

복잡지형의 공기흐름에 대한 수치해석 연구

박미선*, 정해선*, 정효준*, 황원태*, 김은한*, 한문희*, 김혜숙†

*한국원자력연구원, †한경대학교 환경공학과

2014년 1월 24일 접수 / 2014년 2월 28일 1차 수정 / 2014년 3월 3일 채택

방사성오염 물질의 대기 중 확산에 대한 해석은 일반적으로 보수적인 결과를 도출하기 위하여 가우시안 플룸식을 적용한다. 본 연구에서는 가우시안 플룸식을 사용할 경우 반영하기 힘든 복잡지형에 대해 보다 상세하게 공기 흐름과 방사성물질의 이동확산을 해석하기 위하여, 전산유체역학을 이용하여 월성 원자력발전소 부지에 대한 수치해석 연구를 수행하였다. 그 결과, 북서쪽에 위치한 산과 남동쪽에 위치한 바다로 인해 북서풍과 남동풍의 경우에는 지형으로 인한 공기 흐름의 변화가 크게 나타났다. 북서풍은 대기가 산 지형을 따라 흐르면서 수직방향으로 가장 불안정한 흐름을 보이며, 남동풍은 대기가 안정적으로 원전 쪽으로 흘러 들어오나 건물과 지형에 의해 흐름을 방해받아 유동이 급격하게 불안정해진다. 반면 지형에 의한 공기 흐름 방해가 작은 북동풍과 남서풍은 원전 건물에 의해 공기의 흐름이 방해를 받아 건물 뒤쪽으로 후류영역이 크게 형성됨을 확인하였다.

중심어: 전산유체역학, Computational fluid dynamics(CFD), 대기확산, 공기 흐름

1. 서론

원자력발전소 및 기타 시설물의 건설과 운전 시에 방사성물질이 시설지역과 인근 환경에 미치는 영향을 조사하고, 방사성물질 방출사고를 대비하기 위하여 시설 내부의 작업자와 인근 지역주민의 건강 및 생활에 미칠 수 있는 영향 등을 사전 평가한다.

방사성물질의 대기 중 거동을 원전 시설 주변과 제한 구역 경계 내의 비교적 짧은 거리에 대해 보수적으로 평가하기 위하여 일반적으로 가우시안 플룸 모델(Gaussian plume model)을 적용하며 경우에 따라서 모델 식이나 값들을 수정하여 적용한다. 그러나 가우시안 플룸 모델은 평탄한 지형에서 오염물질 확산을 정규분포로 가정한 것으로, 원전 지역의 지형과 원전 시설 구조물에 의한 공기 흐름을 세밀하게 반영하지 못한다. 또한, 가우시안 모델식은 풍향방향에 대해 풍속이 일정하다는 가정으로 수직 방향에 대한 유체간의 마찰력인 점성력을 반영할 수 없으므로 고도에 따른 유속의 변화를 고려하지 못한다는 한계점이 있다.

최근에는 대기확산 및 공기 흐름의 영향을 파악하기 위한 환경영향평가 방법으로 전산유체역학(computational fluid dynamics, CFD) 방법을 활용하기도 한다. 전산유체역학은 유체 거동을 지배하는 질량, 운동량, 에너지 보존 방정식에 따른 연속적인 유체의 지배방정식인 나비에 스토크스(Navier-Stokes) 방정식을 이용하여 유체의

거동을 수치해석하는 학문으로 계산영역 내의 유체를 수치적으로 계산하여 가시화한다. CFD는 현재에도 지속적으로 연구개발되고 있는 학문으로 컴퓨터가 발달함에 따라 시간 및 비용 절약 측면이 뛰어나다는 강점이 두드러지고 있다. 일반적으로 CFD는 실측실험과 상호보완적으로 이용되며, 근사해에 의한 해석 결과의 오차를 검증하기 위하여 실험과의 비교분석 과정을 거치거나 타 모델 결과와 비교하는데 이용된다. 선례가 많은 경우 수치해석 수행 결과를 토대로 유동(fluid flow)을 예측하기 위한 목적으로 선 수행되기도 한다. CFD로 단상과 다상 유동, 연소 및 화학반응 등에 대해 수치해석이 가능하고 항공, 선박, 토목, 플랜트, 원자력 등 다양한 분야에 활용되고 있다. ‘풍동실험과 CFD 모델을 이용한 복잡지형의 가스확산 연구’[1]에서는 실제지형의 규모를 축소시켜 수행한 확산실험과 비교하여 오염물질 확산에 대한 수치해석 결과를 검증한 바 있으며, ‘대기확산에서 CFD 활용연구(II) - 지형을 고려한 오염물질 확산’[2]에서는 EPA가 권장하는 대기확산 모델들의 단점 및 한계점을 보완하기 위한 수치해석 연구가 이미 선행된 바 있다.

본 연구에서는 가우시안 플룸식을 적용한 기존의 모델 및 프로그램 사용 시보다 정밀한 공기 흐름을 확인하기 위하여 전산유체역학 기법으로 월성 원전 지역에 대한 수치해석을 수행하였다. CFD 프로그램인 STAR-CCM+를 이용하여, 월성 원전의 주변 지형과 원전 호기 형상을 구축하여 풍향과 풍속에 따른 공기 흐름을 확인하고 사고 발생 시 배출되는 기체상 방사성물질의 이동 및 농도분포에 대한 연구를 수행하였다.

교신저자 : 박미선, pmisun@kaeri.re.kr
대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111 한국원자력연구원



Fig. 1. Computational boundary of Wolsong nuclear power plants.

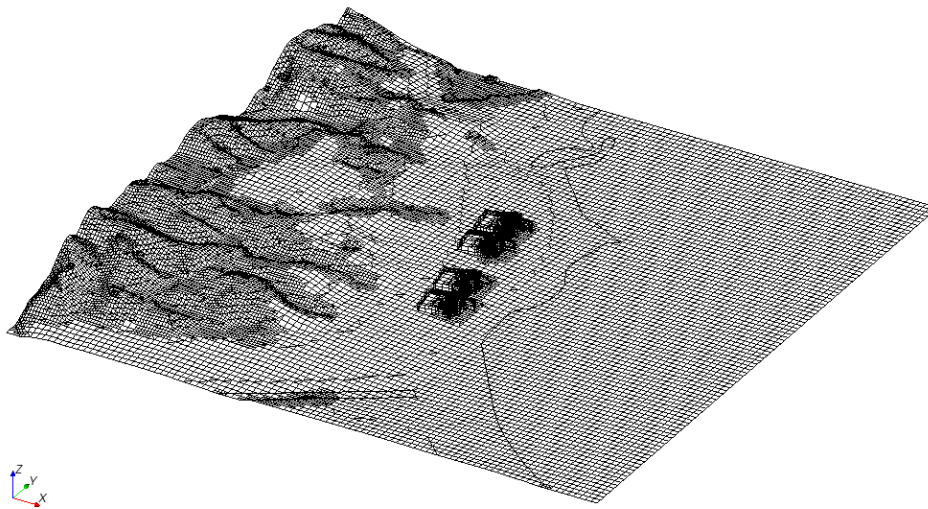


Fig. 2. 3D mesh for the numerical analysis.

