
An Engineering Approach to Assessing the Impact of Nuclear Weapons

Speaker:

Junseo Park

Undergraduate Student of Dept. of Political Science & International Relations (SNU)

pjs578787@snu.ac.kr

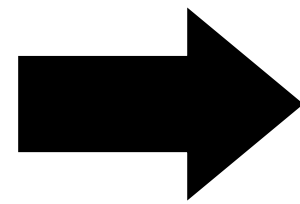
Corresponding Author:

Youho Lee

Dept. of Nuclear Engineering (SNU)

leeyouho@snu.ac.kr

최근 한국 핵무장론의 유행.
→ 왜 핵무장에 열광하는가?



절대 무기라는 '가정'

핵무기 >> 재래식 무기.

핵무기에 대응할 수 있는 건 오직 핵무기뿐!

정말 그런가?

공학적인 접근법!

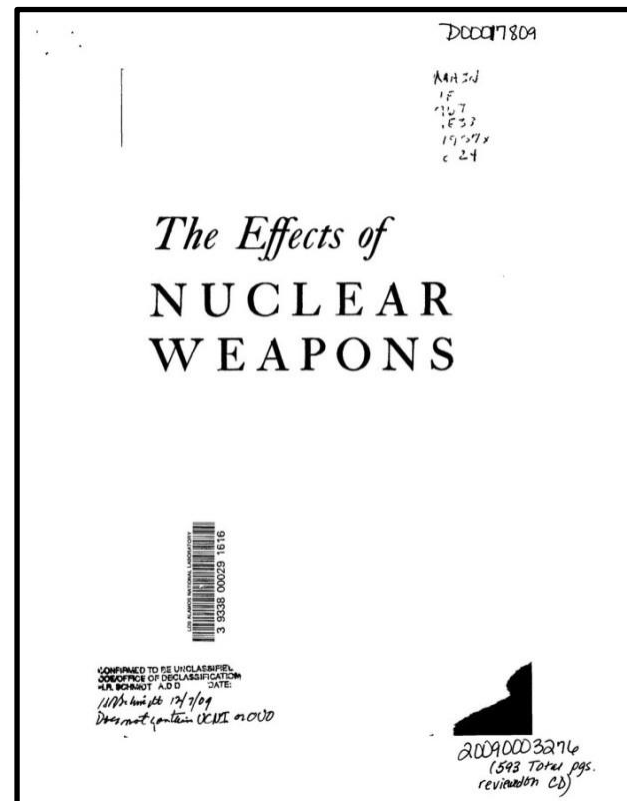
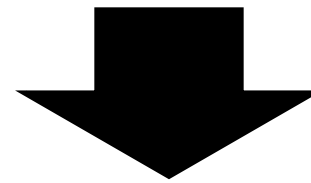
핵무기의 능력에 대한 정량적인 평가

(핵폭발의 에너지와 그로 인한 인명 피해)

