



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0088137
(43) 공개일자 2009년08월19일

(51) Int. Cl.

G01W 1/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0013507

(22) 출원일자 2008년02월14일

심사청구일자 2008년02월14일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제 캠퍼스내

(72) 발명자

윤진일

경기 성남시 분당구 이매동 이매촌아파트 303-402

정유란

경기 군포시 오금동 율곡아파트 348동 304호

(74) 대리인

특허법인다울

전체 청구항 수 : 총 4 항

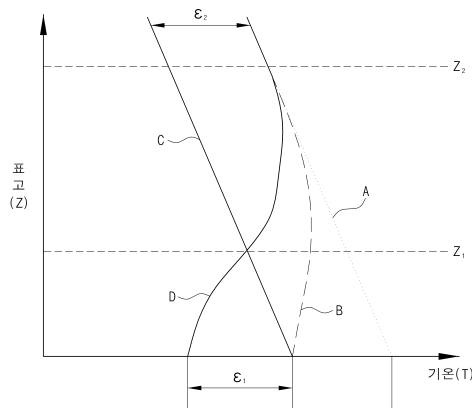
(54) 냉기유입량이 일 최저기온에 미치는 영향의 정량화방법

(57) 요약

본 발명은 임의지점으로 유입되는 냉기유입량을 정량화함으로써 그 임의지점의 일 최저기온을 보다 정밀하게 예측할 수 있는 냉기유입량 정량화방법에 관한 것이다.

본 발명에 의한 냉기유입량 정량화방법은, 대상지역 내에서 복수의 임의지점을 선택하고, 각 임의지점에 대한 실측기온값을 획득하는 실측기온값 획득단계; 상기 복수의 임의지점에 대한 추정기온값을 추출하는 추정기온값 추출단계; 상기 대상지역을 복수의 격자로 분할하고, 각 격자의 냉기유입량을 모델링하는 냉기유입량 모델링단계; 및 상기 실측기온값과 추정기온값의 편차와 냉기유입량 간 관계를 비선형 함수 형태의 회귀식으로 도출하는 냉기-기온 회귀식 도출단계;를 포함한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 306003-04

부처명 농림부

연구사업명 농림기술개발사업

연구과제명 전자기후도 기반 유역단위 농업기상예보시스템

주관기관 경희대학교

연구기간 2006년 04월 25일 ~ 2010년 04월 24일

특허청구의 범위

청구항 1

대상지역 내에서 복수의 임의지점을 선택하고, 각 임의지점에 대한 실측기온값을 획득하는 실측기온값 획득단계;

상기 복수의 임의지점에 대한 추정기온값을 추출하는 추정기온값 추출단계;

상기 대상지역을 복수의 격자로 분할하고, 각 격자의 냉기유입량을 모델링하는 냉기유입량 모델링단계; 및

상기 실측기온값과 추정기온값의 편차와 냉기유입량 간 관계를 비선형 함수 형태의 회귀식으로 도출하는 냉기-기온 회귀식 도출단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 냉기유입량이 일 최저기온에 미치는 영향의 정량화방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 추정기온값은 실제표고와 가상표고 사이의 표고편차에 따른 기온감율을 이용하여 보정한 추정기온값인 것을 특징으로 하는 냉기유입량이 일 최저기온에 미치는 영향의 정량화방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 냉기유입량 모델링단계는, 대상지역을 복수의 격자로 분할하고, 주변 격자에서 각 격자로 향하는 냉기의 흐름방향을 FAP_n 의 변수형태로 설정함으로써 각 격자의 냉기유입량을 변수화하고, 상기 FAP_n 에서 n 은 그 주변의 격자에서 임의 격자로 흐르는 냉기의 흐름방향의 개수를 합한 값인 것을 특징으로 하는 냉기유입량이 일 최저기온에 미치는 영향의 정량화방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 냉기-기온 회귀식 도출단계는, 아래의 식으로 도출하고,

$$T = T_{idw} - \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

$$= T_{idw} + 4 \cdot R \cdot \frac{1}{R_{\max}} \left(1 - e^{-0.01(Z-300)} \right) - R \cdot \frac{1}{R_{\max}} \cdot \log_{10} FAP_n$$

ε_1 은 온난대효과에 의한 오차이고, ε_2 는 냉기의 집적에 의한 오차이며, T 는 실측기온값이고, T_{idw} 은 추정기온값이며, R 은 일교차이고, $R_{\max}$ 는 일교차의 최대값이며, Z 는 실측표고인 것을 특징으로 하는 냉기유입량이 일 최저기온에 미치는 영향의 정량화방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

<1> 본 발명은 임의지점으로 유입되는 냉기유입량을 정량화하고 그것이 일 최저기온에 미치는 영향을 정량화함으로써 그 임의지점의 기온을 보다 정밀하게 예측할 수 있는 냉기유입량의 정량화방법에 관한 것이다.

배경 기술

<2> 영년생인 과수는 재배적지 여부에 따라 피해빈도가 크게 달라져 잘못 선정된 과원은 상습피해지가 될 가능성이 높다. 우리나라처럼 복잡한 지형에 재배규모가 작은 곳에서는 기후자원의 정밀 심층분석을 통한 과원 적지선정 시스템이 매우 유용할 것이다. 한편 이미 과수원이 들어선 지역인 경우 일 최저기온 예보를 활용한 서리경보시

시스템의 실시간 운영 역시 검토할 가치가 있을 것이다.