2. 연구방법

2.1 수치해석 대상 및 입력 조건

월성에 위치한 원자력발전소는 4개의 원자로 건물 및 부속건물들로 구성되어 있으며 북서쪽과 남동쪽으로 산과 바다가 위치하고 있다. 북서방향과 남동방향에 위치한 산과 바다의 지형적 영향 및 계절에 따른 주풍향을 고려하고, 북동에서 남서 방향으로 일직선으로 배치되어 있는 원전 건물에 의한 공기 흐름의 영향을 파악하기 위해 정사각형의 도메인 형상을 45도 조정하였다. 계산을 위한

도메인 영역은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 북동방향으로 2 km, 남서방향으로 2 km, 수직방향으로 0.5 km의 범위로 만들고 영역의 중앙에 원전 건물 4개를 위치시켰다. 계산 영역은 지형과 건물을 제외한 영역으로, 이를 위한 월성 원전 지역 부근의 지형은 국토지리정보원의 수치지도에서 추출하였다. 건물 형상은 STAR-CCM+ ver. 7.06의 CAD를 이용하여 구축한 후, 각 건물에 대한 해당좌표에 위치시켜 계산영역을 Fig. 2와 같이 최종적으로 생성하였다.

입구(inlet)면은 풍향과 동일방향에 위치한 도메인 면

Table 1. Seasonal Wind Velocity and Main Wind Direction of Areas near Wolsong Nuclear Power Plants (2001~2010).

	Annual	Spring	Summer	Fall	Winter
Avg. Vel (m/s)	2.13	2.29	1.96	1.98	2.28
Main Direction	NW	WNW	NE	NNE	NW
Max. Vel (m/s)	18.30	12.40	14.80	18.30	11.10

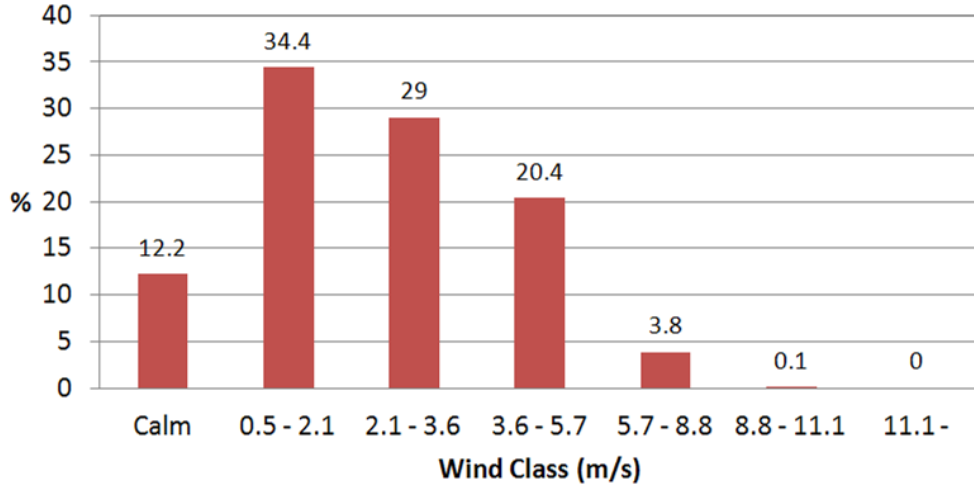


Fig. 3. Wind velocity distributions near the Wolsong site in 2010.

으로 지정하였으며, 입구면 맞은편의 면을 출구(outlet) 조건으로 지정하였다. 도메인의 상부면과 풍향에 따른 입출구면을 제외한 측면은 대칭(symmetry) 조건으로 지정하였다. inlet 값으로 입력되는 풍속은 월성 인근의 울산 기상청에서 2001년부터 2010년까지 측정된 10년간의 기상자료[3]를 참고하였다. 10년간의 풍속값을 평균화하여 Table 1에 정리하여 나타내었으며, 2010년의 풍속별 빈도분포는 Fig. 3에 나타내었다. 풍속과 빈도수를 고려하여, 평균과 최대 풍속값을 2 ms^{-1} 와 7 ms^{-1} 로 입력하였다. 또한, 풍속의 안정(calm) 조건 기준치인 0.5 ms^{-1} 에 대하여 추가적인 수치해석을 수행하였다. 계산영역의 inlet에는 고도에 따른 속도 차를 고려하기 위하여 입력되는 풍속값에 대하여 다음의 Deacon 식을 적용하였다.

$$\frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

또한, 대기 중으로 기체상 방사성물질이 누출 되는 가상의 사고 시뮬레이션을 위해 각 원전 호기에 설치되어 있는 4개의 굴뚝에서 방사성물질이 방출된다고 가정하였다. 이 때 방출되는 방사성물질은 ^{137}Cs 로 각 굴뚝에서 1 Bq s^{-1} 가 방출된다고 가정하였다.

2.2 수치해석 방법

대기 흐름과 방사성물질의 확산을 계산하기 위한 지배방정식은 질량, 운동량, 에너지 보존 방정식으로부터 도출하여 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이는 단위체적당 시간에 따른 물리 변화량은 대류(이동), 확산, 단위체적당

생성항의 합임을 의미한다.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad (2)$$

위의 식에서 ϕ 는 단위질량당 일반 종속변수로 x,y,z 각 방향에 따른 속도, 농도, 난류운동에너지(k), 에너지 소산율(ϵ) 등을 나타내며, ρ 는 유체의 밀도, Γ_ϕ 와 S_ϕ 는 각각 해당 변수의 난류확산계수와 생성항을 의미한다[4].

