creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학석사 학위논문

기상 자료 수집 기간이 원전 정상 운영 중 전망적 대기확산평가에 미치는 영향 분석

Analysis of the influence of meteorological data collection duration on prospective atmospheric dispersion evaluation during normal operation of NPP

2017 년 8 월

서울대학교 대학원

에너지시스템공학

최 유 미

기상 자료 수집 기간이 원전 정상 운영 중 전망적 대기확산평가에 미치는 영향 분석

지도 교수 김 은 희

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2017 년 8 월

서울대학교 대학원
에너지시스템공학
최 유 미

최유미의 공학석사 학위논문을 인준함
2017 년 8 월

위 원 장 조 형 규 (인)

부위원장 김 은 희 (인)

위 원 정 미 선 (인)

초 록

원자력이용 시설을 건설하고 운영하기 위한 허가를 받기 위해선 방출된 방사성 물질이 주변 환경에 미칠 것으로 예상되는 영향을 평가하야여 한다. 기체상 방출물이 대기 중으로 확산되어 미치는 영향을 평가하기 위해서는 부지 특성 기상 자료를 이용하여 방사성 물질의 거동을 예측하여야 한다. 어떠한 기상 자료를 사용하고 어떻게 자료를 처리할지에 따라 평가 결과가 달라질 수 있으므로 각 규제 기관에서는 기상 자료의 최소 수집 기간 및 처리 방법에 대한 지침을 마련하고 있다.

본 논문은 원자력시설 주변 대기확산평가에서 기상 자료의 수집 기간이 대기확산평가에서 부지의 기상 특성 대표성에 영향을 미치는지 평가하고, 그 과정에서의 기상 자료 처리 방법에 따른 결과를 비교하였다. 수집 기간은 규제지침에서 최소 수집 기간으로 정하고 있는 2년과 더 적절하다고 권고하는 5년을 비교하여 부지의 기상 특성 대표성에 차이가 있는지 살펴보았다. 각 기상자료의 부지 기상 특성 대표성은 연구에 사용한 기상 자료의 전체 관측 기간 중 연간 기상 자료와의 유사성을 평가하고 유사하다고 볼 수 있는 연간 자료의 개수로 판단하였다. 기상 자료 간의 비교 대상은 풍향, 풍속 그리고 대기안정도의 등급별 분포와 제한구역경계 상의 16방위별 대기확산인자이다. 대기확산인자는 선원에서 방출된 오염 물질의 양에 대한 대기 중 오염물질의 농도 비로 풍향, 풍속, 대기안정도와 같은 기상 특성 및 방출 핵종과 오염물질의 방출 높이, 측정 지점의 풍하거리에 따라 계산된다. 이 연구에서는 방출 핵종은 I-131, 측정 지점은 제한구역경계로 설정하고 방출 높이를 지표면 방출에 해당하는 0 m, 고공 방출에 해당하는 58 m 로 나누어 계산하였다. 풍향, 풍속, 대기안정도 등급별 분포는 카이제곱 검정을 통해 파이 계수의 값으로 두 자료 사이의 유사성을 살펴보았고, 대기확산인자는 같은 방위끼리 짝지어 Wilcoxon 부호순위 검정을 수행하여 두 자료 사이에 유의한 차이가 존재하는지 판정하였다. 연구 결과, 2년과 5년 기상 자료를 사용할 경우 대표할 수 있는 연간 기상 자료의 개수에 큰 차이가 없다. 그러나 어느 기간의 기상 자료들을 평균하여 사용하는지에 따른 대표성의 변동을 적게 하고, 예년과 크게 다른 기상 패턴 발생 시 오차를 줄이기 위해서는 5년의 기상 자료를 평균하는 것이 더 유리할 수 있다. 대기확산인자를 비교한 결과는 풍향, 풍속, 대기안정도와 같은

기상 특성을 직접 비교한 결과보다 기상 자료 간 유사하다고 판단되는 경우가 더 많다. 특히 지표면 방출을 가정하여 대기확산인자를 계산한 경우, 어떠한 기간의 기상 자료를 평균하더라도 모든 연도별 기상 자료와 유사하다고 검정되었다. 방출높이에 따른 대기확산인자의 분포를 살펴보면 지표면 방출의 경우가 고공 방출의 경우보다 선원 주변에서의 대기확산인자 값이 훨씬 크나 풍하거리가 증가함에 따라 급격하게 감소하여 2 km 내외의 지점에서부터는 고공 방출의 대기확산인자가 더 크게 나타난다.

연구결과를 통해 고리 부지의 제한구역경계에서의 기체상 방출물에 의한 예상 피폭선량 평가 시 기상 자료의 수집 기간이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 또한 지표면 방출을 가정할 경우가 고공 방출보다 제한구역경계에서의 최대개인피폭선량은 더 보수적으로 평가할 수 있으나 비상계획구역 내 집단선량을 평가할 때 오히려 더 작은 값을 나타낼 수 있다.

주요어 : 방사선환경영향평가, 부지 대표 기상자료, 대기확산인자, 기상 자료 수집 기간
학 번 : 2015-22948

목 차

제 1 장 서 론 9

제 2 장 연구 배경 11
제 1 절 방사선 환경영향평가 11
제 2 절 정상운영중 대기확산평가 12

제 3 장 문헌 검토 16
제 1 절 기상 자료 수집·처리에 대한 국내 및 해외 규제 지침 16
제 2 절 부지 대표성 평가 선행 연구 사례 19

제 4 장 연구 방법 21
제 1 절 기상 자료 처리 21
제 2 절 대기확산인자 계산 22
가. CAP88-PC 22
나. 계산 방법 23
제 3 절 통계 분석 24

제 5 장 연구 결과 26
제 1 절 기상 특성 26
가. 기상 특성 등급별 빈도 분포 26
나. 카이제곱 검정 결과 32
제 2 절 대기확산인자 37
가. 대기확산인자 분포 37
나. Wilcoxon 부호순위 검정결과 68
다. 방출 높이 73
제 6 장 결 론 74

참고문헌 78

Abstract 80

표 목차

Table 1. 국내 대기안정도 등급 분류 기준 17
Table 2. 미국 NRC 대기안정도 등급 분류 기준 18
Table 3. 각 기상 자료 쌍의 카이제곱 검정 결과 파이 계수 (풍속) 34
Table 4. 각 기상 자료 쌍의 카이제곱 검정 결과 파이 계수 (풍향) 35
Table 5. 각 기상 자료 쌍의 카이제곱 검정 결과 파이 계수 (대기안정도) – 1년 36
Table 6. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (58 m 방출) – 1년 60
Table 7. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (58 m 방출) – 2년 61
Table 8. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (58 m 방출) – 5년 62
Table 9. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (0 m 방출) – 1년 63
Table 10. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (0 m 방출) – 2년 64
Table 11. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (0 m 방출) – 5년 65
Table 12. 각 기상 자료 쌍의 제한구역경계 상의 대기확산인자 Wilcoxon 부호 검정 결과 p 값 – 2년 평균 기상 자료 (58 m 방출) 69
Table 13. 각 기상 자료 쌍의 제한구역경계 상의 대기확산인자 Wilcoxon 부호 검정 결과 p 값 – 5년 평균 기상 자료 (58 m 방출) 70
Table 14. 각 기상 자료 쌍의 제한구역경계 상의 대기확산인자 Wilcoxon 부호 검정 결과 p 값 – 2년 평균 기상 자료 (0 m 방출) 71
Table 15. 각 기상 자료 쌍의 제한구역경계 상의 대기확산인자 Wilcoxon 부호 검정 결과 p 값 – 5년 평균 기상 자료 (0 m 방출) 72

그림 목차

Figure 1. 가우시안 모델 모형도.....14
Figure 2. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2001년) 27
Figure 3. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2002년) 27
Figure 4. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2003년) 28
Figure 5. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2004년) 28
Figure 6. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2005년) 29
Figure 7. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2006년) 29
Figure 8. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2007년) 30
Figure 9. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2008년) 30
Figure 10. 연도별 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 대기안정도 등급별 빈도 분포.....31
Figure 11. 2001 – 2002년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 58 m 방출.....38
Figure 12. 2002 – 2003년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 58 m 방출.....39
Figure 13. 2003 – 2004년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 58 m 방출.....40
Figure 14. 2004 – 2005년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 58 m 방출.....41
Figure 15. 2005 – 2006년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 58 m 방출.....42
Figure 16. 2006 – 2007년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래)

- 58 m 방출 43
Figure 17. 2007 - 2008년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출 44
Figure 18. 2001 - 2005년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출 45
Figure 19. 2002 - 2006년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출 46
Figure 20. 2003 - 2007년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출 47
Figure 21. 2004 - 2008년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출 48
Figure 22. 2001 - 2002년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출 49
Figure 23. 2002 - 2003년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출 50
Figure 24. 2003 - 2004년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출 51
Figure 25. 2004 - 2005년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출 52
Figure 26. 2005 - 2006년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출 53
Figure 27. 2006 - 2007년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출 54
Figure 28. 2007 - 2008년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출 55
Figure 29. 2001 - 2005년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출 56

Figure 30. 2002 – 2006년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 0 m 방출.....57
Figure 31. 2003 – 2007년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 0 m 방출.....58
Figure 32. 2004 – 2008년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 0 m 방출.....59
Figure 33. 방위별 대기확산인자 분포 상자 그림 (2년 평균, 58 m 방출).....66
Figure 34. 방위별 대기확산인자 분포 상자 그림 (5년 평균, 58 m 방출).....66
Figure 35. 방위별 대기확산인자 분포 상자 그림 (2년 평균, 0 m 방출).....67
Figure 36. 방위별 대기확산인자 분포 상자 그림 (5년 평균, 0 m 방출).....67
Figure 37. 연도별 제한구역경계 밖의 거리에 따른 남서 방향에서의 대기확산인자 분포.....73

제 1 장 서 론

발전용 원자로를 비롯한 핵 시설을 운영하기 위해서는 시설로부터 정상운영 및 사고로 방사성 물질이 환경으로 방출되어 주변 환경에 미치는 영향을 평가하는 방사선 환경영향평가를 실시하여야 한다. 원자력시설에 의한 방사선 환경 영향은 환경시료 측정 및 분석과 주민선량평가를 통해 평가한다. [1, 3, 4] 주민선량평가는 크게 기체 방출물에 의한 피폭선량과 액체 방출물에 의한 피폭선량으로 나누어 계산한다. 기체 방출물에 의한 피폭선량 평가 시, 원자력시설 부지의 기상자료와 대기확산모델을 이용해 계산한 대기확산인자를 이용하여 방출 핵종 및 방출률에 따라 예상피폭선량을 계산한다. 대기확산평가 결과는 기상 자료의 처리 방법에 따라 다르게 나타나므로 원자력 안전 관련 규제 기관에서는 규제 목적의 대기확산 평가 시 기상 자료 처리 방법을 규정하고 있다. 대기확산 평가에 포함되는 기상 자료의 수집 기간은 평가 목적에 따라 포함하여야 하는 범위의 최소 기준이 설정되어 있다. 운영 허가 목적으로는 1년, 건설 허가 목적의 평가 시에는 연속 2년 이상의 최근 기상자료를 사용하도록 규정되어있다. [5] 그러나 이는 최소 기준으로 보다 긴 기간의 기상자료가 부지의 장기적인 기상 특성을 잘 반영한다고 보기 때문에 이보다 긴 기간의 기상자료를 포함하는 것을 권장한다. 본 연구에서는 대기확산 평가에 포함되는 부지 기상자료의 수집기간에 따라 부지 특성 대표성에 유의한 영향이 있는지 살펴보기 위하여 원자력안전위원회 고시로 규정된 최소 기상자료 수집 기간인 2년과 이러한 최소 기간보다 더 적절하다고 평가되는 5년 길이 기상 자료의 대표성을 비교하였다. [7]

기상 자료 간 비교 대상은 보통 풍향, 풍속, 대기안정도 같은 기상 특성을 개별적으로 비교하거나[12, 14] 대기 중 오염물질의 농도 혹은 대기확산인자를 계산하여 비교하는 것이 일반적이다. [6, 8, 11] 기상 특성을 비교할 경우 기상 패턴을 직접적으로 비교할 수 있고 다른 요인의 영향을 고려할 필요가 없다는 장점이 있으나 각 요인을 통시에 고려할 수 없다는 단점이 있다. 대기 중 오염물질의 농도를 비교할 경우 기상 특성을 동시에 고려할 수 있고, 환경영향평가의 목적인 예상피폭선량에 직접적으로 연관된 물리량이라는 장점이 있으나 방출 높이나 농도 측정 지점의 위치, 방출 핵종에 따라 결과가 달라질 수 있다는 단점이 있다. 본 연구에서는 두 대상을 모두 비교하여 보았다.

부지 대표성이란 명확한 정의는 되어있지 않으나 보통 부지 내 지형 및 최근까지 장기간 동안의 기상 특성과 유사한 지 여부를 말한다. [8] 그러나 매우 장기간의 기상 자료를 평균할 경우, 기상 패턴의 시간에 따른 변화에 의해 오히려 부지의 특성을 대표하기에 적합하지 않을 수 있다. [12] 2001년부터 2008년까지 고리 부지에서의 기상 패턴은 다른 연구에서 사용된 기상 자료들에 비해 시간에 따라 급격하게 변화하므로 8년간의 기상 자료를 평균한 특성을 대표하는 것이 부지를 대표한다고 보기 어렵다고 판단하였다. 본 연구에서는 각 연도별 1년 길이의 기상 자료와 2년 혹은 5년 평균 기상 자료를 비교하여 일정 기간 동안 평균한 기상 자료가 몇 개의 연도와 유사성을 보이는지 평가하였다. 이러한 방법은 2년과 5년 중 어떠한 기상 자료 수집 기간이 장기 대기확산평가에 더 적합한지 비교할 뿐 아니라 각 연도별 기상 자료가 어떠한 영향을 미치는지 살펴볼 수 있었다.

제 2 장 연구 배경

제 1 절 방사선 환경영향평가

발전용 원자로를 비롯한 핵 시설을 운영하기 위해서는 시설로부터 방출된 방사성 물질 혹은 방사선이 주변 환경에 미치는 영향을 평가하는 방사선 환경영향평가를 실시하여야 한다. 방사선 환경영향평가에서는 비상계획구역[①] 내의 환경방사선/능의 현황 조사와 함께 원자로시설에서 배출되는 방사성 물질의 비상계획구역 내 대기이동 확산 및 해양이동 확산을 부지 특성 및 주변 환경인자를 고려해 평가하고, 각 피폭경로에 따른 주변 주민들의 예상피폭선량을 계산한다. [3, 4]

원자로시설을 운영하기 위해서는 방사선 환경영향평가를 주기적으로 실시하고 그 결과를 정해진 기재 사항 및 작성방법에 따라 평가서로 작성하여야 한다. 원자력이용시설 방사선환경영향평가서는 운영으로 인한 환경영향과 사고로 인한 잠재적인 환경영향 예측 및 평가를 포함하여야 한다. 원자력시설에 의한 방사선 환경 영향은 환경시료 측정 및 분석과 주빈선량평가를 통해 평가한다. 정상운영 중 피폭선량 기준치 및 사고 시 피폭선량 기준치가 고시에서 정한 값을 초과하지 않아야 하며, 제한구역경계에서의 기체상태 및 액체상태 방사성핵종의 농도 또한 고시에서 정하는 배출관리기준 이하로 유지되어야 한다. [3] 예상피폭 주민선량평가는 국내를 비롯한 대부분의 국가에서는 원자력시설로부터의 방출량 및 방출물의 거동해석결과를 바탕으로 직, 간접적 피폭경로에 따라 피폭선량을 계산한다. [4]

정상운영 중 방사선영향평가에서는 환경으로 방출되는 방사성 유출물의 거동을 파악하기 위해 적정 거리 별(제한구역경계[②], 최근접 주민거주 지역경계, 비상계획구역경계, 저인구지대외곽경계[③] 포함 반경 80 km까지), 방위별 대기확산인자 및 해양확산인자를 평가한다. 또한 인근 주민이 받게 될 피폭선량을 평가하는데, 개인피폭선량과

---

① 원자력시설에서 방사능 누출 사고가 발생할 경우에 대비해 대피·소개 등과 같은 주민보호대책을 사전에 집중적으로 마련하기 위해 설정하는 구역. 결정론적 영향을 받을 가능성을 기준으로 예방적보호조치구역(원전반경 3~5 km), 긴급보호조치계획구역(원전반경 20~30 km)으로 세분한다.

② 사고 발생 시 2시간 이내에 전신 25 rem, 갑상선 300 rem의 선량을 받을 것으로 예상되는 지역의 외곽 경계 [1]

③ 사고 발생 후 전 기간 동안 집단선량이 전신 25 rem, 갑상선 300 rem의 선량을 받을 것으로 예상되는 지역의 외곽 경계 [1]

집단피폭선량으로 구분하여 계산한다. 개인피폭선량의 경우, 평가대상으로 설정하는 가상 개인은 국가마다 다르다. 국내에서는 미국의 개념을 준용하여 부지 제한구역경계에 거주하면서 그 지역에서 생산된 음식물을 섭취하는 최대피폭을 받을 것으로 예상되는 개인을 설정하여 연간 최대개인피폭선량을 평가한다. 평가대상 지점은 보수적인 평가를 위해 보통 최대 오염이 나타나는 지점을 기준으로 한다. 외부피폭 혹은 호흡은 부지 제한구역경계, 음식물 섭취는 최대오염 가능성이 있는 경작지를 평가대상 지점으로 한다. 집단선량은 원자력시설 중심으로 80 km 이내 거주하는 주민들이 받는 선량의 총합이다. 계산한 연간 집단선량은 평가서에 요약하여 나타내고 최대개인피폭선량은 관계기준치를 만족하는지 비교하여 평가한다. [1, 2]

사고 시 방사선환경영향평가에서는 사고발생확률과 심각성에 따라 사고유형을 분류하여 각 사고유형별 인근 주민에 미치는 방사선영향을 평가한다. 대기로 유출된 방사성물질에 의한 방사선영향평가는 방위별, 적정거리별(제한구역경계, 최근접 주민거주지역경계, 비상계획구역경계, 저인구지대외곽경계 포함) 대기확산인자를 사고경과 기간별로 계산하여야 한다. 개인피폭선량 또한 위와 같은 적정 거리 상의 개인선량을 평가하고 집단선량은 정상운영중과 마찬가지로 원자로시설 중심 반경 80 km 이내 주민이 받는 선량의 총합을 계산한다. 피폭선량 계산결과는 사고 시 피폭선량 기준치를 만족해야 한다. [2, 5]

제 2 절 정상운영 중 대기확산평가

방사선 환경영향평가 중 대기 중으로 방출되는 기체상 방사성 유출물의 영향을 평가하기 위하여 대기 중 거동을 예측하는 대기확산평가가 요구된다. 정상운영 중 대기확산 평가 시, 제한구역경계, 최근접 주민거주지역 및 인구분포 조사시 거리별 및 방위별로 구분된 구역[④] 내 연평균 대기확산인자 및 침적비를 기술하여야 한다. [3]

대기확산인자란 선원에서 방출되는 오염 물질의 양에 대한 대기 중 오염물질의 농도 비로 정의된다. 대기확산인자를 계산하기 위해서는 대기확산모델을 설정하여 대기 중 확산 거동과 화학반응, 침적 등을 고려하여야 한다. 최근까지 다양한 대기확산모델이 개발되어왔으나 보통

[④] 원자로를 중심으로 반경 2, 4, 6, 8, 10 및 20 km 동심원과 반경 20 km부터 80 km까지 15 km 간격으로 분할한 동심원을 16방위로 분할한 구역 [3]

원전 인허가용으로는 오염물질의 농도가 플룸 중심축으로부터 거리에 따라 정규분포를 이룬다는 가우시안 모델을 사용하여 대기확산을 평가한다. 미국의 원자력규제위원회(U. S. Nuclear Regulatory Commission; NRC)에서 규제지침 1.111에 제시된 모델에 따라 개발한 XOQDOQ, PAVAN 및 EPA에서 개발한 CAP88-PC도 가우시안 모델을 기반으로 한다. Figure 1은 가우시안 모델의 모형도이며 가우시안 모델로 공기중 오염물질의 농도를 구하는 방정식은 다음과 같다. [17, 20]

$$\chi(x,y,z;H)=\frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\mu}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right]+\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\}$$

χ : 공기 중 오염물질의 농도,
x : 플룸 중심축 상의 풍하거리,
y : 플룸 중심축으로부터 수직 방향의 거리,
z : 지면으로부터의 거리,
H : 유효굴뚝높이,
Q : 굴뚝에서의 오염물질 방출률,
σ_y : 수평대기확산계수,
σ_z : 수직대기확산계수,
μ : 평균 풍속

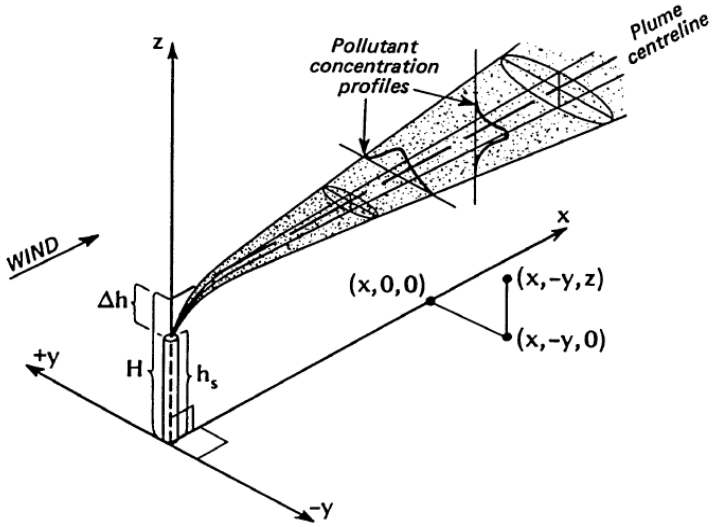

Figure 1. 가우시안 모델 모형도 [16]

식을 보면 알 수 있듯이 대기확산인자를 계산하기 위해선 각 방위별 풍속 및 대기확산계수가 필요하다. 대기확산계수는 대기안정도 등급에 따라 다른 풍하거리에 대한 함수로 표현되며 대기가 불안정할수록, 풍하거리가 증가할수록 따라 증가한다. 따라서 대기확산인자를 계산하기 위해서는 기상자료를 풍향과 풍속 등급, 대기안정도 등급에 대한 결합빈도분포표로 작성하여 입력한다.

풍속은 한 점에서 공기가 수평으로 지나가는 속도로 정의되며 풍속 크기에 따라 풍속 등급을 분류할 수 있다. 풍속 등급은 국가별, 계산 프로그램 별로 조금씩 다른 기준을 적용한다. 풍향은 바람이 불어오는 방향으로 정의하며 북쪽을 기준으로 시계 방향으로 0°부터 360°까지의 범위를 22.5° 간격 16방위로 나누어 풍향을 분류한다. 대기안정도는 대기확산모델에서 난류의 강도를 구분하기 위하여 분류된다. 난류는 보통 표면의 거칠기에 따른 마찰 효과에 의한 난류와 태양빛에 의한 지면 가열로 수직 방향의 공기 입자 이동에 의한 난류를 주요 원인으로 고려한다. 처음 Pasquill이 정립한 대기안정도 구분 기준은 10 m 높이에서 측정한 풍속과 태양빛에 의한 지면 가열 정도 및 야간 구름 피복량에 의해 구분되었다. [13] 현재는 수평 혹은 수직 방향의 풍향 각도의 표준편차를 통해 직접적으로 난류를 고려하거나 대류로 인한 난류를 단순화하여 고도에 따른 온도 차를 기준으로 대기안정도를 평가하는 등 다양한 방법을 통해 Pasquill-Gifford

대기안정도 등급을 분류한다.

