

## 월성원전 부지의 해륙풍 모델링 및 특성분석

이갑복, 손순환

한국전력공사 전력연구원

### 요 약

원전의 환경방사선 영향평가(정상시/사고시)의 정확도 및 신뢰도를 제고하기 위해서는 보다 체계적이고 과학적으로 방사성 물질의 대기중 이동을 모사·예측할 수 있는 체제가 정립되어야 한다. 해안 지역에서 빈번히 발생하는 해륙풍이 대기확산에 미치는 영향을 규명하고, 대기확산모델의 바람장 자료로 이용되는 월성원전 주변지역의 해륙풍 데이터베이스를 구축하기 위한 일환으로 삼차원 상세 해륙풍 모델을 개발하였다. 봄철 약한 북풍의 지균풍이 부는 맑은 날에 대하여 해륙풍 모델을 수행시켜 월성원전 지역의 해륙풍 특성을 분석하고 해륙풍 모델결과와 관측결과를 비교하였다.

### 1. 서 론

원자력 발전소를 건설, 운영하기 위해서는 방사성 물질의 방출로 인해 주변 주민 및 환경에 미치는 영향을 평가할 수 있는 방법(정상시/사고시)이 정립되어 있어야 한다. 기체상 방사성 물질은 바람을 매개로 사람 또는 환경중으로 전이되므로 오염물질이 대기중에서 어떻게 이동되는지에 대한 정확한 평가가 필요하다. 월성원전은 동해안 가에 위치해 있고 또한 서쪽에 태백산맥이 남북으로 뻗어 있어 지형적으로도 복잡한 곳이다.

복잡한 지형에서의 대기순환은 평지에서와는 달리 아주 복잡한 양상을 띄게 되고 이에 따른 대기확산이 다르게 나타나므로 부지주변의 지형과 기상특성에 맞는 대기확산모델이 정립되어야 한다. 미국 NRC는 해안 및 복잡한 지형지세에 위치하고 있는 원전부지의 환경영향 평가시에는 해륙풍 등과 같은 국지적인 기상현상을 잘 반영할 수 있는 평가방법을 이용하도록 권고하고 있다 [1]. 해안 가에서는 지표면의 물리적 성질(바다와 육지)의 차로 인하여 해륙풍이 빈번히 발생한다 [2]. 그러나 이 해륙풍은 일주기로 정반대의 대기순환이 일어나므로 해풍이나 육풍이냐에 따라 오염물질의 대기확산이 판이하게 달라지게 된다.

따라서 월성원전 가동에 따른 환경방사선 영향평가(정상시/사고시)의 정확도 및 신뢰도 확보를 위해서는 보다 체계적이고 과학적으로 대기확산을 모사, 예측할 수 있는 상세 모델이 필요하다. 그러나 복잡한 국지기상 현상을 세밀하게 모사할 수 있는 상세 모델은 바람장에 대한 입력자료의 수집 및 계산시간에 많은 시간이 소요되므로 신속한 대응이 필요한 사고시에는 이를 해결할 수 있는 새로운 방법이 도입되어야 한다. 현재 전력연구원에서는 월성원전 부지를 대상으로 지형 및 기상(특히 해륙풍)특성을 분석하여 부지의 종관기상장을 체계적으로 분류하고, 해륙풍 모델을 이용하여 각 종관기상 상태에 따라 해륙풍 데이터베이스를 만들어, 부지의 기상상태와 유사한 바람장을 해륙풍 데이터베이스에서 신속하게 추출하여 대기확산모델의 입력자료로 사용할 수 있는 체제를 개발하고 있다.

본 연구에서는 월성원전 지역의 바람과 운량에 따라 종관기상장을 분류하고, 각 종관기상 상태에서의 해륙풍 데이터베이스를 구축하기 위해 삼차원 상세 해륙풍 모델을 개발하였다. 분류된 종관기상장중 봄철 약한 북풍의 지균풍이 부는 맑은 날인 경우를 택하여 해륙풍 모델을 수행시켜 월성원전 지역의 해륙풍 특성을 분석하고, 관측결과와 비교하여 모델의 특성을 알아보았다.

