



Received: 2024/10/01
Revised: 2024/10/07
Accepted: 2024/11/14
Published: 2024/12/31

*Corresponding Author:

Jung-Dae Lee

E-mail: ijsfc99@naver.com

핵폭발 고도별 피해효과 분석을 통한 방호계획 발전방안 연구

Abstract

본 논문은 북한의 핵무기 위협에 대비하여 방호계획을 개선하기 위한 발전방안을 제시하고자 하였다. 특히 2023년 북한의 핵무기 공중폭발 실험과 관련된 데이터를 분석하고, NUKEMAP 시뮬레이션을 통해 폭발고도(표면폭발, 150 m, 400 m, 800 m)에 따른 핵무기 효과를 평가하였다. 연구 결과, 폭발고도에 따라 피해 범위가 달라지며, 적절한 대피 및 방호계획이 핵무기 공격 시 피해를 최소화할 수 있음을 확인하였다. 또한 미국 FEMA의 핵폭발 대응 지침을 바탕으로 피해지역 설정 및 대응개념을 제안하였다. 본 연구는 핵무기 공격 시 피해를 최소화하기 위한 방호계획 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

This study aims to propose improved defense strategies against North Korea's nuclear threat. By analyzing data from North Korea's 2023 nuclear airburst tests and evaluating nuclear effects through NUKEMAP simulations, the study confirms that the impact and damage vary based on detonation altitude(surface, 150 m, 400 m, 800 m), emphasizing the importance of appropriate evacuation and defense plans. The study also suggests a framework for setting damage zones and response concepts based on FEMA's guidelines. These findings contribute to developing systematic defense plans to minimize damage in the event of a nuclear attack.

Keywords

핵방호(Nuclear Protection),
핵방호계획(Nuclear Protection Plans),
폭발고도(Height of Burst),
공중폭발(Air Bursts),
피해지역 설정(Classification of Damage Zones)

A Study on the Development of Protection Plans Through Analysis of Damage Effects by Nuclear Detonation Altitude

이정대^{1*}, 박승우¹, 김병직²

¹송실대학교대학원 안전보건융합공학과 박사과정

²송실대학교대학원 안전보건융합공학과 교수

Jung-Dae Lee^{1*}, Seunng-Woo Park¹, Byungjik Kim²

¹Ph.D. candidate, Dept. of Safety & Health Convergence Engineering, Soongsil University

²Professor, Dept. of Safety & Health Convergence Engineering, Soongsil University

1. 서론

2022년 9월 7일부터 이틀간 열린 북한 최고인민회의 제14기 제7차 회의에서 북한은 '핵무력정책법'을 제정하며, 핵무기 운용 교리를 법제화하였음을 공식적으로 발표하였다. 이후 2023년 3월 18일부터 19일까지 북한은 전술핵운용부대의 '핵반격 가상 종합훈련'을 진행하였으며, 이 과정에서 "전술탄도미사일이 800 km 사거리에 설정된 조선 동해상의 목표 상공 800 m에서 정확히 공중 폭발했다"고 밝혔다. 이는 핵무기의 효과를 극대화하기 위한 시험 발사로 해석되며, 특히 건물이 밀집한 도시에 대한 효과적인 폭발 방법을 모색한 것으로 보인다. 이는 대한민국 대도시에 대한 실질적 위협으로 해석될 수 있다.[1]

핵무기의 효과는 무기의 위력뿐만 아니라 지형, 기상 조건, 폭발 고도 등에 따라 달라지며, 동일한 위력의 핵무기라도 폭발고도에 따라 피해 범위와 효과가 상이하다. 본 연구는 NUKEMAP 시뮬레이션을 활용하여 표면폭발과 공중폭발 시 고도별 핵무기 효과변화를 분석하고, 이를 바탕으로 핵무기 폭발 시 피해를 최소화할 수 있는 방호계획분야 발전방안을 제시하고자 한다. 본 연구 결과는 핵무기 폭발 대응 시 피해 최소화를 위한 계획수립에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 이론적 배경

2.1 핵무기 효과

핵무기 에너지 분포는 무기의 위력, 폭발고도, 지형 및 기상 조건 등에 따라 달라진다. 약 12 km 미만의 저공폭발 시 발생하는 효과는 Fig. 1과 같이 폭발, 열복사선, 방사선, 전자기파로 구분된다. 이러한 핵무기 효과는 핵분열 반응을 통해 X선 에너지가 공기와 반응해서 화구(fireball)가 만들어지고, 이 화구에서 폭발 및 열복사선 효과가 발생한다[2].