대기확산인자는 정상운영 중 장기 대기확산인자와 사고 시 단기 대기확산인자로 구분하여 계산한다. 정상운영 중의 대기확산인자는 원자력시설에서 방사성물질이 연간 지속적으로 연속 방출이 될 때의 평균적인 값을 계산한다. 미국 NRC에서 제시한 대기 수송 및 확산 모델 중 기류의 공간적, 시간적 변화는 고려하지 않은 일정한 평균 풍향 모델(Constant Mean Wind Direction Models)은 처음 방출한 현장의 기상 조건에 따라 일정하게 확산함을 가정한다. 이 모델에서 22.5° 간격의 영역 및 풍향, 대기안정도 등급에 따라 평균한 대기확산인자는 다음 식으로 구한다. [20]

$$\frac{\chi}{Q}(\mathrm{x},\mathrm{H}) = 2.032\sum_{ij}\frac{n_{ij}}{Nxu_i\Sigma_{zj}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_{zj}}\right)^2\right]$$

n_{ij} : 풍속 등급 i와 대기안정도 등급 j 에서 관측된 유효한 기상 자료의 길이

N : 유효한 기상 자료의 총 길이

u_i : 방출 대표 고도에서의 풍속 등급 i의 중간값

Σ_{zj} : 대기안정도 j에서의 용적 보정한 수직 플럼 확산계수 (혹은 σ_{zj}와 동일)

방사학적 영향 평가시에는 방사성붕괴, 건침적 및 습침적에 의한 제거 메커니즘을 고려하여 보정한 대기확산인자를 계산하여야 한다. 방사성 옥소 및 불활성기체는 각각 8일, 2.26일의 반감기를 방사성붕괴를 고려한다. 원소형 방사성 옥소 및 입자들은 방사성붕괴에 더해 침적에 의한 감쇠를 고려한 대기확산인자를 계산하여야 한다. [1]

제 3 장 문헌 검토

제 1 절 기상 자료 수집·처리에 대한 국내 및 해외 규제 지침

원자력시설이 소외 환경에 미치는 영향평가 시 사용되는 기상 자료는 반드시 해당 원자력시설 부지의 기상 특성을 대변할 수 있어야 한다. 이러한 대표성은 고려하고자 하는 지역에 대한 기상 모니터링 지점의 근접성, 지형의 복잡성, 기상모니터링 사이트의 노출 및 데이터 수집 기간에 따라 판단된다. 규제 목적의 평가에서는 이러한 사항들을 규제 기관에서 미리 규정하는 지침에 따라 기상 자료를 처리하여야 한다. 국내의 부지 기상조건에 관한 조사 및 평가에 대한 규제 지침은 미국 NRC의 지침을 기반으로 하여 법제화 되어있다. [5] 부지기상 관측 항목 및 관측기기에 대한 정확도, 설치위치 및 고도에 대한 기상관측에 대한 세부적인 규정을 포함하여 기상자료 처리 방법에 대한 규정을 정하고 있다. 국내의 원자력안전위원회고시에 따르면 부지 기상 자료의 관측기간은 건설 허가 목적으로는 최근 1년, 운영 허가 목적으로는 최근 2년 이상의 관측을 요구하고 해당 자료의 수집률은 90 % 이상이어야 한다. 기상 자료의 관측 지점 고도는 사고 시 대기확산평가에서는 지표면 방출 시 지상 10 m, 고공 방출 시 방출지점을 대표할 수 있는 고도에서의 관측 자료를 사용하여야 한다고 규정한다. 정상 가동 시의 대기확산인자 계산 시에는 방사성물질 방출 지점 대표 고도에서의 관측 자료를 사용하여야 한다. 방출 유형은 건물 배기구나 관통부같이 방출 고도가 주변 구조물 높이의 2배 이하인 경우 건물에 의한 확산을 고려한 지표면 방출로 분류하고 굴뚝과 같이 방출 고도가 주변 구조물 높이의 2배 이상인 경우는 고공방출로 분류한다. 보통 정상운영 중 원자력시설에서의 방출물은 지표면 방출을 가정하며, 주변 구조물 높이의 2배보다 낮음에도 실제 방출 고도를 고려하고자 할 때에는 풍동실험 혹은 야외 확산실험을 통해 입증하여야 한다. 대기안정도는 기본적으로 지상 10 m 고도와 방출 고도의 기온차로부터 계산한 기온감율에 의한 방법을 원칙으로 하고, 대기가 불안정상태 혹은 중립상태거나 풍속이 1.5 m/s 이상일 경우 풍향의 표준편차에 의한 방법도 사용가능하며 적용 타당성이 입증될 경우 체 리차드슨 수 등 다른 방법을 이용할 수 있다. 대기안정도 Pasquill 등급의 분류 기준은 Table 1과 같다.

Table 1. 국내 대기안정도 등급 분류 기준 [5]

대기안정도 분류(제15조제3항)

대기상태	Pasquill 등급	기온감율 (ΔT/Δz, ℃/100m)	σθ(1) (deg)	R_b(2)
심한 불안정	A	$\Delta T/\Delta z \leq -1.9$	$22.5 \leq \sigma\theta$	$R_b \leq -0.35$
불안정	B	$-1.9 < \Delta T/\Delta z \leq -1.7$	$17.5 \leq \sigma\theta < 22.5$	$-0.35 < R_b \leq -0.18$
약한 불안정	C	$-1.7 < \Delta T/\Delta z \leq -1.5$	$12.5 \leq \sigma\theta < 17.5$	$-0.18 < R_b \leq -0.04$
중 립	D	$-1.5 < \Delta T/\Delta z \leq -0.5$	$7.5 \leq \sigma\theta < 12.5$	$-0.04 < R_b \leq 0.01$
약한 안정	E	$-0.5 < \Delta T/\Delta z \leq 1.5$	$3.8 \leq \sigma\theta < 7.5$	$0.01 < R_b \leq 0.07$
안 정	F	$1.5 < \Delta T/\Delta z \leq 4.0$	$2.1 \leq \sigma\theta < 3.8$	$0.07 < R_b \leq 0.13$
심한 안정	G	$4.0 < \Delta T/\Delta z$	$\sigma\theta < 2.1$	$0.13 < R_b$

(주) 1. 10분 동안의 풍향표준편차

2. 체 리차드슨 수(Bulk Richardson Number) : $Rb = gz(\theta_z - \theta_s)/(T_0 \overline{U}^2)$
여기서, g : 중력가속도(9.8m/sec), z : 측정높이(10m), θ_z : 10m 고도에서의 온위 (혹은 기온), θ_s : 1.5m 고도의 온위(혹은 기온), T_0 : 두층간의 평균기온, $\overline{U}$: 10m 고도에서의 평균풍속.

미국 NRC의 규제 지침(Regulatory Guide)은 국내의 지침이 NRC의 지침을 토대로 하였기에 거의 유사한 내용으로 구성되었으나 몇몇 사항에서 사소한 차이가 존재한다. [19] 최소로 요구되는 기상 자료는 위와 같이 건설 허가 목적으로는 대표성을 갖는 연속 1년 기상 자료, 조기부지허가 및 운영 허가 목적으로는 최근 1년을 포함한 연속 2년 이상의 기상 자료이나 2년 이상의 기상 자료가 적합하다고 명시하고 있다. 대기안정도의 등급 구분 기준은 Table 2와 같다.

Table 2. 미국 NRC 대기안정도 등급 분류 기준 [19]

Classification of Atmospheric Stability

Stability Classification	Pasquill Categories	σ_θ* (degrees)	Temperature change with height (°C/100m)
Extremely unstable	A	25.0°	<-1.9
Moderately unstable	B	20.0°	-1.9 to -1.7
Slightly unstable	C	15.0°	-1.7 to -1.5
Neutral	D	10.0°	-1.5 to -0.5
Slightly stable	E	5.0°	-0.5 to 1.5
Moderately stable	F	2.5°	1.5 to 4.0
Extremely stable	G	1.7°	>4.0

미국 환경보호국(Environmental Protection Agency; EPA)은 별도의 지침을 통해 일반적인 대기 모델링 시 기상 자료의 수집과 처리 방법에 대해 규정하고 있다. [18] EPA에서는 대기확산 모델링에 입력하는 기상 자료의 관측 지속 기간은 최악의 기상 조건이 포함되도록 설정하여야 한다고 말한다. EPA에서 제시한 대기확산 모델링에 최소로 요구되는 기상 자료의 길이는 1년으로 규제 목적의 확산평가에서는 5년의 기상청(National Weather Service; NWS)의 기상 자료 혹은 1년의 부지 특성 자료가 최소로 요구된다. 그러나 가장 최근의 연속한 5년간 기상 자료가 적절하다고 권고한다. 공기의 거동이 거의 없다고 판단되는 정온 상태는 0.5 m/s 이하일 때 일어난다고 정한다. 대기안정도의 등급 구분 방법은 Turner's method, Solar radiation/delta-T(SRDT) method, σ_E method, σ_A method를 사용하도록 권고한다. Turner's method는 NWS에서 일상적으로 수집되는 데이터를 P-G 안정도 등급으로 분류하기 위한 방법으로 일사량과 구름 피복량, 풍속을 통해 안정도를 분류한 Pasqill의 방법을 응용하여 지수로 나타내고 이를 기준으로 대기안정도를 분류한다. SRDT method는 낮은 일사량과 풍속, 밤은 고도별 기온감률과 풍속으로 대기안정도를 분류한다. σ_E method와 σ_A method는 각기 수직 및 수평 풍향 표준편차와 풍속을 통해 대기안정도 등급을 구분한다.

제 2 절 부지 대표성 평가 선행 연구 사례

기상 자료의 부지 대표성을 판단하기 위한 연구의 선행연구들을 조사하였다. 대기확산평가에서 가장 중요한 결정 중 하나는 기상 자료의 선택이다. 그러나 해당 기상 자료가 대표성을 갖는지의 여부는 절대적으로 결정할 수 있는 정량적 방법이 존재하지 않는다. [18] 다만 대표성이란 측정된 자료가 특정 적용 분야에 적합한 척도로 취해진 동일한 또는 다른 시공간의 실제 조건을 반영하는 정도로 정의된다. 일반적으로는 부지에서 직접 관측한 기상 자료를 사용할 수 없는 경우 다른 지역의 기상 자료가 부지의 기상 자료를 대표할 수 있는지(공간적 대표성) 분석하거나, 장기간의 기상 특성을 단기의 기상 자료가 대표할 수 있는지(시간적 대표성) 분석하여 대표성을 판단한다. 분석되는 대상은 각 기상 특성을 개별적으로 비교하거나 기상 자료로 계산되는 공기 중 오염농도를 계산하여 비교하는 것이 일반적이다. 부지 대표성을 평가한 선행 연구 사례들에서의 자료 비교 대상 및 비교 방법에 대해 조사하였다.

Ross In-situ recovery 프로젝트에서는 해당 부지의 4년간 기상 자료가 장기간의 기상 특성을 대표할 수 있는지 평가하기 위하여 Ross 부지 근처의 유사한 고도와 지형을 가진 Eagle Butte Mine의 4년간 기상 자료와 15년간 기상 자료의 분포에 유의한 차이가 있는지 검정하였다. 풍향, 풍속 및 대기안정도의 등급에 따른 분포가 유사한지 각 기상 특성을 개별적으로 비교하였으며 그래픽 방법을 비롯하여 카이제곱 검정, Student’s t 검정, 선형 상관 및 회귀 분석과 같은 여러 통계적 방법으로 비교하였다. 해당 분석의 타당성을 앞서 검토한 NRC의 보충 안전성 평가 보고서에서는 기상 자료의 유사성을 분석하기 위한 통계적 방법으로 선형 회귀 분석 및 상관 분석이 자료의 대표성을 검정하는 데에 적절하지 않고, Student’s t 검정, 카이제곱 검정, Kolmov-Smirnov 검정이 적절하다고 명시하고 있다. 해당 연구에서는 Kolmov-Smirnov 검정은 모든 풍속 및 풍향 분포가 통계적으로 다르지 않다는 결론을 보이므로 결과를 제시하지 않았다. [12]

EPA는 AERMOD 모델에서 요구하는 기상 자료의 최소 조건을 평가하기 위해 Lovett, Martins Creek, Kincaid의 기상 자료를 사용하여 열화 분석(Degradation analysis)을 수행하였다. 이 과정에서 서로 다른 기상 입력 자료에서의 농도를 3시간 평균 및 24시간 평균의 분수적 편향(Fractional bias)으로 계산한 복합 성능 측정치(Composite

performance measure; CPM)의 차를 척도로 하여 통계적으로 비교하였다. [8]

Karsten는 단기 기상 자료의 장기 대표성을 평가하기 위해 미국 Great Lakes 내 20개 주의 풍속 자료를 균질화하여 그래픽 방법 및 통계적 방법으로 장기 관측 자료와 단기 관측 자료를 비교하였다. 각 관측 자료의 누적 확률 밀도 함수의 적합성 검정을 수행하였다. 통계적 분석에 사용된 방법은 Kolmogorov-Smirnov 검정을 사용하였다. [14]

이탈리아의 국립신기술자원환경공사(Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development; ENEA)는 기상 모니터링 장소의 공간적 대표성에 대한 평가를 다양한 방법으로 수행하였다. 객관적 요인(토지 피복, 인구 분포 등)에 기반한 통계적 방법, 배출의 공간적 분포에 기반한 방법, 모델로 예측한 농도에 기반한 방법, 역방향 궤적 분석에 의한 방법을 사용하였다. 이 중 기상 자료를 농도의 유사성을 비교하는 방법은 관심 부지의 농도를 자변 선택 지점에서의 농도와 일정 시간 간격마다 직접 비교하여 수행한다. MINNI 대기 모델[⑤]을 통해 4D (3차원 공간 및 시간) 오염물질 농도 필드를 생성하여 각 시간 단계에서 관심 지점과 각 그리드 지점에서 측정된 농도 값 간의 차이를 계산하였다. 농도의 유사성을 판단하는 임계값은 20 %로 정하였다. [11]

[⑤] 이탈리아 환경성이 후원하는 국가/ 지역 수준의 대기질 정책을 평가하고대기 오염에 관한 국제 협상 프로세스를 지원하기 위한 이탈리아 통합 평가 모델링 시스템[15]

제 4 장 연구 방법

제 1 절 기상 자료 처리

본 연구에서 사용한 기상 자료는 고리 부지 내 58 m에서 관측한 자료이다. 기상자료는 원자력안전위원회 고시 및 KINS 지침에 따라 처리하여 풍속, 풍향, 대기안정도의 등급을 구분하고 각 등급에 포함되는 관측 자료의 수를 카운트하였다. 기상관측기간 중 자료의 수집률은 90 % 이상이어야 하므로 자료 수집률이 90 % 이상인 2001년부터 2008년까지의 고리 부지 내 기상 자료를 사용하였다. 기상자료는 한국수력원자력㈜에서 제공하는 고리 부지 내 58 m 기상탑에서의 관측자료이다. 연구에 사용한 기상 원자료는 30분간 평균 처리되어있다. 풍향은 정온(calm; 풍속 0.5 m/s 이하) 상태를 포함하여 16방위로 구분하여 총 17개의 등급으로 구분하였다. 원자료에서는 북쪽(N)을 기준 방향으로 잡아 북향과 이루는 각도를 시계 방향으로 재고 있다. 각 16방위를 구간의 중심으로 한 22.5° 간격의 구간으로 나누어 그 구간 범위에 속하는 각도를 보이는 관측 자료는 해당 구간의 중심으로 잡은 방위로 분류하였다. 풍속은 대기확산인자 값을 계산하기 위한 프로그램에 내장된 풍속 등급 기준을 사용하여야 하므로 CAP88-PC 3.0로 계산한 경우 정온, 1 ~ 3, 4 ~ 6, 7 ~ 10, 11 ~ 16, 17 ~ 21, > 21 knots로 구분하였다. [17] 대기안정도 분류 기준은 원자력안전위원회 고시에 명시한 3 개의 기준 중 일반적으로 적용할 수 있는 수직 고도 100 m 당 기온감률을 사용하였다.

기상자료는 관측 기간에 따라 1년 자료, 2년 자료 및 5년 자료로 구분한다. 연간 자료는 각 연도별 기상자료로 정의하고 2년 자료는 연간 자료를 2년씩 묶어 총 7개의 기상 자료를 구성한다 (2001-2002, 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007). 5년 자료 또한 연간 자료를 5년씩 묶어 총 4개의 기상 자료를 구성한다 (2001-2005, 2002-2006, 2003-2007, 2004-2008). 기상 원자료는 매 30분간 10 m 상공 및 58 m 상공의 평균 풍속, 풍향, 및 기온 등의 정보를 포함한다. 각 기간 그룹의 기상자료는 풍향, 풍속, 대기안정도의 등급별 속한 30분 평균 관측 자료의 개수를 카운트하고 해당 기간의 총 관측 자료 개수로 나누어 상대 빈도를 계산한다. 이에 24 (시간) * 365 (일) = 8760를 곱하여 각 풍향, 풍속, 대기안정도 등급별 카운트 수를

계산한다. 기상자료 처리를 위해서 R 3.3.2 를 사용하였다.

대기확산인자 계산을 위하여 기상 원자료 대신 대기확산인자 계산 프로그램에 입력되는 기상자료 형태인 결합빈도분포표를 작성하였다. 결합빈도분포표는 각 기상 특성의 등급별로 전체 기상자료의 수에 대비하여 나타나는 빈도를 계산한 것으로 하나의 결합빈도분포표 내의 값의 총합은 1이 되어야 한다. 각 대기안정도 등급별로 풍향 및 풍속 등급에 따른 상대 빈도를 표로 작성하고, 대기안정도 등급 순으로 해당 표들을 이어붙여 모든 대기안정도 등급에서의 풍향 및 풍속 등급에 따른 상대 빈도들의 총합이 1이 되도록 결합빈도분포표를 작성하였다. 단, 정온 상태의 관측 자료는 결합빈도분포표에 포함하지 않았다. 이 과정 역시 R 3.3.2 를 사용하였다. 결합빈도분포표는 대기확산인자 계산 프로그램에 맞게 입력 자료 형식을 맞추어야 한다. 본 연구에서 대기확산평가에 사용한 프로그램인 CAP88-PC의 입력 형식을 맞추기 위하여 결합빈도분포표는 STAR(Stability array file) 파일로 작성되며 가장 첫 열은 대기안정도 등급, 공백 후 풍향, 공백 후 각 풍속 등급에 따른 상대 빈도 값으로 구성되어야한다.

제 2 절 대기확산인자 계산

가. CAP88-PC

본 연구에서는 장기 대기확산인자를 계산하기 위하여 CAP88-PC 프로그램을 사용하였다. CAP88-PC는 미국 환경부(Environmental Protection Agency; EPA)에서 개발한 공기 중으로 방출된 방사성핵종으로부터 받는 선량 및 위험도를 평가하기 위한 프로그램이다. 원자력 시설을 정상 운영 중 기체상 방출물이 장기간동안 일정하게 배출(chronic routine release)되는 상황의 대기확산평가를 통해 예상 피폭선량 및 위험도를 계산한다. 유해 공기 오염 물질에 대한 국가 배출 표준(NESHAPS) 40 CFR 61에 따라 EPA는 대기중 방사성 핵종 배출에 대해 미국 에너지부(DOE) 시설의 배출 모니터링 및 준수 절차에서 CAP88-PC를 사용하여 대중에 대한 유효선량을 계산하여야 한다고 규정한다.

CAP88=PC는 6개까지의 선원으로부터 방출된 평균 확산을 평가할 수 있으며 대기확산평가 시 수정된 가우시안 플룸 방정식을 사용한다. 입력 자료는 기상 자료와 더불어 인구 자료, 선원 자료, 핵종 자료, 식품

생산 정보 및 섭취 시나리오를 선택 및 입력한다. 기상 자료는 바람 자료와 강수량, 기온, 혼합층 높이, 절대 습도를 요구한다. 바람 자료는 프로그램에 내장된 라이브러리에서 선택하거나 원하는 자료를 입력할 수 있다. 미국 국립기상자료센터(National Climatic Data Center; NCDC)의 원자료를 입력하고 대기안정도 분류 방법을 선택하여 결합빈도분포를 나타내는 STAR 파일을 생성할 수 있다. 대기안정도 분류방법은 EPA의 기상 자료 처리 권고를 따라 수직 방향의 풍향 표준편차를 이용한 sigma-E, 수평 방향의 풍향 표준편차를 이용한 sigma-A, 태양 방사량과 고도별 온도차를 같이 고려한 SRDT 중에서 선택할 수 있다. NCDC 기상 자료가 아닌 다른 형식의 자료를 입력하기 위해서는 프로그램 외부에서 직접 결합빈도분포표를 작성하여 STAR 파일을 생성하고 이를 프로그램에 입력하여 바람 자료로 변환할 수 있다.

선량은 최대개인선량과 집단선량을 모두 계산할 수 있다. 최대개인선량의 경우, 방위 및 선원으로부터의 거리를 지정할 수 있으며 집단선량은 각 방위별 인구 분포를 파일로 작성하여 입력할 수 있다. 계산 결과는 각 위치에서의 대기확산인자 및 침적인자, 공기중 농도, 유효선량 및 각 장기의 등가선량, 선량에 따른 위험도(이환률)를 출력할 수 있다. 연구에서 사용한 CAP88-PC version 3.0에서 핵종전달계수는 NCRP 123에 제시된 값을 사용하며 연령군을 고려한 선량환산계수는 ICRP 72에 기초한 Federal Guidance Report(FGR) 13의 데이터를 사용한다.

대기확산모델은 수정된 가우시안 플룸 모델을 사용하며 기상 자료를 결합빈도분포표로 입력할 수 있다. 가우시안 방정식으로 지면에서의 각 섹터 평균 대기확산인자를 계산하고, 습침적, 건침적 및 방사성붕괴에 의한 플룸 침적을 고려한다. 아이오딘과 입자성물질의 침적 속도는 각각 기본값이 프로그램에 내장되어 있다. 수평 및 수직확산계수는 대기아넝도 등급별로 풍하거리에 따른 동일한 형태의 함수로 꼐산하며 상수 값만 다르게 대입하게 된다.

나. 계산 방법

대기확산인자 값은 지점에 따라 다르게 계산된다. 방출 선원을 하나라고 가정하였을 때, 선원 주변의 16방위별로 선원으로부터 100 m 간격의 대기확산인자를 계산하였다. 두 자료 사이의 유사성을 비교할 때에는 규제 지점에서 관계기준치를 넘지 않도록 규정하는 대상인

제한구역경계 상의 대기확산인자를 사용하였다. 고리 부지의 ㅐ한구역경계는 원전 중심 반경 700 m이다. 해당 프로그램에서는 방출 유형을 선택할 수 없다. 때문에 방출 고도를 결정하는 굴뚝의 높이를 고공 방출의 경우 58 m, 지표면 방출의 경우 0 m로 설정하여 계산한다. 지표면 방출의 대기확산인자는 건물로 인한 와류효과를 반양하여야 하나 CAP88-PC는 방출 유형을 고려하지 않으므로 건물 와류효과를 보정하지 않는다. 그러나 건물의 영향을 고려할 경우 확산이 더 활발하게 일어나므로 오히려 보수적으로 계산할 수 있으므로 본 연구에서는 0 m 방출을 지표면 방출로 가정하였다.

방출 고도외에 혼합층 높이, 기온, 습도 등의 기타 기상 관련 요인들은 프로그램의 기본값으로 설정하였다. 굴뚝 반경은 단위 길이인 1 m로 가정하였으며 방출 핵종으로 설정한 I-131는 환기구를 통해 배출되므로 열 방출률은 0으로 입력하였다.

제 3 절 통계적 방법

본 연구에서 기상 자료의 유사성을 판단하기 위해 비교하는 평가 대상은 풍향, 풍속, 대기안정도와 같은 기상 특성의 등급별 빈도 분포와 각 지점에서 측정한 대기확산인자 값이다. 두 자료의 형식이 다르므로 각기 다른 통계적 방법을 사용하여 유사성을 판단한다.

먼저 기상 특성의 빈도 분포를 비교하기 위하여 카이제곱 검정을 수행하였다. 카이제곱 통계량의 정의는 다음과 같다.

$$\chi^2 = \frac{(\text{예상 카운트 수} - \text{관측 카운트 수})^2}{\text{예상 카운트 수}}$$

예상 카운트 수는 2년 혹은 5년의 기상자료 값, 관측 카운트 수는 1년간 기상 자료의 값으로 설정하였다. 카이제곱 통계량을 샘플의 크기로 보정한 파이 계수는 상관 계수와 같은 개념으로 파이 계수의 값이 작을수록 기상 자료 수집 기간이 해당 기상 특성의 등급별 빈도 분포와 상관이 없다고 해석할 수 있다. 즉, 파이 계수가 작을수록 비교한 두 자료의 분포가 유사하다고 판단하였다.

대기확산인자의 값을 비교하기 위해서는 Wilcoxon 부호순위 검정을 사용하였다. 각각 같은 위치에서 측정된 대기확산인자끼리 짝지어 비교 검정을 수행하였다. 대기확산인자의 값은 정규성 가정을 만족하지 못하므로 비모수적 검정법인 Wilcoxon 검정을 사용하였다. [9] 검정

결과 p 값이 신뢰수준 95 %에서 0.05보다 작은 값을 가질 경우 비교하는 두 자료의 분포가 유의한 차이를 보인다고 해석하였다. 반대로 0.05 이상의 값을 가진 경우 두 자료는 유사한 분포를 보인다고 판단하였다.