난류 유동은 다양한 범위의 와크기(eddies length)와 특정 시간에서 나타나 정확한 계산이 어려우므로, 정상상태의 난류를 해석하는 경우에는 변수를 시간 평균하는 RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) 방식이 널리 쓰인다. 비선형 편미분 방정식을 시간 평균하면 다양한 변동항(turbulent fluctuations)으로 인하여 레이놀즈 응력(Reynolds stress)이나 점성(eddy viscosity) 등에 관련된 미지항들이 추가적으로 생성되므로 이에 대한 지배방정식을 모델화하기 위한 난류모델이 필요하다. 일반적으로 k-e 난류 모델이 가장 널리 이용되고 있다[5]. 특히, 난류 유동에 대한 정확성을 높이기 위해 Shih et al., (1995)에 의해 개발된 Realizable k-e 난류 모델은 표준 k-e 모델을 바탕으로 난류에너지 소산율 ϵ (turbulent dissipation rate)에 대하여 새로운 수송방정식을 적용시켰다. 또한, 상수값으로 대입하였던 C_μ 를 수식화함으로써 난류 에너지를 과대평가 할 수 있는 문제점을 보완하여 선회하는 전단흐름(rotating homogeneous shear flow), 경계개방 전단흐름(boundary-free shear flow), 후향계단유동(backward facing step flow) 등과 같은 흐름에서 기존

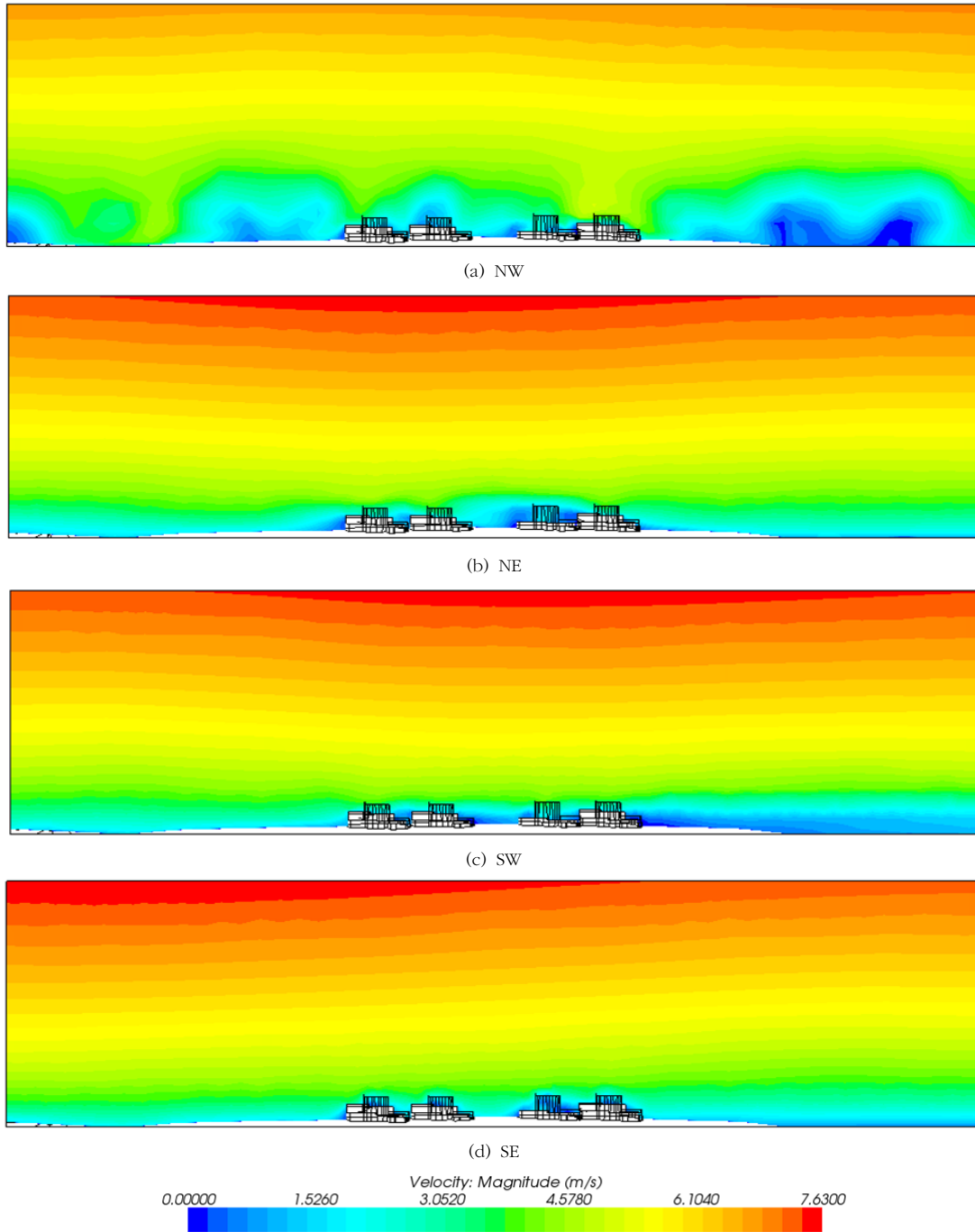


Fig. 4. Vertical scenes of velocity magnitude according to wind directions with inlet velocity condition 2 ms^{-1} ; (a) NW, (b) NE, (c) SW, and (d) SE.

모델보다 정확한 결과를 도출해 낼 수 있다[6]. 아래는 난류모델의 등방성 와동점성(isotropic eddy viscosity) 모델을 나타내는 일차형태(liner-form)의 레이놀즈 응력 텐서(Reynolds stress tensor) 식과 수식화된 C_μ 를 나타낸 것이다.

$$-\overline{u_i u_j} = \nu_T (U_{i,j} + U_{j,i}) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (3)$$

$$\nu_T = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

$$C_\mu = \frac{1}{A_o + A_s U^{(*)} \frac{k}{\varepsilon}} \quad (5)$$

위의 식에서 $U_{i,j}$ 는 평균 변형율 텐서(mean deformation rate tensor)를 의미하며, k 와 ε 는 운동에너지와 소산율을 나타낸다. C_μ 수식의 항들은 각속도를 가

