 있다고 알려져 있으나 여기서는 계산비용과 안정성 등을 고려하여 $\Delta t = 120\text{sec}$ 로 하였다. 그리고 수평방향(X-Y 평면)의 격자간격은 $\Delta x = \Delta y = 3.0\text{Km}$ 인 균등격자를, 격자점은 30×30 을 사용하였으며 연직방향은 높이 3000m까지를 10층으로 분할하고 u, v의 2번째 격자점의 높이 50 m를 접지층이라 가정하였다. 그리고 연직방향은 지표면에 가까울수록 격자간격이 작은 불균등 격자를 사용하였다.

3.2 초기 및 경계조건

계산의 초기조건으로서 대상영역 전체가 정상상태라고 가정하였으며, 지표면에서의 온위 및 비습의 경계조건은 식생의 영향을 고려하여 다음과 같이 나타내었다.

(1) 지표면에서의 경계조건

육지측 온위의 경계조건은 $\theta_{land} = \sigma_f \theta_f + (1 - \sigma_f) \theta_g$ 이고, 여기서 θ_g , θ_f 는 식생모델의 T_g , T_f 를 온위로 변환한 지면 및 잎에서의 대표 온위이다.

해면에서의 온위의 경계조건은 $\theta_{sea} = 300\text{K}$, 해안선 상에서는 $\theta_C = \frac{\theta_{sea} + \theta_{land}}{2}$ 으로, 그리고 풍속에 대해서는

$u = v = w = 0$ 으로 하였다.

(2) 상면에서의 경계조건

지표면 가열에 의해 발생하는 일 변화는 상면에는 영향을 미치지 않는다고 가정하여 다음과 같이 나타내었다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial \Pi}{\partial t} = 0 \quad (13)$$

(3) 측면에서의 경계조건

측면경계조건은 유입측과 유출측으로 나누어 취하였으며, 유입측에서는

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial \Pi}{\partial x} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial \Pi}{\partial y} = 0 \quad (15)$$

로 하였다. 그리고 유출측은 내부영역에서의 기복 등과 지면의 상황에 의해 발생한 교란 등이 미치지 않는 가능한 한 멀리 떨어져 있는 것이 좋으며 중규모 국지풍계의 해석에서 발생할 수 있는 오차는 측면경계의 위치에 의해 발생한다고 알려져 있다. 하지만 격자의 크기나 연산시간 등과 같은 수치계산의 제약에 의해 적절한 위치에 측면경계를 위치하지 않으면 안되며 이를 위해 방사조건(radiation condition)으로 알려진 Filtering 을 사용하여 해결할수 있다. 여기서는 다음과 같은 경계조건식을 사용하였다(Durrant and Klemp,1982).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + c \frac{\partial u}{\partial n} = 0 \quad (16)$$

여기서 c는 교란의 위상속도로서 Brunt- Vaisala frequency의 함수이다.

4. 계산결과

4.1 계산대상영역

본 계산은 임해지역에서의 대규모 해안매립 등과 같은 토지 이용의 변화에 따른 해안지역의 고유 국지풍계인 해륙풍의 변동과 일반풍이 존재하는 경우 중규모 지역기상장의 시간변화에 따른 영향을 예측하기 위한 수치모형을 개발하였으며 본 모형의 검증을 위해 Fig. 3과 같이 지형의 기복을 무시한 이상적인 지역을 대상영역으로 하였다. 토지이용 상황은 매립전과 매립후로 구분하여 매립전과 후에 대해서 대상지역 전체를 전원지역으로 하여 육상에서의 지표면 열수지 계산은 식생을 고려한 모형을 사용하여 계산을 수행하였으며 본 모형에 적용된 전원지역의 열수지 파라메타의 값은 Table 1에 제시하였다. 중규모 지역기상장의 변화특성은 계절에 따라 매우 크게 달라지는 경향을 보이고 있으나 여기에서는 8월의 청천일(운량: $C_{cloud}=0$)을 기본 대상으로 하였다. 본 수치모형을 이용하여 대상영역을 중심으로 기상장을 해석하였으며 계산은 오전 08:00부터 4일간 수행하여 대상영역 전역에서의 풍속과 온위를 결과로 취하였다.