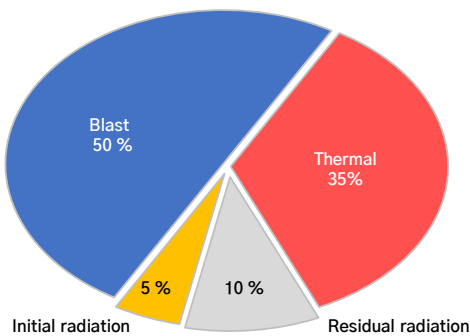


Fig. 1. Distribution of nuclear weapon effects([2], p. 3)

감마선은 공기와 반응하여 전자기파를 발생시키고, 핵분열 반응 시 만들어지는 중성자는 토양에 있는

금속성분들과 반응하여 지상원점(ground zero) 주변에 감응방사선 오염지역을 형성하게 된다.

마지막으로 방사능 물질들은 핵폭발 시 발생하는 주변의 먼지들과 반응하여 풍향을 따라 낙진이 땅에 떨어지게 된다.

2.2 폭발고도(위치)에 따른 핵무기 효과

핵무기 폭발의 효과는 무기위력과 폭발고도(HOB, height of burst)에 크게 영향을 받는다. 폭발고도에 따라 핵무기 폭발은 공중폭발, 표면폭발, 표면하폭발로 구분하며, 폭발 위치에 따른 핵무기 효과의 상대적 비교는 Table 1과 같이 요약할 수 있다.

특히 고공폭발은 초기 핵반응으로 인해 생성된 감마선이 다량의 공기 분자를 이온화시켜 전자기 펄스(EMP)가 발생하여 수백 마일을 이동하며 의료장비와 같은 정밀장비의 정상작동을 방해할 수도 있다. 저공폭발은 폭발, 열복사선, 방사선 효과에 의해 피해를 생성하는데, 효과를 극대화하기 위해 여러 요소를 결합하여 폭발고도를 조절한다. 또한 수 km 이내에 있는 인원의 노출된 피부에 화상을 입게 하거나 안구 손상을 일으킬 수 있어, 저공폭발은 전술상 군을 목표로 사용될 수 있다.

저공폭발 시 1분 내에 발생하는 초기효과인 폭발,

Table 1. Relative comparison of the effects of nuclear weapons based on burst type[3]

Effect	Burst type				
	High altitude (above 30 km)	Low altitude (below 30 km)	Surface	Subsurface	
				Shallow	Deep
Flash	Very strong, flash blindness	Normal	Weaker than a low-altitude explosion, but detectable	Weaker than surface explosion	Ignorable or none
Blast	Slightly at ground level, decreasing with increasing altitude	Significant effect up to distances similar to thermal radiation, significant damage to buildings	At short distances, it is more powerful than a low altitude explosion, but at longer distances it decreases significantly.	Weaker than surface explosion	Ignorable or none
Thermal	Moderate, decreasing with increasing altitude	Powerful up to a considerable distance, burns exposed skin	Weaker than a low-altitude explosion, but serious	Weaker than surface explosion	Ignorable or none
Initial radiation	None	It is powerful, but the danger disappears at a short distance rather than the thermal effect.	Weaker than a low-altitude explosion	Weaker than surface explosion	Ignorable or none
Fallout	None	Ignorable	It is quite numerous and spreads over a wide area.	Quite a lot when the explosion depth is shallow	None

열복사선, 초기방사선의 경우 엄폐물에 의해 피해 최소화가 가능하며, 핵폭발 효과를 고려할 때 콘트리트 건물 및 지하시설 등을 이용한 대피는 피해를 줄일 수 있다.

표면폭발은 낙진효과가 동반되어 인명피해가 최대로 발생하며, 지하의 지휘소 등을 공격하기 위해서는 충격파가 토양을 통해 효과적으로 전달되는 표면폭발이 유용하다. 잔류효과인 낙진과 감응방사선은 무기위력, 풍향, 풍속에 따라 확산되나 초기낙진은 핵폭발 후 24시간 이내에 지상에 두텁게 떨어져 즉각적인 피해를 준다. 지연낙진은 24시간 이후 넓은 지역에 걸쳐 떨어지며, 보이지 않는 미립자로 구성되어 인체에는 즉각적인 위험은 주지 않으나 오랜 기간에 걸쳐 피해를 줄 수 있다[4].