Q. 핵무기는 재래식 무기에 비해 얼마나 강한가?

일본 케이스, 핵 실험, 원자력 사고 등에 기반하여
핵무기의 살상 반경(killing radius) 추산*

*살상 반경 추산의 기준은
사망자의 발생



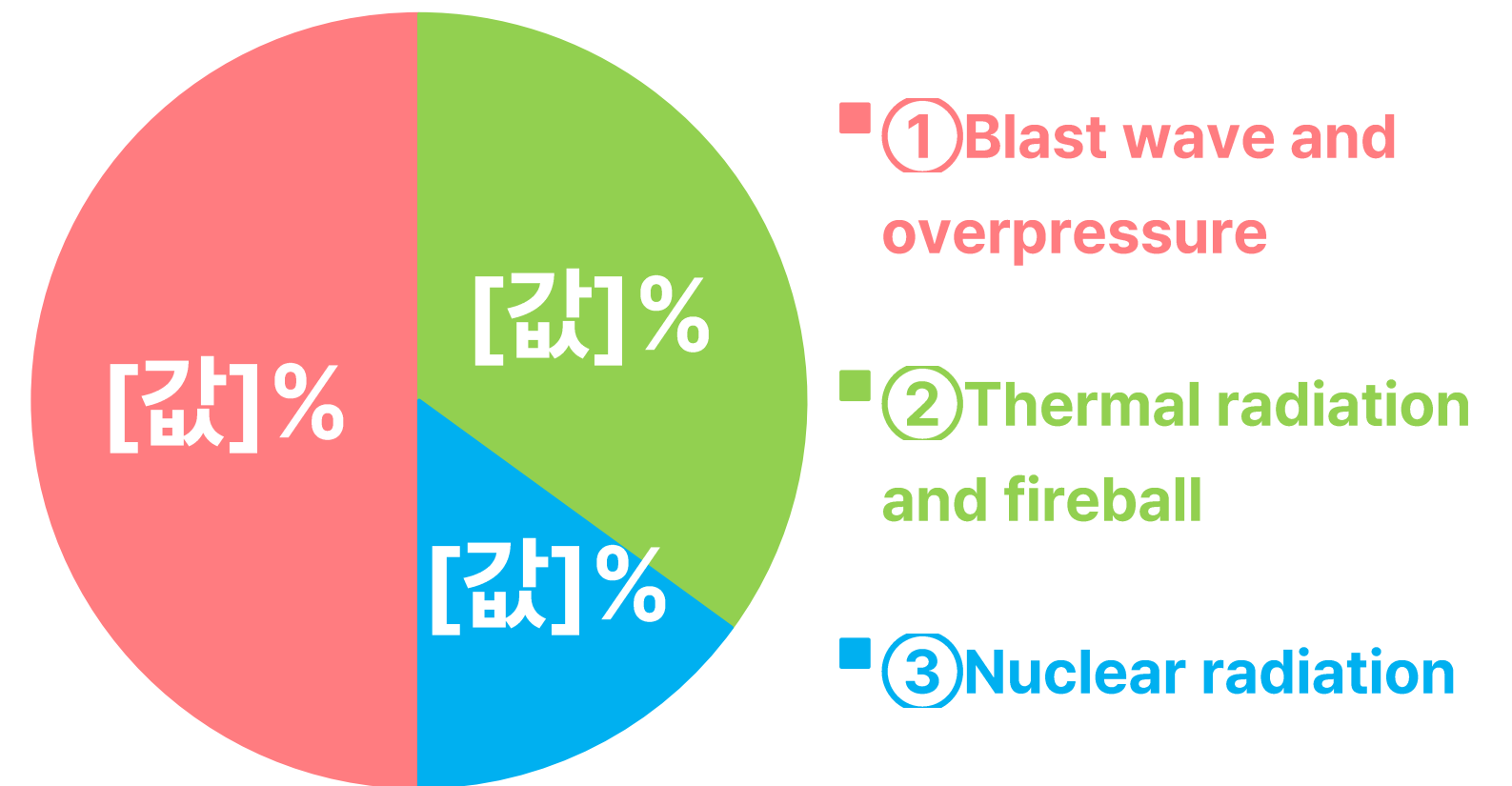
S. Glasstone. 『The Effects of Nuclear Weapons(1962)』.

- 미국의 핵 실험 데이터
- 공학적 모델

핵폭발의 요소들: 고폭탄(high-explosive)과의 비교

전체 핵폭발 에너지에서 차지하는 비율

- ① Blast wave and overpressure(50%)
: 고폭탄과 공통된 현상, 그러나 위력이 매우 큼.
- ② Thermal radiation and fireball(35%)
: 고폭탄에서 열 복사는 거의 무시할 만함.
- ③ Nuclear radiation(15%)
: 고폭탄에서는 무시할 만함.



세 요소에 의한 살상 반경을 각각 구해보자

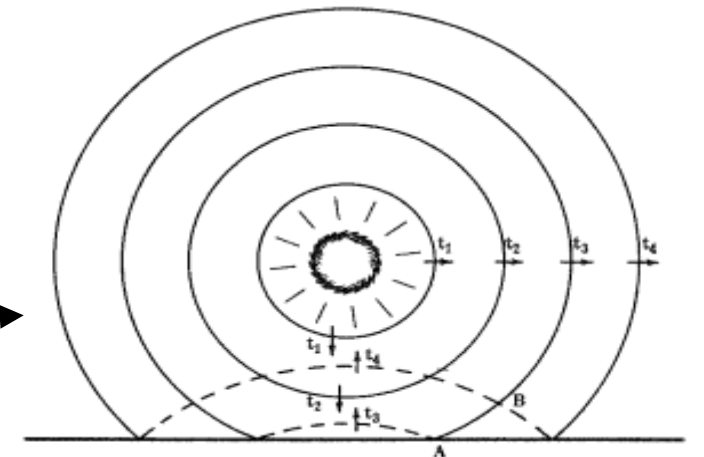
조건

- 북한 6차 핵실험의 위력 추정치 100 kt.
- 다른 조건들은 가능한 한 보수적으로(추후 설명).
- 서울 도심(용산)을 기준으로 살상 영역을 표시.