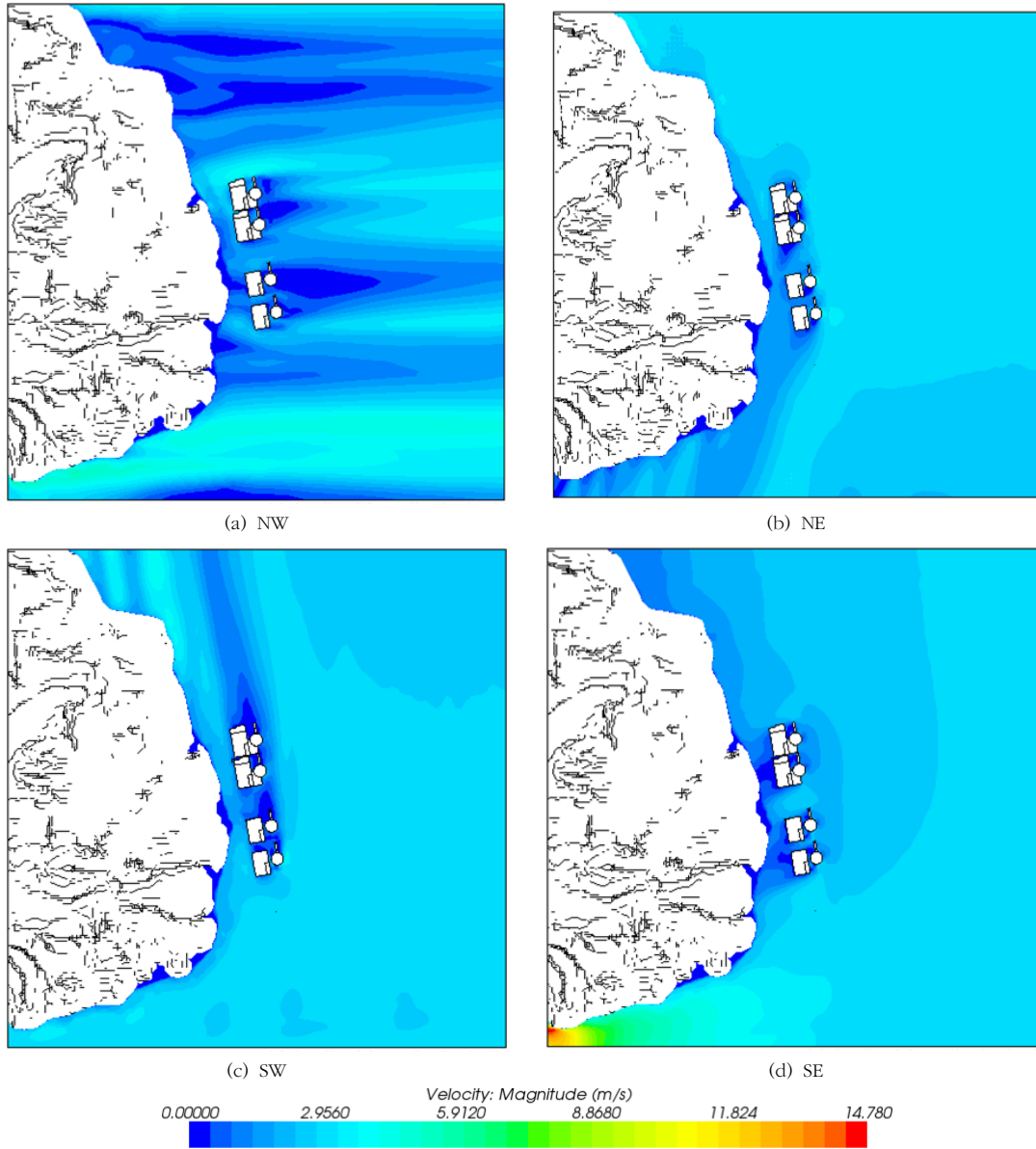


Fig. 5. Horizon scenes of velocity magnitude on height considering respiration according to wind directions with inlet velocity condition 2 ms⁻¹; (a) NW, (b) NE, (c) SW, and (d) SE.

지는 회전기준좌표계(rotating reference frame)에서 나타나는 평균회전비(mean rotation rate)와 변형속도(strain rate)를 고려한 계수들로 표현된다.

지배방정식을 이산화하기 위해 유한체적법(finite volume method, FVM)을 이용하였으며, 월성 원전의 복잡지형 및 건물에 의해 메쉬(mesh) 크기는 다양하게 구성하였다. 아래의 식으로 유체의 흐름을 분류하여 벽함수(wall function)에 적용하지만, 일반적인 난류모델에서는 벽 근처의 유동에 대하여 높은 레이놀즈(high y+)에 대한 벽함수를 적용한다[7, 8].

$$y^+ = \frac{u_\tau y}{\nu} \tag{6}$$

Realizable k-e 모델과 Two-layer 벽함수 방법을 결합

시킨 Realizable Two-Layer k-e 모델은 크고 작은 레이놀즈 수에 대하여 벽함수를 적용시킴으로써 계산영역 내의 메쉬 사이에서 종속변수가 연속성을 가질 수 있도록 완충 역할을 한다. 메쉬 크기가 큰 경우 일반적인 난류모델로 해석되고, 메쉬 크기가 점성 저층(viscous sublayer)을 풀어야 할 정도로 작으면 낮은 레이놀즈 수에 대한 모델로 해석이 가능하므로 본 연구와 같이 복잡지형으로 인해 메쉬의 크기가 다양하게 분포하는 경우에 이용이 적합하다.