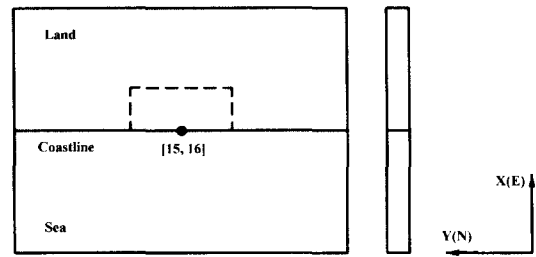


Fig. 3 Definition sketch of coastal region

(— : after reclamation
 - - : before reclamation)

Table 1 Parameters used in numerical experiments

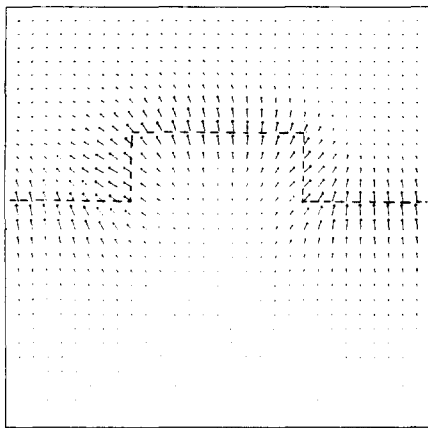
	land
Surface Roughness(m)	0.5
Transmission Factor(-)	0.85
Shielding Factor(-)	0.9
Albedo(-)	0.18
Discharge of Artificial Heat (cal/m ² sec)	0.0

일반적으로 임해지역에는 해면에서의 온도와 육지의 지표면 온도와와의 차에 의해 고유국지풍인 해륙풍이 발생한다. 보통 낮 동안에는 지표면 온도가 해면 온도보다 높기 때문에 해역에서 육지측을 향해 바람이 불고(해풍), 야간에는 역으로 된다(육풍). 일반풍이 거의 없는 청천일인 경우 이같은 해륙풍장은 매우 발달하는 경향이 있으며 이때 중규모 지역기상장의 관점에서 폐쇄형의 순환류가 형성될 때에는 임해공업지역에서 심각한 대기오염이 문제가 되는 예가 있다. 특히 이같은 해륙풍장이 일반풍과 만나는 경우 국부적으로 매우 강한 바람장 변동이 나타나기도 하는 바 이의 특성을 이해함으로써 항만의 기본계획 시 시간 및 공간적 바람장 변동의 예측 및 항내 선박의 안전을 위한 최적의 외곽시설이나 계류시설의 평면배치 결정에 이용될 수 있으며, 임해지역의 최적 매립법선을 예측하거나 항만공사시 인근에 미치는 대기환경 문제의 사전예측 수립이 가능한 것이다.

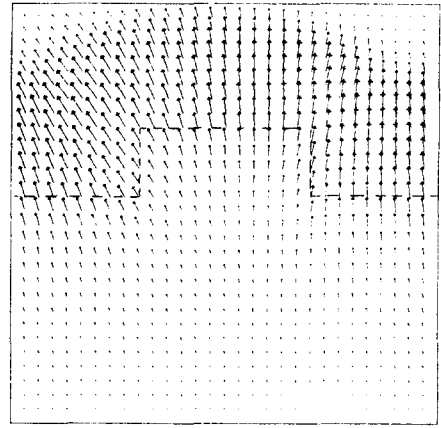
4.2 지상풍

Fig. 4(a)~(f)에서는 해안매립전 상태, 그리고 Fig. 5(a)~(f)는 해안매립후 상태에서 계산개시 4일째의 계산결과 중 지표로부터 높이 50m의 풍속분포를 4시간 간격으로 각각 1일분을 나타내었다.

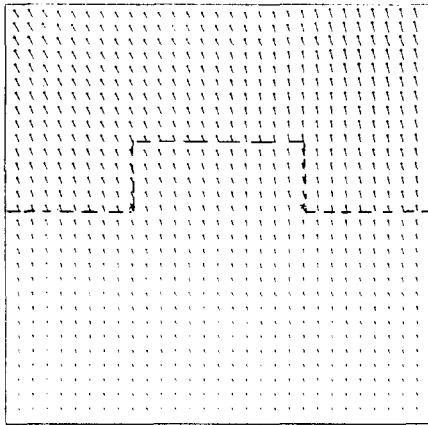
그림에서 보듯이 주간에는 해풍이 강하게 나타나고 있으나 야간에는 육풍이 다소 나타나고 있고, 전체 대상영역내에서 지상풍의 변화가 나타남을 알 수 있다. Fig. 4와 5로부터 12:00시