지상의 인원이나 물자에 가장 큰 피해를 주면서 군사적으로 중요한 낙진이 발생하지(99%) 않는 HOB는 식 (1)과 같다([2], p. 7).

$$HOB(m) = 180 \times W^{0.4} \tag{1}$$

예를 들어 10 kt 핵무기가 452 m 이상 높이의 상공에서 공중폭발하면 낙진의 효과는 무시할 만한 수준이지만, 방사능비 및 방사능 물질들이 모여서 강열점(hotspot) 형태로 나타날 수도 있다. 실제로 히로시마에서 약 15 kt 핵무기가 550 m 이상 고도에서 공중폭발한 지 약 2시간 후 ‘검은 비(black rain)’라 불리는 방사능비가 내렸다[5].

10 kt 핵무기가 표면폭발 혹은 저공폭발할 경우 발생하는 잔류효과인 낙진예측의 피해범위는 Fig. 2와 같다. 여기서 위험지대는 제I지대, 제II지대, 그리고 지대외부로 구분되는데, 이는 낙진 도달 후 일정 시간 동안 체류할 때 노출되는 방사선량으로 구분된다.

위험지대 범위는 핵폭발 당시의 바람과 속도에 영향을 받는다. Fig. 2는 풍속 10 km/hr이고 무기위력이 10 kt일 경우 아랫바람 방향의 최장 위험거리 22 km, 최대폭은 약 20 km에 떨어질 위치를 예측한 결과를 보여준다. 그러나 이는 군사적 목적을 가지고 설정된 것으로 방사성 물질이 내는 방사선 효과, 즉 외부 피폭을 고려한 것이며, 방사성 물질 자체

가 갖는 이온화 작용에 의한 인체 내부 피폭에 대한 위험은 제외되어 있다.

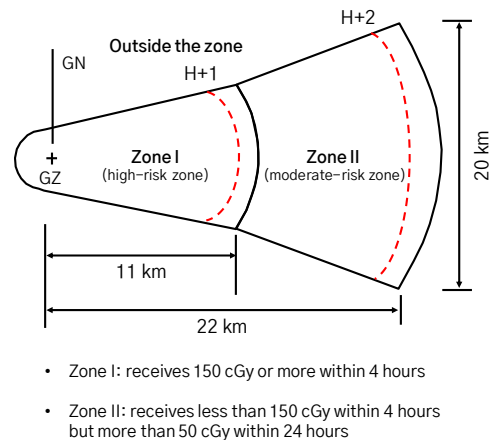


Fig. 2. Fallout prediction from a 10 kt nuclear weapon detonation([6], p. 291)

핵무기 폭발 이후 낙진이 발생하면, 방사능 정찰 장비를 이용해 지상 및 공중에서 정찰한 결과를 바탕으로 방사능 오염지역을 판별하게 된다[7].

핵무기 폭발 후 1시간(H+1시간)까지 방사성 물질의 약 50%가 붕괴되며, 이 시점에서 방사선 선량률이 최고점에 도달한다. 폭발 후 시간이 7배 증가할 때 마다 선량률은 10배만큼 감소한다.([2], p. 394).

그에 따라서 H+1시간을 기준으로 지상의 노출 선량률을 평가하고, 이를 토대로 방사능 오염 등강도 선을 작성하여 실제 오염지역을 파악한다. 이 정보를 바탕으로 오염지역에서의 최적이탈시간을 결정하고, 낙진 지역을 횡단하는 등의 작전에도 활용할 수 있다. 이에 대한 예시는 Fig. 3에 제시되어 있다.

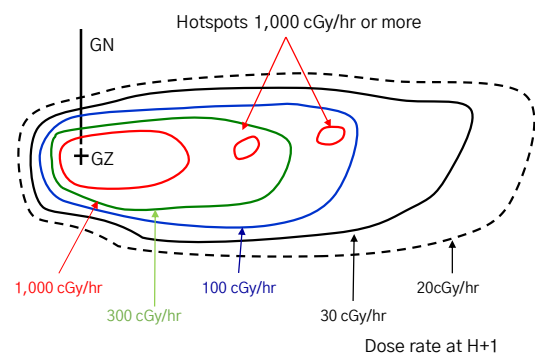


Fig. 3. Radiological contamination intensity line([6], p. 331)

2) 핵무기 폭발 이후 H+1시간까지는 방사능물질 붕괴가 50% 이루어져 방사능 선율이 최고점이 되어 반감기로 방사능 선율이 지속 감소되기 때문에 H+1시간을 기준으로 선정.