<3> 서리 피해와 관련이 깊은 일 최저기온은 식물의 생육단계 추정, 식물 병해충 예찰, 증발산량 추정, 농업용 시설물 관리 등 그 용도가 다양하므로 강수량과 함께 농장 기상관측의 기본요소이다. 기상청 일기예보 가운데서도 다음 날의 최저기온 예보는 농업상의 재해예방 차원에서 요긴하게 활용되고 있다. 기상청의 관측 및 예보구역인 70 여 개 지점을 제외한 실제 영농현장의 최저기온값은 다양한 방법에 의해 공간내삽(spatial interpolation)에 의해 추정되는 것이 보통이다. 특히 국지기온의 결정인자로서 표고(해발고도)의 영향이 현저하므로 비관측점의 표고편차를 기온감율에 의해 보정하는 방법이 용이하게 적용될 수도 있다. 하지만, 넓은 지역에서 낮은 해상도로 추정할 경우에는 상기의 기온감율을 이용하여 보정하는 방법이 어느 정도 실용성이 있지만, 실제로 정밀추정이 필요한 좁고 복잡한 지형에서는 부적합하다. 그 이유는 표고편차에 따른 기온감율이 계절이나 시간, 감율계산에 쓰이는 기준관측소의 위치 등에 따라 항상 변화할 뿐 아니라, 그 변화양상이 선형적이지 않다는 사실에서 찾을 수 있다. 남한 전역 일 최저기온 추정오차를 계절별로 비교했을 때 여름철을 제외한 전 기간에 걸쳐 나타나는 양의 편기(positive bias), 특히 표고가 낮은 지역에서 실제보다 항상 높은 기온이 예측되는 현상은 고도-기온 관계의 비선형성을 쉽게 대변한다.

<4> 특히, 농작물의 피해를 가져오는 서리는 다른 곳으로부터 냉기(찬 공기)가 흘러 들어오거나 같은 곳의 공기가 지표의 복사에너지 교환에 의해 냉각되는 두 가지 기작에 의해 주로 생긴다. 냉기의 이류조건에서는 당연히 높은 곳일수록 기온이 낮아지는 기온감율이 적용되며, 서리피해 역시 높은 곳에서 관찰된다. 반면에 복사서리는 바람이 잔잔하고 하늘이 맑은 조건에서 발생하며 높은 곳보다는 낮은 곳에서 저온이 관찰되어 종래의 최저기온 추정 방법이 실패함을 알 수 있다. 따라서 최저기온의 추정오차를 줄이기 위해서는 복사냉각에 의한 냉기의 흐름과 그 집적에 대한 정보를 얻은 다음에, 종래의 공간내삽법에 의해 추정된 최저기온값을 적용하여 얻어지는 추정오차와 냉기 집적량 사이의 정량적인 관계를 도출해야 한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<5> 본 발명은 상기와 같은 점을 감안하여 안출한 것으로, 임의지점으로 유입되는 냉기유입량을 정량화함으로써 그 임의지점의 일 최저기온을 보다 정밀하게 예측할 수 있는 냉기유입량이 일 최저기온에 미치는 영향의 정량화방법을 제공하는 데 그 목적이 있다.

과제 해결수단

- <6> 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 의한 냉기유입량이 일 최저기온에 미치는 영향의 정량화방법은,
- <7> 대상지역 내에서 복수의 임의지점을 선택하고, 각 임의지점에 대한 실측기온값을 획득하는 실측기온값 획득단계;
- <8> 상기 복수의 임의지점에 대한 추정기온값을 추출하는 추정기온값 추출단계;
- <9> 상기 대상지역을 복수의 격자로 분할하고, 각 격자의 냉기유입량을 모델링하는 냉기유입량 모델링단계; 및
- <10> 상기 실측기온값과 추정기온값의 편차와 냉기유입량 간 관계를 비선형 함수 형태의 회귀식으로 도출하는 냉기-기온 회귀식 도출단계;를 포함한다.
- <11> 상기 추정기온값은 실제표고와 가상표고 사이의 표고편차에 따른 기온감율을 이용하여 보정한 추정기온값이다.
- <12> 상기 냉기유입량 모델링단계는, 대상지역을 복수의 격자로 분할하고, 주변 격자에서 각 격자로 향하는 냉기의 흐름방향을 FAP_n 의 변수형태로 설정함으로써 각 격자의 냉기유입량을 변수화하고, 상기 FAP_n 에서 n 은 그 주변의 격자에서 임의 격자로 흐르는 냉기의 흐름방향의 개수를 합한 값인 것을 특징으로 한다.
- <13> 상기 냉기-기온 회귀식 도출단계는, 아래의 식으로 도출하고,

$$T = T_{idw} - \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

$$= T_{idw} + 4 \cdot R \cdot \frac{1}{R_{\max}} \left(1 - e^{-0.01(Z-300)} \right) - R \cdot \frac{1}{R_{\max}} \cdot \log_{10} FAP_n$$

<14>

- <15> ε_1 는 온난대효과에 의한 오차이고, ε_2 는 냉기의 집적에 의한 오차이며, T는 실측기온값이고, T_{idw} 은 추정기온값이며, R은 일교차이고, R_{max} 는 일교차의 최대값이며, Z는 실측표고인 것을 특징으로 한다.