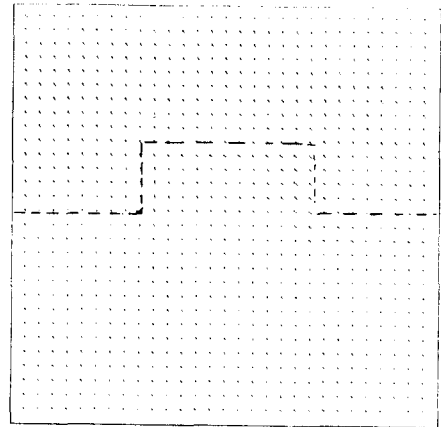
(a) 1200LST of 3rd day



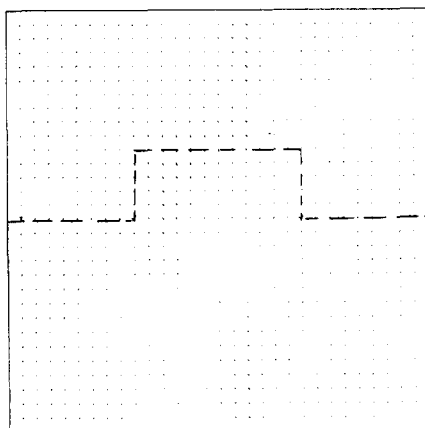
(b) 1600LST of 3rd day



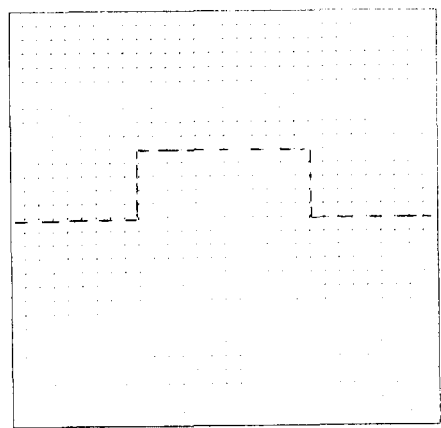
(c) 2000LST of 3rd day



(d) 2400LST of 3rd day



(e) 0400LST of 4th day



(f) 0800LST of 4th day

Fig. 4 Horizontal wind vectors in the 50m level over costal area (before reclamation)