1) 제I지대, 제II지대는 낙진 도달 후 그 지역에 체류하는 인원에게 즉각적인 지휘관심과 작전 인원의 체류 시간을 통제하기 위해 설정됨.

3. 핵무기 공격 시 예상되는 피해분석

3.1 북한의 핵 위협

북한은 2022년까지 ‘화성-11 가.나.다.라’ 등 전술 핵무기의 투발수단을 대부분 완성하고 실전배치했으나 이들에 탑재할 전술핵탄두는 공개하지 않았다. 그러나 2023년 3월에 ‘화산-31’ 전술핵탄두를 공개하면서, 8종의 투발수단(근거리탄도탄 1종, 단거리탄도탄 4종, 순항미사일 2종, 핵어뢰 1종)과의 결합을 예고했다[8].

미국 과학국제안보연구소는 ‘화산-31’에 대해 직경 약 40 cm – 45 cm, 예상 폭발력 약 10 kt의 단순 핵분열탄으로 평가하며, 공중폭발이 가능한 특성을 지닌 것으로 분석하였다[9].

북한의 관영매체들은 미사일 시험 발사 후 공중폭발 현황을 보도하면서 ‘공중폭발’이라는 용어를 자주 사용하고 있으며, Table 2에서 정리된 바와 같이 150 m에서 800 m까지 다양한 고도에서 공중폭발을 실행했다고 주장하고 있다. 이는 최적의 핵 타격 효과를 거두기 위해 공중폭발 고도를 조정하고 있음을 시사한다. 한편, 2023년 9월 4일 국회 정보위원회 보고에서 국가정보원은 북한이 전술핵의 위력을 실험하고 있으며, 이러한 실험은 향후 남한을 겨냥한 도발 시 핵 타격 방향을 예측할 수 있는 단서가 될 수 있다고 언급하였다. 이는 북한이 남한의 특정 타격대상과 목적에 맞춘 최적의 살상효과를 거둘 수 있는 공중폭발 고도를 찾고 있음을 의미한다고 해석될 수 있다[10].

Table 2. Status of missile air detonation announced by North Korean media in 2023

Date of report	Date of training	Explosion site	Missile type	HOB (m)
March 20th	March 18th to 19th	Dongchang-ri, Pyonganbuk-do	Ballistic missile (KN-24)	400
August 31st	August 30th	-	Ballistic missile (KN-23)	800
September 2nd	September 2nd	West Sea	Two strategic cruise missiles	150

3.2 핵무기 폭발 모델 시뮬레이션 결과

미국 과학국제안보연구소가 분석한 ‘화산-31’의 무기 위력 10 kt을 기준으로, 북한이 공개한 핵미사일 폭발고도인 150 m, 400 m, 800 m와 표면폭발을 대상으로 NUKEMAP³⁾ 시뮬레이션 결과를 비교한 내용을 Table 3에 제시하였다. 시뮬레이션 대상 도시는 주한미군기지와 주요 항구, 연합전시증원(RSOI: reception, staging, onward movement, integration)이 이루어지는 부산광역시로 설정하여 핵무기 폭발로 인한 피해 결과를 분석하였다.

본 시뮬레이션에 필요한 기상자료는 다음과 같이 적용하였다. 1990년부터 2020년까지 30여 년간의 월별 평균값을 반영하였으며, 풍향은 동풍(90°), 풍속은 2.5 m/s로 설정하였다[11].

인명피해 분석 결과에 따르면, 폭발고도가 800 m 일 때 총 사상자 수는 표면폭발에 비해 2배 이상 증가하였다. 그러나 사망자 수는 폭발고도가 표면에서 400 m까지 상승할수록 증가하였고, 800 m 고도에서는 오히려 감소하는 경향을 보였다. 이는 800 m 고도에서 화구가 발생하여 건물 파괴 및 화재 등으로 인한 직접적인 사망자가 줄어들었기 때문이다. 핵무기 효과 중 10 psi 이상의 고압력, 3도 이상의 화상, 100 cGy 이상의 초기 방사선 피해 지역이 좁아지면서 사망자는 감소했으나, 창문 깨짐 등 경미한 피해를 입는 지역은 확대된 결과를 나타냈다.