3. 결과 및 고찰

3.1 공기 흐름 해석

월성 원전 지역은 북서쪽과 남동쪽으로 바다와 산이

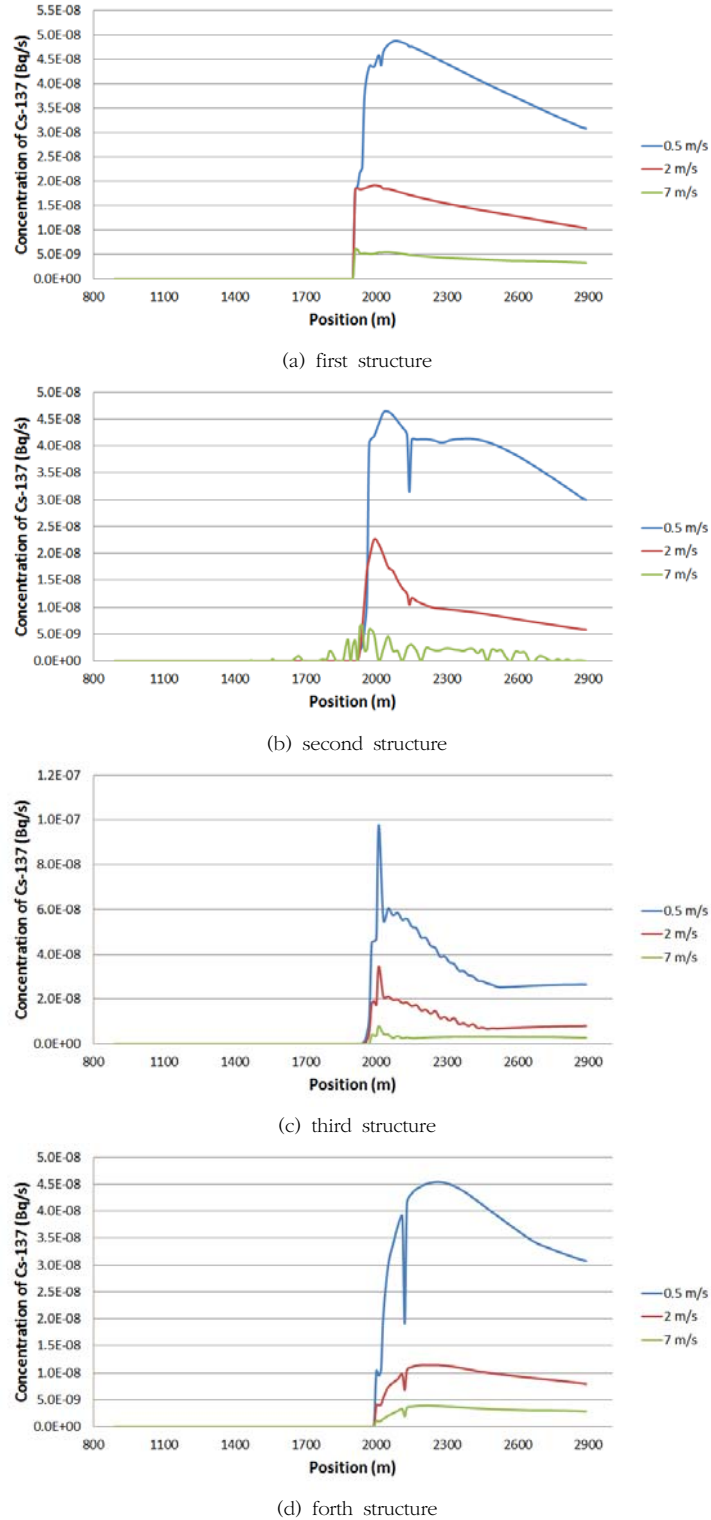


Fig. 6. Ground concentration of ^{137}Cs according to wind velocities at wake of each nuclear power plant structure for NW direction.

위치하고 있으며 북서풍과 남동풍은 우리나라가 여름과 겨울의 주풍향이므로, 이 지역에서는 풍속 뿐만 아니라 풍향 역시 대기확산에 중요한 변수로 작용한다. 본 연구에서는 우리나라의 주풍향과 원전 인근의 지형, 건물 뒤 후류영역 형성을 고려하여 연구결과가 비교적 뚜렷한 경향을 나타내며 서로 비교 분석하기 용이한 북서풍, 북동

풍, 남동풍, 남서풍의 4개 풍향 변수조건에 대해 수치해석을 수행하였다. 풍향에 따른 월성 지역의 지형과 원전 시설물에 의한 공기흐름 영향을 확인하고자 평균 풍속인 2 ms^{-1} 를 입력조건으로 하여 계산영역 내 유속변화 및 분포에 대하여 분석하였다.