통계적 분석 및 자료 처리는 통계 프로그램 R version 3.3.2를 사용하여 수행하였다.

제 5 장 연구 결과

제 1 절 기상 특성

가. 기상 특성 등급별 빈도 분포

각 연도별 기상 자료의 풍향, 풍속 및 대기안정도의 분포를 나타내었다. Figure 2-9는 연도별 풍향 및 풍속의 빈도분포를 나타내는 바람장미 그래프이다. 풍향은 16방위로 분류하였고 풍속은 1 knot 이하는 정온 (calm) 상태, 이후로 3 knots 간격으로 등급을 나누어 나타내었다. 대기안정도는 고도별 기온감률을 기준으로 원자력안전위원회 고시에 따라 A부터 G까지 등급을 분류하고 각 연도별로 등급별 빈도를 Figure 10에 바 그래프로 나타내었다.

바람장미를 살펴보면 연도가 지남에 따라 패턴이 점점 변화하는 것을 확인할 수 있다. 8년간 바람 장미를 살펴보면 2001년부터 2003년까지 대체로 유사한 패턴을 보이다가 2004년에 급격히 변화하여 2005년부터 2008년까지 다시 전과 다른 유사한 패턴을 보임을 확인할 수 있다.

대기안정도 등급 분포는 2001년에서 2003년까지 점점 불안정한 등급의 빈도가 높아지다가 2004년에 급격히 안정한 등급의 빈도가 크게 나타난다. 2005년부터 2008년까지는 대체적으로 비슷한 등급별 빈도 분포를 유지하는 것으로 보인다.

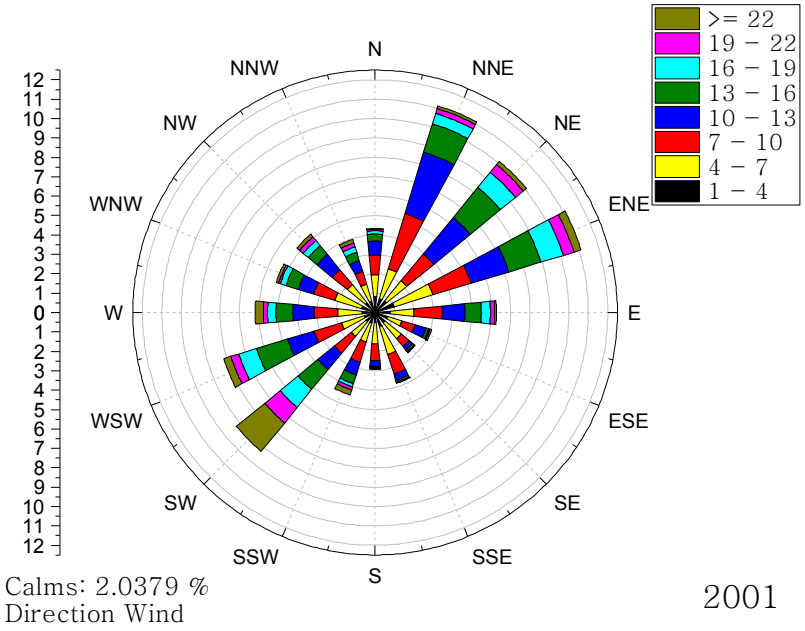

Figure 2. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2001년)

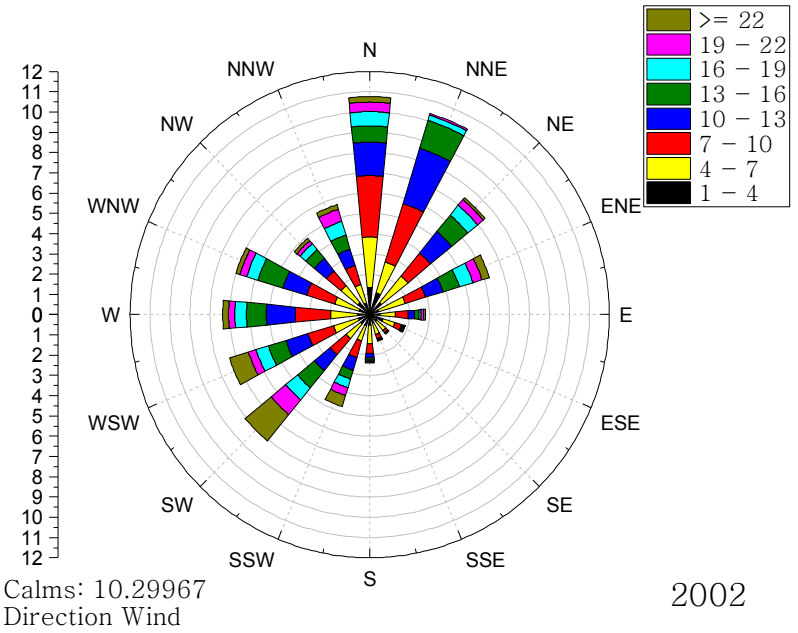

Figure 3. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2002년)

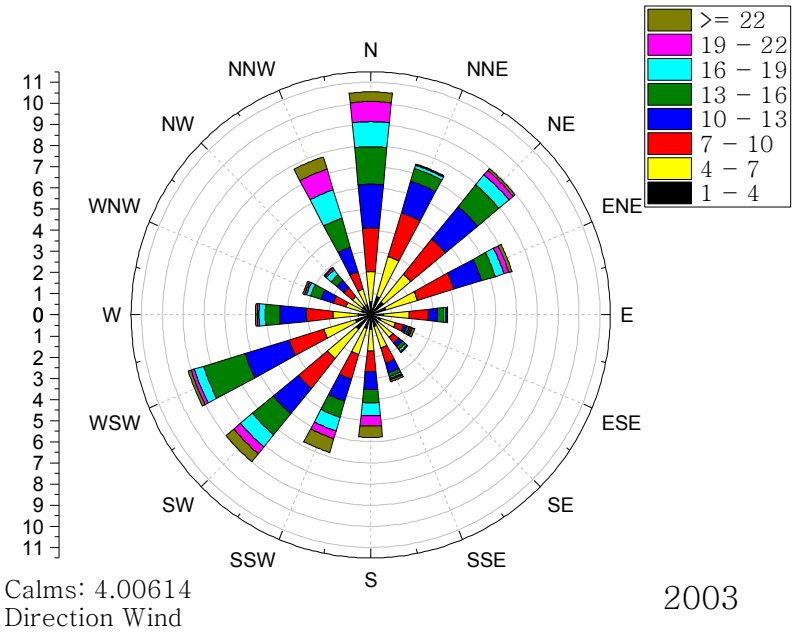

Figure 4. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2003년)

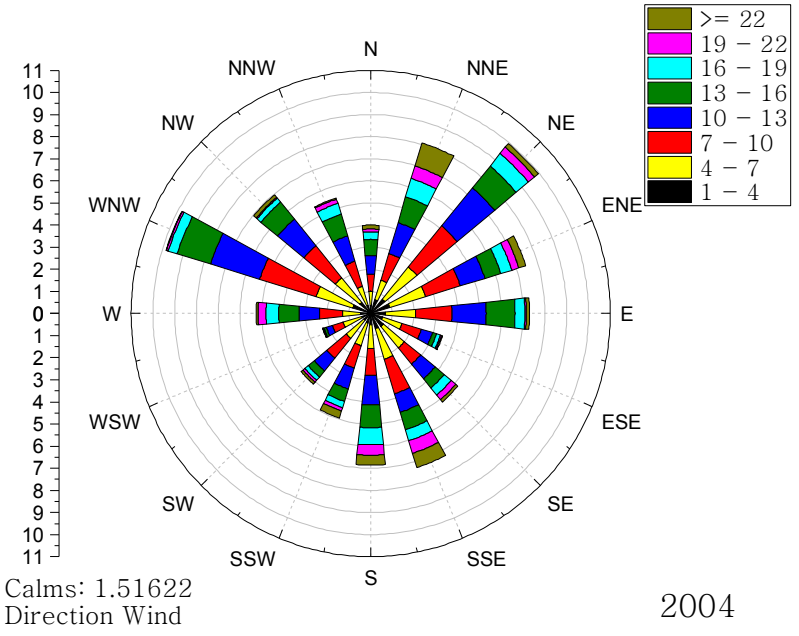

Figure 5. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2004년)

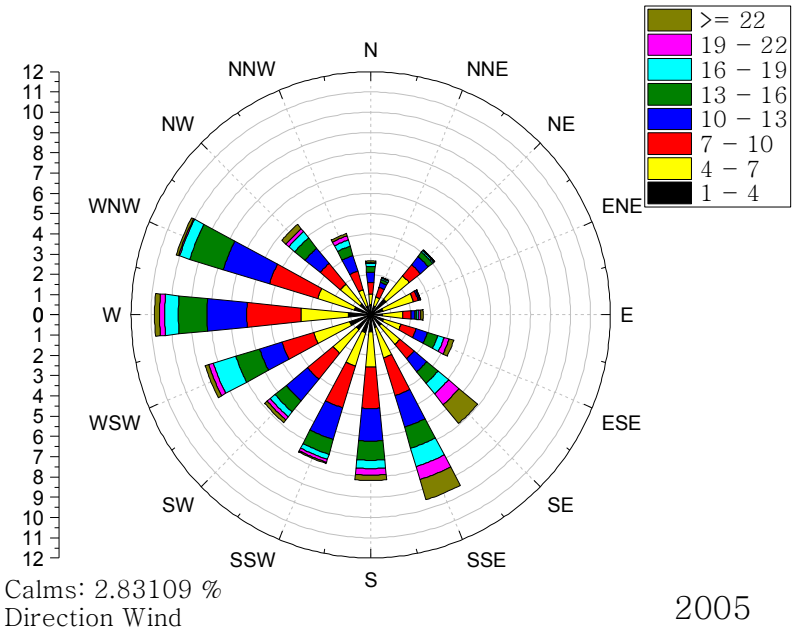

Figure 6. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2005년)

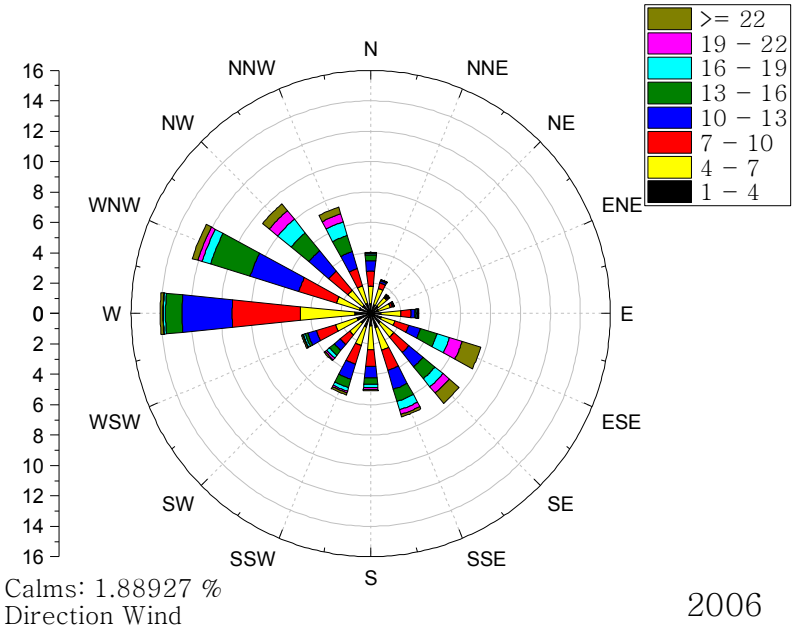

Figure 7. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2006년)

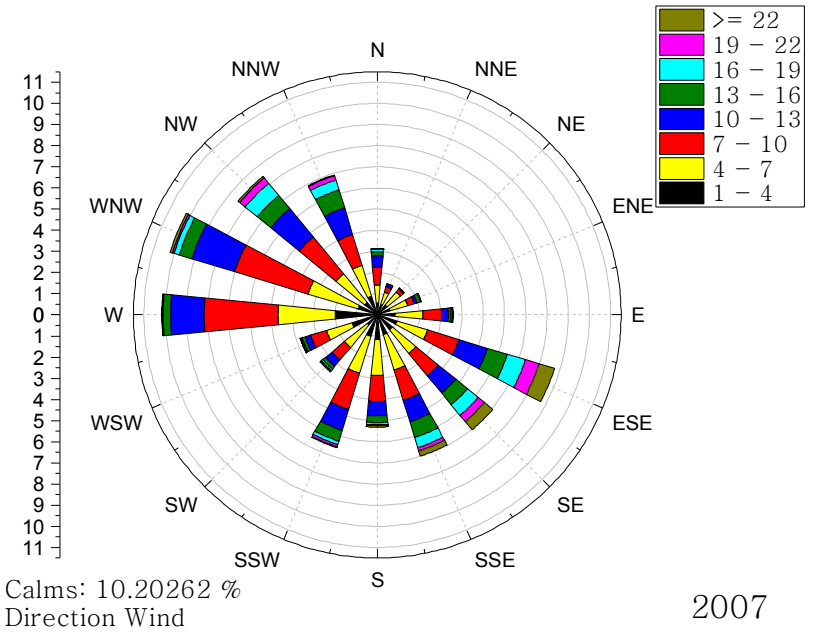

Figure 8. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2007년)

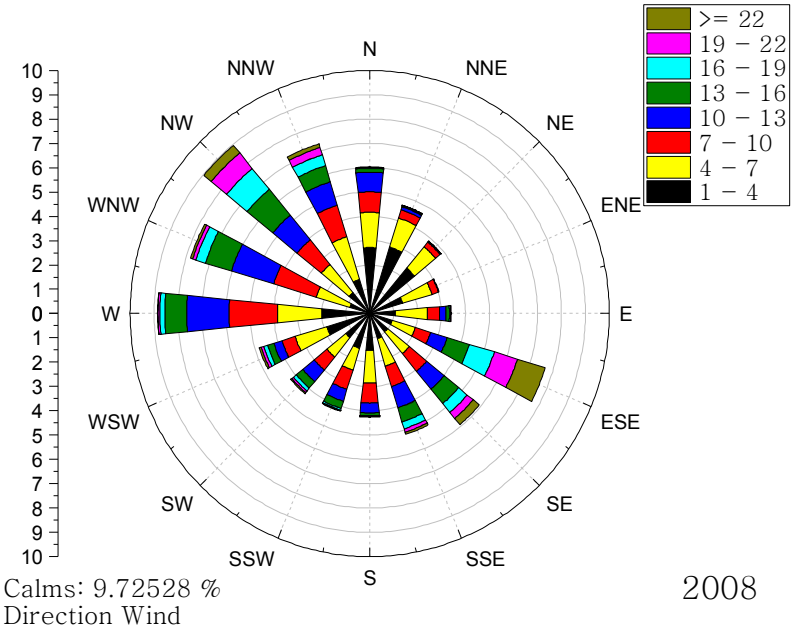

Figure 9. 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 바람 장미 (2008년)

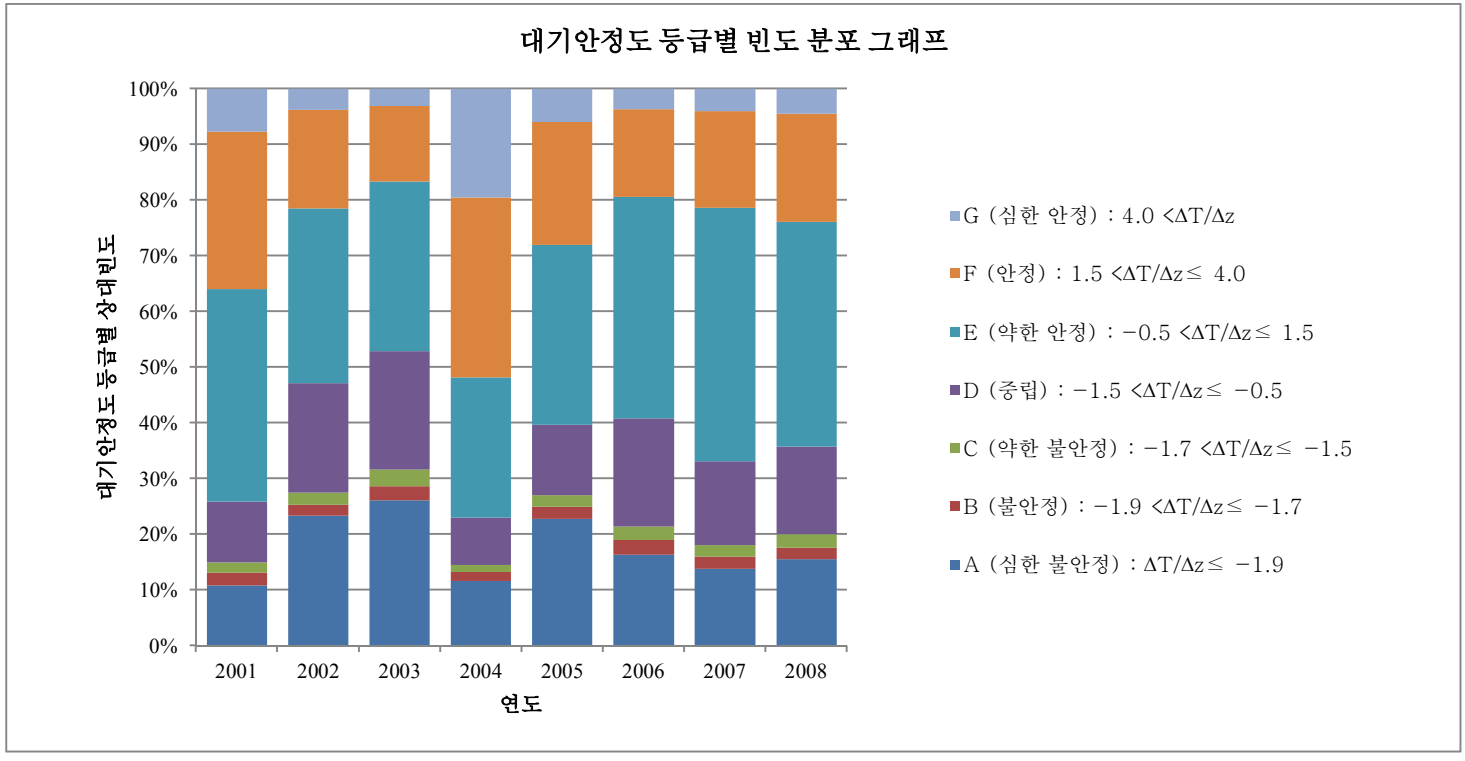

Figure 10. 연도별 고리 부지 내 기상탑 관측 자료의 대기안정도 등급별 빈도 분포

나. 카이제곱 검정 결과

각 기상 특성 별로 카이제곱 검정을 통해 두 기상 자료 사이의 동질성을 평가하였다. 2년 기상 자료와 5년 기상 자료를 각 연도별 기상 자료와 비교하여 기상 특성-풍향, 풍속, 대기안정도-의 분포가 유사한지 비교하였다. 유사성의 비교 척도는 파이 계수를 사용하였다. 선행 연구의 판단 기준을 반영하여 0.2보다 작은 파이 계수가 높은 정도의 유사성을 나타낸다고 해석하였다. [12] 파이 계수를 나타낸 표에서 0.2보다 작은 값을 가지는 셀에 음영 처리하였다.

1) 풍속

각 기상 자료 쌍의 풍속 등급별 빈도 분포를 비교한 결과 파이 계수의 값을 Table 3에 나타내었다. 대부분의 2년 혹은 5년 평균 기상 자료가 많은 연도의 기상 자료와 유사한 풍속 분포를 나타냄을 확인할 수 있다. 음영 처리가 되지 않은 셀도 대체적으로 작은 파이 계수 값을 갖는다. 이 결과를 통해 우선 풍속의 분포가 연도에 따라 크게 변하지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 2년 기상 자료를 평균하는 것과 5년 기상 자료를 평균하는 것에서 음영 처리된 셀의 수는 큰 차이가 없다.

2) 풍향

각 기상 자료 쌍의 풍향의 분포를 비교한 카이제곱 검정으로 계산된 파이 계수의 값은 Table 4에 나타내었다. 풍향은 풍속에 비해 음영 처리된 셀의 수가 현저히 적고 2년 기상 자료를 사용한 경우에만 나타난다. 2년 자료를 사용한 결과만 보았을 때, 평균한 기상 자료에 포함되는 연도들만이 작은 파이 계수 값들을 보이고 다른 연도와는 매우 큰 파이 계수 값을 보인다. 5년 자료를 사용한 결과는 음영 처리한 셀, 즉 0.2보다 작은 파이 계수가 아예 없으며 5년간 평균한 기간에 포함된 연도들과의 파이 계수는 2년 자료의 경우보다 큰 값들을 가진다. 그러나 전반적으로 더 평이하고 작은 파이 계수를 나타낸다. 특히 2004년의 경우, 모든 쌍에서 큰 파이 계수를 보이나 전반적으로 5년 평균 기상 자료와의 파이 계수들이 2년 평균 기상 자료와의 파이 계수들보다 더 작다.

3) 대기안정도

각 기상 자료 쌍의 대기안정도 등급 분포를 비교한 카이제곱 검정 결과의 파이 계수 값은 Table 5에 나타내었다. 음영 처리한 셀의 분포는 2년 평균 자료와 5년 평균 자료의 경우가 크게 다르지 않고 전반적으로 작은 파이 계수 값을 나타낸다. 다만 2004년의 경우, 2004년을 포함한 2년자료를 제외한 다른 기상 자료들과 두드러지게 큰 파이 계수 값을 나타낸다.

Table 3. 각 기상 자료 쌍의 카이제곱 검정 결과 파이 계수 (풍속)

	2001–2002	2002–2003	2003–2004	2004–2005	2005–2006	2006–2007	2007–2008	2001–2005	2002–2006	2003–2007	2004–2008
2001	0.183	0.210	0.071	0.049	0.082	0.259	0.464	0.114	0.115	0.137	0.217
2002	0.182	0.138	0.510	0.626	0.581	0.280	0.383	0.333	0.335	0.358	0.316
2003	0.122	0.140	0.094	0.163	0.163	0.226	0.429	0.058	0.066	0.103	0.187
2004	0.224	0.246	0.092	0.081	0.139	0.298	0.508	0.156	0.161	0.180	0.268
2005	0.172	0.201	0.118	0.083	0.038	0.173	0.384	0.106	0.096	0.072	0.142
2006	0.198	0.226	0.124	0.069	0.039	0.220	0.417	0.136	0.129	0.123	0.182
2007	0.337	0.321	0.571	0.656	0.598	0.220	0.165	0.420	0.414	0.389	0.297
2008	0.550	0.558	0.700	0.730	0.647	0.412	0.162	0.593	0.582	0.540	0.386

Table 4. 각 기상 자료 쌍의 카이제곱 검정 결과 파이 계수 (풍향)

	2001–2002	2002–2003	2003–2004	2004–2005	2005–2006	2006–2007	2007–2008	2001–2005	2002–2006	2003–2007	2004–2008
2001	0.259	0.415	0.344	0.558	1.053	1.206	0.941	0.317	0.482	0.639	0.774
2002	0.256	0.219	0.602	0.852	1.075	1.051	0.772	0.442	0.511	0.652	0.731
2003	0.388	0.223	0.318	0.649	0.902	1.034	0.814	0.327	0.416	0.563	0.713
2004	0.613	0.680	0.313	0.306	0.760	0.870	0.670	0.367	0.374	0.425	0.506
2005	0.851	0.860	0.579	0.315	0.194	0.427	0.468	0.517	0.396	0.311	0.334
2006	0.917	0.994	0.743	0.456	0.196	0.195	0.333	0.673	0.501	0.370	0.285
2007	0.883	0.933	0.824	0.738	0.599	0.195	0.172	0.700	0.564	0.456	0.336
2008	0.651	0.705	0.619	0.597	0.566	0.382	0.169	0.505	0.381	0.320	0.256

Table 5. 각 기상 자료 쌍의 카이제곱 검정 결과 파이 계수 (대기안정도)

	2001–2002	2002–2003	2003–2004	2004–2005	2005–2006	2006–2007	2007–2008	2001–2005	2002–2006	2003–2007	2004–2008
2001	0.242	0.545	0.329	0.276	0.349	0.406	0.334	0.269	0.325	0.281	0.217
2002	0.240	0.072	0.307	0.451	0.161	0.285	0.310	0.249	0.181	0.226	0.298
2003	0.364	0.073	0.404	0.561	0.268	0.367	0.409	0.363	0.290	0.337	0.413
2004	0.670	1.043	0.397	0.268	0.810	0.967	0.884	0.524	0.609	0.601	0.564
2005	0.158	0.278	0.213	0.276	0.155	0.326	0.299	0.128	0.125	0.148	0.197
2006	0.226	0.235	0.383	0.488	0.157	0.081	0.143	0.298	0.250	0.223	0.243
2007	0.245	0.370	0.436	0.473	0.214	0.081	0.057	0.334	0.317	0.255	0.226
2008	0.140	0.295	0.334	0.393	0.120	0.098	0.056	0.231	0.212	0.160	0.146

제 2 절 대기확산인자

가. 대기확산인자 분포

Figure 11 – 32는 제한구역 내 (선원 중심 700m 반경 이내) 선원 주변의 대기확산인자 분포를 나타낸 등고선 그래프와 3D 그래프이다. 실제 통계적 분석으로 비교한 1년, 2년 및 5년 평균 기상자료를 통해 계산한 제한구역경계 상의 16 방위 별 대기확산인자 값은 Table 6 - 11과 같다. 대기확산인자는 2년 및 5년 평균 기상자료 별로 방출고도가 58 m일 때와 0 m일 때로 나누어 계산하여 나타내었다.