효 과

- <16> 이상과 같은 본 발명은, 임의지점으로 유입되는 냉기유입량을 정량화함으로써 그 임의지점의 기온을 보다 정밀하게 예측할 수 있다.
- <17> 특히, 본 발명은 그 기온의 추정이 매우 어려운 좁고 복잡한 지형 내의 임의지점에 대한 기온 추정을 보다 정밀하게 예측할 수 있는 장점이 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <18> 일 최저기온의 형성은 야간 복사냉각 및 냉기의 집적 등 지형기후와 관련이 깊다. 규모가 작은 과원지대 내에서도 지점에 따라 일 최저기온이 6℃까지 차이가 나며, 이러한 기온 공간변이의 대부분은 냉기의 집적 및 온난대효과를 지형기후모형을 통해 해석할 수 있을 것이다. 덧붙여 한 지점의 기온 순간값은 바로 그 지점에 유입된 냉기에 의해 결정되었지만, 시간규모가 한 시간 혹은 하루 등으로 증가하면 단순히 그 지점의 유입량뿐 아니라 점차 주변 지역의 유입량으로 그 영향권이 확대된다.
- <19> 이에 따라, 본 발명은 고도가 낮은 지역에서의 기온 추정오차를 줄이기 위해서 복사서리 발생 조건에서, 종래의 방법에 의한 추정오차를 관측지점의 "냉기유입량"으로 회귀시킴으로써 그 상호관계를 정량화함으로써 그 기온의 추정이 어려운 좁고 복잡한 지형 내의 임의지점에 대한 추정기온의 신뢰도를 개선할 수 있다.
- <20> 도 1은 복사 냉각에 의해 야간시 일 최저기온의 형성과정을 도시한 모식도이다.
- <21> 도 1에 예시된 바와 같이, 대류권 내에서 기온은 상층으로 갈수록 낮아지며 이를 건조공기의 온도체감율 곡선, 즉 건조단열선(dry adiabats, 도 1의 곡선 A)으로 표시된다. 하루 중 최저기온은 주로 해뜨기 직전에 관측되며 지표면의 복사냉각에 의해 일정높이까지는 오히려 상층으로 갈수록 기온이 높아지는 소위 기온역전현상이 생겨 상기 건조단열선이 활처럼 휘게 된다(곡선 B). 만약 관측점이 평지가 아니라 냉기가 유입되는 낮은 지역에 있다면 주변으로부터 밀려드는 냉기에 의해 기온은 더욱 떨어진다(곡선 D). 표준기상관측소는 의도적으로 냉기가 유입되지 않는 평지에 설치되므로 이러한 냉기집적효과를 나타내지 않으며(도 1의 곡선 C), 이러한 지점의 관측값을 종래의 방식으로 추정할 경우 아래쪽은 냉기집적에 의한 오차(ε_1)를 갖게 되고, 위쪽은 온난대효과에 의한 오차(ε_2)를 가지게 된다. 따라서, 본 발명은 도 1의 곡선을 모형화함으로써 임의지점에 대한 일 최저기온의 합리적인 보정을 수행한다.
- <22> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 냉기유입량 정량화방법을 도시한 흐름도이다.
- <23> 도시된 바와 같이, 본 발명의 냉기유입량 정량화방법은, 실측기온값 획득단계(S1), 추정기온값 추출단계(S2), 냉기유입량 모델링단계(S3), 냉기-기온 회귀식 도출단계(S4)를 포함한다.
- <24> 실측기온값 획득단계(S1)는, 대상지역 내에서 복수의 임의지점을 선택하고, 각 임의지점에 관측설비를 설치하여 그 실측기온값을 획득하도록 진행된다.
- <25> 추정기온값 추출단계(S2)는, 대상지역 내에서 기상관측소들의 기온자료들을 이용하여 거리자승역산방법 등과 같은 공간 내삽에 의해 추정기온값을 추출하도록 진행된다.
- <26> 본 실시예는, 추정기온값 추출단계(S2)에서 추출되는 추정기온값으로 관측점의 표고편차에 따른 기온감율에 의해 보정한 추정기온값을 이용한다.
- <27> 이러한 추정기온값(T_{idw})을 구하기 위해서는, 대상지역 내에 있는 관측소의 기온자료에 의해 임의지점에 대한 초기추정값(T_1)을 추출하고, 이 초기추정값(T_1)은 주변의 기상관측소에서 실측된 기온자료들의 거리자승역산방법(Inverse Distance Squared Weighting; IDSW)의 평균값으로 추정될 수 있고, 이는 다음의 식(1)과 같이 나타난다.

$$T_1 = \frac{\sum \frac{T_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \dots(1)$$

<28>

<29>

여기서, T_i 는 임의지점(1)의 주변에 있는 기상관측소의 실측된 기온값이며, d_i 는 이 기상관측소와 임의지점 사이의 평균거리에 해당한다. 한편, 식(1)의 적용조건은 기상관측소와 임의지점 모두의 표고(해발고도)가 동일한 평면에 위치한다는 것이다.

<30>

그리고, 임의지점에 대한 가상표고(z)를 구한다. 임의지점의 가상표고(z)는 그 주변의 기상관측소에서 실측된 표고자료들의 거리자승역산방법(Inverse Distance Squared Weighting; IDSW)의 평균값으로 추정될 수 있고, 이는 다음의 식(2)과 같이 나타난다.

$$Z = \frac{\sum \frac{Z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \dots(2)$$

<31>

<32>

여기서, z_i 는 임의지점의 주변에 있는 기상관측소들의 표고이고, d_i 는 이 기상관측소와 임의지점 사이의 평균거리에 해당한다.