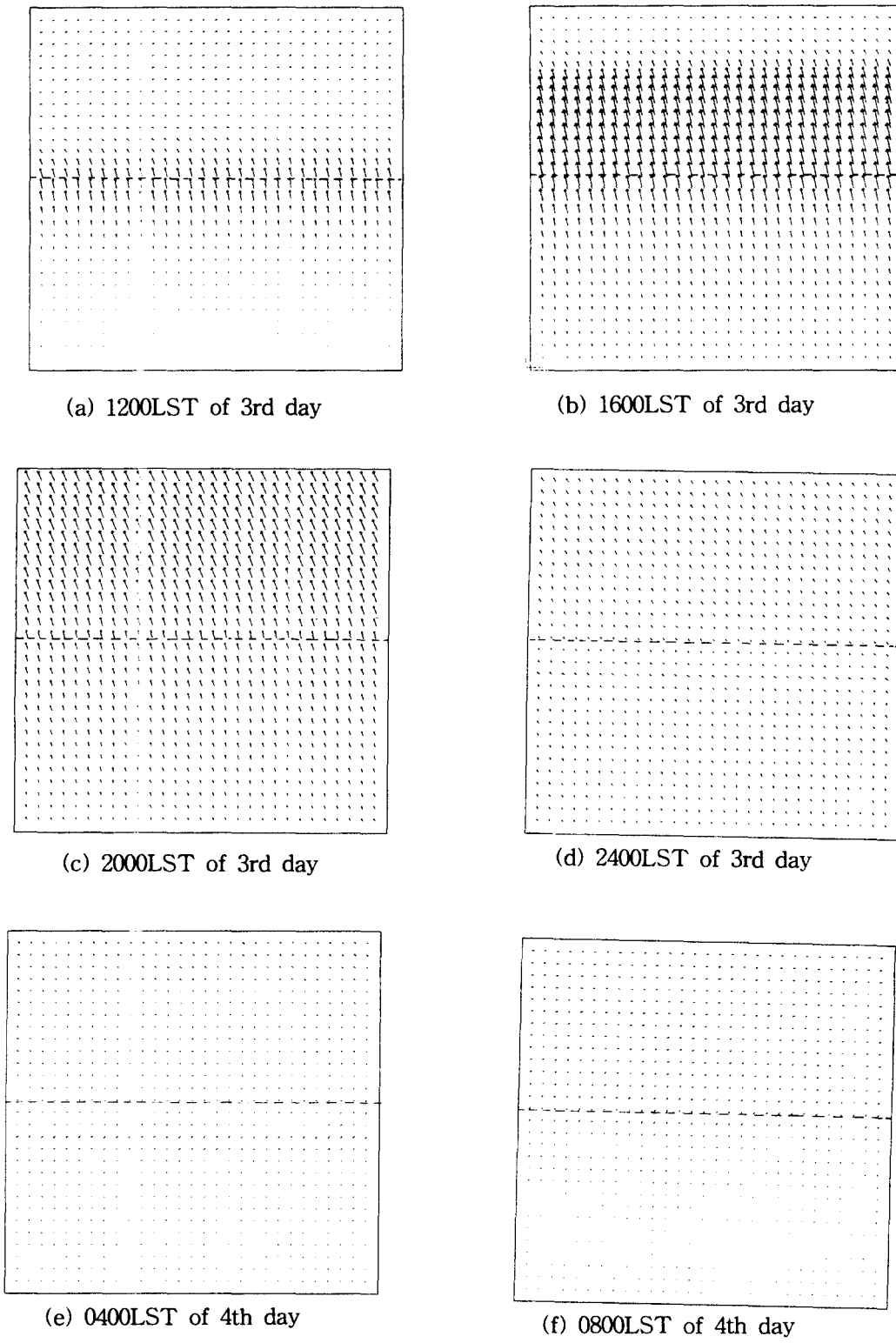
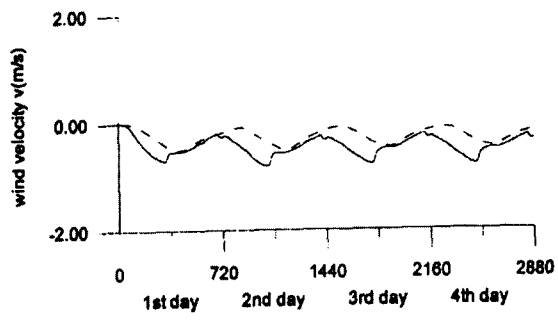
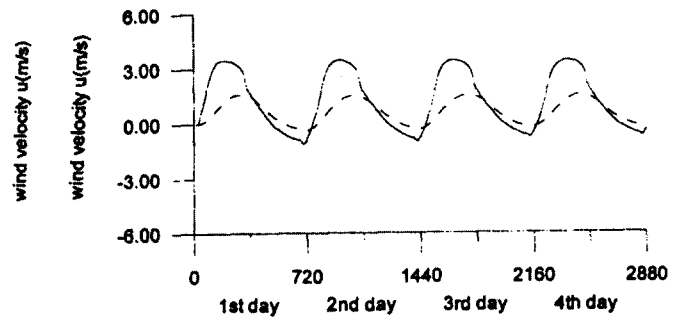


Fig. 5 Horizontal wind vectors in the 50m level over costal area (after reclamation)

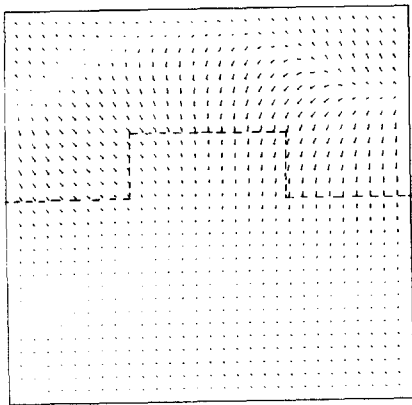


(a) south-north wind component

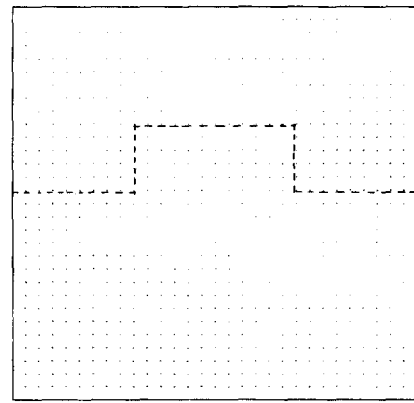


(b) east-west wind component

Fig. 6 Diurnal variation of wind velocity in the 50m level of grid No.[15, 16] (—: after reclamation ---: before reclamation)