## II. 종관기상장 분류

해륙풍은 낮에는 태양에너지의 유입으로, 야간에는 지구복사냉각으로 인하여 발생하는 국지적인 기상현상이므로 종관바람장과 운량에 크게 영향을 받는다. 따라서 종관기상장은 지난 5년간(1988년부터 1992년까지)의 매일 매일의 0000GMT 850mb 일본기상청 인쇄일기도와 GPV 자료를 이용하여 Park 과 Yoon[3]의 방법으로 850mb의 지균풍을 계산하여 이를 풍향 4방위(북풍 : 315° ~ 45°, 동풍 : 45° ~ 135°, 남풍 : 135° ~ 225° 그리고 서풍 : 225° ~ 315°)로 그리고 풍속 2등급(지균풍속 < 5m/s, 지균풍속 ≥ 5m/s)으로 모두 8가지로 종관바람장을 분류하여, 다시 각 경우를 운량(운량 < 5/10, 운량 ≥ 5/10)에 따라 2등급으로 나누어 계절별로 총 16개의 범주를 고려하였다.

표1은 각 계절별로 지난 5년간의 자료로부터 구한 각 종관바람장과 운량의 상태에 따른 발생빈도를 나타낸 것이다. 표1에서 경우의 세자리수 중 첫 번째 자리는 풍향(1=북, 2=동, 3=남, 3=서풍), 두 번째 자리는 풍속등급(1=약, 2=강한 바람), 세 번째 자리는 운량등급(1=맑은, 2=흐린 날)을 나타낸다. 표1을 보면 전풍향에 대하여 해륙풍 발생의 최적조건인 지균풍이 약한 맑은 날의 발생빈도율은 가을철이 25.7%로 가장 높으며, 여름철(18.7%), 봄철(16.0%), 겨울철(7.4%) 순으로 나타나고 있다. 해륙풍이 발생하기 쉬운 최적조건(지균풍이 약한 맑은 날)의 전체적인 발생빈도수는 전체 1,827건의 분석자료중 311건으로 약 17%를 차지하고 있다. 이는 월성원전 부지 주변지역에서 년중 최소한 약 60일 정도는 해륙풍이 발생할 수 있는 가능성이 매우 크다는 것을 의미한다.

## III. 삼차원 해륙풍 모델링 및 결과

### III.1 모델 개요 및 수행

이 모델은 Park[4]이 개발한 3차원 해륙풍 모델을 토대로 하여 개발되었다. 모델에는 운동량보존법칙, 에너지보존법칙, 질량보존법칙, 수증기수지방정식이 사용되었으며, 좌표계는 지형의존 연직좌표계(x,y,z\*,t)를 사용하였다. 수평격자망은 46 X 46이며, 단위격자거리는 15km이다. 그림1은 모델영역중 해륙풍 특성분석을 행한 영역과 지형도이며, 중간부분의 직선XY는 단면도분석을 행한 영역이다. 모델의 입력자료는 지균풍의 풍향, 풍속, 지상기압, 온위, 지표면 온도, 해면온도 및 지형고도 등이며, 모델의 초기화를 위한 입력 매개변수는 표2에 제시하였다.

해륙풍이 발생하기 쉬운 조건인 바람이 약한 맑은 날(표1에서의 경우111)에 대하여 모델을 수행을 하였다. 이 때의 종관기상장은 풍향 356°, 풍속 2.8m/s로 이 조건을 그대로 모델 수행 초기조건으로 삼았다. 기타 다른 기상요소들의 초기값은 표2에서와 같다.