<33>

이에 의해, 임의지점의 표고편차(K)는 다음의 식(3)에 의해 산출될 수 있다.

$$K = Z - \frac{\sum \frac{Z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \dots(3)$$

<34>

<35>

여기서, Z 는 미관측 임의지점(1)의 실제표고이다.

<36>

임의지점(1)의 표고편차에 따른 기온감율(Γ)은 다음의 식(4)에 의해 계산된다.

<37>

$$\Gamma = 0.00685 + 0.00135 \times \cos\{0.0172(i - 15)\}, \quad i = \text{day of year} \dots(4)$$

<38>

이러한 기온감율(Γ)을 표고편차(K)에 곱함으로써 다음의 식(5)와 같은 보정값이 계산된다.

$$\left[Z - \frac{\sum \frac{Z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right] \Gamma \dots(5)$$

<39>

<40>

상기의 식(5)의 보정값을 상기 식(1)의 초기추정값(T_1)에 더함으로써 추정기온값(T_{idw})을 산출한다.

$$T_{idw} = \frac{\sum \frac{T_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} + \left[Z - \frac{\sum \frac{Z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right] \Gamma \quad \dots(6)$$

<41>

<42>

만일, 야간복사냉각을 무시할 수 있는 기상조건 (예, 구름이 많이 끼거나 강풍이 부는 날)이거나 세밀한 지형효과를 무시할 수 있는 공간규모 (예, 1km 이상 공간해상도의 남한 전역)라면 상기의 식(6)에 의해서도 좋은 결과를 얻을 수 있다. 하지만 우리나라에서 늦서리피해가 예상되는 날은 대개 고기압권에 들어서 바람이 약하고 구름이 적은 조건에 놓인다. 이러한 조건에서는 상기 식(6)에 의해 추정가능한, 주변을 포함한 넓은 지역의 최저기온 평균값보다는, 미세한 지형특성의 차이에 따라 냉기가 유입되거나 집적되는 곳의 기온편차가 농작물의 피해로 이어질 수 있다. 이에, 본 발명은 적용시간대를 복사서리가 발생하는 시기로 한정하고 냉기의 흐름과 관련 깊은 지형특성의 변이에 따른 기온변화량을 도출하고자 한다.

<43>

냉기유입량 모델링단계(S3)는, 상기 대상지역을 복수의 격자로 분할하고, 각 격자의 냉기유입량을 모델링한다.

<44>

도 2는 대상지역의 일부 영역에 대한 냉기유입량 모델링을 도식화한 것이다.

<45>

야간 장파복사교환에 의해 지표면이 냉각되면 대상지역 내에서 가장 높은 위치(예컨대, 언덕이나 산정상)의 공기가 먼저 중력에 의해 아래쪽으로 흐르고, 무거워진 공기가 지표면의 한 격자에 놓이면 땅속으로 스며들지 않고 모두 8개 방위의 인접한 격자들 중 하나로 흐른다고 가정하였다.

<46>

8개의 인접 격자들 가운데 중심격자와의 표고차이가 가장 큰 격자 쪽이 흐름 방향이 되고, 이러한 흐름 방향의 계산은 격자들의 해상도로 나타난 수치고도모형(Digital Elevation Model, DEM)에 의해 산출된다.

<47>

다음, 이 흐름 방향을 토대로 각 격자로 흘러들어오는 냉기유입량(Flow Accumulation Potential, FAP)을 변수화하여 특정한다. 임의 격자 주변에는 항상 8개의 인접한 격자들이 각각의 흐름 방향을 가지고 둘러싸고 있다. 이들 가운데 그 흐름 방향이 중심 격자를 향한 것들만 선택하여 그 개수를 합치고, 이에 의해 각 격자들에 대한 냉기유입량(FAP_n)을 도 2(a) 내지 도 2(c)와 같이 변수화하여 표시한다. 여기서, FAP_n에서 n은 주변 격자에서 중심 격자를 향하는 흐름 방향의 개수를 합한 것이다. 예컨대, 도 2(a)와 같이 중심 격자를 향하는 흐름 방향이 0개이면 FAP₀으로 표시되고, 도 2(b)와 같이 중심 격자를 향하는 흐름이 4개이면 FAP₄으로 표시되며, 도 2(c)와 같이 중심 격자를 향하는 흐름이 5개이면 FAP₅으로 표시된다. 이러한 과정을 대상지역 내의 모든 격자에 대해 수행하면 냉기의 축적양상, 즉 냉기유입량(FAP)의 분포를 작성할 수 있다. 결과적으로 각 격자는 변수화된 냉기유입량(FAP_n)을 속성값으로 가진다.

<48>

냉기-기온 회귀식 도출단계(S4)는 상기 실측기온값, 추정기온값, 냉기유입량의 상관관계를 경험적인 비선형 함수 형태의 회귀식으로 도출한다.

<49>

먼저, 실측기온값(T)은 상기 추정기온값(T_{idw})에 "+"의 온난대효과와 "-"의 냉기집적유입효과가 더해진 것으로 다음의 식(7)에 의해 표현된다.

<50>

$$T = T_{idw} - \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \dots \text{식(7)}$$

<51>

그리고, 온난대효과에 의한 오차(ε₂)는 다음의 식(8)로 표현된다.