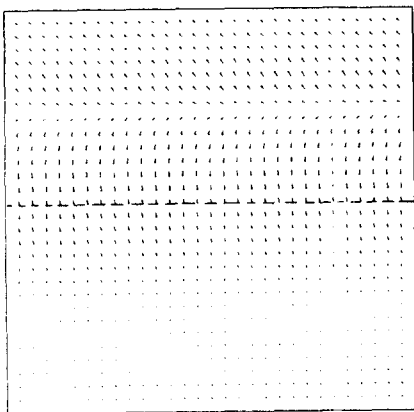


(a) 1600LST of 3rd day

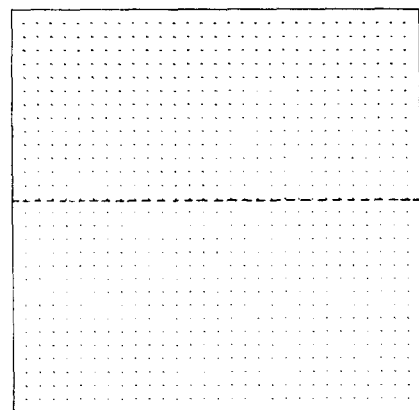


(b) 0400LST of 4th day

Fig. 7 Horizontal wind vectors in the 1100m level over costal area (before reclamation)



(a) 1600LST of 3rd day



(b) 0400LST of 4th day

Fig. 8 Horizontal wind vectors in the 1100m level over costal area (after reclamation)

경부터 해풍이 불기 시작하여 16:00시경에는 전체로 확대된다. 그리고 20:00시에는 최대의 해풍으로 변화됨을 보이고 있다. 육풍은 04:00시경 부터 풍향이 점차완만히 변화하여 08:00시경 까지 이어짐을 알 수가 있다. 따라서 전체적인 바람장의 변동은 해륙풍의 전형적인 특성을 잘 보여주고 있으나 해풍에 비해 육풍의 크기가 상대적으로 약하게 나타나고 있는 바 이는 육지의 지형기복과 토지이용변화 특성을 전원지역으로 단순화 하였으며 지표면 열수지에 식생환경모형을 고려하여 주간 바다와 육지측에서의 온도차가 크게된 때문이라 판단된다.

본 모형지역의 임의지점(x,y)=15,16에서의 시간변화에 따른 풍속의 변동을 Fig. 6(a),(b)에 각각 나타내었는데 그림에서 횡축은 계산개시시각 08:00시부터 4일간(시간간격 $\Delta t=120\text{sec} \times 2880\text{회}$)의 계산간격을 그리고 종축은 풍속 u, v 를 의미하고 있다. 여기서 풍속 u 가 +이면 W풍, -이면 E풍을 나타내고 v 가 +이면 S 그리고 -이면 N의 풍향을 나타내고 있다.

그림에서 보듯이 매립전에 비해 매립후에 풍속 u 는 다소 크게 예측되었으며 상대적으로 풍속 v 는 약간 감소하는 경향을 보여주고 있는바 이는 해안매립법선의 변화에 따른 국부적인 요인이라 판단된다.

4.3 상층풍

여기에서는 4.2과 동일한 조건하에서 계산된 결과중에 고도 1100m상공에서의 풍향벡터를 매립전과 매립후에 대해 Fig. 7와 Fig. 8에 대표시각 16:00과 04:00의 결과를 도시하였다. 그림에서 보듯이 풍속은 지상풍(고도 50m)의 풍속보다 작다. 또 지상풍의 풍향과 거의 90°에서 120°의 각도로 방향이 변하여 불고 있음을 보여주고 있다. 이것은 보상풍 때문이라 생각이 되나 지상풍과 비교하여 완전한 역방향이 아니기 때문에 편향력 등과 같은 원인에 의해 약간 복잡한 흐름이 형성되었으리라 판단된다.

본 연구에서는 연안역에서의 대규모 해상매립 등과 같은 토지이용변화에 따른 중규모 지역기상장변동을 예측하기 위한 3차원 수치모형의 적용시도에 중점을 두었기 때문에 수치모형에 포함되는 많은 변수의 적절한 선정과정은 이루어 지지 않았으나, 그럼에도 불구하고 대체로 타당성있는 만한 결과를 얻었다. 따라서 본 3차원 중규모 지역기상모델의 운용으로 인위적 또는 자연적 지형기복변화 및 토지이용변화에 대한 기상흐름의 거동을 예측할 수 있으며, 이를 바탕으로 환경영향평가 또는 환경개선에 필요한 방안과 임해역에서의 국부적인 바람장변동을 예측할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 지표면의 열수지 변화 특성을 고려하는 식생모형을 적용한 중규모지역에 대한 기상장모형을 이용하여 해안지역의 대규모 매립 등과 같은 광범위한 토지이용 형태의 변화에 따른 단순화된 지형모형에서의 3차원 바람장의 변동을 수치해석하였다.