공기의 유동은 유체와 지표면과의 마찰력과 유체 사이

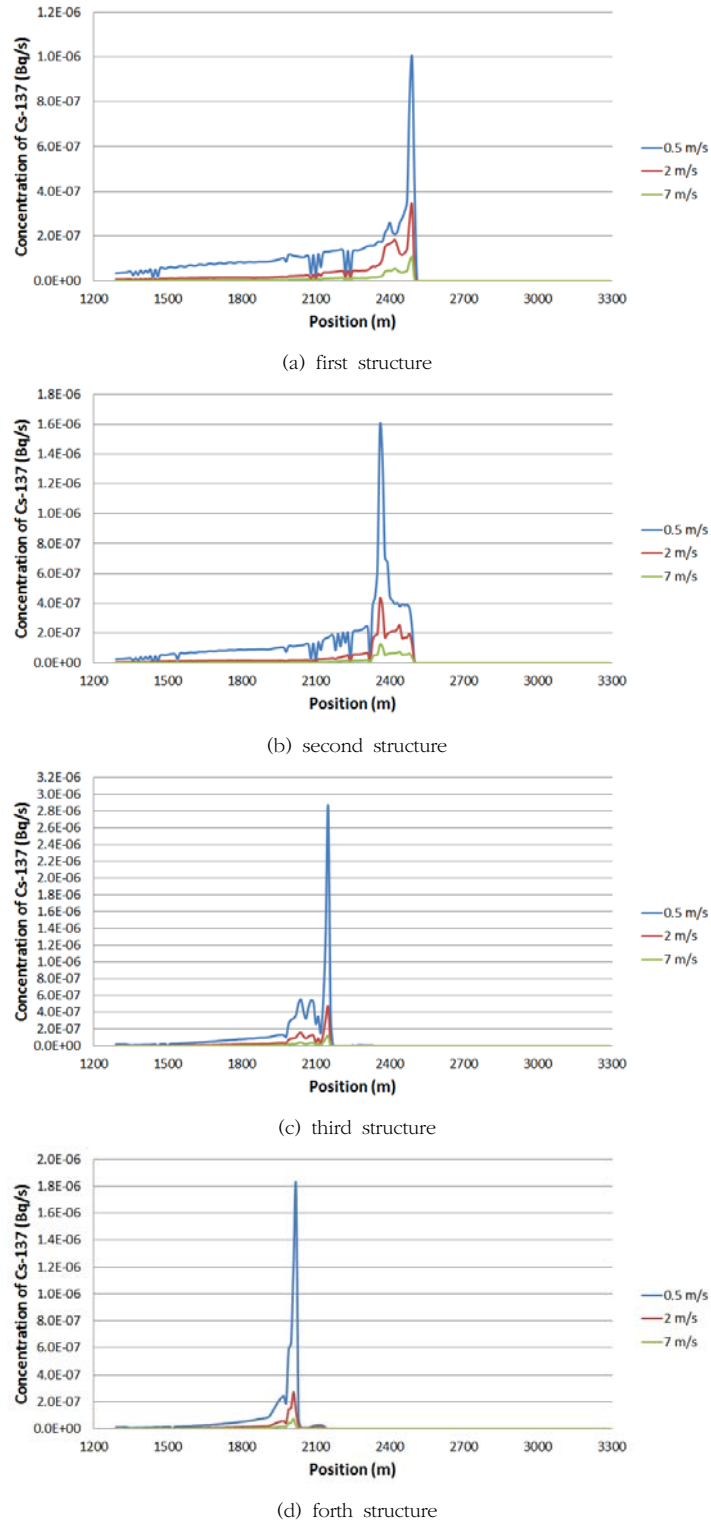


Fig. 7. Ground concentration of ¹³⁷Cs according to wind velocities at wake of each nuclear power plant structure for NE direction.

의 점성력으로 인해 고도에 따라 속도 변화를 가지며, 유동 경로에 지형과 건물이 위치하면 공기 흐름에 방해가 되어 불안정적인 유동 양상을 띠게 된다. 이러한 현상은 Fig. 4에 나타낸 고도에 따른 속도 프로파일로 확인이 가능하며, 특히 유동의 방해받지 않은 남동풍에서 뚜렷하게 나타난다. 남동풍은 다른 풍향과 달리 해양에서 불

어오는 바람으로 공기 흐름에 대한 방해물이 없을 뿐 아니라 물과 공기 사이의 마찰력이 적어 풍향에 대한 연구 변수들 중 고도에 따른 유동이 가장 안정적으로 나타난다. 반면, Fig. 4 (a)에 나타낸 북서풍의 경우에는 대기가 산 지형의 영향을 받아 골짜기를 타고 평탄한 지형으로 흐르면서 유속이 크게 변한다. 유속의 변화에 따라 지표

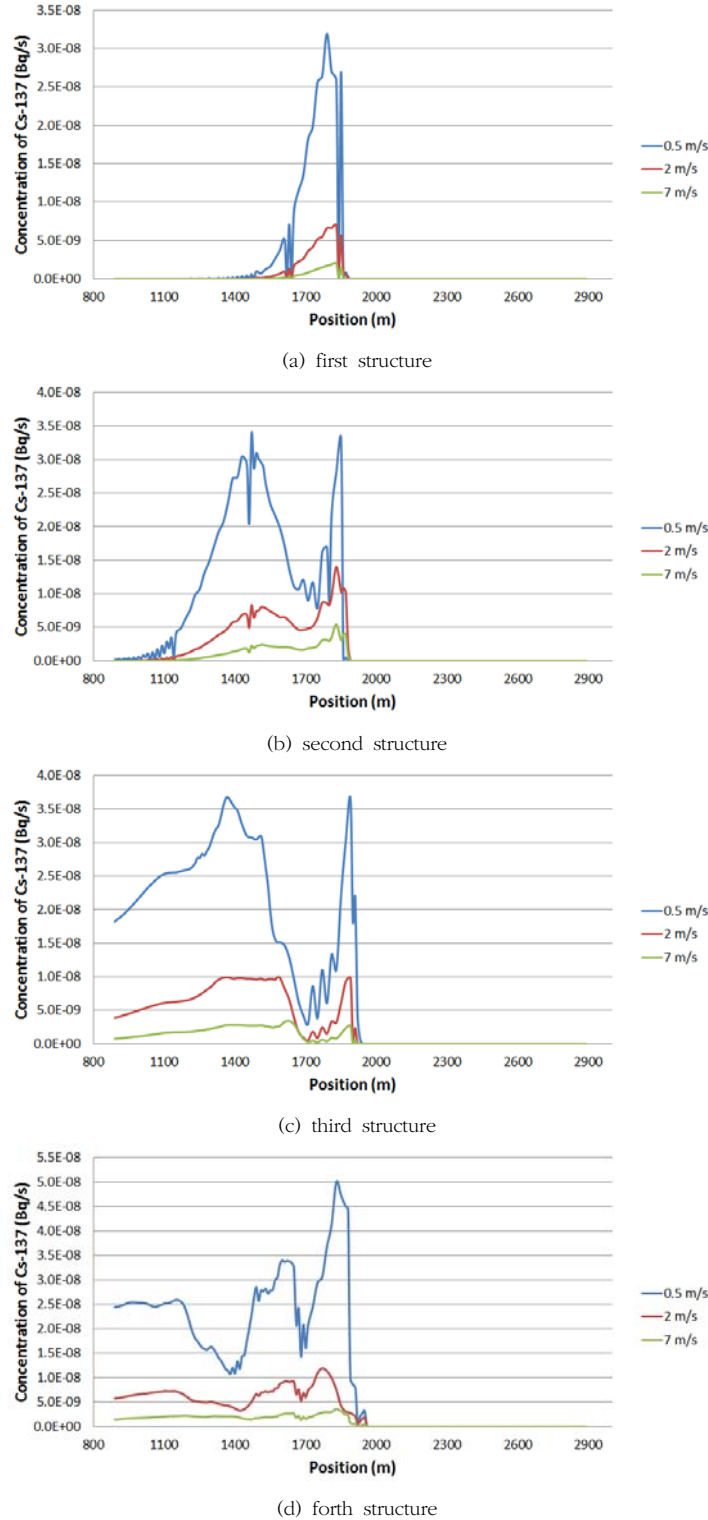
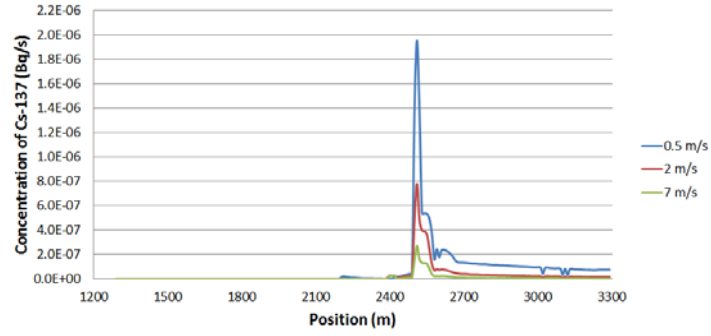