<52>

$$\varepsilon_2 = \Delta T_{\max} [1 - \exp\{-0.01 \cdot (Z - 300)\}] \quad \dots \text{식(8)}$$

<53>

여기서, 온난대효과에 의한 온도상승분(ΔT_{max})의 최대값은 4℃로서, 이 온도상승분(ΔT_{max})은 다음의 식(9)와 같이 당일의 기온 일교차의 상대비율에 직선적으로 비례한다고 가정할 수 있다.

<54>

$$\Delta T_{\max} = R \cdot \left(\frac{1}{R_{\max}} \right) \cdot 4 \quad \dots(9)$$

<55> 여기서, R 은 일교차, $R_{\max}$ 는 일교차의 최대값으로서 지점 및 계절별로 다르지만 전국 기상관서에서 연 평균 약 18°C 이다.

<56> 냉기의 집적에 의한 오차(ε_2)는 냉기유입량의 상용대수에 비례하며, 이는 기온일교차의 상대비율을 비례상수로 가지며, 다음의 식(10)과 같이 나타난다.

$$\varepsilon_1 = R \cdot \left(\frac{1}{R_{\max}} \right) \cdot \log_{10}(FAP_n) \quad \dots(10)$$

<58> 여기서, FAP_n 은 임의 격자를 중심으로 그 주변 n 개 격자 반경 내의 냉기유입량을 평활화한 평균값을 나타내는 것으로, 이 중에서 FAP_5 에서 그 결정계수가 가장 높게 나타남이 후술하는 실험예에 의해 증명된다.

<59> 한편, 상기 식(7)은 다음의 식(11)로 변환된다.

$$\begin{aligned} T &= T_{idw} - \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \\ &= T_{idw} + 4 \cdot R \cdot \frac{1}{R_{\max}} \left(1 - e^{-0.01(Z-300)} \right) - R \cdot \frac{1}{R_{\max}} \cdot \log_{10} FAP_n \quad \dots(11) \end{aligned}$$

<61> [실험예]

<62> 1. 일 최저기온의 추정오차와 FAP 사이의 관계 실험

<63> 임의의 격자의 냉기 유입량과 관측된 최저기온간 관계, 정확하게는 식 (6)에 의해 계산된 추정기온값(T_{idw})의 추정오차와의 관계를 정량화하기 위한 실험을 하였다. 도 4에 도시된 실험대상지역은 경상남도 하동군 하동읍 만지리 분지봉 남향 사면 일대로서 주요 경관은 배과수원이다. 이 지역을 단위면적 $1 \times 1 \text{ km}$ 격자로 추출하고, 이 지역 내에 8개의 기온관측지점에 관측장비를 설치하였다.

<64> 아래의 표 1과 같이 각 관측지점간 거리는 가장 가까운 것이 50m, 가장 먼 곳은 735m 떨어져 있다. 격자에 해당되는 지역의 지형특성을 10m 해상도의 수치고도모형(digital elevation model, DEM)을 토대로 분석해 보면 해발고도 범위는 10 - 290m이나 관측지점의 위치는 모두 27 - 88m 범위에 놓여있다. 관측지점이 위치한 사면의 방향은 남서향이 3개소, 남향 및 서향이 각각 2개소, 그리고 북동향이 1개소이었으며, 경사도는 10 - 28도 정도였다.

<65> [표 1]

관측지점	표고	위도	경도	방위	경관
1	60	35.0915	127.7331	SW	산림
2	74	35.0919	127.7331	S	배과수원
3	52	35.0911	127.7333	SW	배과수원
4	34	35.0927	127.7291	SW	배과수원
5	32	35.0920	127.7291	W	배과수원
6	27	35.0912	127.7290	W	배과수원
7	88	35.0968	127.7353	NE	산림
8	56	35.0943	127.7356	S	배과수원

<67> 관측은 10분 간격으로 2002년 9월에 시작하여 2003년 2월까지 계속하였다. 사용된 관측설비(센서)로는 집록기 일체형 써미스터(Model HOB0 H8 Pro, Onset Computer Corporation, U.S.A.)가 이용되었고, 이 집록기 일체형 써미스터는 측정오차가 -30°C 에서 $+50^{\circ}\text{C}$ 범위에서 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이며, 상온에서의 정확도는 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이다. 그리고, 이 집록기 일체형 써미스터는 자연대류형 차광틀(radiation shield)에 넣어서 알루미늄제 관측탑의 2m 높이에 북향으로 설치하였다. 관측지점의 위치좌표는 위성측위계(Model GeoExplorer III 및 Pathfinder 2.80, Trimble Inc., U.S.A.)에 의해 측정하고 기준국(경남 진주)의 보정값으로 후처리하여 얻었다. 여기서, 집록기 일체형 써미스터에 의해 실측된 일 최저기온값이 실측기온값으로 간주되었다.

<68> 기상청 발간 기상월보로부터 인근 진주기상대 및 순천기상관측소의 일 기상자료를 발췌하여, 연구기간 중 평균 해면기압이 1,020 hPa 이상이며 풍속이 1 m/s 이하이고, 이틀연속 일사량 9 MJ m^{-2} 혹은 일조시간 7시간 이상인 날짜를 선별하였다. 이들 날짜에 대하여 기상청 자동기상관측망 가운데 연구대상지역에 인접한 하동을 자동기상관측소(Automated Weather Station, AWS)의 일 최저기온자료를 수집하였으며, 이렇게 수집된 자동기상관측소의 일 최저기온자료와 표고편차를 고려하여 추정기온값이 산출되었다. 이 자동기상관측소의 설치지점은 연구대상지역으로부터 동쪽으로 약 1km에 위치한 농업기술센터 옥상으로서, 주변으로부터 찬 공기가 유입되지 않는 곳이므로 이 지역의 중규모 기후를 대표한다고 간주하였다. 하동 자동기상관측소의 관측기온을 기준으로 8개의 관측지점의 일 최저기온의 편차를 각각 계산하였다.