그 결과 본 수치모형은 임해지역의 고유국지풍인 해륙풍장의 특성을 타당성있게 예측하였으며 해상풍에 영향을 주는 지

상풍(50m상공풍)은 해안선 근방에서는 해안선에 거의 수직으로 나타났다. 전체적으로 해풍에 비해 육풍의 크기가 상대적으로 약하게 나타났으며 이는 육지의 지형기복과 토지이용변화 특성을 전원지역으로 단순화하므로써 주간 바다와 육지측에서의 온도차가 크게 된 때문이라 판단되었다.

지상에서 부터 높이 1100m 상층풍과 지상풍을 비교하면 시간에 따라 특히 야간에 풍향의 변화가 심하였는데 이는 약한 보상풍이라 생각되나 반드시 지상풍과는 역방향은 아니고 보다 복잡한 흐름이 형성됨을 알 수 있었다.

본 연구에서는 연안역에서의 대규모 해상매립 등과 같은 토지이용변화에 따른 중규모 지역기상장변동을 예측하기 위한 3차원 수치모형의 적용시도에 중점을 두었기 때문에 수치모형에 포함되는 많은 변수의 적절한 선정과정은 이루어 지지 않았다. 따라서 본 수치모형이 보다 실제에 근접한 합리적인 모형이 되기 위해서는 열수지 파라미터의 검토와 현장관측자료 등과 연계하여 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되며 이에 관해서는 계속 연구과제로 남겨둔다.

참 고 문 헌

과학기술처(1991). "항만정온도 유지대책 수립에 관한 연구(1)", BSPG 00135-373-2, pp 194.

이성대(1997). "식생의 영향을 고려한 울산지역의 중규모 지역기상장에 관한 연구", 한국수자원학회논문집, 제30권, 제2호, pp 119-129.

Bhumralkar, C. M.(1975). "Numerical experiments on the computation of ground surface temperature in an atmospheric general circulation model", J. Appl. Meteor., Vol. 14, pp 124 6~1258.

Deardorff, J. W.(1978). "Moisture with inclusion of a layer of vegetation", J. Geophys. Res., Vol. 83, pp 1898~1903.

Durrant, D. R. and Klemp, J. B.(1982). "On the effects of the moisture on the Brunt - Vaisala frequency", J. Atm. Sci., Vol. 39, pp 2152~2158.

Kondo, A. Yamaguchi, K. Turukawa, M. and Yosikawa, A. (1990). "Numerical simulation model of the land and sea breeze circulation and concentration of atmospheric pollutants", Proc. 4th NFMS, pp 283~286.

Kozo, T. L.(1982). "A mathematical model of sea breeze along the Alaskan Beaufort Sea Coast pt. 2", J. Appl. Meteor., Vol. 21, pp 906~924.

Ozoe, H. Shibata, T. and Sayama, Y.(1983). "Characteristics of air pollution in the presence of land and sea breeze - A numerical simulation", Atmos. Env., Vol. 17, pp 35~42.

Pielke, R. A.(1984). "Mesoscale meteorological modeling", Academic Press.

Rogers, D. P.(1995). "Coastal Meteorology", US National Report to IUGG, Rev. Geophys., Vol. 33.

Takano, K.(1977). "Three-dimensional numerical modeling of the land and sea breezes and the urban heat Island in the Kanto

Plain", Sc.D. Thesis of Tokyo Univ.

Yamada, T.(1975). "The Critical Richardson number and the ratio of the eddy trans port coefficients obtained from a turbulence closure model", J. Atm. Sci., Vol. 32, pp 926~933.

Yamaguchi, K., Kondo, A. and Lee, S. D.(1992). "Three-dimensional numerical simulation of land and sea breezes at Ulsan, Korea", Tech. Rp. of Osaka Univ., Vol. 42, pp 207~214.

竹内清秀, 近藤純正(1981), "大氣科學講座1,地表に近い大氣", 東

大出版會.

吉川, 山口, 藤原(1990). "植生を考慮した地表面の熱及び水分量收支モデル", 空氣調和・衛生工學學術研究發表會論文集, pp 103~106.

2000년 4월 10일 원고 접수

2000년 8월 10일 수정본 채택