### III.2 모델결과

#### III.2.1 수평바람분포

그림2는 지상 10m 고도에서 모델결과와 수평바람을 시간대별로 나타낸 것이다. 09시에는 초기 바람조건인 약한 북풍(356°)이 약하게(2.8m/s) 불고 있으나 일중 지면가열로 12시에는 동해에서 발달한 해풍(동풍계열)이 해안선에서 내륙으로 약 40km 지점까지 이르고 있다. 15시에는 12시 보다 약 20km 정도 더 내륙으로 해풍이 진입하고 있었다. 그 후 18시까지 해풍의 강도는 더 강화되었으나 진입거리는 15시와 거의 같은 위치에 있었다. 야간(21시)이 되면서 해안에서의 해풍은 점차 약화되는 추세를 보이거나 해풍의 전단부는 가지산과 보현산의 서쪽 경사면에서 발달하는 산풍과 합쳐져 더 강화되는 것을 볼 수 있다. 자정에는 해안가에서 약한 육풍이 불기 시작하는 것을 볼 수 있다.

해안선 부근에서는 해륙풍의 발달·소멸이 시간대에 따라 뚜렷이 구분되지만, 내륙에서는 해륙풍과 산곡풍의 순환이 병합되면서, 해풍순환의 에너지원은 소멸되는데(21시) 해풍전단부에서는 산곡풍의 영향으로 해풍이 강화되는 것과 같이 매우 복잡한 현상을 보이고 있다.

### III.2.2 해륙풍의 연직구조

해륙풍의 연직구조를 알아보기 위해 연직단면도를 분석하였다. 그림3은 동서바람성분(U)과 연직속도성분(W)으로 작성한 연직단면도이다. 연직단면도는 월성부지를 지나는 동서방향(그림1의 XY성분)으로 작성한 것이다. 그림3에서 09시에는 지상 200m까지 서풍의 육풍이 불다가 12시에는 지상 약 500m까지 해풍이 형성되며, 내륙 약 40km 지점의 해풍 전단부에서는 수평바람의 수렴으로 상승운동이 나타나고 있다. 15시에는 해풍이 강화되면서 해풍층의 두께는 약 700m 까지 두터워졌으며 해풍전반부의 상승운동도 더 강화되고 있다. 이런 경향은 18시까지 지속되었고 상승운동은 더욱 강화되었다. 21시에 해풍은 점차 약화되어 18시까지 뚜렷하게 형성되던 해풍 순환구조가 점차 와해되기 시작하여 24시에는 해풍 순환구조는 완전히 사라지고 육풍의 순환구조가 형성되기 시작하였다.

내륙 약 70km 지점에 있는 낮은 골짜기에 의하여, 해풍과 같이 뚜렷한 순환구조를 갖는 것은 아니지만, 골짜기를 중심으로 산곡풍이 부는 것을 볼 수 있다. 12시에서 18시까지는 골짜기로 부터 산의 정상으로 부는 곡풍이 나타나고 있고, 그 이후에는 정상으로 부터 골짜기로 부는 산풍이 형성되고 있음을 볼 수 있다.

### III.2.3 모델결과와 관측치의 비교

현 모델의 특성을 이해하기 위해 포항과 울산기상대에서 5년간(1988-1992년) 관측한 바람자료와 관측지점에서 가장 인접한 격자점의 모델결과를 서로 비교해 보았다.

그림4는 선택한 기상조건(약한 북풍의 지균풍이 부는 맑은 날)하에서 포항과 울산에서 관측된 풍향·풍속의 일변화와 인접 격자점에서 얻은 모델 풍향·풍속의 일변화를 나타낸 것이다. 그림4에서 두지점 모두 풍속, 해풍의 시작과 끝나는 시간대 그리고 해풍의 방향등은 관측치와 유사하게 모의하고 있음을 알 수 있다 그러나 울산지역에서 18시에 관측에는 없는 최대풍속이 모델에서는 나타난다는 것과 21시 이후 해풍에서 육풍으로 변할 때 모델풍향은 남풍에서 순전하여 서풍으로 변화하는 반면에 관측풍향은 동풍에서 반전하여 북서풍으로 변화한다. 이러한 차이점은 포항에서도 나타난다. 이는 모델의 단위격자거리가 15km로 지형의 영향을 세밀하게 모사하지 못하는 것으로 판단된다. 따라서, 부지주변에서는 지형을 더 조밀하게 포함시킬 수 있는 미세격자 해륙풍 모델을 도입할 필요가 있다.