<69> 연구대상지역의 지형을 사방 10m의 격자로 표현한 수치고도모형으로 표현하고 8개 지점의 냉기유입량(FAP)을 계산하였는데, 이 때 영향권 반경을 관측지점으로부터 주변 격자 1개로부터 10개까지 늘려가며 유입량의 근린평균값 10종을 계산하였다. 앞서 얻은 복사냉각일의 8개 관측점 최저기온 편차(자동기상관측소 및 표고편차에 의한 추정기온값과 관측설비에 의해 실측된 실측기온값 들간의 차이)를 관측점의 냉기유입량 11종에 각각 회귀시켜 통계모형을 작성하였다. 이 때 냉기유입량은 상용대수로 표현하였으며 비선형만 독립변수로 사용하였다.

<70> 2. 최저기온의 형성에 미치는 냉기의 유입효과

<71> 지형의 영향을 받지 않는 하동의 자동기상관측소의 최저기온을 기준으로, 지형의 영향을 받는 각 집록기 일체형 써미스터의 최저기온 편차를 얻어, 관측설비가 위치한 격자구역(10x10m)에 흘러 들어오는 찬 공기 유입량에 회귀시킨 결과가 도 5에 나타난다. 도 5는 11개 결과 가운데 평활화 하지 않은 경우와 관측소가 포함된 격자를 중심으로 반경을 1개의 격자, 3개의 격자, 5개의 격자, 7개의 격자, 9개의 격자로 확대시키면서 평활화 시킨 경우 등 6개를 보여준다. 냉기유입량은 상용대수로 표현되어있으며, 각 관측지점에서 얻은 일 최저기온 편차와의 추세선을 비선형 회귀식으로 나타내고 있다. 만일, 냉기의 유입량을 변형 없이 그대로 쓴다면 회귀식의 결정계수는 0.14로 매우 낮지만, 평활화 반경을 늘려 가면 점차 결정계수도 증가하여 반경을 5개의 격자(n=5)로 평활한 경우에는 0.78의 결정계수를 보인다. 이후 반경이 더 넓어지면 결정계수는 오히려 작아지는 경향을 보이므로 연구대상지역에서 최저기온에 미치는 지형의 영향은 5개 격자 반경 내의 냉기 유입량을 평활화한 평균값에 의해 가장 잘 표현된다고 결론지을 수 있다. 즉 복사냉각일의 최저기온 형성에는 1 ha 정도의 주변지역 지형이 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있었다.

<72> 3. 실험의 신뢰성 검증

<73> 2003년 4월 7일부터 경기도 연천군 군남면 옥계 1리 523-6 번지 소재 "상춘농원" 인근에 10개소로 이루어진 기온 관측망을 설치하여 4월 25일까지 운영하였다. 센서는 하동에서와 동일한 관측설비(HOBO)를 사용하였으며, 자연대류형 차광틀에 넣어서 알루미늄제 관측탑의 2m 높이에 북향으로 설치하였다. 수집된 10분 간격 기온자료는 품질관리를 거친 다음, 임의의 두 지점간 편차 가운데 가장 큰 값을 선별하였다. 또한 하루 144개씩의 10분 간격 기온 측정값 가운데 최소값을 찾아 그날의 최저기온으로 간주하고, 역시 임의의 두 지점간 편차 가운데 가장 큰 값을 얻어 "최대공간변이" 라고 명하였다. 이 지점들을 포함하는 집수역에 대해 10m 해상도의 수치고도모형(DEM)을 확보하고 이를 이용하여 10개 관측지점의 FAP₅를 계산하였다. 상기 식 (11)에 의해 10개 지점의 일 최저기온을 추정하고 실측자료와 비교한 결과, 도 7에 나타난 바와 같이 RMSE = 0.88로서 표고편차에 의해 추정된 추정기온값에 비해 훨씬 우수한 추정능력을 보였다.

<74> 본 발명은 기상청 예보구역 혹은 자동기상관측지점 단위로 발표되는 일 최저기온자료를 이용하여 과원, 농경지 등 관심지역의 최저기온분포를 좀 더 세밀하고 현실적으로 보여주는 용도에 쓰일 수 있다. 종래의 최저기온 공간내삽기법이 대개 통계모형 구동에 의해 비관측점의 추정값으로서 실측자료범위 안에 드는 "보수적인" 값을 제시하는데 그치지만, 본 발명은 통계적인 방법임에도 불구하고 기온공간변이의 비선형성을 토대로 실측값의 범위를 벗어나는 공간극값의 추정이 가능하다. 예를 들어 하나의 과수주산단지 동인한 시군으로서 기상청의 최저기온예보 역시 같은 값이 발표된다. 그러나 늦서리에 의한 피해지역의 분포는 매우 다양할 수 있으며, 우리의 방법은 이 다양성을 표현해주는 좋은 수단이 될 수 있다.