방출 고도가 58 m일 때는 주변에서 오히려 낮은 대기확산인자를 보이다가 급격히 대기확산인자가 상승하여 거리가 멀어짐에 따라 점차 감소한다. 반면 방출고도가 0 m인 경우 선원 주변의 매우 좁은 영역에서 매우 큰 대기확산인자를 보이고 거리가 멀어짐에 따라 급격하게 감소하는 분포를 보인다.

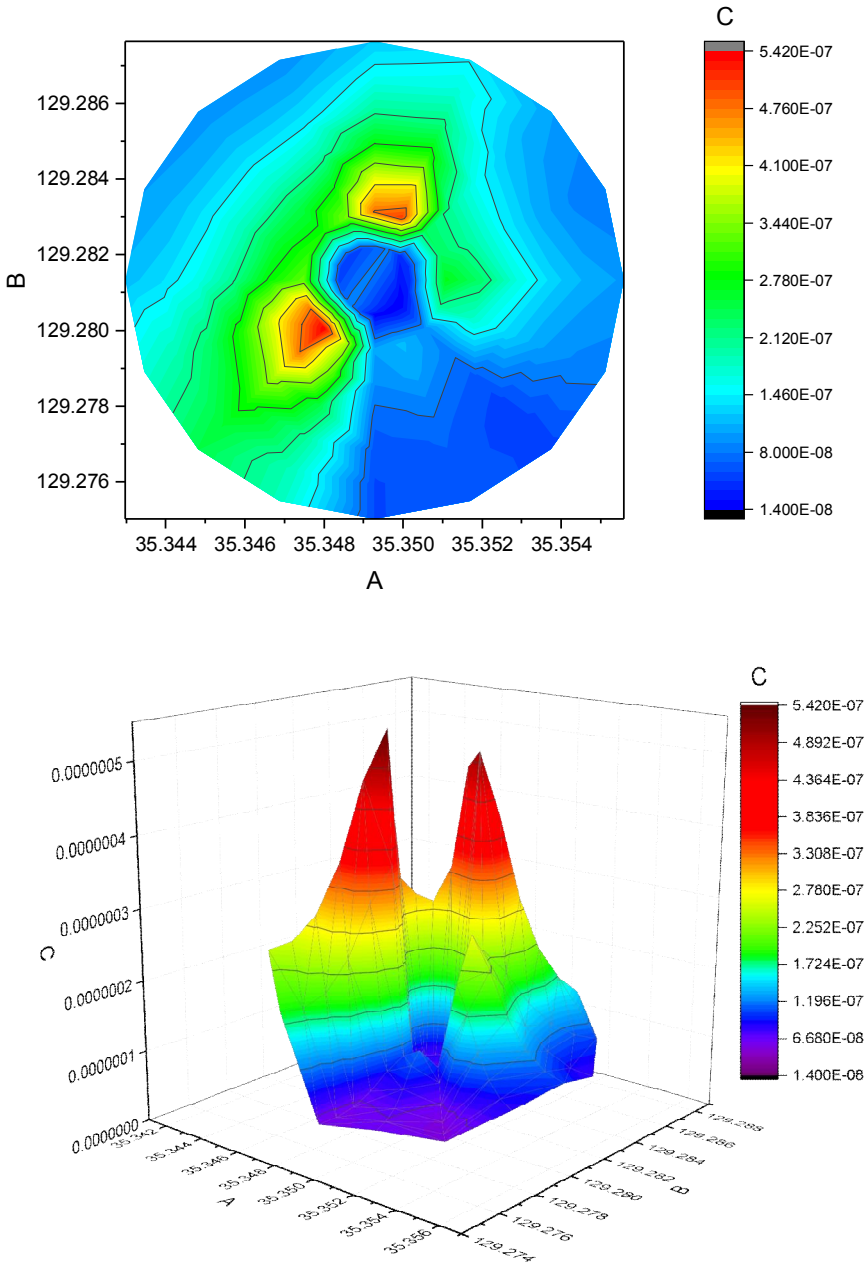

Figure 11. 2001 – 2002년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 58 m 방출