#### IV. 결 론

월성원전 가동에 따른 환경방사선 영향평가의 정확도 및 신뢰도 제고를 위해 복잡한 국지기상 현상을 세밀하게 모사할 수 있는 해륙풍 모델을 개발하여, 월성원전 주변지역의 종관기상장을 분류하여 봄철 약한 북풍의 지균풍이 부는 맑은 날에 대하여 해륙풍 모델을 수행시켜 월성원전 지역의 해륙풍 특성을 분석하고 해륙풍 모델의 결과와 관측결과를 비교하였다.

월성원전 지역에서 해륙풍이 발생에 최적조건인 지균풍이 약한 맑은 날의 발생빈도율은 가을철(25.7%), 여름철(18.7%), 봄철(16.0%), 겨울철(7.4%) 순으로 나타났고 년평균으로는 17% 정도로 나타났다.

해륙풍 모델의 결과를 분석해 보면 월성원전 지역의 해륙풍은 태백산맥의 영향으로 산곡풍과 병합되어 매우 복잡한 양상을 띄고 있다. 봄철 약한 북풍의 지균풍이 부는 맑은 날 월성원전 지역 해풍의 특성은 09시를 전후하여 발달하기 시작하여 18시까지 강화되다가 점차 약화되기 시작하여 21시를 전후하여 육풍으로 전환된다. 연직적으로는 최대 700m까지 해풍이 발달하는 것으로 나타났다.

모델결과와 관측치를 비교한 결과 대체적으로 해륙풍을 잘 모사하는 것으로 나타났으나 모델의 격자거리가 해풍의 강도와 풍향의 변화에 대하여 세밀하게 모사하기에는 다소 큰 것으로 판단되어 부지주변에서는 지형을 더 조밀하게 포함시킬 수 있는 미세격자 해륙풍 모델을 도입할 필요가 있다.

#### 참 고 문 헌

1. US NRC, Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents Routine Releases from Light Water Reactor, *Reg. Guide 1.111*, 1977.
2. Atkinson, B. W., *Meso-scale Atmospheric Circulation*, Academic Press, London, pp125, 1981
3. Park, S. U. and I. H. Yoon, The Characteristic Feature of Local Weather Phenomena under the Various Synoptic Winds over South Korea, *J. of Kor. Meteor. Soc.*, 27(2), 87-118, 1991.
4. Park, S. U., Results of a Three Dimensional Numerical Model of Land-Sea Breezes over South Korea, *J. of Kor. Meteor. Soc.*, 26(2), 78-103, 1990.