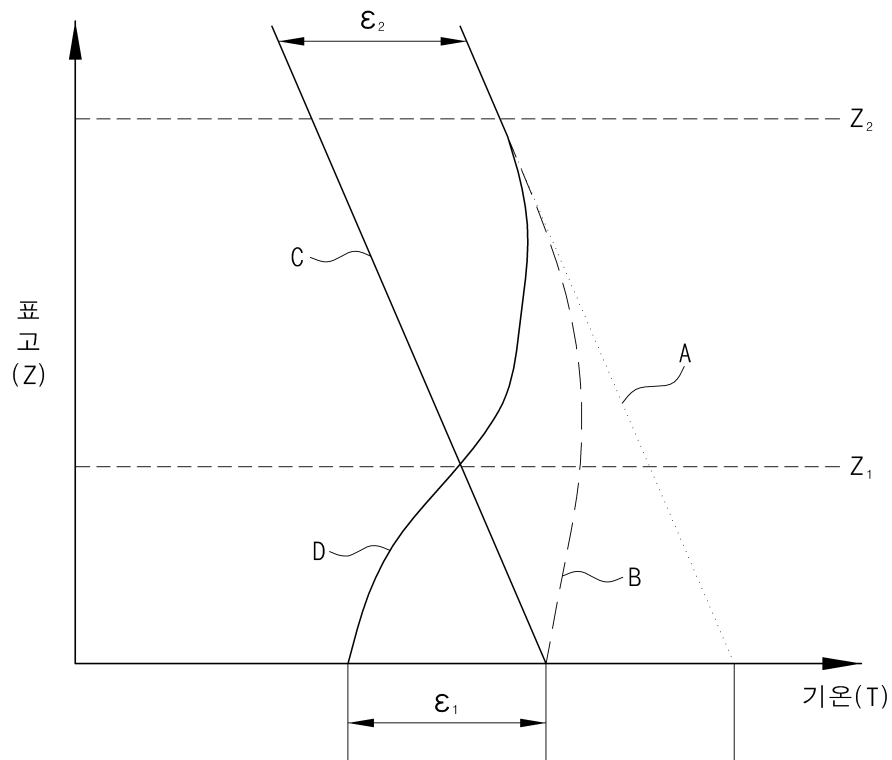
<75> 과거에도 지형특성의 정량화를 통해 최저기온을 추정하거나 서리위험지를 판별하는 방법들이 많이 제시되었으며, 최근에는 GIS 기술을 이용하여 더욱 정교하면서도 사용하기 쉬운 방법으로 변신하고 있다. 하지만 거의가 최저기온 형성과정에 간접적으로 영향을 미치는 지형특성의 정량화를 통해 구현하고 있는데, 본 발명은 최저기온을 형성하는 찬 공기의 흐름과 집적을 직접 모의했다는 차별성이 있다.

도면의 간단한 설명

- <76> 도 1은 복사 냉각에 의해 야간시 일 최저기온의 형성과정을 도시한 모식도이다.
- <77> 도 2는 대상지역의 일부 영역에 대한 냉기유입량 모델링을 도식화한 것이다.
- <78> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 냉기유입량 정량화방법을 도시한 흐름도이다.
- <79> 도 4는 본 발명의 냉기유입량과 일 최저기온 사이의 정량화를 도출하기 위한 일예의 실험대상지역을 나타낸 지도이다.
- <80> 도 5는 냉기-기온 회귀식을 실험적으로 도출된 결과 그래프이다.
- <81> 도 6은 본 발명의 검증을 위해 선정한 경기도 연천군 차탄천 유역을 나타낸 지도이다.
- <82> 도 7은 본 발명과 종래의 추정기온값을 비교한 결과 그래프이다.

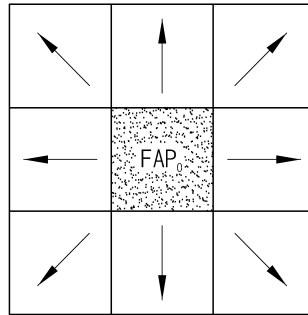
도면

도면1

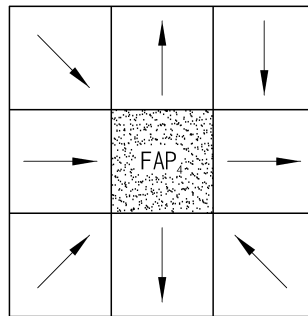


도면2

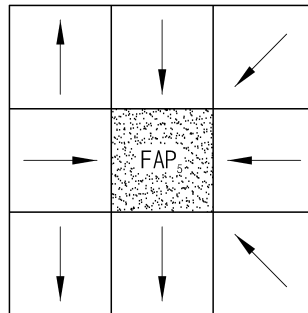
(a)



(b)