폭풍효과를 분석한 결과, 폭발고도가 400 m까지 높아질수록 10 psi 이상의 고압력으로 인한 콘크리트 건물의 파괴·붕괴 범위는 확장되었으나, 800 m 고도에서 고압지역 범위는 감소하였다. 이에 따라 고도가 높아질수록 콘크리트 건물의 파괴 및 붕괴가 발생하는 심각한 피해지역은 줄어드는 것을 확인할 수 있지만, 고도가 높아짐에 따라 1 psi 정도의 압력으로 창문이 파손되는 지역은 더욱 확대되는 결과가 나왔다.

열복사선 효과를 분석한 결과, 폭발고도가 150 m 일 때 1~3도 화상을 입을 수 있는 지역이 다른 고도에 대비하여 가장 넓은 피해범위가 되었으며, 고도가 800 m일 경우 경미한 피해가 발생하는 열복사선

3) 스탠포드 공과대학 Alex Wellerstein이 2012년 2월에 만들었으며 모델링한 데이터는 Samuel Glasstone 및 Philip J. Dolan, The Effects of Nuclear Weapons, 1977의 수치를 반영한 결과임.

Table 3. Analysis of the effects of 10 kt nuclear weapons at different altitudes

Category		HOB(height of burst)			
		Surface	150 m	400 m	800 m
Personnel casualties	Total (number)	107,860	142,500	204,040	256,060
	Estimated fatalities	36,800	45,570	62,540	36,260
	Estimated Injuries	71,060	96,930	141,500	219,800
Fireball radius		222 m	168 m		
Blast damage radius	20 psi (destruction of concrete buildings)	0.47 km	0.5 km	0.6 km	-
	10 psi (collapse of concrete buildings)	0.67 km	0.74 km	0.92 km	0.18 km
	5 psi (damage of concrete buildings)	0.99 km	1.14 km	1.36 km	0.98 km
	1 psi (broken windows)	2.53 km	2.95 km	3.64 km	4.45 km
Thermal radiation radius	8.44 cal/cm ² (third-degree burns/50 %)	1.52 km	1.8 km	1.76 km	1.62 km
	4.76 cal/cm ² (second-degree burns/50 %)	1.85 km	2.19 km	2.16 km	2.05 km
	2.37 cal/cm ² (first-degree burns/50 %)	2.58 km	3.1 km	3.03 km	2.95 km
Radiation radius	1,000 cGy (100 % mortality within a few days)	1.12 km	1.11 km	1.05 km	0.78 km
	500 cGy (50 % mortality within a few days)	1.25 km	1.24 km	1.18 km	0.96 km
	100 cGy (radiation prodromal symptoms)	1.57 km	1.56 km	1.52 km	1.35 km
	50 cGy (Lymphocyte reduction)	1.72 km	1.71 km	1.67 km	1.52 km
Fallout	1,000 cGy/hr	2.89 km	Not occurred		
	100 cGy/hr	18.6 km			
	10 cGy/hr	43.9 km			
	1 cGy/hr	69.1 km			

의 영향범위는 더욱 확장되는 것으로 나타났다.

초기 방사선 피해는 표면폭발 및 낮은 고도에서 넓은 지역으로 확산되었으나, 고도가 증가할수록 피해 범위는 감소하는 경향을 보였다.

낙진의 경우, 분석 결과 1,000 cGy/hr의 낙진은 최대 2.89 km까지 확산되었고, 1 cGy/hr의 낙진은 최대 69.1 km까지 확산되는 것으로 나타났다.

2장에서 제시한 이론적 배경의 Table 1을 함께 종합적으로 고려할 때, 시뮬레이션은 저고도(30 km 미만) 폭발효과와 유사한 결과를 보였다. 열복사선 효과는 핵무기의 초기효과 중 가장 넓은 범위에 걸쳐 영향을 미쳤으며, 초기 방사선의 경우 열복사선보다 짧은 거리에서 위험이 소멸되었다. 10 psi를 초과하는 강력한 충격파는 폭발고도가 800 m 이상일 경우 감소되어 측정값이 나오지 않았으며, 폭발효과는 열복사선 효과와 유사한 범위에서 피해를 발생시켰다.