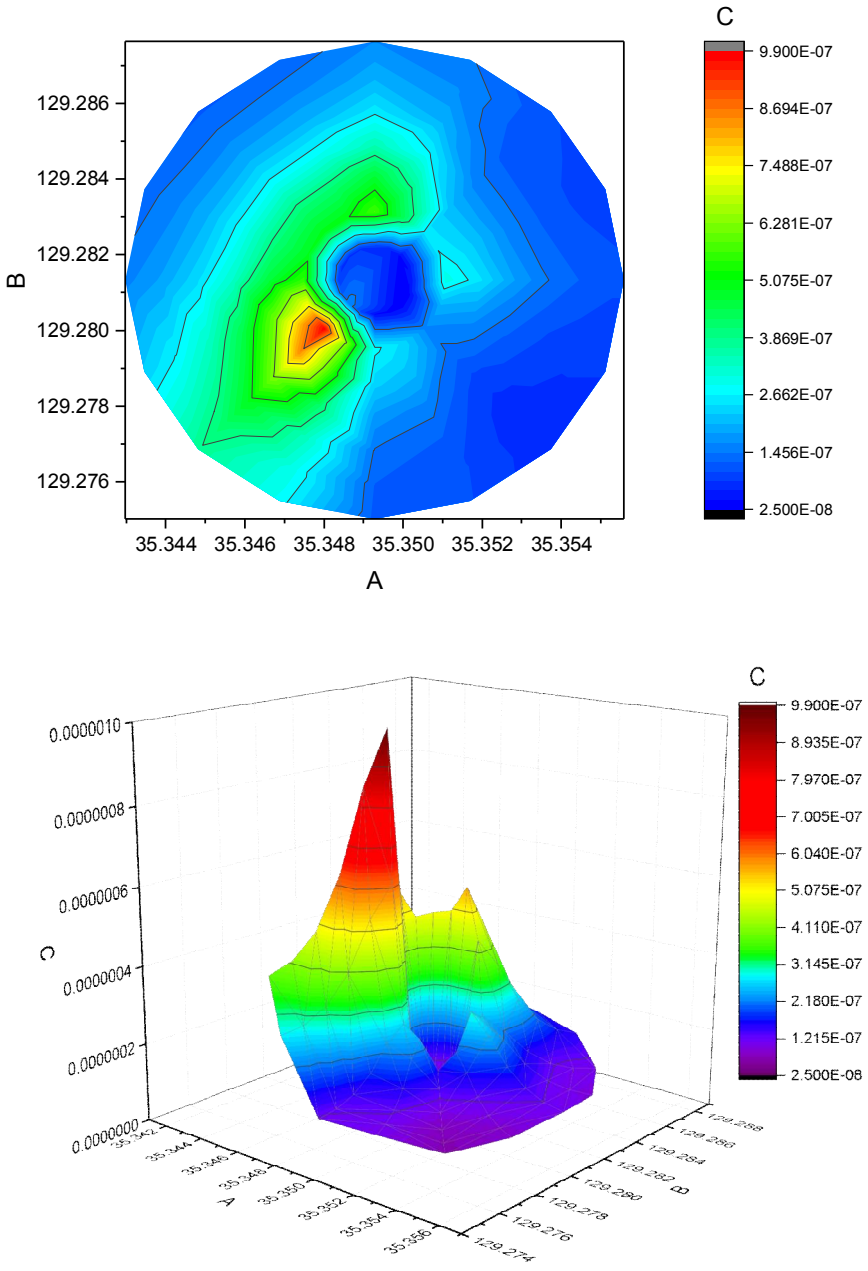

Figure 12. 2002 - 2003년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출

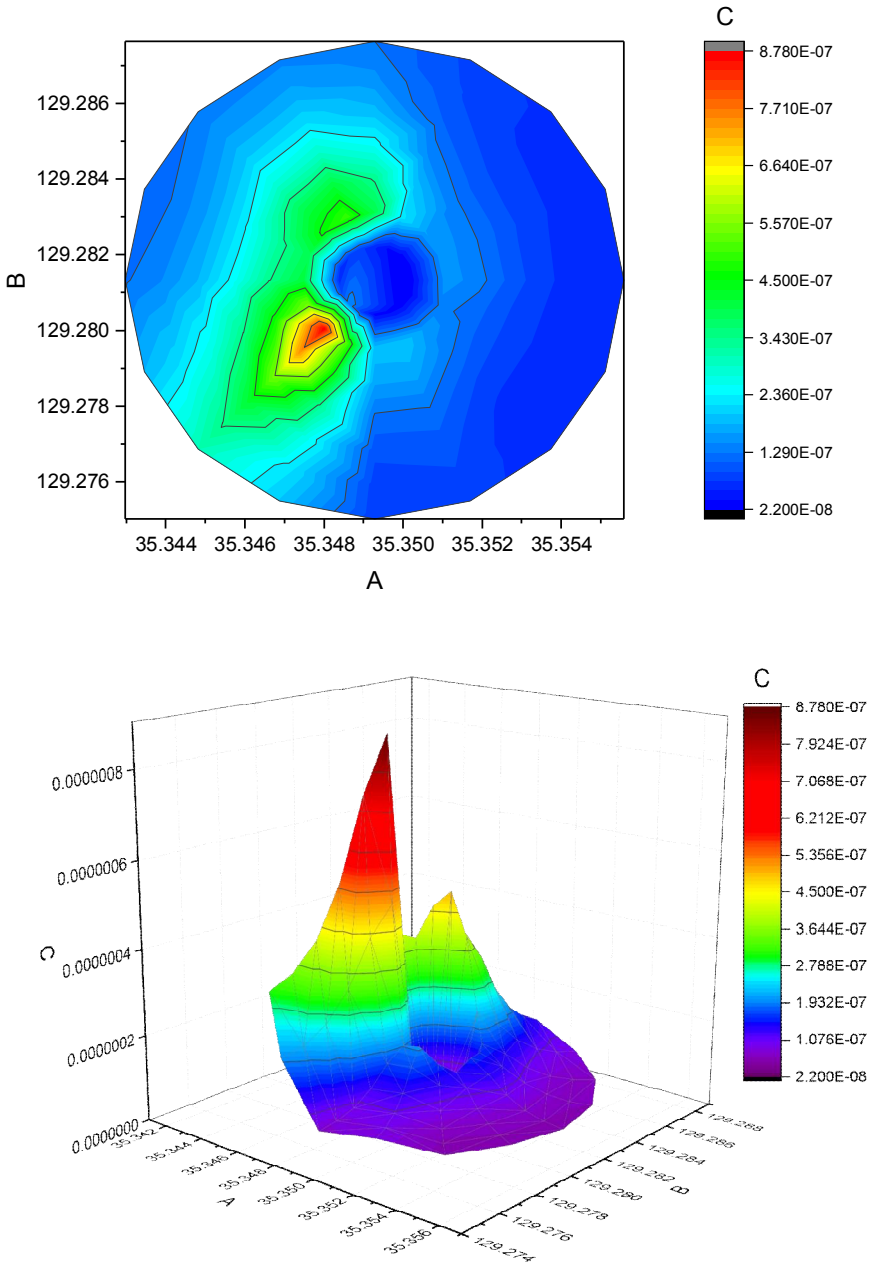

Figure 13. 2003 - 2004년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출

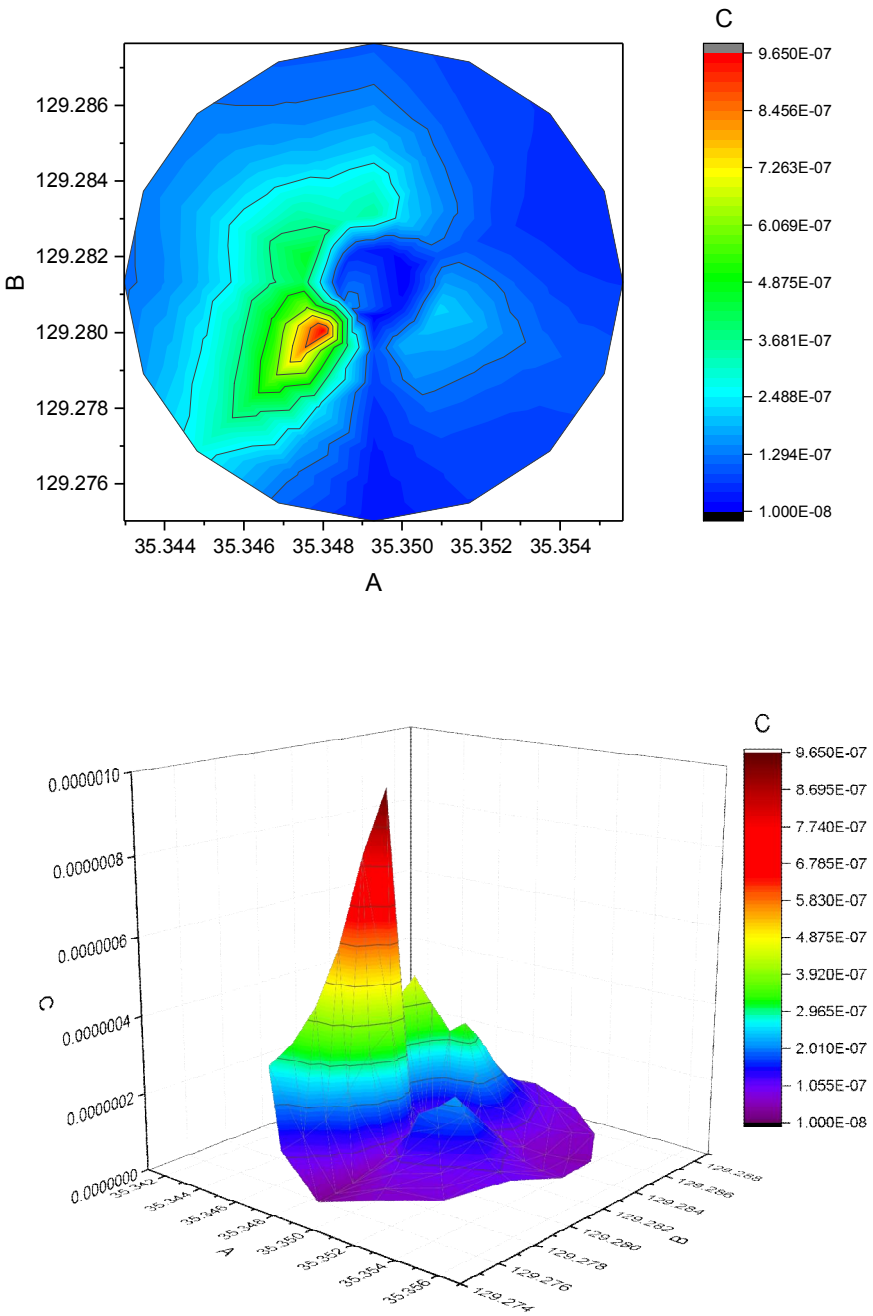

Figure 14. 2004 - 2005년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출

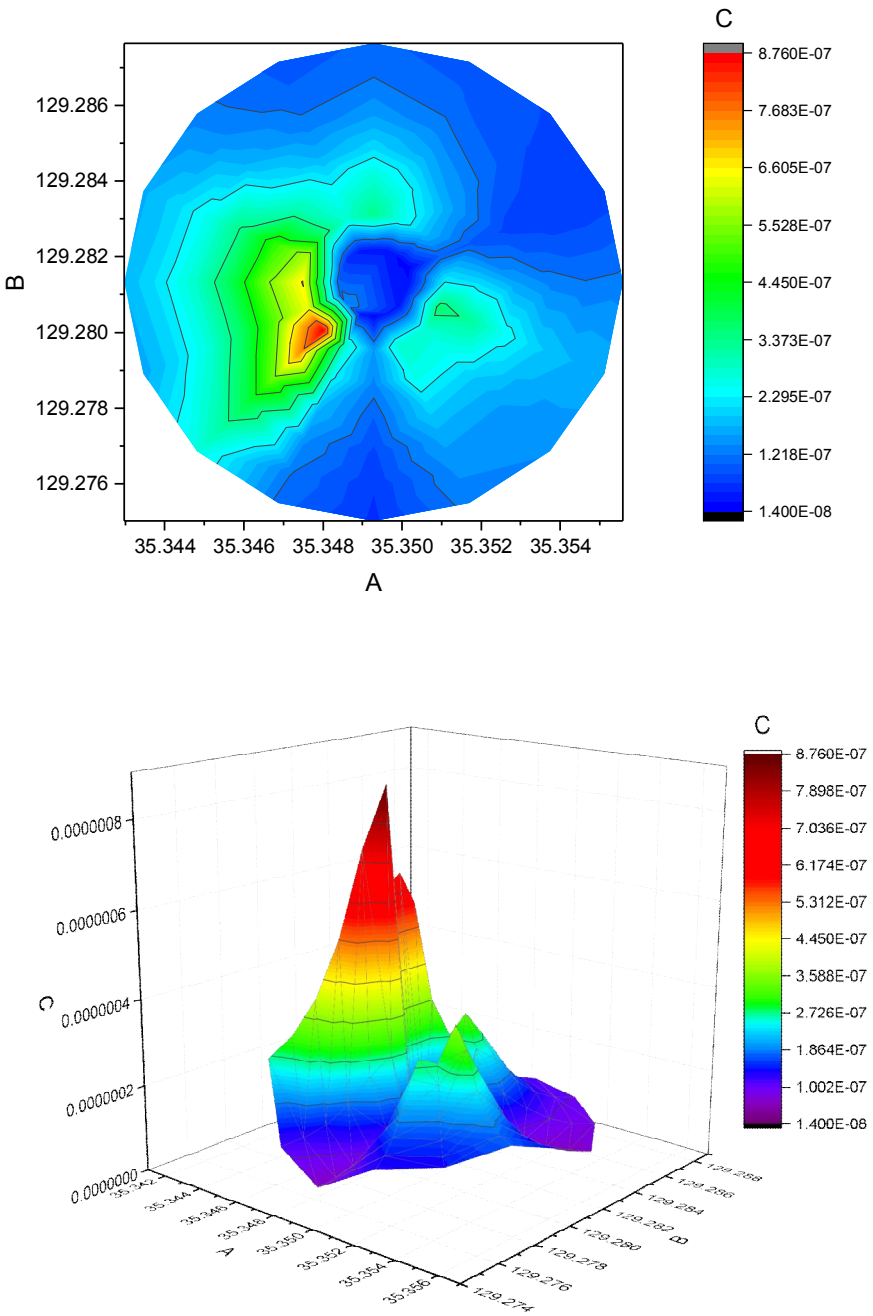

Figure 15. 2005 - 2006년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출

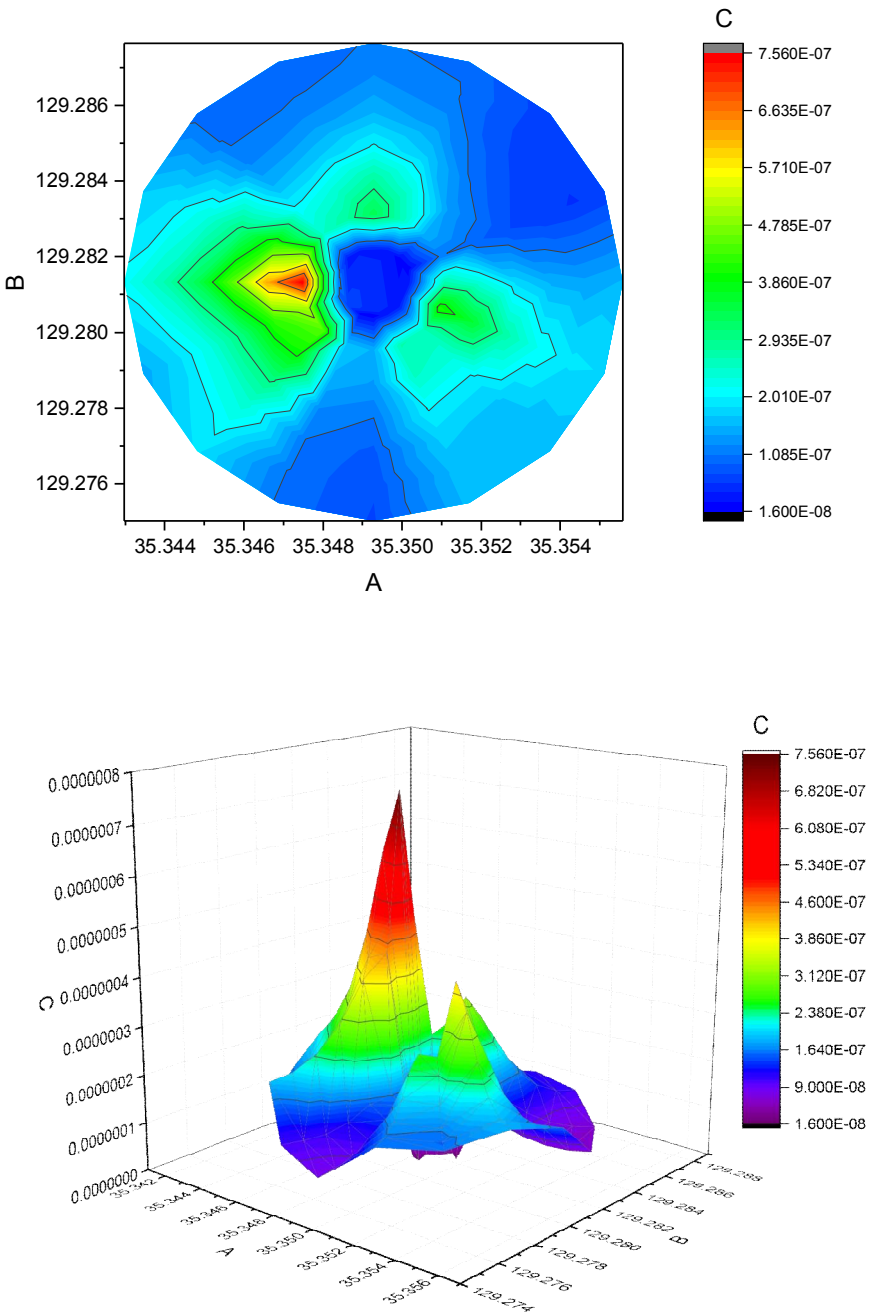

Figure 16. 2006 - 2007년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출

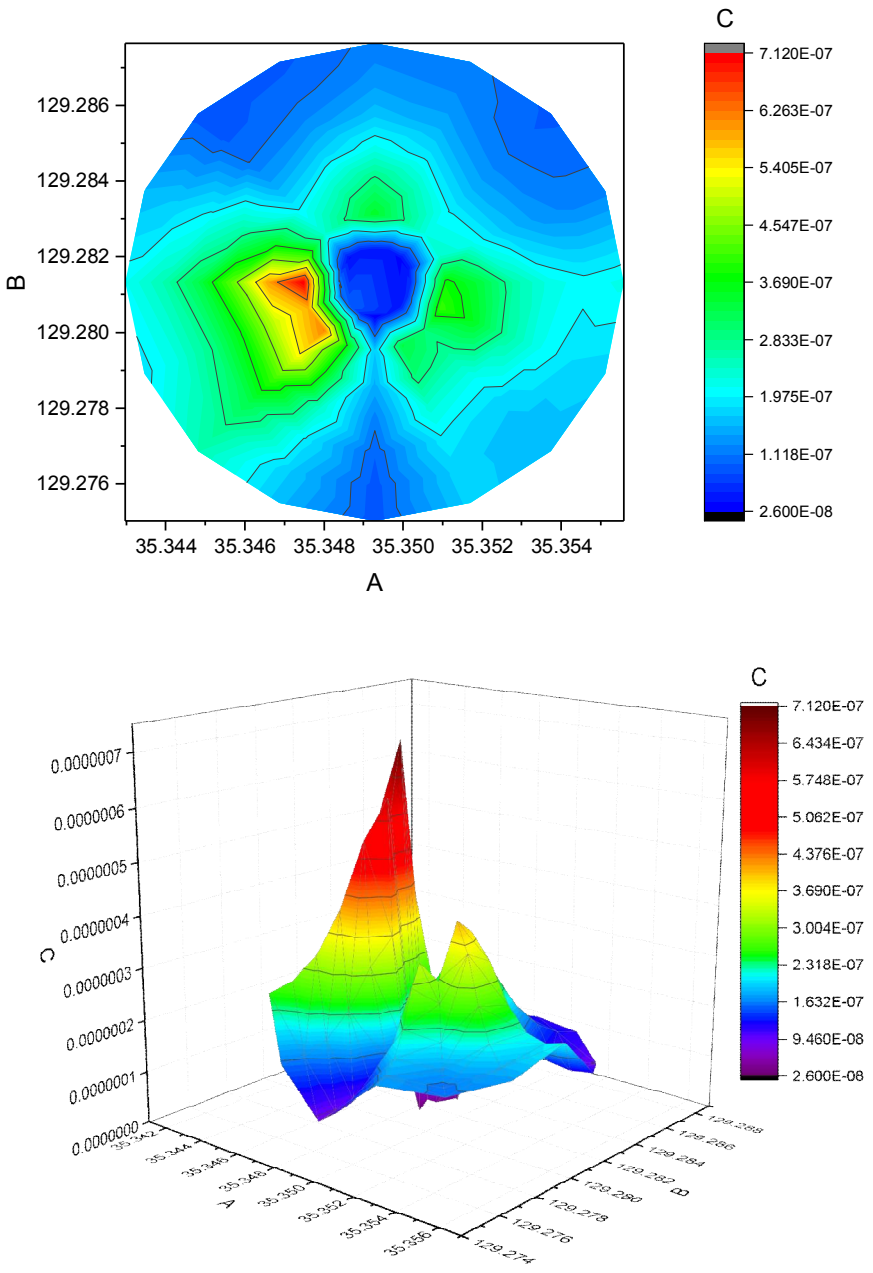

Figure 17. 2007 - 2008년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출

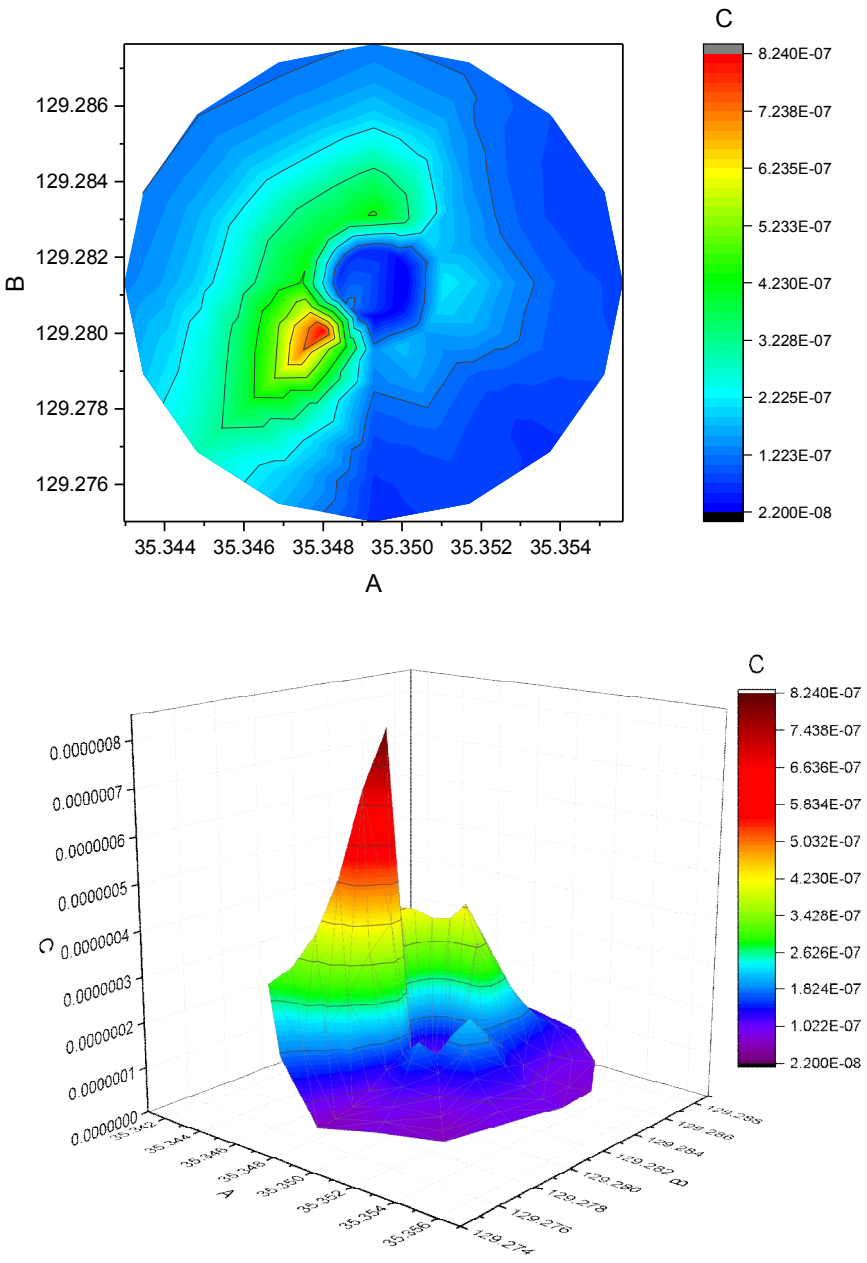

Figure 18. 2001 – 2005년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 58 m 방출

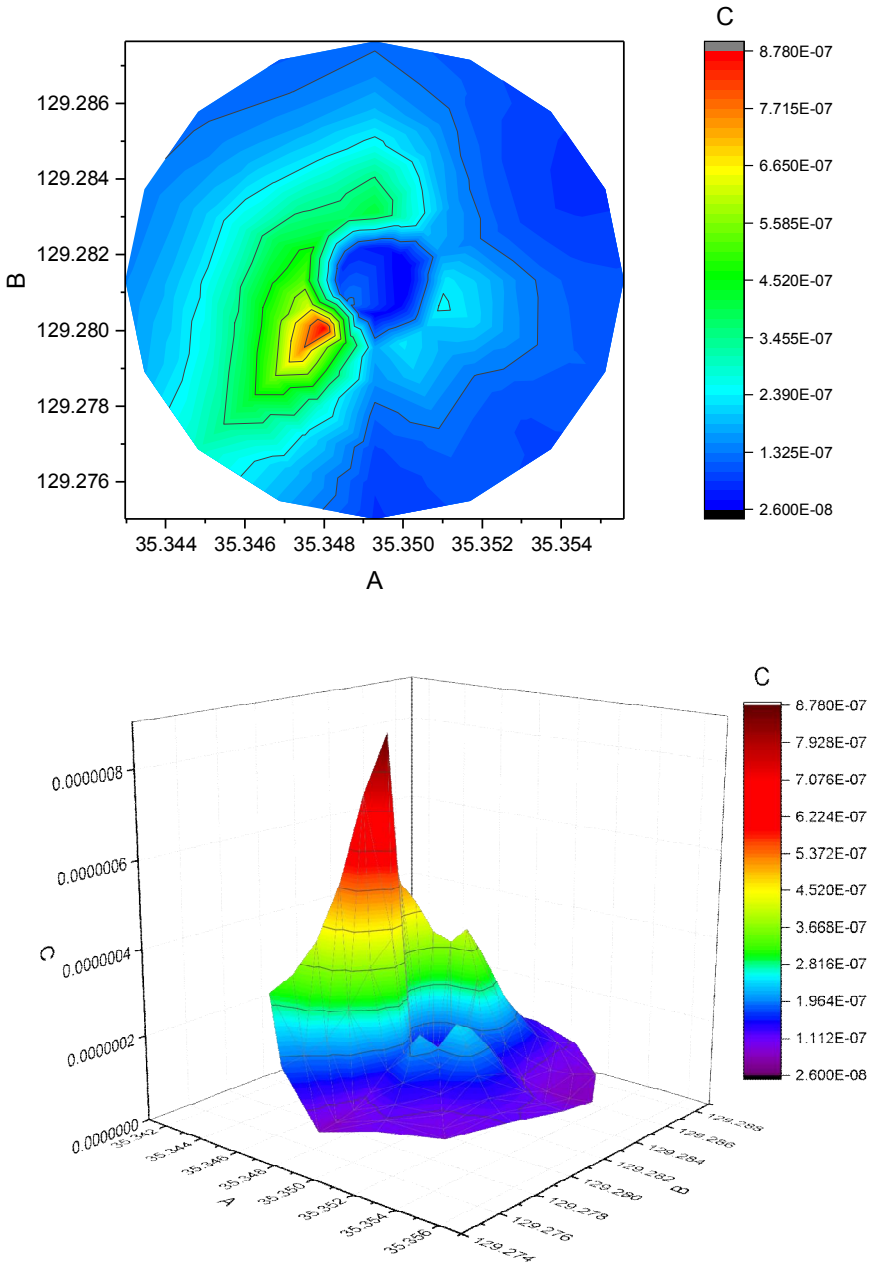

Figure 19. 2002 - 2006년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출

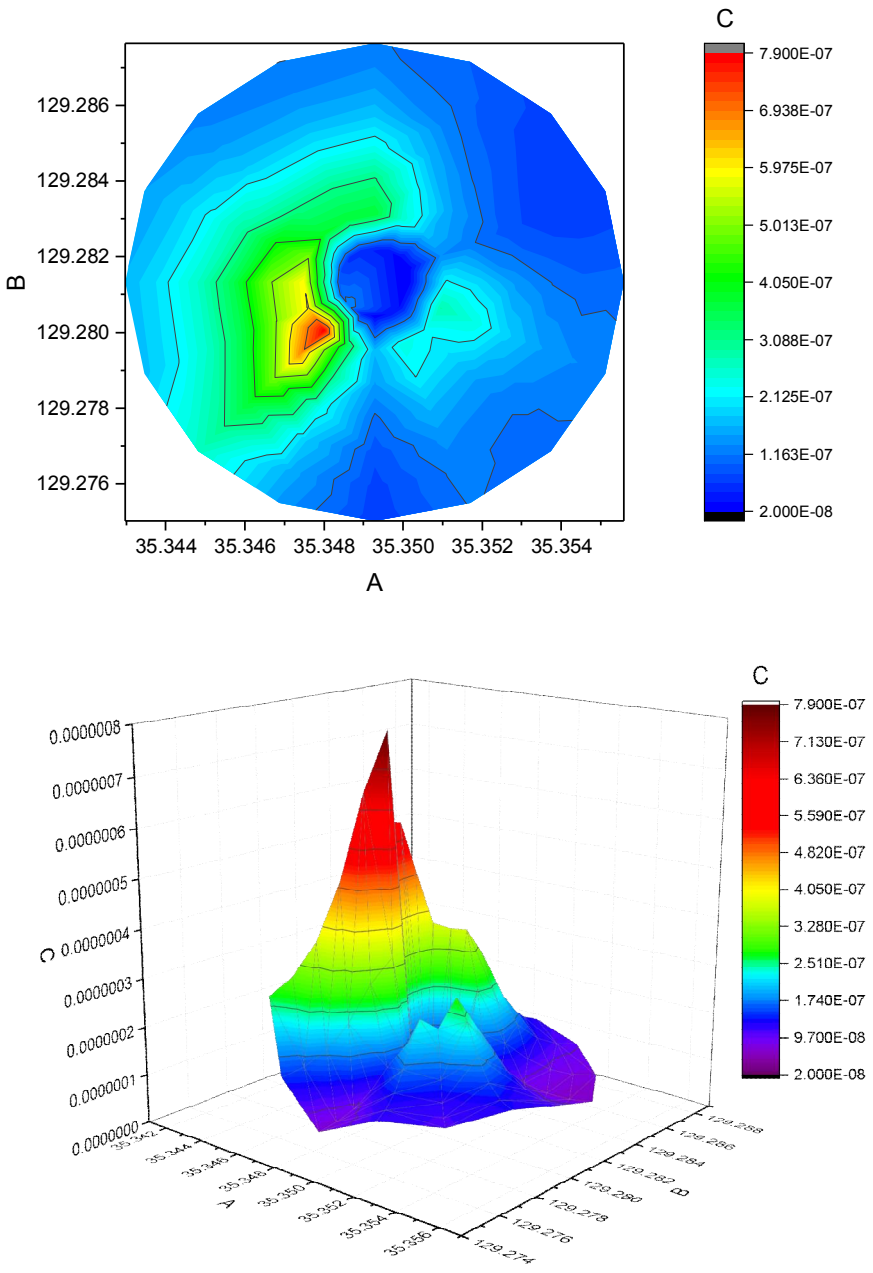

Figure 20. 2003 - 2007년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출

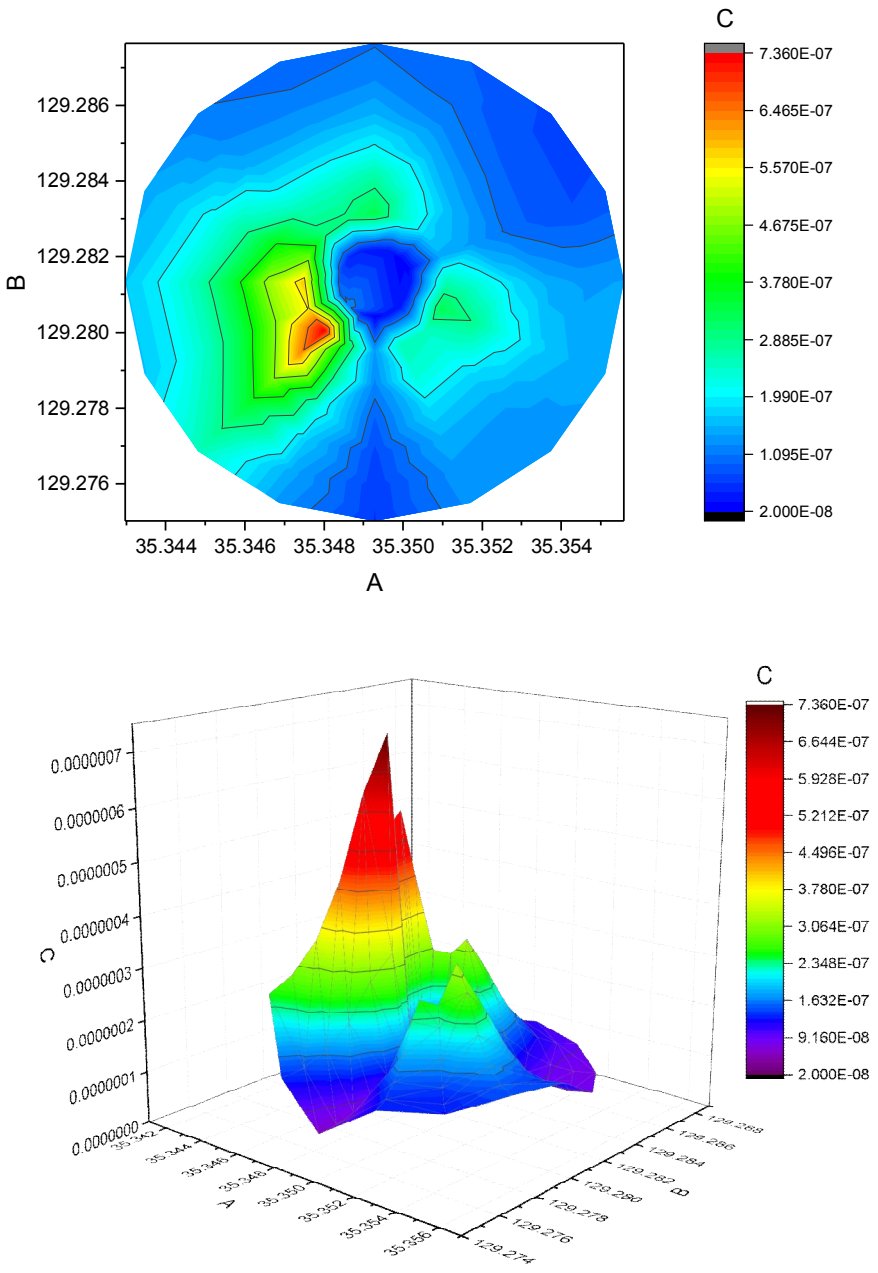

Figure 21. 2004 - 2008년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 58 m 방출