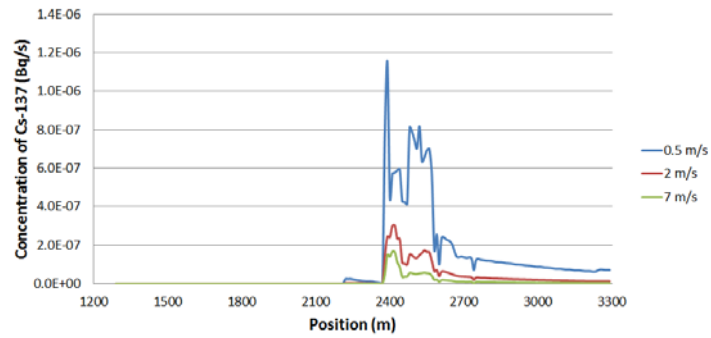
Fig. 8. Ground concentration of ¹³⁷Cs according to wind velocities at wake of each nuclear power plant structure for SE direction.

면 및 건물 부근까지 대기가 불안정하게 나타나며, 이러한 유속의 변화는 비교적 높은 고도까지 영향을 끼친다. 고도 500 m까지 고려했을 때 건물에 대한 일직선상에서의 평균과 최고 풍속은 각각 남동풍이 5.66 ms⁻¹, 7.63 ms⁻¹, 북서풍이 4.95 ms⁻¹, 7 ms⁻¹로 지형으로 인한 영향이 현저하게 나타난다. 사람 호흡 위치를 감안한 1.5 m 높이

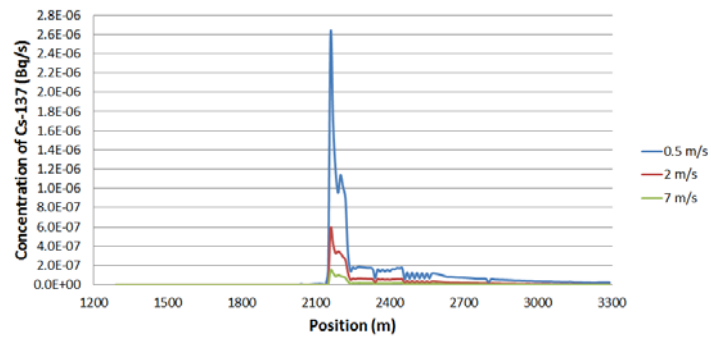
에서의 유동흐름을 나타낸 Fig. 4에서도 북서풍과 남동풍의 유속 및 유동 안정 정도를 비교해 볼 수 있다. 남동풍의 경우에는 건물 뒤쪽으로 산 지형이 위치하여 지반이 점차 높아지므로 사고 발생 시 방사성물질의 농도가 가장 짙을 수 있는 후류영역이 가장 작게 나타나고, 반대로 북서풍은 지형으로 인해 전반적으로 공기의 흐름 속도가 느



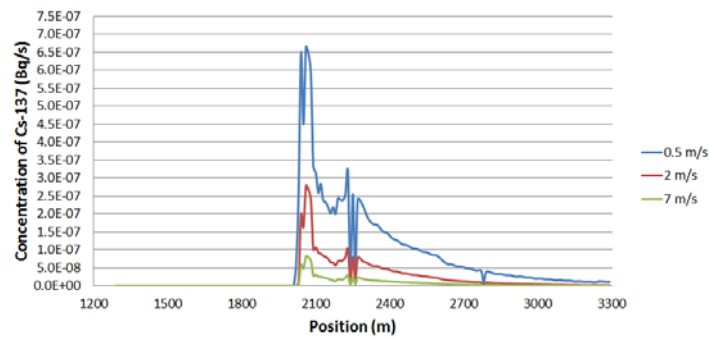
(a) first structure



(b) second structure



(c) third structure



(d) fourth structure

Fig. 9. Ground concentration of ¹³⁷Cs according to wind velocities at wake of each nuclear power plant structure for SW direction.

려지므로 유동이 건물로 인해 방해 받을 경우 후류영역이 가장 크게 나타난다.

남동풍 및 북서풍과 달리, 북동풍과 남서풍의 경우는

비교적 완만한 지반에서 대기가 흐르므로 지형으로 인한 유동 방해 없이 건물의 일직선상에서 고도에 따른 풍속이 안정적으로 나타난다. 두 풍향에 대한 건물 일직선상의

평균과 최고속도는 각각 북동풍이 5.7 ms^{-1} , 7.55 ms^{-1} , 남서풍이 5.66 ms^{-1} , 7.56 ms^{-1} 로 비슷하게 나타난다. 단, 북동풍의 경우에는 남서방향에 있는 산의 완만한 가장자리를 따라 산과 건물 사이로 공기의 흐름이 유도되면서 남서방향의 3번째 건물부터 정체영역이 작아진다. 이로 인해 Fig. 5 (b)와 Fig. 5 (c)에서 확인되는 바와 같이 북동풍은 건물 후편에 나타나는 정체영역이 작고 미속으로 넓게 분포되어 있는 반면 남서풍에서는 유동방향을 따라 건물 뒤쪽으로 후류영역이 뚜렷하게 나타난다.

3.2 방사성물질의 농도분포

만일의 사고 발생 시 월성 원자력발전소에서 기체상 방사성물질이 유출되면, 기상학에 따른 공기 흐름을 확인하여 대기 중으로 배출된 오염물질의 분포정도를 간접적으로 확인해 볼 수 있다. 일반적으로 구조물의 후류영역에서는 유체의 움직임이 정체하거나 속도가 다른 유체간의 점성력으로 인해 유속이 느려지면서 공기 흐름에 의해 이동 확산되는 오염물질의 농도가 크다. 월성 원전 시설물의 원통형 부분은 시설물 중 가장 높이가 높으므로 바로 뒷부분에서 후류영역이 크게 나타날 가능성이 크며 방사성물질이 배출되는 굴뚝과 위치가 가깝다. 이러한 점들을 고려하여 각 호기의 원통 형상을 중심으로 지표면에서의 ^{137}Cs 농도(concentration of cesium, Bq s^{-1})를 Fig. 6 ~ 9에 나타내었다. 원통형 시설물을 중심으로 북서풍과 남동풍은 x축에 대하여 나타내었고 북동풍과 남서풍은 y축 방향에 대하여 나타내어 각 풍향에 따른 건물의 후류영역을 확인하고자 하였으며 4개의 호기는 북쪽에서부터 오른쪽순으로 순서를 매겨 나타내었다.