4. 핵방호 계획 발전방안

4.1 공격예상지역에 대한 방호강화 및 소산계획 구체화

전장정보분석 등을 통해 핵공격 예상 무기위력과 공격 예상지역을 선정한 후, 해당 지역의 부대는 대피 시설을 보강하고 보급품 및 장비 보호를 포함한 부대 방호를 강화해야 한다. 또한, 최소안전거리(MSD, minimum safe distance)를 고려하여 부대를 대피 시키거나 소산계획을 구체적으로 수립하여 반영해야 한다([6], pp. 1-49) 최소안전거리는 핵무기의 위력과 폭발고도에 따라 차이가 있지만, Table 3의 제원을 적용하여 10 kt 핵무기가 800 m 고도에서 폭발할 경우 반경 1.6 km로 설정하였다. 이는 Table 3의 모델링 결과에 따른 심각한 피해를 발생하는 지역(건물붕괴, 3도 이상 화상)에 해당하기 때문이다. 이에

따라 반경 1.6 km 내에 위치한 부대는 대피시설을 보강하고 방어태세를 격상시켜 부대를 신속히 소산해야 한다.

또한, 핵공격 시 즉각적인 대응을 위해 공격예상지역에 대한 지원계획을 구체화해야 한다. 핵공격으로 인해 해당지역의 심각한 피해가 예상되므로, 해당 지역에서의 대응조치가 제한될 가능성이 크다. 이를 고려하여 타 지역에서의 대응을 위한 인원, 장비, 물자 지원계획을 사전에 수립하고 반영할 필요가 있다.

4.2 피해지역 평가 및 대응개념 반영 보완 필요

군은 핵 공격에 대비한 방호를 계획에 반영하고 있으며, 이러한 계획은 미군의 교리를 기반으로 하고 있으며, Fig. 2에서 제시된 바와 같이 낙진에측과 잔류 방사능 대응을 중심으로 구축되어 있다. 그러나 3장에서 핵무기 공격 시 예상되는 피해효과분석을 통해 확인한 바와 같이, 열복사선과 폭풍효과, 초기방사선 등 핵무기의 초기효과에 대한 피해예상 지역 및 이에 따른 대응개념은 아직 정립되지 않았다.

이러한 대응개념의 정립은 핵무기 공격에 대비한 방호계획의 중요한 과제이다. 미국연방재난관리청 (FEMA, Federal Emergency Management Agency) 이 작성한 “Planning Guidance for Response to a Nuclear Detonation (3rd Ed.)”[12]에서 제시된 개념을 반영, 핵폭발 대응을 위한 피해지역을 Table 4와 같이 제시하였다.

피해지역 설정의 목적은 핵폭발 이후 위험이 존재하는 지역과 안전한 지역을 명확히 구분하는 데 있다. 또한, 피해지역별 피해 양상은 열복사선에 의한 화재 발생, 폭풍효과로 인한 건물 붕괴 및 파괴, 방사능오염 정도에 따라 변화하며, 이에 따라 지역별로 대응활동이 상이하기 때문에 피해지역의 구분은 필수적이다.

핵폭발 이후의 피해지역별 대응개념은 FEMA의 “Nuclear Detonation Response Guidance: Planning for the First 72 Hours”에 포함된 대응개념을 반영하여 Fig. 4와 같이 제시하였고, 세부적인 피해지역별 범위 설정 시 고려사항은 Table 4와 같다.

따라서 Table 5에서 제시한 바와 같이 피해지역별 대응은 해당 지역의 특성과 위험 수준에 따라 우선순위를 결정해야 한다. 대피 시에는 핵폭발 이후 피

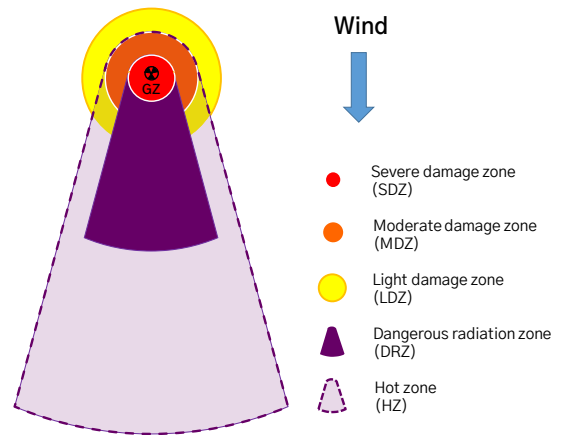


Fig. 4. Damage area settings concept[12]

Table 4. Damage area settings concept[12]