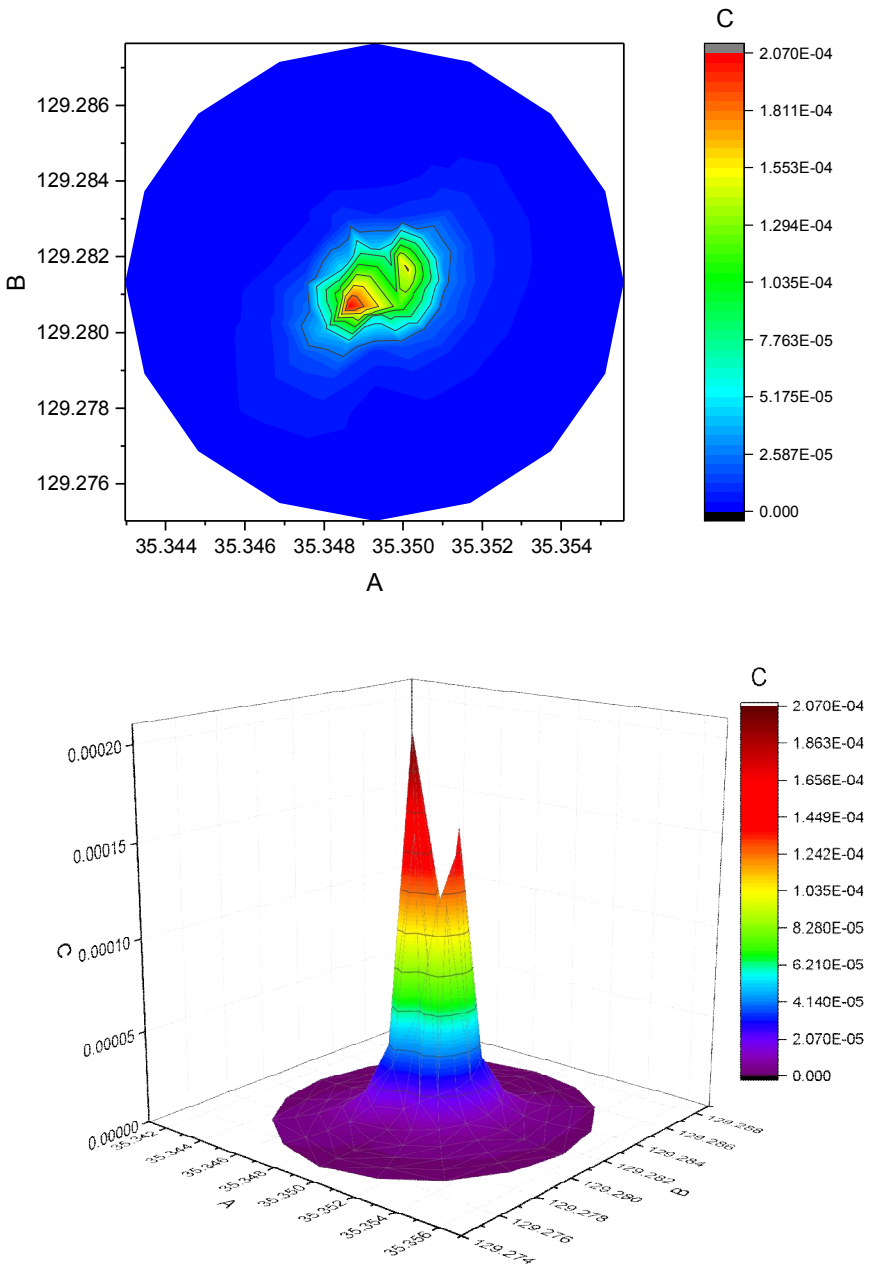

Figure 22. 2001 - 2002년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

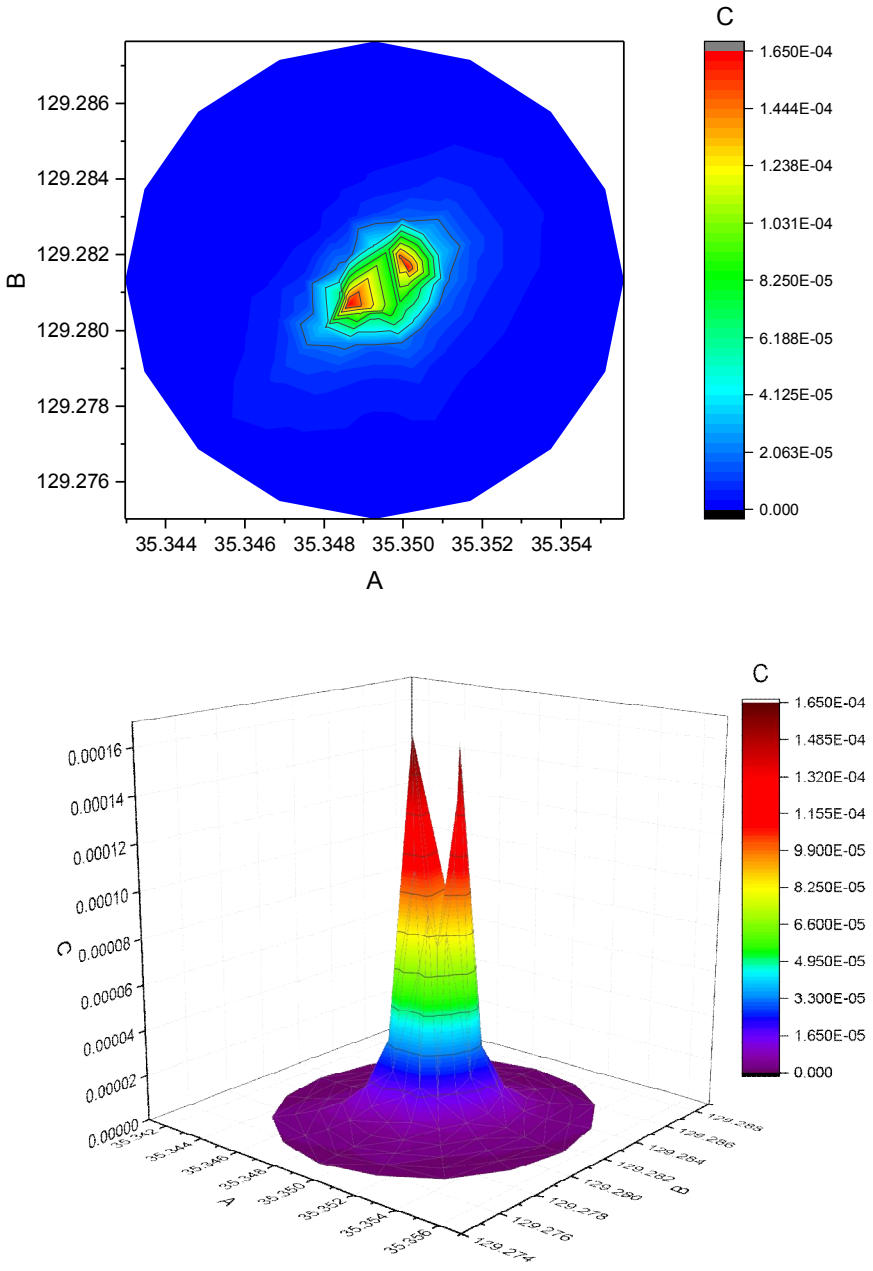

Figure 23. 2002 - 2003년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

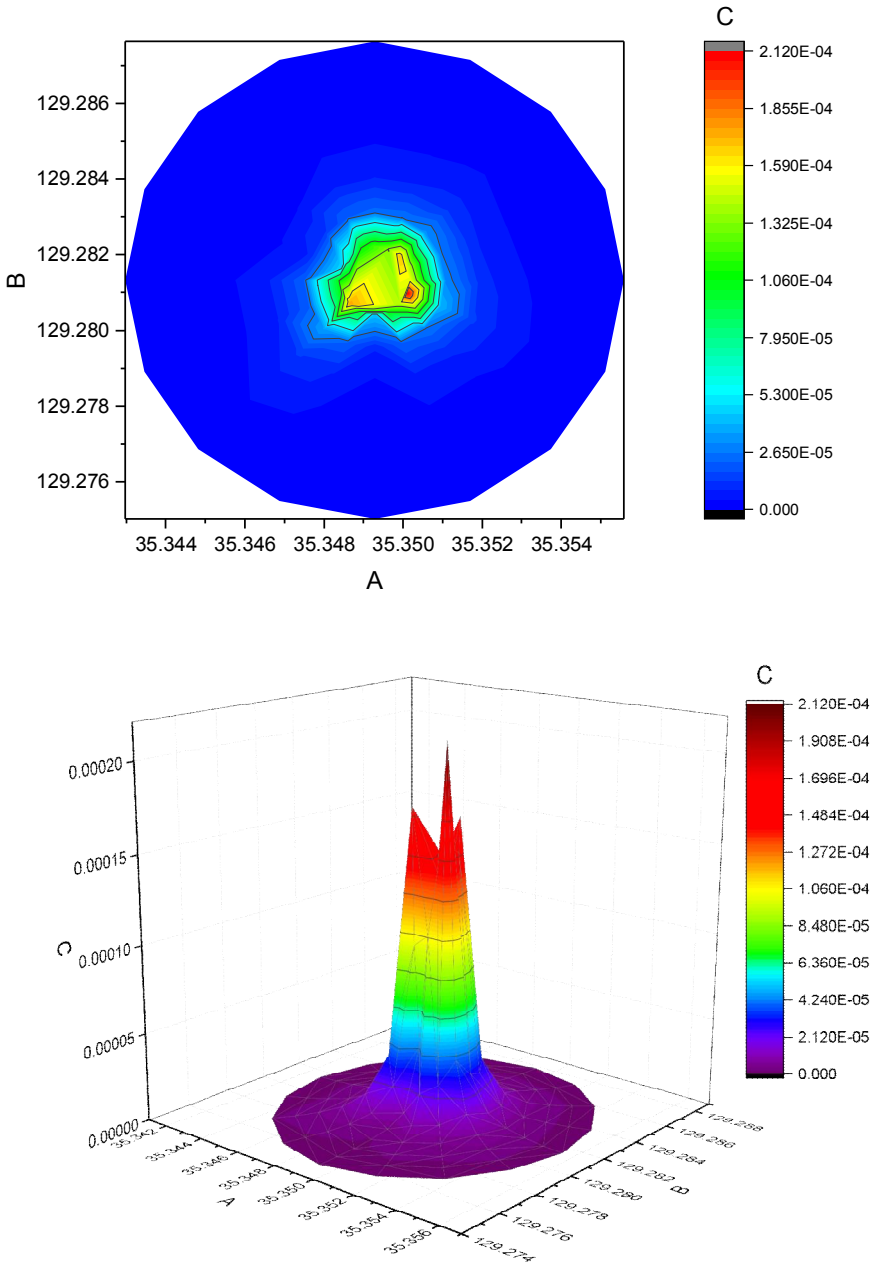

Figure 24. 2003 - 2004년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

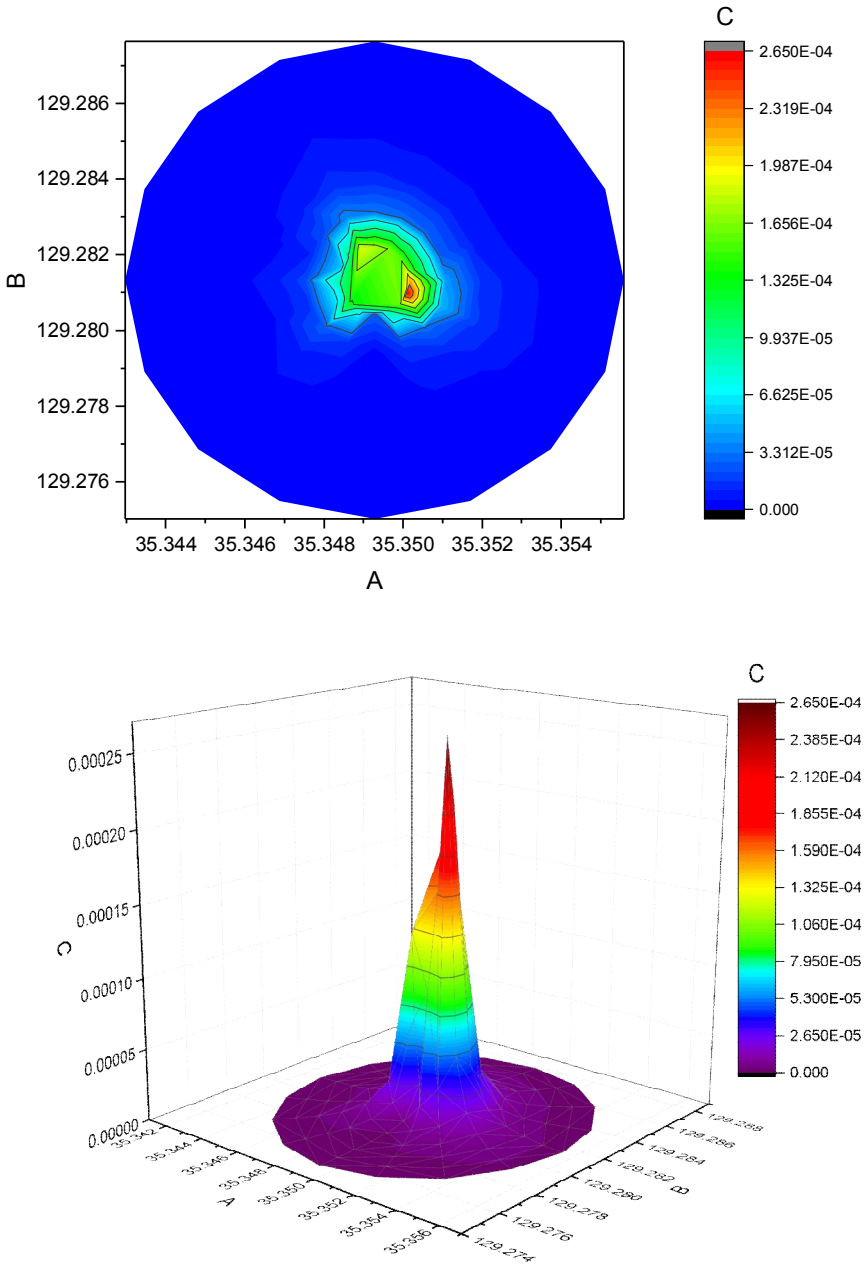

Figure 25. 2004 - 2005년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

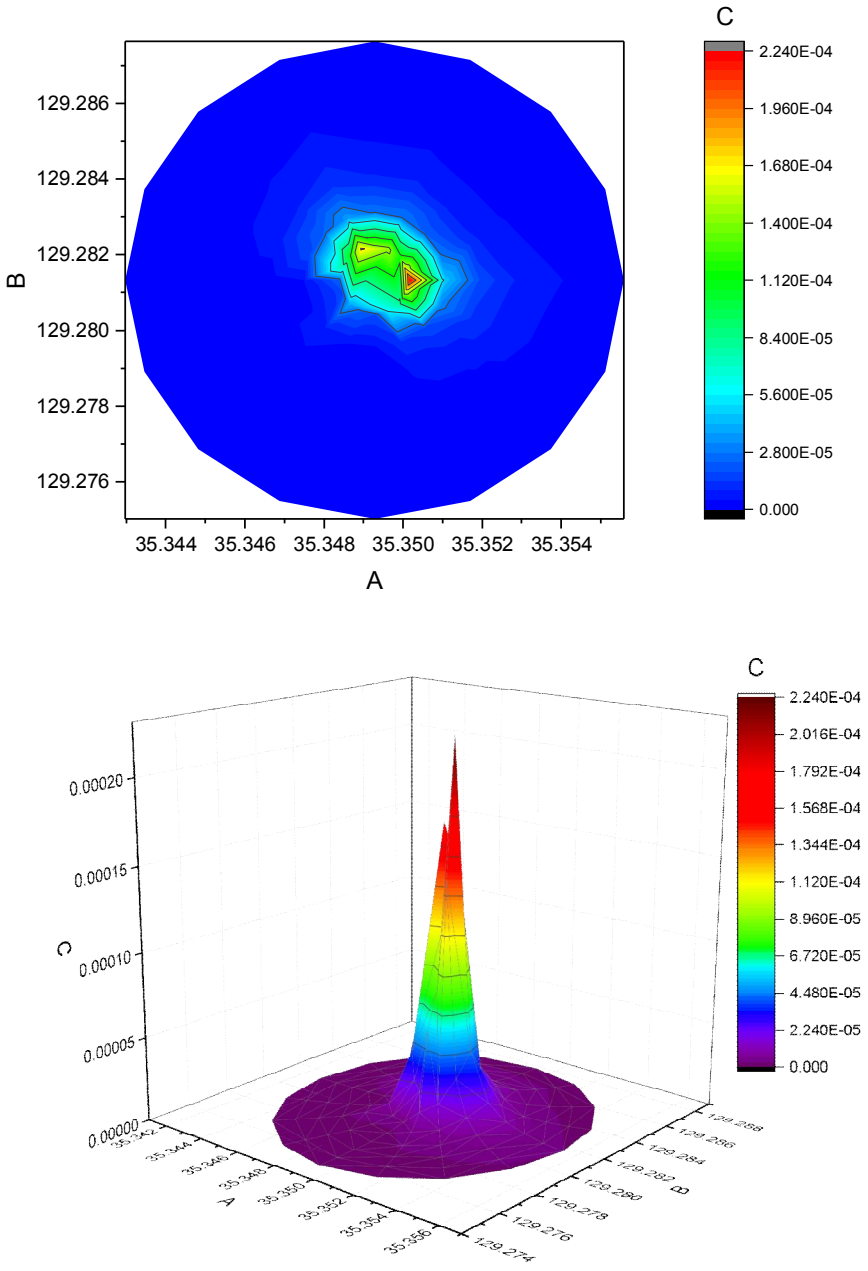

Figure 26. 2005 - 2006년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

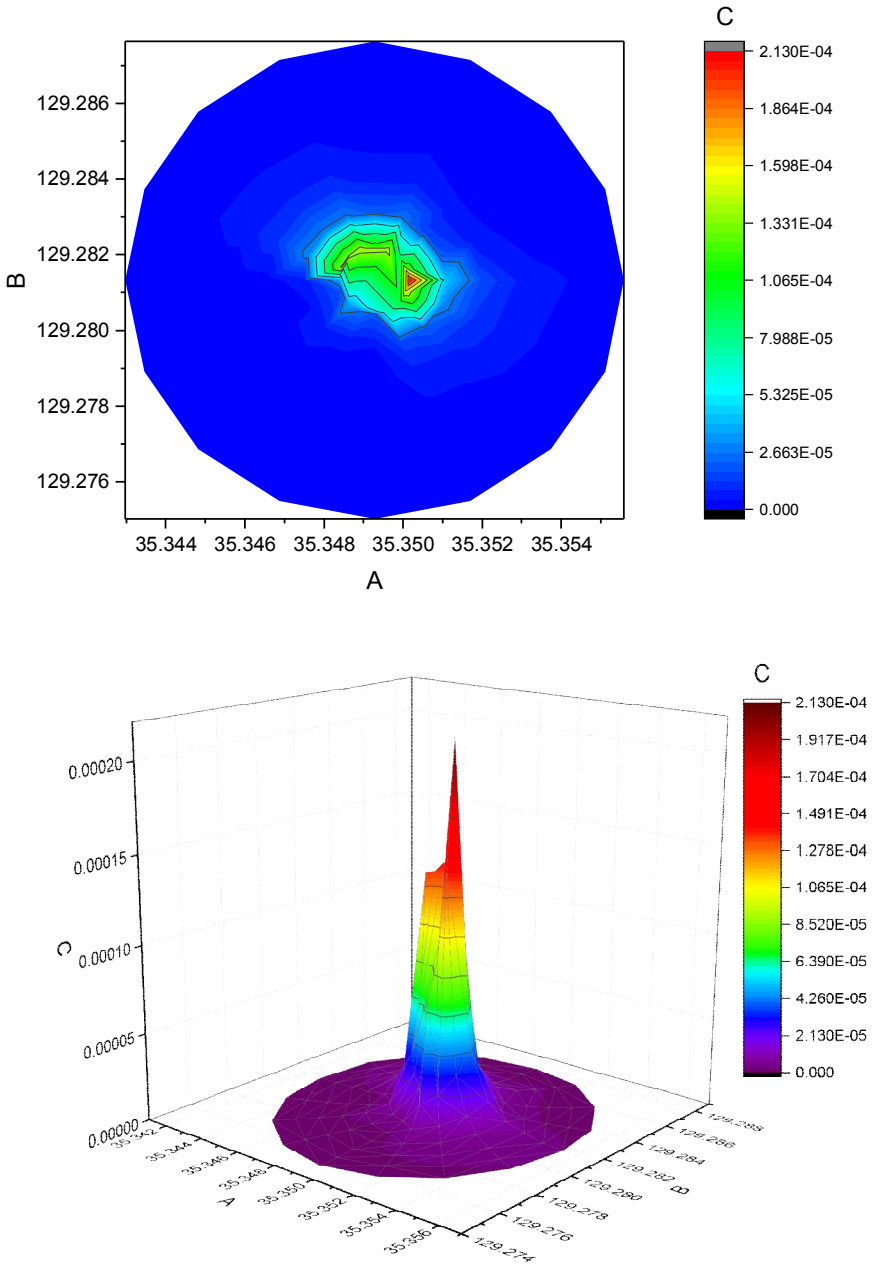

Figure 27. 2006 - 2007년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

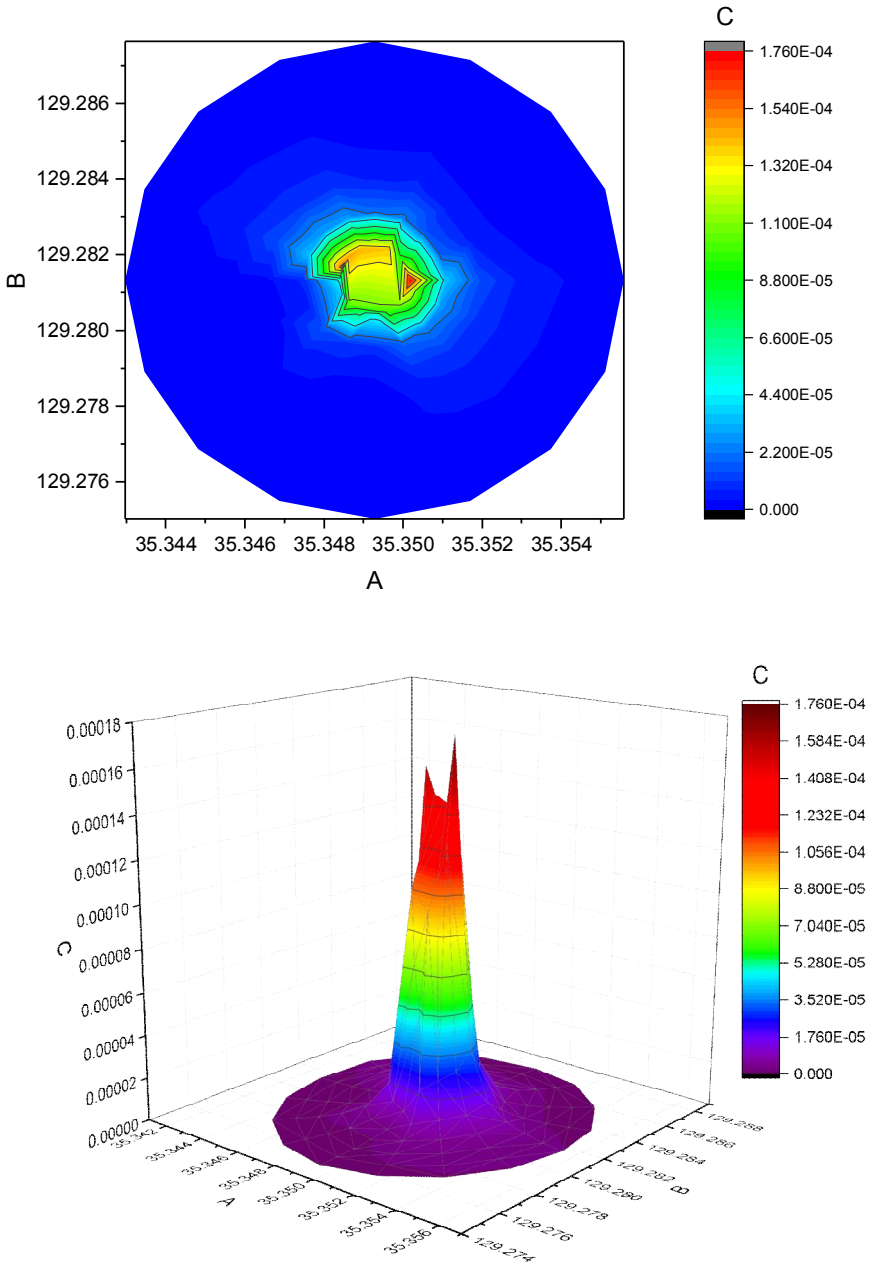

Figure 28. 2007 - 2008년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

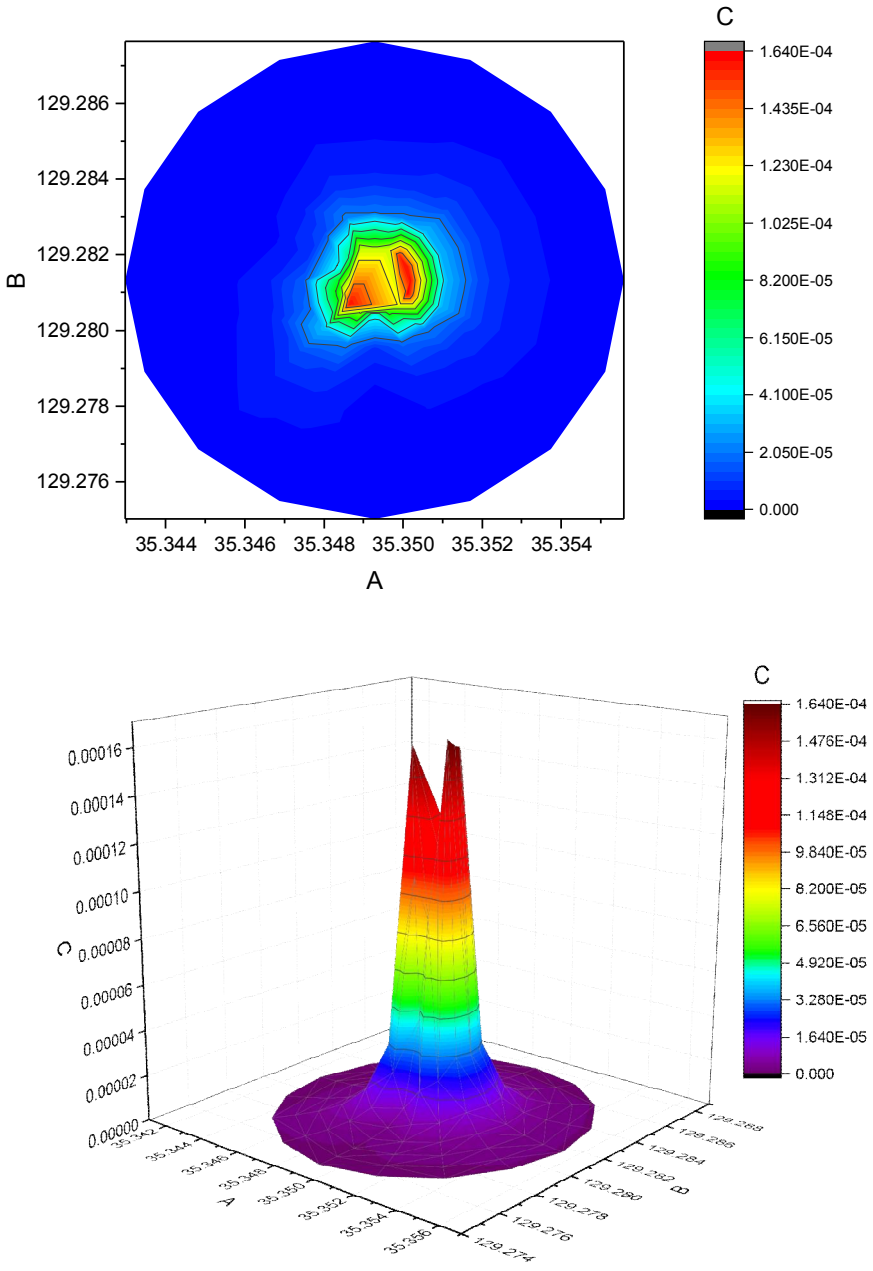

Figure 29. 2001 – 2005년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) – 0 m 방출