표1. 5년간 우리나라 바람장과 울산에서  
관측한 운량에 따라 분류된 발생일수

풍향	경우	빈도수 (빈도율,%)				합계
		봄	여름	가을	겨울	
북	111	23( 5.0)	24( 5.2)	44( 9.7)	13( 2.9)	104
	112	35( 7.6)	19( 4.1)	30( 6.6)	20( 4.4)	104
	121	52(11.3)	8( 1.7)	70(15.4)	92(20.4)	222
	122	28( 6.1)	14( 3.0)	15( 3.3)	32( 7.1)	89
동	211	3( 0.7)	17( 3.7)	11( 2.4)	0( 0.0)	31
	212	16( 3.5)	29( 6.3)	22( 4.8)	6( 1.3)	73
	221	0( 0.0)	4( 0.9)	3( 0.7)	2( 0.4)	9
	222	5( 1.1)	23( 5.0)	8( 1.6)	2( 0.4)	38
남	311	6( 1.3)	16( 3.5)	4( 0.9)	1( 0.2)	27
	312	25( 5.4)	39( 8.5)	23( 5.1)	7( 1.6)	94
	321	9( 2.0)	18( 3.9)	1( 0.2)	17( 3.8)	45
	322	30( 6.5)	51(11.1)	19( 4.2)	9( 2.0)	109
서	411	31( 6.7)	28( 6.1)	48(10.5)	20( 4.4)	127
	412	36( 7.8)	57(12.4)	38( 8.4)	29( 6.4)	160
	421	95(20.7)	45( 9.8)	84(18.5)	152(33.6)	376
	422	66(14.3)	68(14.8)	35( 7.7)	50(11.1)	219
		460(100)	460(100)	455(100)	452(100)	1827

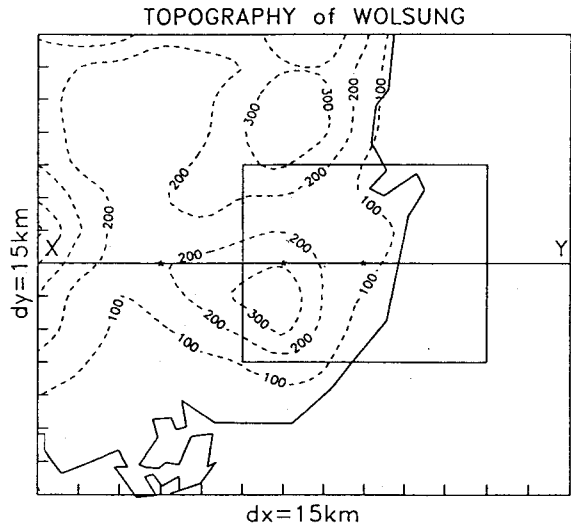


그림1. 월성원전 주변지역 분석영역과 지형도.  
직선XY는 발전소 부지를 통과하는 직선이며  
점선은 해발고도의 등고선(m)을 나타낸다

표2. 모델 초기화를 위한 입력 매개변수

Horizontal grid interval	15 km
Horizontal grid size	46 X 46
Vertical levels	13
Time step	10 s
Integration initialization	0600 LST
Mean Latitude	36.5 °N
Solar declination	3.6 °
Geostrophic wind speed	2.8
Geostrophic wind direction	356 °
<b>Land surface characteristics</b>	
Initial surface pressure	1015.2 mb
Albedo	0.2
Roughness length	5 cm
Sea surface temperature	282.2 °K
Free atmospheric potential temperature gradient	4 °K/km
Land surface temperature	281.15 °K
<b>Soil characteristics</b>	
Density	1.21 g/cm
Diffusivity	0.005cm <sup>2</sup> /s
Surface wetness	0.3
Depth of constant soil temperature	20cm
Constant soil temperature	282 °K
Saturation soil moisture	0.5