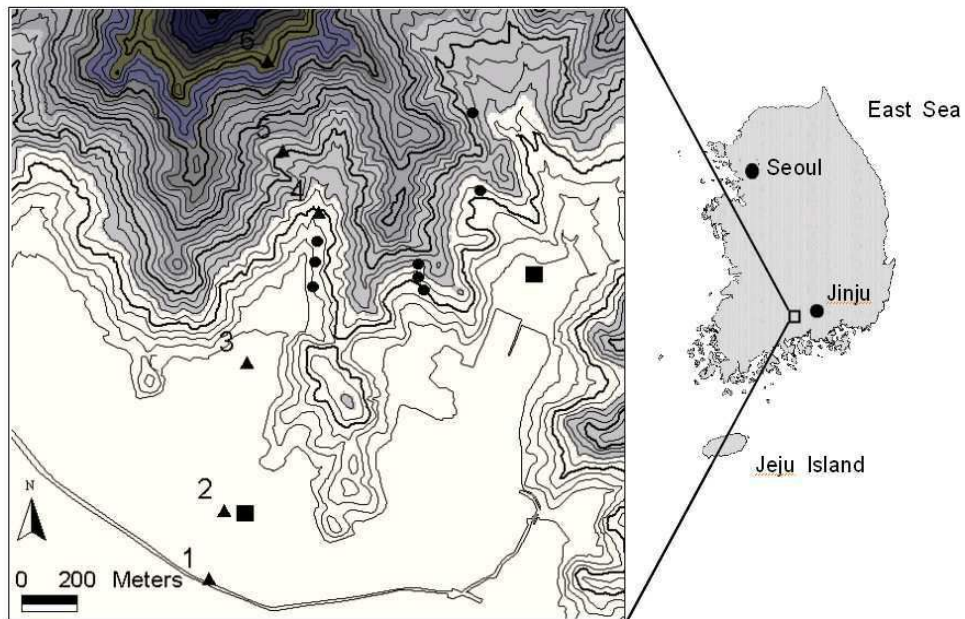
(c)



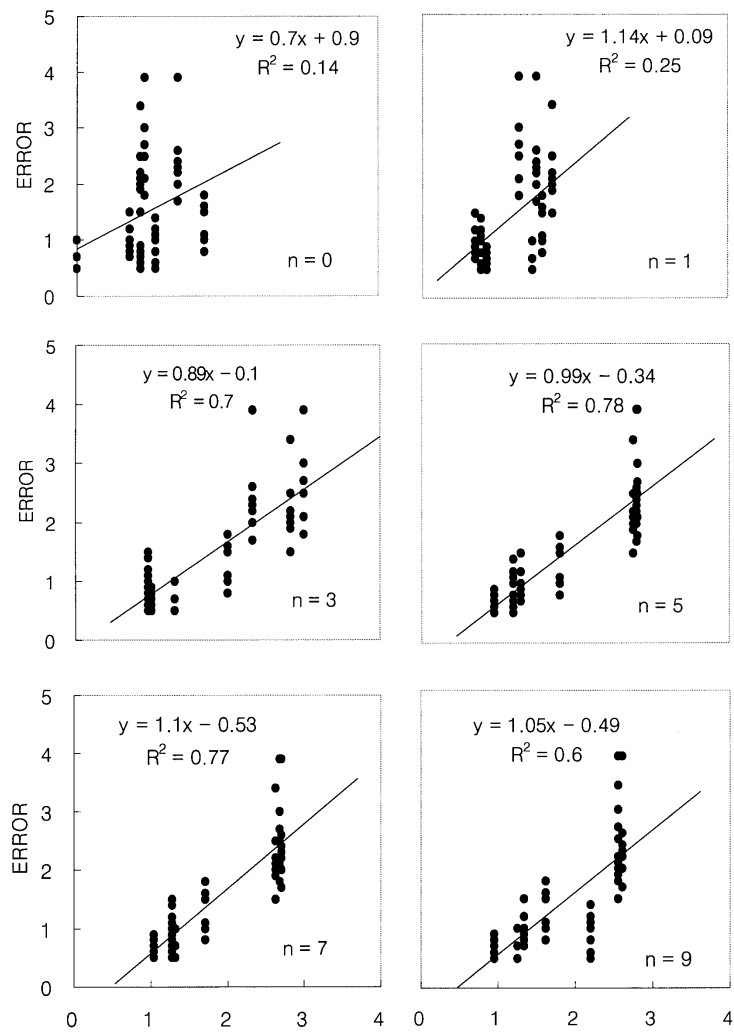
도면3



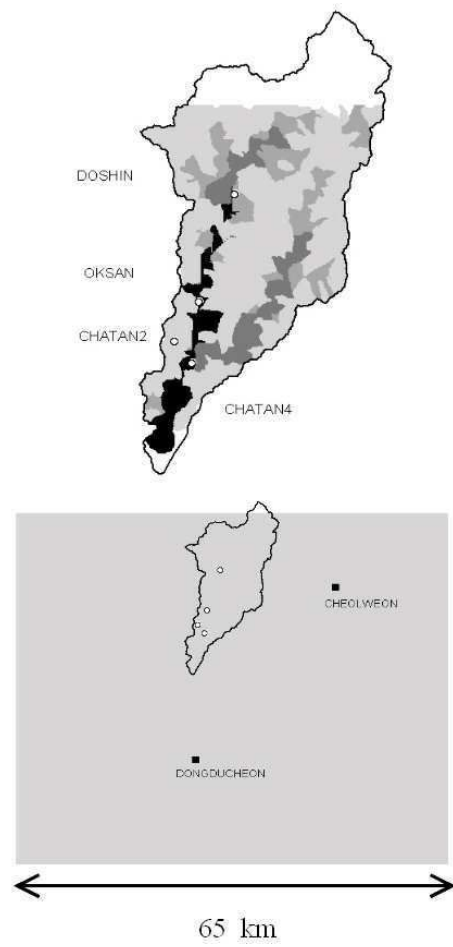
도면4



도면5



도면6



도면7