Zone	Damages
Severe damage zone (SDZ)	<ul style="list-style-type: none"> Most buildings collapse(10 psi or more) Fires breakout/3rd degree or more severe burns Risk of external activity due to radiation exposure Survival only in underground structures
Moderate damage zone (MDZ)	<ul style="list-style-type: none"> Damage of concrete buildings(5 psi or more) Secondary fires breakout/2nd degree or more severe burns Limited external activity due to radiation exposure Majority of people survive in basements and underground structures
Light damage zone (LDZ)	<ul style="list-style-type: none"> Windows shattered(1 psi) Minimal structural damage to buildings Casualties from debris, etc. Radiation effects from fallout
Dangerous fallout zone (DFZ)	<ul style="list-style-type: none"> Initial and residual radiation exposure Severe radiation sickness symptoms Radiation dose from fallout is 10 cGy/hr (100 mSv/hr, 10 R/hr) or more
Hot zone* (HZ)	<ul style="list-style-type: none"> Minimal initial radiation exposure Radiation dose from fallout is 0.01 cGy/hr (0.1 mSv/hr, 0.01 R/hr) or more

*Both FEMA and the KINS designate areas with radiation levels of 0.01 cGy/hr (100 μSv/hr, 0.01 R/hr) as 'Hot Zones' in the event of a radiological terror.

해지역의 특성과 상황을 고려하여 12시간에서 24시간 대기 후 안전한 지역으로 이동해야 하며, 대응 활동은 최대한 많은 생명을 구할 수 있는 지역부터 우

선적으로 진행된다. 중간 피해지역(MDZ)에서는 긴급치료가 필요하거나 생존 가능성이 높은 부상자에 집중되며, 심각한 피해지역(SDZ)과 위험한 낙진구역(DFZ)에서는 방사선 위협으로 인해 즉각적인 투입이 제한된다.

안전하고 지속 가능한 대응을 위해서는 대응요원의 안전대책, 즉 개인 보호 장비 착용 및 방사선 피해 최소화를 위한 선량 한도 적용이 필수적이다.

마지막으로, 경미한 피해지역(LDZ)에서는 현장 분류소 운영, 방사능 오염제염 등의 활동이 이루어지며, 대피로 확보 및 현장구조팀의 작전을 위한 잔해 제거 등 작전 활동이 수행된다.

Table 5. Response concept by damage area[13]

Category	Response concept
Severe damage zone (SDZ)	<ul style="list-style-type: none"> • Radiation reduction begins 1 hour after a nuclear explosion. • Evacuation control and rescue standby for approximately 12H to 24H after a nuclear explosion • Evacuation and rescue when less than 10 cGy/hr <ul style="list-style-type: none"> - Due to the low possibility of survival due to the initial effect and residual radiation, Initial entry into the area is prohibited.
Moderate damage zone (MDZ)	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuate after waiting for approximately 12 to 24 hours <ul style="list-style-type: none"> - Immediate evacuation in case of danger (fire, collapse, etc.) • Rescue and transport casualties and those unable to walk <ul style="list-style-type: none"> - In case of overturned cars, fires, and multiple casualties • Early medical assistance can greatly increase the number of survivors
Light damage zone (LDZ)	<ul style="list-style-type: none"> • Individual self-contamination, patient triage, and hospital transfer at the on-site triage center <ul style="list-style-type: none"> - Most people survive without immediate treatment. • Minor injuries possible • Removal of debris from evacuation routes/ rescue passages, priority restoration of communication facilities
Hot zone (HZ)	<ul style="list-style-type: none"> • Airborne (helicopter, drone) and ground-based radiation reconnaissance • Preemptive evacuation before fallout reaches
Outside LDZ	<ul style="list-style-type: none"> • Establishment/operation of field command center • Establishment/operation of disaster safety headquarters • Operation of emergency medical institution • Operation of gathering place after evacuation

5. 결론

본 연구는 북한의 전술핵 공격에 대비한 피해효과 분석과 방호계획 발전방안을 모색하기 위해 10 kt 핵무기의 위력을 기준으로 시뮬레이션을 실시하였다.