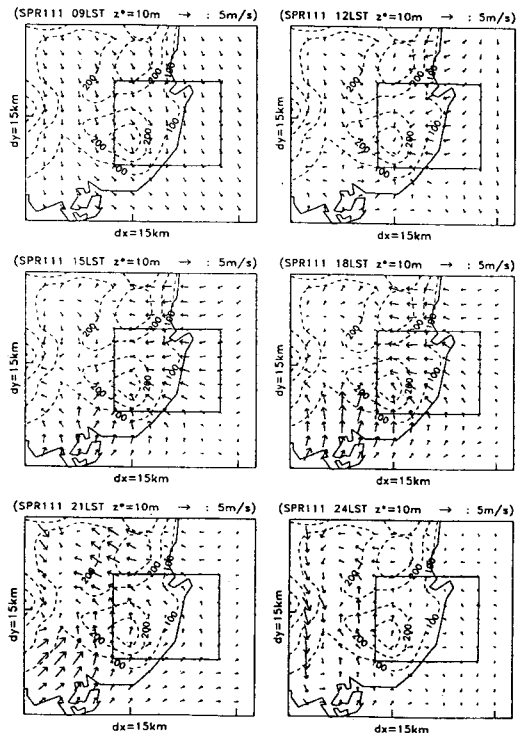


그림2. 봄철 약한 북풍의 지균풍이 부는 맑은 날  
지상 10m 고도에서의 수평바람분포.  
(그림에서 LST는 지방표준시의 약자)

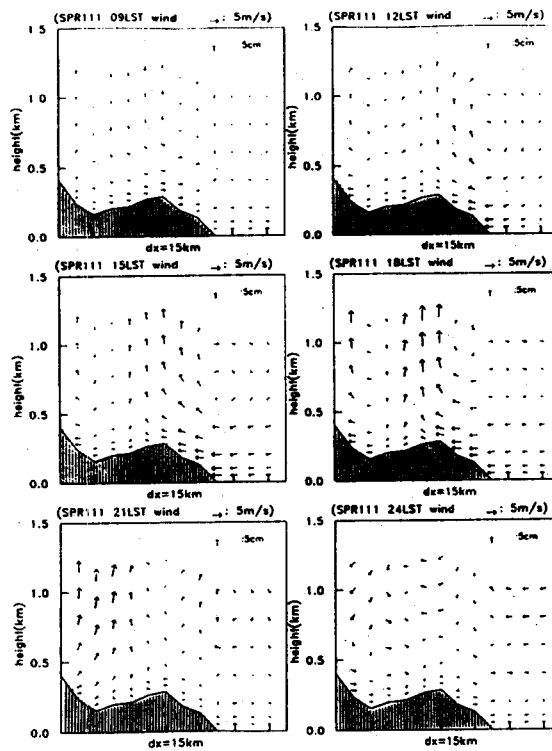


그림3. 종관기상조건이 111인 경우의 부지지역을 지나 동서방향으로 작성한(그림1의 직선XY 방향) U-W 바람벡터의 단면도

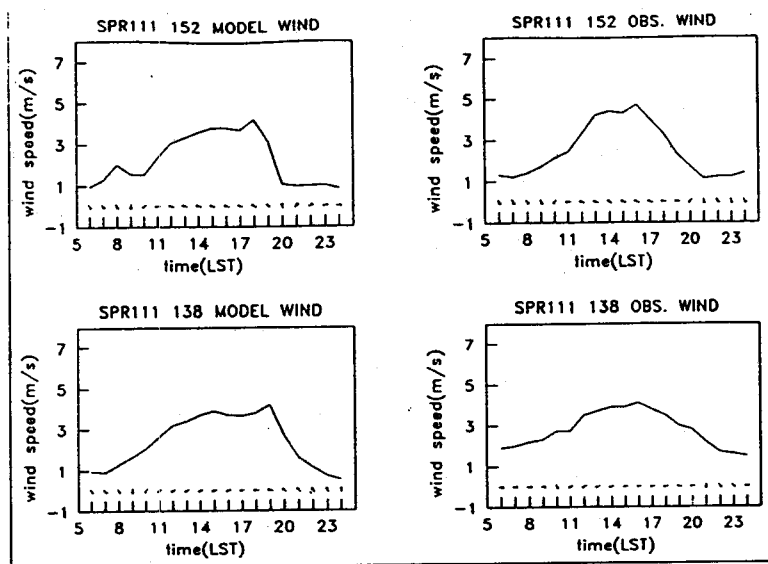


그림4. 종관기상조건이 111인 경우 울산(152)과 포항(138)에서 관측한 지상 10m 고도의 바람(오른쪽)과 모델결과 바람(왼쪽)의 일변화. (그림의 화살표는 풍향을 나타낸다.)