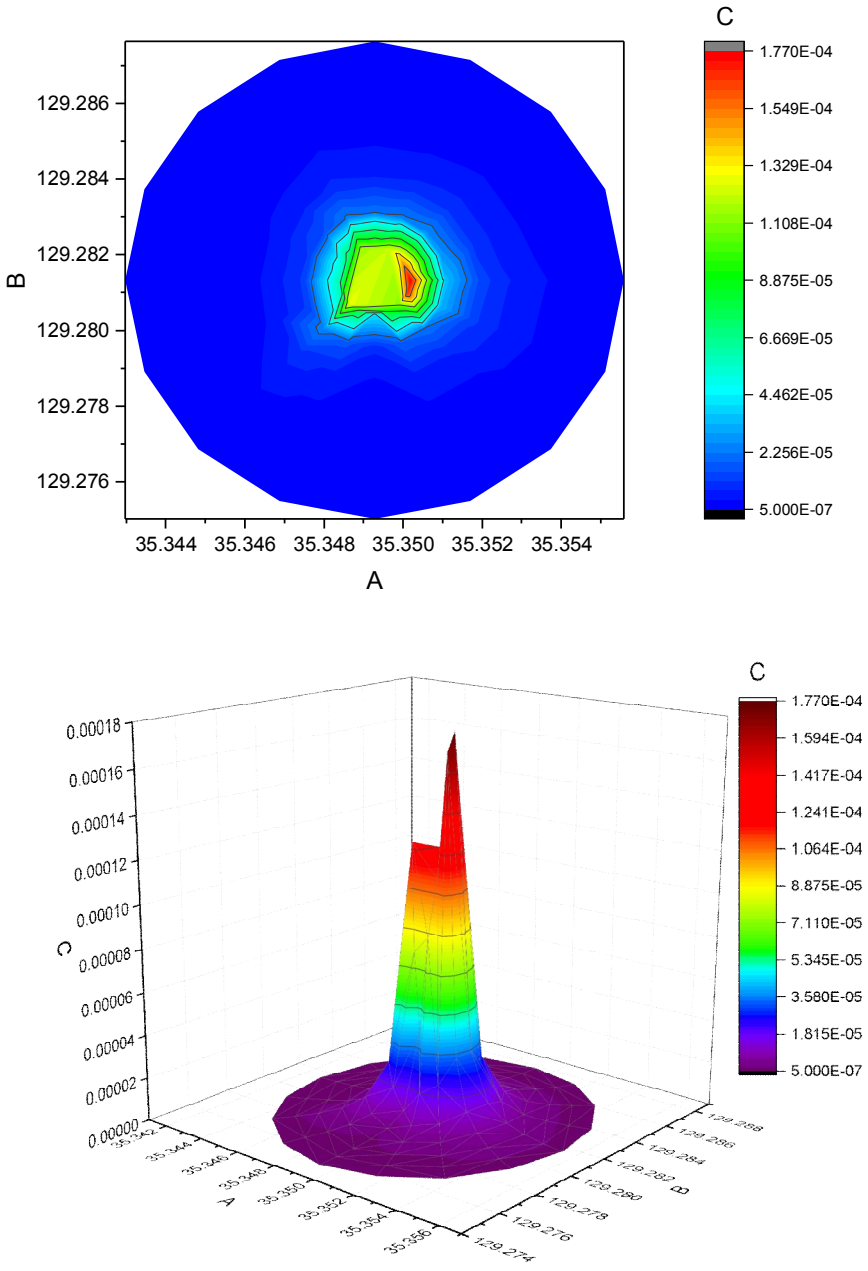

Figure 30. 2002 - 2006년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

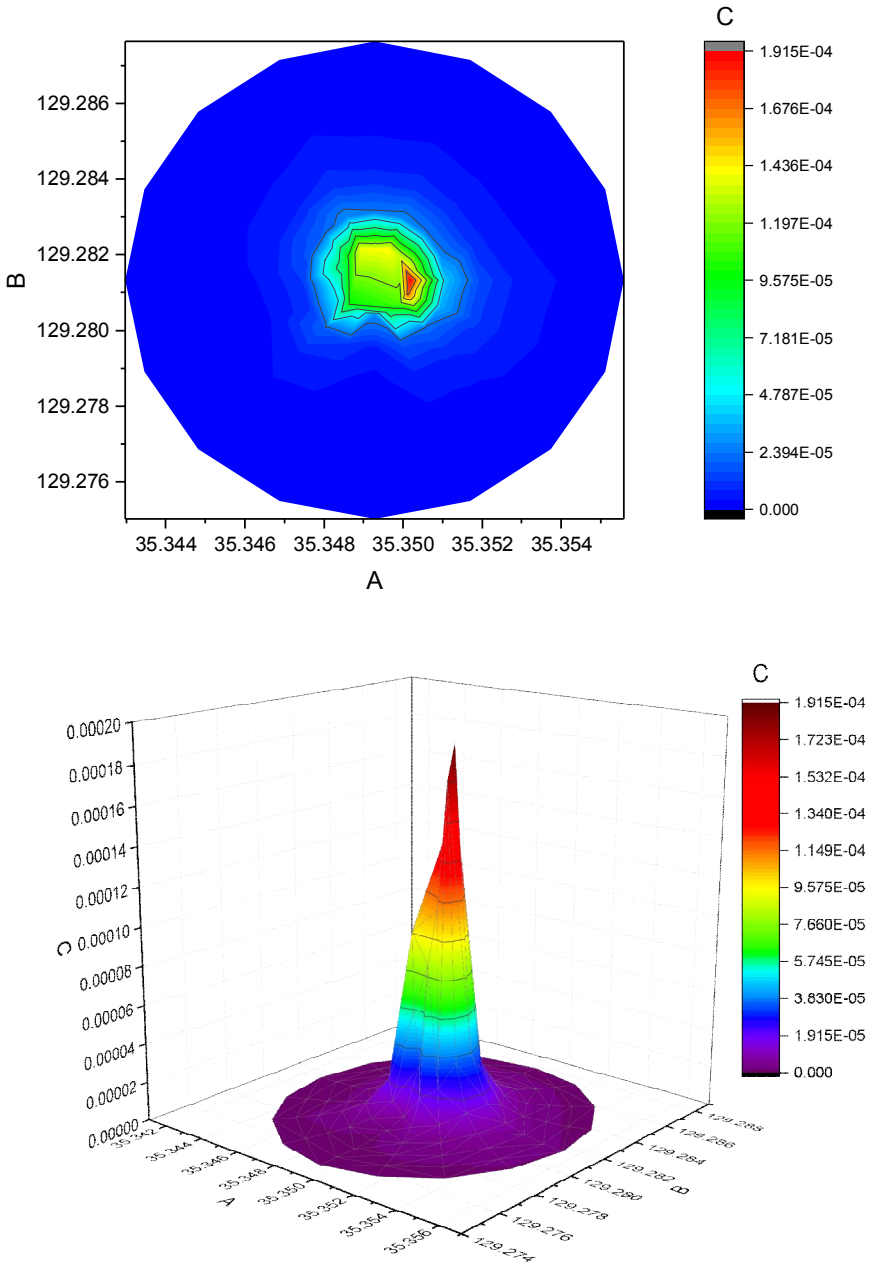

Figure 31. 2003 - 2007년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

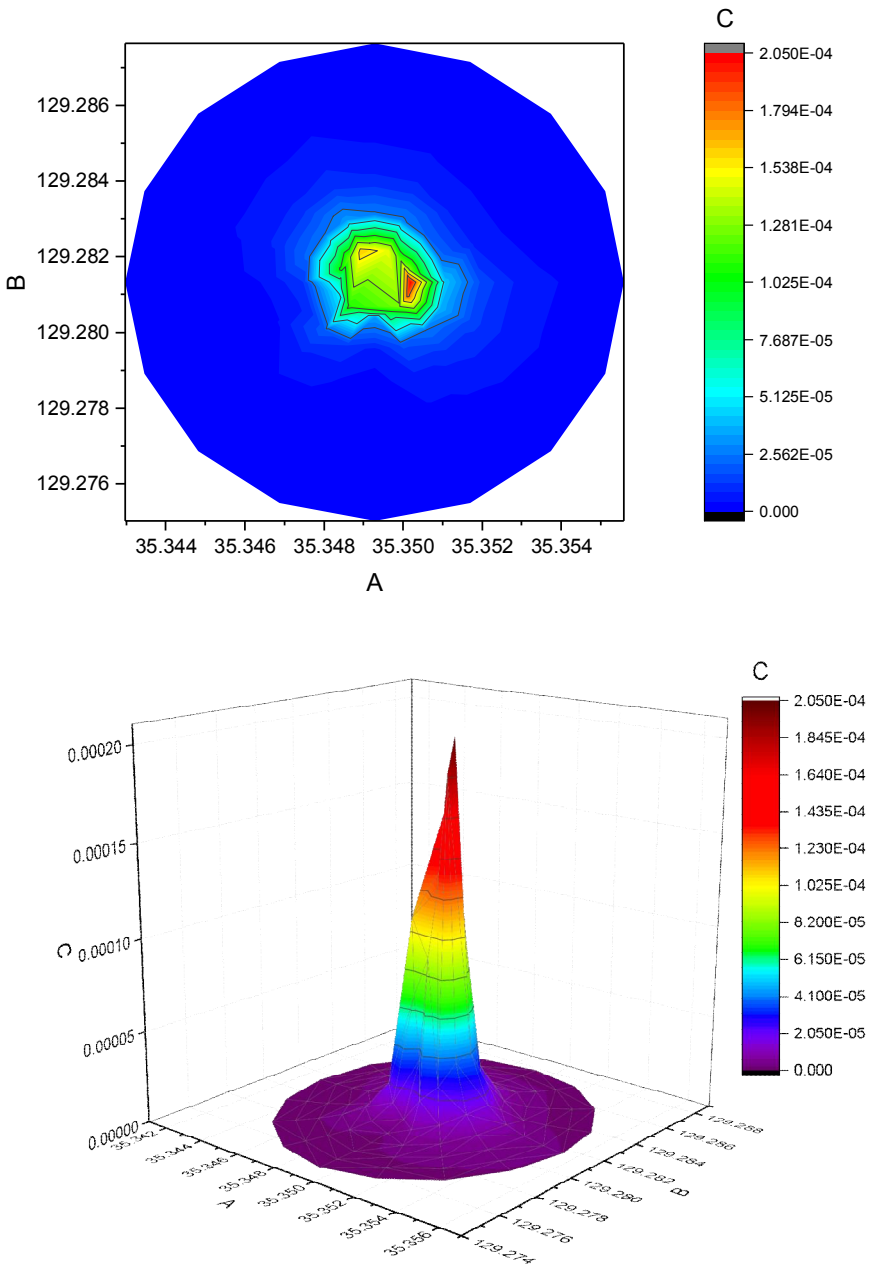

Figure 32. 2004 - 2008년간 평균 기상 자료를 이용한 선원 주변 제한구역 내 대기확산인자의 등고선 그래프(위)와 3D 그래프(아래) - 0 m 방출

Table 6. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (58 m 방출) - 1년

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
N	9.29E-08	1.62E-07	1.68E-07	9.12E-08	1.21E-07	9.22E-08	1.31E-07	1.07E-07
NNW	9.98E-08	8.60E-08	1.69E-07	1.14E-07	9.91E-08	9.46E-08	9.80E-08	8.96E-08
NW	9.43E-08	9.29E-08	1.49E-07	1.18E-07	1.52E-07	1.07E-07	9.07E-08	8.76E-08
WNW	7.47E-08	1.29E-07	1.37E-07	8.60E-08	1.87E-07	1.53E-07	1.85E-07	1.29E-07
W	1.04E-07	1.33E-07	1.81E-07	7.39E-08	1.69E-07	1.87E-07	2.35E-07	1.87E-07
WSW	1.33E-07	2.17E-07	2.43E-07	1.27E-07	2.08E-07	1.23E-07	1.72E-07	2.07E-07
SW	1.34E-07	3.67E-07	3.95E-07	2.24E-07	3.31E-07	2.02E-07	1.73E-07	3.35E-07
SSW	9.47E-08	2.83E-07	2.77E-07	1.24E-07	1.08E-07	1.19E-07	8.71E-08	2.27E-07
S	2.12E-08	9.60E-08	1.39E-07	2.00E-08	4.98E-08	7.65E-08	7.44E-08	1.00E-07
SSE	5.42E-08	7.70E-08	1.36E-07	4.35E-08	9.58E-08	1.69E-07	1.51E-07	1.98E-07
SE	4.41E-08	6.34E-08	7.26E-08	4.44E-08	1.10E-07	1.71E-07	1.44E-07	1.71E-07
ESE	7.19E-08	9.92E-08	7.48E-08	5.07E-08	1.59E-07	1.85E-07	1.82E-07	1.65E-07
E	7.00E-08	1.34E-07	8.93E-08	2.86E-08	1.09E-07	1.48E-07	1.65E-07	2.65E-07
ENE	7.18E-08	8.84E-08	1.05E-07	2.40E-08	8.68E-08	5.90E-08	6.90E-08	1.70E-07
NE	1.00E-07	1.05E-07	1.10E-07	3.08E-08	1.03E-07	6.41E-08	7.09E-08	1.15E-07
NNE	1.22E-07	1.67E-07	1.32E-07	4.57E-08	1.15E-07	8.11E-08	1.29E-07	1.09E-07

Table 7. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (58 m 방출) - 2년

	2001 - 2002	2002 - 2003	2003 - 2004	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008
N	1.26E-07	1.66E-07	1.29E-07	1.05E-07	1.07E-07	1.11E-07	1.18E-07
NNW	9.28E-08	1.29E-07	1.41E-07	1.07E-07	9.72E-08	9.68E-08	9.33E-08
NW	9.38E-08	1.22E-07	1.33E-07	1.35E-07	1.29E-07	9.93E-08	8.92E-08
WNW	1.01E-07	1.33E-07	1.11E-07	1.36E-07	1.71E-07	1.69E-07	1.56E-07
W	1.18E-07	1.58E-07	1.26E-07	1.21E-07	1.78E-07	2.10E-07	2.10E-07
WSW	1.73E-07	2.30E-07	1.83E-07	1.66E-07	1.66E-07	1.47E-07	1.89E-07
SW	2.46E-07	3.81E-07	3.07E-07	2.77E-07	2.67E-07	1.89E-07	2.56E-07
SSW	1.86E-07	2.80E-07	1.99E-07	1.16E-07	1.13E-07	1.04E-07	1.59E-07
S	5.69E-08	1.18E-07	7.77E-08	3.44E-08	6.30E-08	7.55E-08	8.79E-08
SSE	6.53E-08	1.07E-07	8.89E-08	6.90E-08	1.32E-07	1.60E-07	1.75E-07
SE	5.32E-08	6.81E-08	5.80E-08	7.69E-08	1.41E-07	1.58E-07	1.58E-07
ESE	8.53E-08	8.67E-08	6.27E-08	1.04E-07	1.72E-07	1.84E-07	1.74E-07
E	1.00E-07	1.10E-07	5.87E-08	6.82E-08	1.29E-07	1.57E-07	2.16E-07
ENE	8.00E-08	9.71E-08	6.40E-08	5.50E-08	7.28E-08	6.42E-08	1.20E-07
NE	1.03E-07	1.07E-07	6.94E-08	6.59E-08	8.37E-08	6.75E-08	9.32E-08
NNE	1.44E-07	1.49E-07	8.81E-08	7.97E-08	9.78E-08	1.04E-07	1.19E-07

Table 8. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (58 m 방출) - 5년

	2001 - 2005	2002 - 2006	2003 - 2007	2004 - 2008
N	1.26E-07	1.26E-07	1.20E-07	1.08E-07
NNW	1.14E-07	1.13E-07	1.16E-07	9.94E-08
NW	1.21E-07	1.24E-07	1.24E-07	1.12E-07
WNW	1.22E-07	1.38E-07	1.49E-07	1.47E-07
W	1.32E-07	1.48E-07	1.67E-07	1.68E-07
WSW	1.84E-07	1.83E-07	1.74E-07	1.67E-07
SW	2.88E-07	3.03E-07	2.67E-07	2.55E-07
SSW	1.76E-07	1.81E-07	1.44E-07	1.33E-07
S	6.42E-08	7.55E-08	7.17E-08	6.36E-08
SSE	8.12E-08	1.04E-07	1.18E-07	1.30E-07
SE	6.67E-08	9.24E-08	1.08E-07	1.27E-07
ESE	9.11E-08	1.13E-07	1.29E-07	1.47E-07
E	8.53E-08	1.01E-07	1.07E-07	1.41E-07
ENE	7.46E-08	7.23E-08	6.87E-08	8.08E-08
NE	8.93E-08	8.16E-08	7.56E-08	7.60E-08
NNE	1.16E-07	1.07E-07	9.99E-08	9.47E-08

Table 9. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (0 m 방출) - 1년

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
N	4.56E-07	2.66E-07	8.52E-07	1.34E-06	1.56E-06	8.18E-07	8.67E-07	5.71E-07
NNW	5.81E-07	1.58E-07	4.30E-07	1.48E-06	2.08E-06	1.29E-06	1.44E-06	9.89E-07
NW	3.86E-07	1.57E-07	2.71E-07	8.81E-07	1.27E-06	1.47E-06	1.52E-06	1.32E-06
WNW	4.58E-07	2.35E-07	2.92E-07	5.48E-07	4.68E-07	1.53E-06	1.96E-06	1.86E-06
W	1.01E-06	3.80E-07	5.14E-07	1.55E-06	2.27E-07	3.29E-07	4.35E-07	3.88E-07
WSW	1.84E-06	7.90E-07	9.86E-07	1.21E-06	2.25E-07	1.93E-07	2.91E-07	3.55E-07
SW	2.31E-06	2.27E-06	1.92E-06	2.00E-06	5.25E-07	4.99E-07	4.54E-07	8.94E-07
SSW	2.11E-06	1.82E-06	1.09E-06	1.37E-06	1.96E-07	3.59E-07	2.69E-07	6.01E-07
S	2.85E-07	8.98E-07	8.32E-07	3.09E-07	2.02E-07	2.57E-07	3.12E-07	4.69E-07
SSE	6.82E-07	1.17E-06	1.23E-06	1.12E-06	6.09E-07	9.25E-07	1.16E-06	1.16E-06
SE	9.51E-07	9.35E-07	4.94E-07	1.55E-06	8.30E-07	1.29E-06	1.54E-06	1.58E-06
ESE	9.65E-07	1.31E-06	5.02E-07	2.31E-06	1.72E-06	2.01E-06	1.96E-06	1.42E-06
E	1.23E-06	1.31E-06	8.74E-07	1.43E-06	2.12E-06	2.61E-06	2.07E-06	1.68E-06
ENE	1.71E-06	1.45E-06	1.79E-06	3.83E-07	1.64E-06	8.52E-07	5.92E-07	7.24E-07
NE	2.04E-06	1.54E-06	1.65E-06	8.77E-07	1.28E-06	6.90E-07	6.36E-07	6.55E-07
NNE	7.68E-07	7.00E-07	1.17E-06	9.54E-07	1.43E-06	1.03E-06	1.24E-06	6.10E-07

Table 10. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (0 m 방출) - 2년

	2001 - 2002	2002 - 2003	2003 - 2004	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008
N	3.64E-07	5.73E-07	1.11E-06	1.46E-06	1.19E-06	8.42E-07	7.19E-07
NNW	3.74E-07	2.96E-07	9.73E-07	1.78E-06	1.70E-06	1.37E-06	1.21E-06
NW	2.75E-07	2.17E-07	5.85E-07	1.07E-06	1.38E-06	1.50E-06	1.42E-06
WNW	3.53E-07	2.65E-07	4.24E-07	5.12E-07	1.02E-06	1.74E-06	1.91E-06
W	7.08E-07	4.49E-07	1.05E-06	9.12E-07	2.77E-07	3.80E-07	4.09E-07
WSW	1.34E-06	8.92E-07	1.11E-06	7.41E-07	2.09E-07	2.41E-07	3.22E-07
SW	2.29E-06	2.09E-06	1.97E-06	1.30E-06	5.12E-07	4.79E-07	6.82E-07
SSW	1.98E-06	1.45E-06	1.26E-06	8.28E-07	2.77E-07	3.18E-07	4.44E-07
S	5.84E-07	8.68E-07	5.68E-07	2.56E-07	2.29E-07	2.84E-07	3.97E-07
SSE	9.16E-07	1.20E-06	1.17E-06	8.72E-07	7.67E-07	1.04E-06	1.16E-06
SE	9.43E-07	7.11E-07	1.04E-06	1.21E-06	1.07E-06	1.41E-06	1.56E-06
ESE	1.13E-06	9.03E-07	1.43E-06	2.02E-06	1.87E-06	2.00E-06	1.69E-06
E	1.27E-06	1.09E-06	1.16E-06	1.77E-06	2.37E-06	2.40E-06	1.88E-06
ENE	1.59E-06	1.63E-06	1.07E-06	1.00E-06	1.26E-06	7.34E-07	6.60E-07
NE	1.81E-06	1.60E-06	1.26E-06	1.07E-06	9.88E-07	6.65E-07	6.41E-07
NNE	7.39E-07	9.41E-07	1.06E-06	1.19E-06	1.23E-06	1.13E-06	9.23E-07

Table 11. 제한구역경계 상에서의 기상자료 수집기간별 대기확산인자 (0 m 방출) – 5년

	2001 – 2005	2002 – 2006	2003 – 2007	2004 – 2008
N	9.16E−07	9.91E−07	1.11E−06	1.05E−06
NNW	9.71E−07	1.11E−06	1.36E−06	1.47E−06
NW	6.05E−07	8.25E−07	1.08E−06	1.29E−06
WNW	4.09E−07	6.39E−07	9.55E−07	1.27E−06
W	7.55E−07	6.22E−07	6.36E−07	6.13E−07
WSW	1.03E−06	7.00E−07	6.08E−07	4.84E−07
SW	1.82E−06	1.46E−06	1.12E−06	9.10E−07
SSW	1.34E−06	9.90E−07	7.01E−07	6.06E−07
S	5.04E−07	5.01E−07	3.92E−07	3.10E−07
SSE	9.66E−07	1.02E−06	1.02E−06	9.97E−07
SE	9.66E−07	1.04E−06	1.15E−06	1.36E−06
ESE	1.38E−06	1.59E−06	1.71E−06	1.89E−06
E	1.40E−06	1.67E−06	1.83E−06	2.01E−06
ENE	1.39E−06	1.22E−06	1.08E−06	8.65E−07
NE	1.49E−06	1.22E−06	1.04E−06	8.33E−07
NNE	1.01E−06	1.06E−06	1.16E−06	1.06E−06

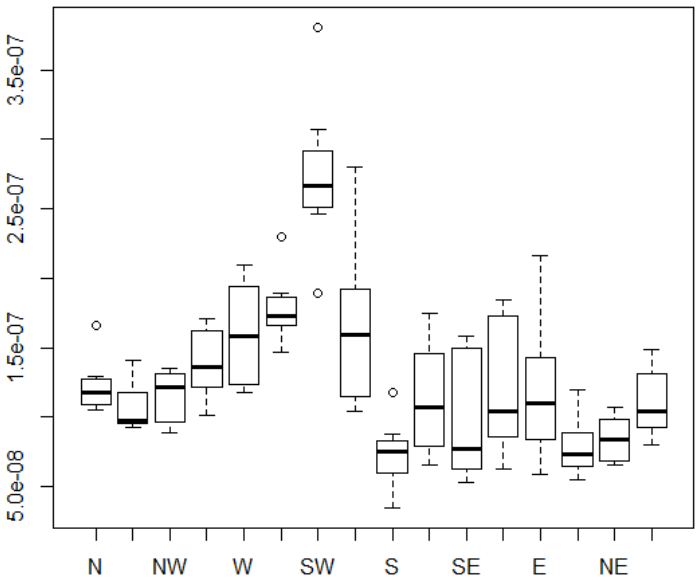

Figure 33. 방위별 대기확산인자 분포 상자 그림 (2년 평균, 58 m 방출)

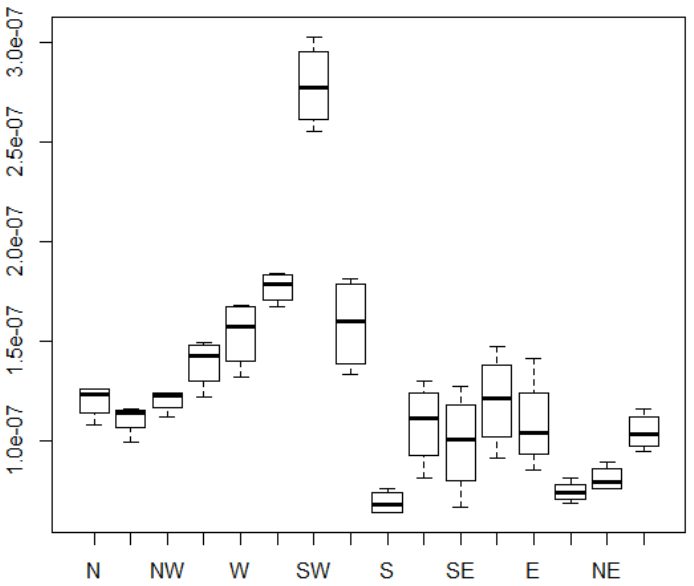

Figure 34. 방위별 대기확산인자 분포 상자 그림 (5년 평균, 58 m 방출)

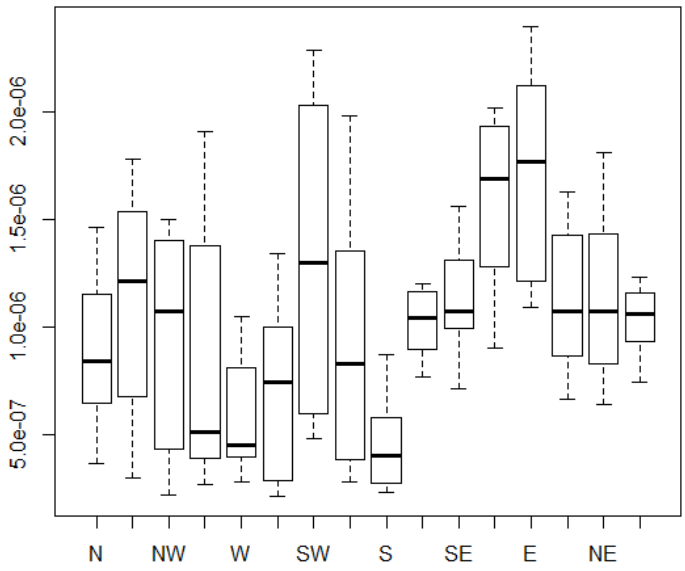

Figure 35. 방위별 대기확산인자 분포 상자 그림 (2년 평균, 0 m 방출)

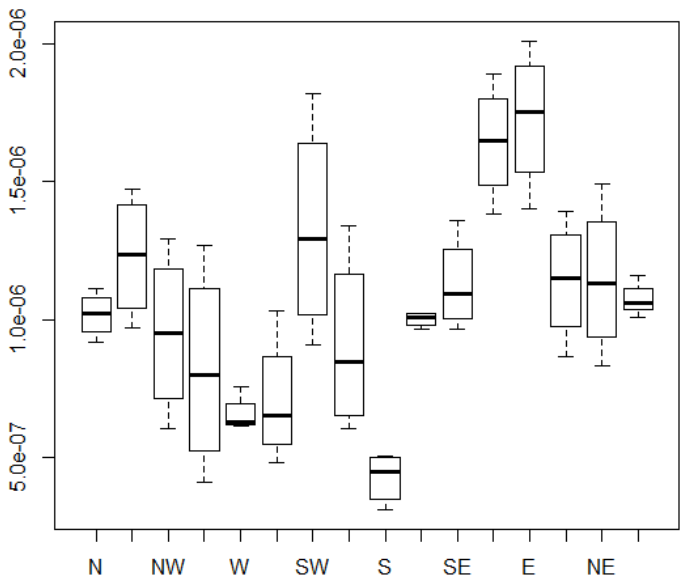

Figure 36. 방위별 대기확산인자 분포 상자 그림 (5년 평균, 0 m 방출)

나. Wilcoxon 부호 순위 검정 결과

제한구역경계상의 대기확산인자 값을 같은 방위 별로 짝지어 Wilcoxon 부호 순위 검정을 수행한 결과의 p 값은 Table 12 – 15와 같다. 신뢰 수준 95 %에서 p 값이 0.05보다 크면 귀무가설을 기각하지 못하여 두 자료의 분포가 유의한 차이를 갖지 않는다고 보고 유사하다고 판단하였다. 0.05보다 큰 p 값을 가지는 셀은 음영 처리하였다. 대기확산인자는 방출 유형에 따라 값이 다르게 계산되므로 두 가지 방출 유형 별로 따로 검정을 수행하였다. Table 12 - 13은 58 m 에서의 고공 방출 시 대기확산인자를 비교한 결과이고, Table 14 – 15는 0 m 에서의 지표면 방출 시 대기확산인자를 비교한 결과이다. 고공 방출의 경우, 2년 평균 기상 자료를 사용할 때 전체 셀의 수에 대한 음영 처리된 셀의 수 비가 5년 평균 기상 자료를 사용할 때보다 오히려 크다. 지표면 방출의 경우, 모든 기상 자료 쌍에서 0.05보다 큰 p 값을 나타내었다.