분석 결과, 폭발고도에 따라 폭풍, 열복사선, 초기 방사선, 낙진의 피해범위에 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

표면폭발의 경우 낙진은 최대 69.1 km까지 확산되었으며, 초기방사선은 최대 1.72 km까지 영향을 미쳤다. 이는 핵무기의 폭발고도 따라 지상의 방사능 오염과 방사선노출 범위가 크게 달라질 수 있음을 보여준다. 반면 150 m 고도에서 공중폭발 시 열복사선은 반경 3.1 km까지 확산되었고, 800 m 고도에서는 폭풍효과가 반경 4.45 km까지 확대되었다. 이는 폭발고도가 높을수록 방사선과 열복사선의 피해범위가 넓어지고 물리적 피해가 증가함을 나타낸다.

본 연구는 이러한 폭발고도에 따른 핵무기의 피해 차이를 바탕으로 방안을 도출하였다. 첫째, 공중폭발 시 심각한 피해가 예상되는 지역에 대해 대피소 등의 방호시설을 강화하고, 구체적인 소산계획을 마련하는 것이 중요하다. 둘째, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 핵무기의 폭발고도에 따른 피해지역 설정과 이에 따른 대응 계획수립이 필요함을 확인했다. 폭발고도가 높아질수록 폭풍과 열복사선의 영향이 광범위하게 퍼지는 반면 방사선 피해는 상대적으로 제한적이라는 점은 핵무기 공격 시 각 지역별로 차별화된 대응계획을 필요로 한다는 것을 의미한다.

NUKEMAP 시뮬레이션의 한계는 다음과 같다. 핵무기 폭발 시 대피와 방사선 차폐 효과 등을 고려하지 못해 수십만 명에 달하는 사상자 수가 도출되었다. 또한 도심지역의 특성을 반영한 낙진확산 등은 제대로 반영되지 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 도심지역의 특성을 반영한 시뮬레이션이 요구된다. 그럼에도 불구하고 본 연구 결과는 핵무기의 폭발고도에 따라 발생하는 효과가 다르며, 이에 따라 피해지역 설정과 대응계획이 필요함을 시사한다. 특히, 미 FEMA에서 제시한 피해지역 설정과 대응개념을 참고하여 발전 방안을 제시하였으며, 이는 북한의 핵무기 공격에 대한 대응 시 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 이를 통해 군뿐만 아니라 민간에서도 피해 최소화가 가능할 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 손효주, “北, 南전역 타격 전술핵 800m 상공서 폭발시험... 살상능력 극대화 위협”, 동아일보, 2023. 3. 21. <https://www.donga.com/news/article/all/20230321/118439862>
- [2] Glasston and Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons* (3rd Ed.), United States Department of Defense, pp. 154-157, 1977.
- [3] 김석봉, 오경두, 백상호, 이준학, 박영준, 백종혁, “방호공학 제2판”, 청문각, p. 116, 2015.
- [4] Kim, H. M., “Republic of Korea’s Direction for Preparedness and Response against NK’s Fourth Nuclear Test,” *The Quarterly Journal of Defense Policy Studies*, pp. 33-48, 2016.
- [5] 스티븐 워커, “카운트다운 히로시마”, 황금가지, pp. 337-338, 2005.
- [6] HDoA, “Multi-service Reference for Chemical Biological Radiological and Nuclear Warning and Reporting and Hazard Prediction Procedures,” Washington D.C, 2017.
- [7] 류동관, “북한의 핵 사용 유형과 방사성 물질의 거동에 기초한 국민 방호 대비 방향,” *한국과 국제사회* 제7권 5호, pp. 717-745, 2023.
- [8] 양욱, “2023년 북한 핵개발 현황 및 평가,” Issue Brief, 아산정책연구원, pp. 3-4, 2023. 12. 28.
- [9] David Albrigh, “North Korean Nuclear Weapons Arsenal (New Estimates of its Size and Configuration),” *ISIS Report*, pp. 5-6, 2023. 4. 10.
- [10] 이근평, “용산 상공 400m서 핵폭발 김정은 ‘최대 살상고도’ 찾고 있다,” *중앙일보*, 2023. 9. 7. <https://www.joongang.co.kr/article/25190620>
- [11] 기상청 기상자료개방포털, “기후통계분석 »평년값 »우리나라 기후평년값”, 검색일자: 2024. 8. 17. <https://data.kma.go.kr/climate/average30Years/selectAverage30YearsKoreaList.do?pgmNo=188>
- [12] FEMA, “Planning Guidance for Response to a Nuclear Detonation (3rd Ed.)”, pp. 42-54, 2022
- [13] FEMA, “Nuclear Detonation Response Guidance Planning for the First 72 Hour,” pp. 74-96, 2023.