모든 풍향에서 후류영역 지점에 나타나는 오염물질은 대기의 움직임을 따라 확산되므로 미풍일수록 농도가 높게 나타난다. 또한, 대체적으로 같은 지점의 오염물질 농도분포는 비슷한 양상을 보이지만, 동일 변수조건하에서 각 건물의 후류영역에 나타나는 오염물질의 농도분포는 그래프에서 나타나는 바와 같이 서로 상이하게 나타난다.

북서풍의 경우에는 불규칙한 지형으로 인해 수직방향으로 불안정해진 대기 흐름을 따라 굴뚝에서 배출된 방사성오염 물질이 확산되므로 각 시설물의 후류영역에서 서로 다른 농도분포를 보인다. 남동풍의 경우에는 바다 쪽에서 매우 안정되게 불어오다가 건물과 인접하게 있는 지형에 의하여 대기 흐름이 급격하게 불안정해지는 것으로 판단된다. 건물 후편에 있는 복잡지형으로 인해 대기가 사방으로 퍼져나가며 대기가 산을 타고 이동하기 때문에 다른 풍향변수들에 비하여 건물 뒤편의 방사성오염 물질 정체 영역이 작게 나타난다.

Fig. 7과 Fig. 9에서 나타낸 북동풍과 남서풍의 기상 조건하에서는 지형으로 인한 공기 유동의 방해가 적고 건물에 의한 영향이 크기 때문에 대체로 비슷한 농도분포 양상을 가진다. 북서풍과 남동풍에 비해 유동 장애물의 크기가 작아 대기의 흐름 변동이 적으므로 이 풍향 변수의 경우 인근에 분포하는 오염물질의 농도가 크게 나타난다. 특히, 북동풍은 공기 흐름이 건물들의 배치와 일직선상으로 발생하면서 앞 건물과 인접하게 위치하고 있는 2

번째와 4번째 건물의 후류영역에 전방에 위치한 건물에 의해 정체된 오염물질이 나타난다. 남서풍은 대기가 산 가장자리를 따라 곡선으로 이동하므로 시설물이 서로 인접하게 위치하고 있어도 풍향에 대한 일직선상의 건물 후류영역에서 앞에 위치한 유동 방해물의 영향이 작은 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 풍향과 풍속에 따라 월성 원전 지역의 지형과 원전 다수호기가 공기 흐름에 미치는 영향을 수치해석 방법을 통해 연구하고, 사고 시 방사성물질의 대기 중 확산을 예측하고자 하였다. 이를 위해 국토지리정보원의 수치지도에서 월성 원전 지역의 지형을 추출하고 CFD 상용프로그램인 STAR-CCM+를 이용하여 건물 형상을 구축하는 과정을 통해 최종 계산영역을 생산하여 수치해석을 수행하였다.

계산 결과, 지형에 의한 영향이 미미한 북동풍과 남서풍은 원전 시설물에 의해 후류영역이 생성되며 이 영역에서는 정체되거나 느린 공기유속으로 방사성물질 방출 사고를 가정했을 때 비교적 높은 농도를 나타낸다. 반면, 북서풍과 남동풍은 원전 시설의 북서방향에 위치한 산으로 인해 높은 고도까지 대기가 불안정하게 움직인다. 북서풍의 경우에는 정체영역이 전반적으로 크게 형성되어 후류영역 내의 오염물질이 넓은 범위에서 낮은 농도로 분포되어 나타나고, 남동풍은 산 지형으로 인해 분산되는 공기 유동을 따라 방사성오염 물질이 확산되어 비교적 낮은 농도를 나타낸 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부와 원자력안전위원회의 중장기연구개발사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김석철, 김윤석, 박명규, 심우섭. 풍동실험과 CFD 모델을 이용한 복잡지형의 가스확산 연구. 한국대기환경학회 2004 추계학술대회. 77~69.
2. 최대련, 구윤서. 대기확산에서 CFD 활용연구(II) - 지형을 고려한 오염물질 확산. 한국대기환경학회 2009 춘계학술대회. 512~513.
3. 정효준, 황원태, 한문희, 김은한. 다수호기와 지형을 고려한 복합원자력부지 대기확산 특성 해석. KAERI/RR-3565. 2012.
4. Patankar SV. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Taylor & Francis. 1980.
5. Versteeg HK, Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics; The Finite Volume method, 2nd ed. Prentice Hall. 2007.
6. Shih TH, Liou WW, Shabbir A, Yang Z, Zhu J. A new k-ε eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows. Computers Fluids.

- 1995;24(3):227-238.
7. Ariff M, Salim SM, Cheah SC. Wall Y+ Approach for Dealing with Turbulent Flow over A Surface Mounted Cube: Part 1 - Low Reynolds Number. Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. 2009.
8. CD-adapco. User guide STAR-CCM+ ver. 7.06. 2012.

A Numerical Study for the Air Flow on Complex Terrain

Mi Sun Park^{*}, Hae Sun Jeong^{*}, Hyo Joon Jeong^{*}, Won Tae Hwang^{*}, Eun Han Kim^{*}, Moon Hee Han^{*}, and Hey Suk Kim[†]

^{*}Korea Atomic Energy Research Institute, [†]The Department of Environmental Engineering at Hankyong National University

Abstract - The interpretation on the diffusion of radiation contaminants in air is usually to apply a Gaussian plume equation that obtains normal distributions in stable air flow conditions to draw a conservative conclusion. In this study, a numerical study using computational fluid dynamics methods was performed to interpret the air flow pattern and the diffusion of the radiation contaminants at the Wolsong nuclear power plants, and a more detailed solution can be obtained than the Gaussian plume equation, which is difficult to use to simulate complex terrains. The results show that a significant fluctuation of air flow in the terrain appears in the case of a northwester and southeaster because of the mountain located in the northwest and the sea located in the south-east. The northwesterly air flow shows the most unstable flow in the vertical direction when it passes over the terrain of mountain. The stable southeasterly air flow enters into the nuclear power plant from the sea, but it becomes unstable rapidly because of the interference by the building and the terrain. On the other hand, in the case of a northeaster and southwest, a small interruption of air flow is caused by the terrain and wake behind the buildings of nuclear power plants.

Keywords : Computational fluid dynamics(CFD), Atmospheric diffusion, Air flow