Table 12. 각 기상 자료 쌍의 제한구역경계 상의 대기확산인자 Wilcoxon 부호 검정 결과 p 값 - 2년 평균 기상 자료 (58 m 방출)

	2001 - 2002	2002 - 2003	2003 - 2004	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008
2001	2.1E-04	3.1E-05	9.2E-03	7.4E-02	2.1E-03	7.6E-03	1.3E-03
2002	2.1E-04	5.9E-02	2.9E-02	1.8E-02	7.2E-01	8.6E-01	7.8E-01
2003	1.0E-03	5.8E-02	3.1E-05	5.8E-04	1.3E-01	2.3E-01	6.0E-01
2004	1.0E-03	3.1E-05	3.1E-05	1.5E-04	3.1E-04	5.2E-03	2.1E-04
2005	4.4E-02	3.8E-01	9.3E-02	1.5E-04	4.3E-01	8.2E-01	3.2E-01
2006	5.0E-01	2.3E-01	8.2E-01	2.1E-01	4.0E-01	2.8E-01	7.6E-03
2007	3.0E-01	9.4E-01	4.6E-01	6.5E-02	4.0E-01	3.8E-01	1.3E-01
2008	3.4E-03	6.7E-01	1.3E-02	1.7E-03	3.3E-02	5.8E-02	1.2E-01

Table 13. 각 기상 자료 쌍의 제한구역경계 상의 대기확산인자 Wilcoxon 부호 검정 결과 p 값 - 5년 평균 기상 자료 (58 m 방출)

	2001 - 2005	2002 - 2006	2003 - 2007	2004 - 2008
2001	3.1E-04	5.8E-04	7.6E-04	2.1E-03
2002	1.6E-02	1.5E-01	5.3E-01	5.0E-01
2003	3.1E-04	5.2E-03	2.1E-02	5.8E-02
2004	7.3E-04	6.1E-05	3.1E-05	2.1E-04
2005	5.8E-02	1.1E-01	1.1E-01	2.7E-01
2006	8.2E-01	9.0E-01	8.0E-01	8.0E-01
2007	5.6E-01	6.0E-01	3.8E-01	3.0E-01
2008	6.3E-03	7.6E-03	1.3E-02	6.1E-03

Table 14. 각 기상 자료 쌍의 제한구역경계 상의 대기확산인자 Wilcoxon 부호 검정 결과 p 값 - 2년 평균 기상 자료 (0 m 방출)

	2001 - 2002	2002 - 2003	2003 - 2004	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008
2001	1.8E-01	9.3E-02	9.8E-01	9.0E-01	1.0E+00	8.2E-01	8.2E-01
2002	1.6E-01	9.6E-01	3.8E-01	5.0E-01	7.8E-01	8.4E-01	8.6E-01
2003	3.5E-01	9.8E-01	1.4E-01	3.5E-01	7.8E-01	7.8E-01	9.0E-01
2004	4.3E-01	1.9E-01	1.6E-01	4.1E-01	4.3E-01	3.8E-01	3.2E-01
2005	9.8E-01	7.8E-01	9.8E-01	3.8E-01	9.4E-01	9.0E-01	9.4E-01
2006	9.8E-01	8.2E-01	7.1E-01	3.0E-01	9.4E-01	2.0E-01	7.1E-01
2007	9.8E-01	7.1E-01	8.2E-01	2.5E-01	7.4E-01	3.8E-01	3.2E-01
2008	8.6E-01	8.6E-01	3.1E-01	9.3E-02	5.3E-01	5.5E-01	3.2E-01

Table 15. 각 기상 자료 쌍의 제한구역경계 상의 대기확산인자 Wilcoxon 부호 검정 결과 p 값 - 5년 평균 기상 자료 (0 m 방출)

	2001 - 2005	2002 - 2006	2003 - 2007	2004 - 2008
2001	7.1E-01	8.2E-01	9.4E-01	9.0E-01
2002	3.8E-01	5.0E-01	5.0E-01	6.7E-01
2003	2.5E-01	5.0E-01	4.6E-01	5.0E-01
2004	1.5E-01	1.4E-01	3.3E-01	2.7E-01
2005	9.4E-01	1.0E+00	6.7E-01	7.4E-01
2006	7.8E-01	7.4E-01	5.3E-01	2.0E-01
2007	9.4E-01	9.0E-01	7.8E-01	5.6E-01
2008	3.8E-01	2.5E-01	1.4E-01	1.8E-01

다. 방출 높이

위의 Wilcoxon 검정 결과를 살펴보면 방출높이에 따라 대기확산인자 분포 및 비교 결과에 차이가 있음을 확인할 수 있다. 방출높이에 따른 영향을 살펴보기 위하여 남서쪽(WS) 대기확산인자의 거리별 분포를 그래프로 나타내었다. 제한구역 내의 대기확산인자는 방출 고도가 0 m인 경우의 값이 매우 크게 나타난다. 이후의 대기확산인자의 분포를 확인하기 위하여 고리 부지의 제한구역경계인 700 m부터의 대기확산인자를 거리에 따른 그래프로 나타내었다.

방출 고도가 0 m일 경우 선원 주변에서의 대기확산인자 값이 확연하게 크다. 그러나 거리가 멀어질수록 급격하게 감소하면서 오히려 58 m에서 방출되는 경우의 대기확산인자가 더 큰 값을 보이기도 한다. 제한구역경계에서는 방출 고도가 0 m일 경우의 대기확산인자가 더 크게 나타나는 것이 일반적이다. 대부분 약 2km 내외 지점에서부터 58 m 방출 시 대기확산인자 값이 더 크게 나타나기 시작한다. 이는 제한구역경계와 저인구지대 경계 사이의 지점이다.

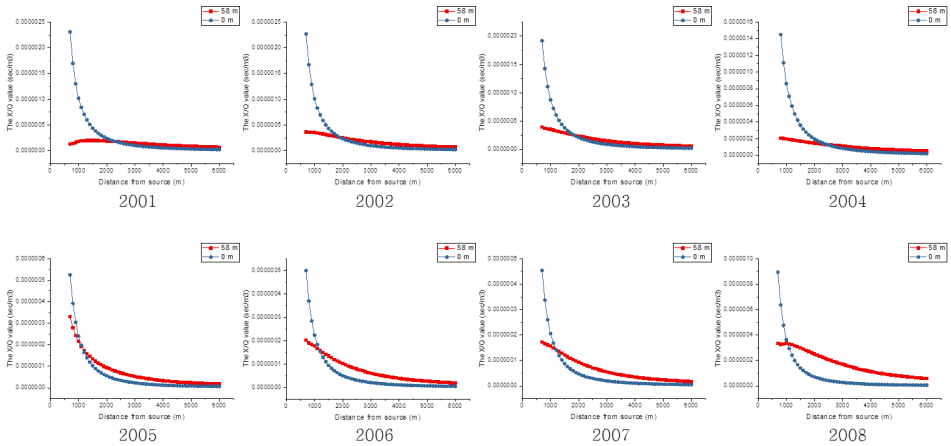

Figure 37. 연도별 제한구역경계 밖의 거리에 따른 남서 방향에서의 대기확산인자 분포

제 6 장 결 론

대기확산평가는 어떠한 기상 자료를 사용하고 기상 자료를 어떻게 처리하는지에 따라 결과가 크게 달라질 수 있다. 따라서 목적에 맞게9 부지의 특성을 대변할 수 있는 기상 자료를 사용하여 대기확산평가를 수행하는 것이 매우 중요하다. 각 규제 기관에서는 원자력시설에 의한 환경영향을 평가 시 기상 자료의 수집 방법 및 기상 자료를 처리하는 방법에 대해 각기 세부적인 규정을 마련하고 있다. 본 연구에서는 기상 자료의 수집 기간이 부지의 기상 특성을 대표하는 데에 미치는 영향을 여러 요인을 고려하여 살펴보았다.

기상 원자료의 특성을 고려하기 위하여 풍향, 풍속, 대기안정도의 등급별 분포를 비교하였고, 대기 확산에 의한 기체상 방출물로 인한 예상 피폭선량을 고려하기 위하여 선원에서의 방출량에 대한 대기 중 오염물질의 농도인 대기확산인자를 비교하였다. 부지의 기상 특성을 잘 대표하는지의 여부는 각 연도별 기상 자료와의 비교를 통해 얼마나 많은 연도의 기상 자료와 유사성을 보이는지를 기준으로 판단하였다. 기상 특성의 경우, 상관 계수의 개념과 같은 파이 계수를 사용함으로써 이분적인 판단이 아니라 유사한 정도를 수치로 확인할 수 있다. 반면 대기확산인자의 분포를 비교하는 경우, p 값을 통해 정해진 신뢰수준에서의 유의한 차이 여부를 확정하기 때문에 이분적인 판단만이 가능하다.

비교 결과, 풍속은 기상 자료를 2년씩 평균 처리한 경우와 5년씩 평균 처리한 경우에서 0.2 이하의 파이 계수를 보이는 연도의 수에 큰 차이가 없다. 또한 전반적으로 0.2보다 크더라도 작은 파이 계수를 가짐을 확인할 수 있다. 이는 풍속의 분포가 연도에 따라 크게 변화하지 않음을 의미한다고 볼 수 있다. 풍속의 분포는 시간이 지남에 따라 큰 변화가 없고 이 때문에 기상 자료의 수집 기간에 큰 영향을 받지 않는다고 볼 수 있다. 그러나 풍향의 경우, 바람 장미를 통해서도 확인할 수 있듯이 시간이 지남에 따라 상당히 빠르게 변화함을 알 수 있다. 이런 경우, 2년과 5년 평균 기상 자료의 유사성 비교 결과는 예상할 수 있는 결과로 나타난다. 2년 기상 자료를 사용하면 평균한 기간에 속하는 연도와의 유사성은 높으나 다른 연도들과의 유사성은 매우 낮게 나타난다. 5년 평균 기상 자료는 긴 기간을 평균한 만큼 전반적으로 유사성이 2년 평균 기상 자료보다 큰 편이나 기준값으로

정한 0.2보다 작은 파이 계수를 가지는 연간 기상 자료는 없다. 5년 평균 기상 자료를 사용함으로써 각 연도별 기상 자료와의 차이가 좀 더 평이하게 나올 수 있음은 연구 이전에 유추할 수 있는 부분이다. 그러나 이 평이하게 나타나는 차이들이 충분히 작다고 판단할 수 있는지를 카이제곱 검정에서 도출된 파이 계수로 알아볼 수 있었다. 5년 평균 기상 자료 역시 평균 처리한 기간에 포함된 연도와는 더 작은 파이 계수를 보이는데 그 값은 보통 0.3 내외로 0.2보다는 크지만 유사하다고 볼 수 있다고 판단된다. 대기안정도 분포의 파이 계수 결과는 음영 처리된 셀이 풍속보다는 적고 풍향보다는 많이 나타난다. 2년과 5년 평균 기상 자료를 사용한 경우 사이에 평균적인 음영 처리된 셀의 수는 큰 차이가 없으나 2년 평균 기상 자료는 어떠한 기간은 많은 음영 처리된 셀을 갖고 어떠한 기간은 아예 갖지 않는다. 5년은 4 개의 평균처리한 기상 자료들 모두 비교적 일정한 수의 음영 처리된 셀을 갖는다. 이 결과에서의 특이점은 2004년 기상 자료와의 파이 계수들이다. 바람 장미 및 대기안정도 등급별 분포를 살펴보면 알 수 있다시피 2004년은 다른 연도들과 상당히 다른 패턴의 기상 특성을 보인다. 풍향과 대기안정도의 파이 계수 결과에서도 2004년은 2004년이 포함된 2년 평균 기상 자료를 제외한 모든 기상 자료들과 매우 큰 파이 계수를 보임을 확인할 수 있다. 그러나 2년 평균 기상 자료를 사용한 경우보다 5년 평균 기상 자료를 사용할 때 파이 계수의 값이 전반적으로 훨씬 작게 나타났다. 기상 특성-풍속, 풍향, 대기안정도-의 비교 결과, 2년 기상 자료와 5년 기상 자료를 사용함에 있어 부지 기상 대표성에 큰 차이가 없으나 2004년과 같이 예상치 못한 기상 패턴이 발생할 경우 5년간의 기상 자료를 평균하는 것이 오차를 줄이는 데에 더 유리하다고 볼 수 있다.

대기확산인자는 풍향, 풍속, 대기안정도를 이용하여 계산한 값으로 예상 피폭 선량평가 시 직접 입력되므로 규제 목적의 대기확산 평가 시에는 대기확산인자의 비교가 더 직접적인 역할을 할 것으로 생각된다. 그러나 방출 핵종과 측정 위치, 방출 높이 등 기타 요인에 따라서 다른 결과를 낼 수 있다. 연구에 사용된 기상 자료는 고리 부지 내 기상탑에서의 관측 자료로 58 m 높이에서 관측되었다. 고리 발전소의 환기구 높이는 대략 50 m 내외이므로 58 m를 방출 지점 대표 높이라 가정하였다. 방출 핵종은 I-131으로 가정하였다. 방출 지점이 선원 주변의 건물 높이의 2배 이상이 되지 않는 경우 지표면 방출이라 가정하므로 방출 고도가 0 m인 경우 또한 같이 고려하였다.

방사선환경영향평가에서는 제한구역경계를 비롯한 비상계획구역 내 지점의 대기확산인자를 계산하므로 본 연구에서는 제한구역경계 상의 대기확산인자를 계산하여 기상 자료 별로 비교하였다. 그 결과, 58 m에서의 고공 방출 시 2년 평균 기상자료가 5년 평균 기상자료보다 평균적으로 오히려 더 많은 음영 처리된 셀을 가지나 큰 차이는 없다. 풍향, 풍속, 대기안정도가 유사하다고 판단된 기상 자료 쌍은 대기확산인자 검정 결과에서도 유사하다는 결과가 도출되었고 세 기상 특성이 모두 유사하지 않더라도 대기확산인자는 유사하다고 검정되는 경우도 있었다. 0 m에서 방출된다고 가정한 지표면 방출의 경우엔 모든 경우에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 규제 목적의 정상운영 중 발전소 대상의 대기확산평가에서는 주로 지표면 방출을 가정하는데 이 경우 제한구역경계에서의 대기확산인자는 기상 자료의 수집 기간에 영향을 거의 받지 않는다고 볼 수 있다.

방출높이에 따른 선원 주변의 대기확산인자 분포를 살펴보면 선원 주변은 지표면 방출의 경우 대기확산인자가 훨씬 크게 나타난다. 그러나 풍하거리가 멀어짐에 따라 급격하게 감소하면서 고공방출의 대기확산인자 값과 2km 내외 지점에서 역전된다. 이는 제한구역경계 밖의 지점으로 제한구역경계에서의 최대피폭선량을 보수적으로 측정하기 위한 목적의 선량평가에서는 지표면 방출이 더 보수적인 선택일 수 있지만 오히려 주민이 거주하고 있는 구역에서의 집단선량평가는 고공방출로 가정한 평가 결과보다 더 낮은 예상피폭선량을 도출할 수도 있다. 우리나라의 규제지침은 최대개인피폭선량의 개념을 사용하므로 지표면 방출은 보수적인 목적에서 적절한 선택이나 주민의 실제 피폭예상선량을 평가할 때에는 방출 유형을 고려하는 편이 더 보수적인 결과를 낼 것으로 판단된다.

연구 결과를 종합해보면 기상 자료의 수집 기간은 연도별 기상 자료와 얼마나 유사한지로 판정한 부지 특성 대표성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 특히 지표면 방출을 가정하여 제한구역경계에서의 대기확산인자를 평가할 때에는 기상 자료에 의한 영향 자체가 크지 않다. 그러나 기간에 상관없이 일정한 결과를 얻기를 원하거나 기상 패턴의 변화가 큰 상황에서는 5년의 기상 자료를 사용하는 것이 좀 더 유리할 수 있다. 단, 본 연구는 고리 부지의 기상 자료만을 사용하였기에 일반화 하기에 어렵다는 한계점이 있으며 방출 핵종을 I−131 만으로 가정하는 등 특수한 상황에서의 연구로 일반적인 영향을 분석하기 위해서는 다양한 장소와 기간의 기상 자료를 사용하여

여러 상황에서의 연구를 수행해볼 필요성이 있다.

또한 방출 높이가 0 m인 경우, 제한구역경계에서의 대기확산인자는 훨씬 높은 값을 나타내지만 집단선량을 계산할 시에는 오히려 더 작은 값을 나타낼 수 있으니 규제 목적의 보수적인 집단선량 평가 시 정상운영 중 원자로에서의 방출 유형을 지표면 방출뿐 아니라 고공 방출을 함께 고려하는 것을 제언할 수 있다.

이 연구에서는 주로 기상 자료의 수집 기간이 미치는 영향을 주로 살펴보았으나 추후 대기안정도 분류 방법과 같은 기상 자료 처리 과정의 요인들이 미치는 영향을 평가할 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] 원자력안전연구원, 경수로형 원전 규제기준 및 규제지침, 제 1장 부지. KINS/RG-N02.00, Rev. 1, 2015.
[2] 원자력안전연구원, 경수로형 원전 규제기준 및 규제지침, 제 2장 방사선환경. KINS /RS-N02.00, Rev. 1, 2015.
[3] 원자력안전위원회고시 제2014-11호, 원자력이용시설 방사선환경영향평가서 작성 등에 관한 규정, 2014.
[4] 원자력안전위원회고시 제2014-12호, 원자력이용시설 방사선환경조사 및 영향평가 등에 관한 규정, 2014.
[5] 원자력안전위원회고시 제2014-25호, 원자로시설 부지의 기상조건에 관한 조사·평가 기준, 2014.
[6] 황원태, 김은한, 정해선, 정효준, 한문희, 기상자료의 통계처리방법이 원자력발전소의 가상 사고시 단기 대기확산인자에 미치는 영향, 대한방사선방어학회지 37, no. 3, pp. 116-122, 2012.
[7] 황원태, 김은한, 한문희, 대덕 원자력시설 대기확산/주민선량평가 현황 및 개선방안, 제 9회 원자력 안전 기술 정보회의, 2004.
[8] Alan J. C., Robert B. W., Steven G. P., Akula V., Jeffrey C. W., Robert J. P., Russell F. L., Warren D. P., Minimum meteorological data requirements for AERMOD-study and recommendations (Draft document), version. 98314 (AERMOD&AERMET), 98022 (AERMAP), 1998.
[9] Cleophas T. J., Zwinderman A. H., Paired continuous data (Paired t-test, Wilcoxon signed rank test, 10 patients), SPSS for Starters and 2nd Levelers, 25, p. 375, 2016.
[10] Dan L., Lee A., James V., Applying Statistics, Revision 1, NUREG-1475, 2011.
[11] Gaia R., Andrea C., Irene C., Alessandra C., Giuseppe C., Antonio P., Lina, V., Luisella C., Methodologies for the evaluation of spatial representativeness of air quality monitoring stations in Italy,Eneria, Ambiente e Innovazione 1-2/2013, 2013.
[12] IML Air Science, Demonstration of Long-Term Representativeness of On-Site Meteorological Data Ross In-Situ Uranium Recovery Project, 2014.
[13] John L. Woodward, Appendix A. Atmospheric stability

classification schemes, Estimating the Flammable Mass of a Vapor Cloud: A CCPS Concept Book, 1998.
[14] Karsten A. Shein, Assessing the long-term representativeness of short wind records, 18th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Science, 2006.
[15] Mircea M. Gabriele Z., Gino B., Andrea C., Anna P., Lina V., Giandomenico P., Pietro M., Camillo S., Sandro F., Giuseppe C., Modeling Air Quality over Italy with MINNI Atmospheric Modeling System: From Regional to Local Scale, Air pollution modeling and its application 21, pp. 491-498, 2011.
[16] National Institute of Water and Atmospheric Research, Aurora Pacific Limited, Earth Tech Incorporated for the Ministry for the Environment, Good practice guide for atmospheric dispersion modeling, Ministry for the Environment, p.12. 2004.
[17] Reid Rosnick, CAP88-PC Version 3.0 User Guide, 2013.
[18] U. S. Environmental Protection Agency(EPA), Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications, EPA-454/R-99-005, 2000.
[19] U. S. Nuclear Regulatory Commission(NRC), Meteorological monitoring program for nuclear power plants, Regulatory guide 1.23, Revision 1, 2007.
[20] U. S. Nuclear Regulatory Commission(NRC), Methods for estimating atmospheric transport and dispersion of gaseous effluents in routine releases from light-water-cooled reactors, Regulatory guide 1.111, Revision 1, 1977.
[21] U. S. Nuclear Regulatory Commission(NRC), Supplemental Safety Evaluation Report for the Strata Energy, Inc. Ross ISR Project, Crook County, Materials License No. SUA-1601, 2014.

1.Abstract

Analysis of the influence of meteorological data collection duration on prospective atmospheric dispersion evaluation during normal operation of NPP

Choi Yoo Mi
Department of Nuclear Engineering
The Graduate School
Seoul National University

To assess the impact of gaseous radioactive materials released from nucleaer facilities on the environment around the facilities, the behavior of radioactive materials should be estimated and evaluated using site-specific meteorological data. Agencies for nuclear regulatory provide guidelines on the minimum meteorological data collection period and method of processing meteorological data because the assessment results may vary depending on which meteorological data is used and how it is processed.

This thesis evaluated the effect of the collection period of the meteorological data on the site-specific representativeness the atmospheric dispersion assessment and compared the results according to the meteorological data processing method in the process. The compared length of collection period are 2 years, the minimum collection period in the regulatory guide, and 5 years considered as more proper length of collection period. By the comparison, whether there is any difference in the site-specific

representative of the meteorological data was examined. The site-specific representativeness of data was judged as the number of annual data that could be considered similar by evaluating the similarity with the annual meteorological data during the entire observed period of the meteorological data used in the study. Comparisons between meteorological data are based on the distribution of wind direction, wind speed, and atmospheric stability or the atmospheric dispersion factors for 16 directions on exclusion area boundary (EAB). The atmospheric dispersion factor is defined as the ratio of the concentration of pollutants in the atmosphere to the rate of pollutant released from the stack and is calculated using the downwind distance at the point, height of release, the meteorological characteristics, such as wind direction, wind speed and atmospheric stability, and released radionuclides. In this study, the released radionuclide was set to I-131, the downwind distance was set to the distance up to EAB, and the height of release was divided by 0 m corresponding to ground-level release and 58 m corresponding to elevated release. The similarity between the two distributions of wind speed, wind direction, and atmospheric stability were judged by phi coefficient calculated by chi square test. The atmospheric dispersion factors were matched to each other in the same direction and Wilcoxon sign ranked test was performed to determine whether there was a significant difference between the two data. As the result of the study, there is no significant difference in the number of annual data that can be represented using 2 and 5 year meteorological data. However, 5-year averaged data may be more advantageous to reduce the variability of the representativeness depending on the period to be averaged and to reduce the error when the meteorological pattern is significantly different from common pattern.

The comparison of atmospheric dispersion factors shows more pairs of meteorological data considered to be similar than the comparison of meteorological characteristics such as wind direction, wind speed and atmospheric stability. Especially, assuming the ground-level release, every pair of meteorological data was judged

to be similar. Looking at the distribution of atmospheric dispersion factors according to the height of release, the case of ground-level release shows much larger atmospheric factor values at EAB than the case of elevated release, but they decrease sharply as the downwind distance increases and the atmospheric dispersion factors of elevated release are larger from the point of about 2 km.

From the results of the study, it was confirmed that the collection period of the meteorological data does not have a significant effect on the result of evaluating the expected exposure by the gaseous effluent at the EAB of the Kori site. Also, assuming ground-level release, the maximum individual exposure dose at EAB can be evaluated more conservatively rather than the elevated release, but it may be smaller than the value of elevated release when evaluating the collective dose in the emergency planning zone.

Keywords: Radiation environmental impact assessment, Site-specific meteorological data, Atmospheric dispersion factor, Collection period of meteorological data
Student Number: 2015-22948