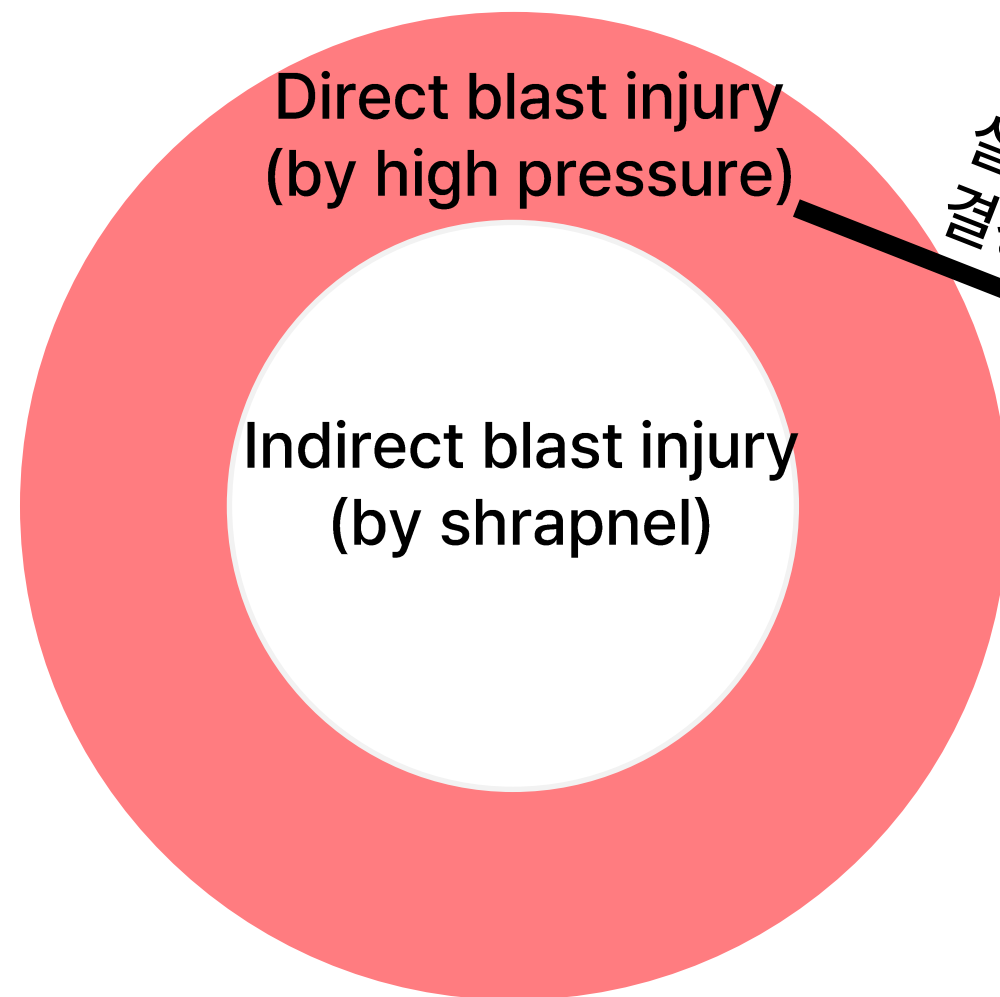
2 핵폭발에 대하여: ① Blast wave and overpressure

*S. Glasstone, The Effects of Nuclear Weapons, United States Atomic Energy Commission, 1962.

- Blast wave: 폭발 시 방출되는 막대한 에너지로 주변 물질 온도와 압력 상승시킴.
- Overpressure: 지표면에 반사, 이때 원래 파동과 반사된 파동의 중첩(Mach effect).



• 살상 반경



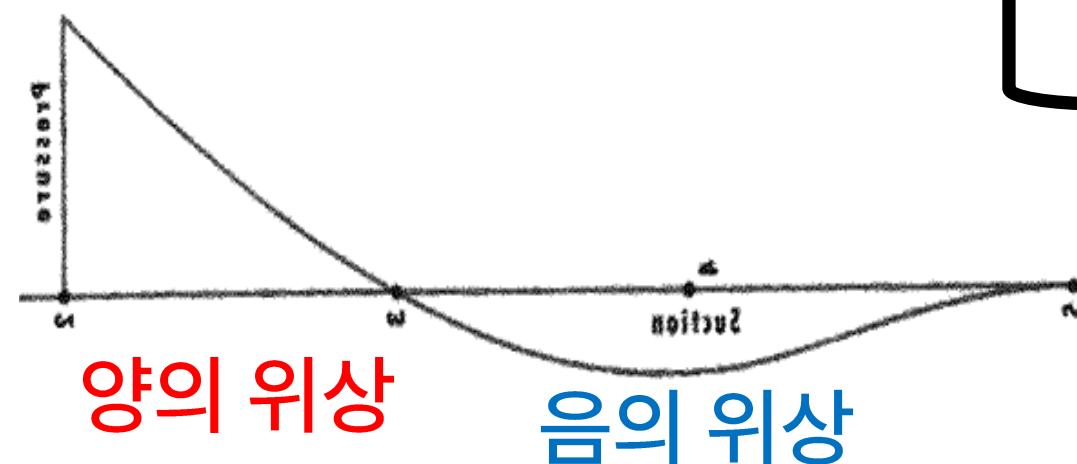
살상 반경 결정 인자

Overpressure의 양(+)
의 위상 지속 시간

1초 이하 → **How long?**
(overpressure의 양의 위상 지속 시간의 길이)

1초 이상 → **How strong?**
(peak

→ 대부분 핵무기는 여기에 해당.
한편, peak overpressure ∝ **위력!**



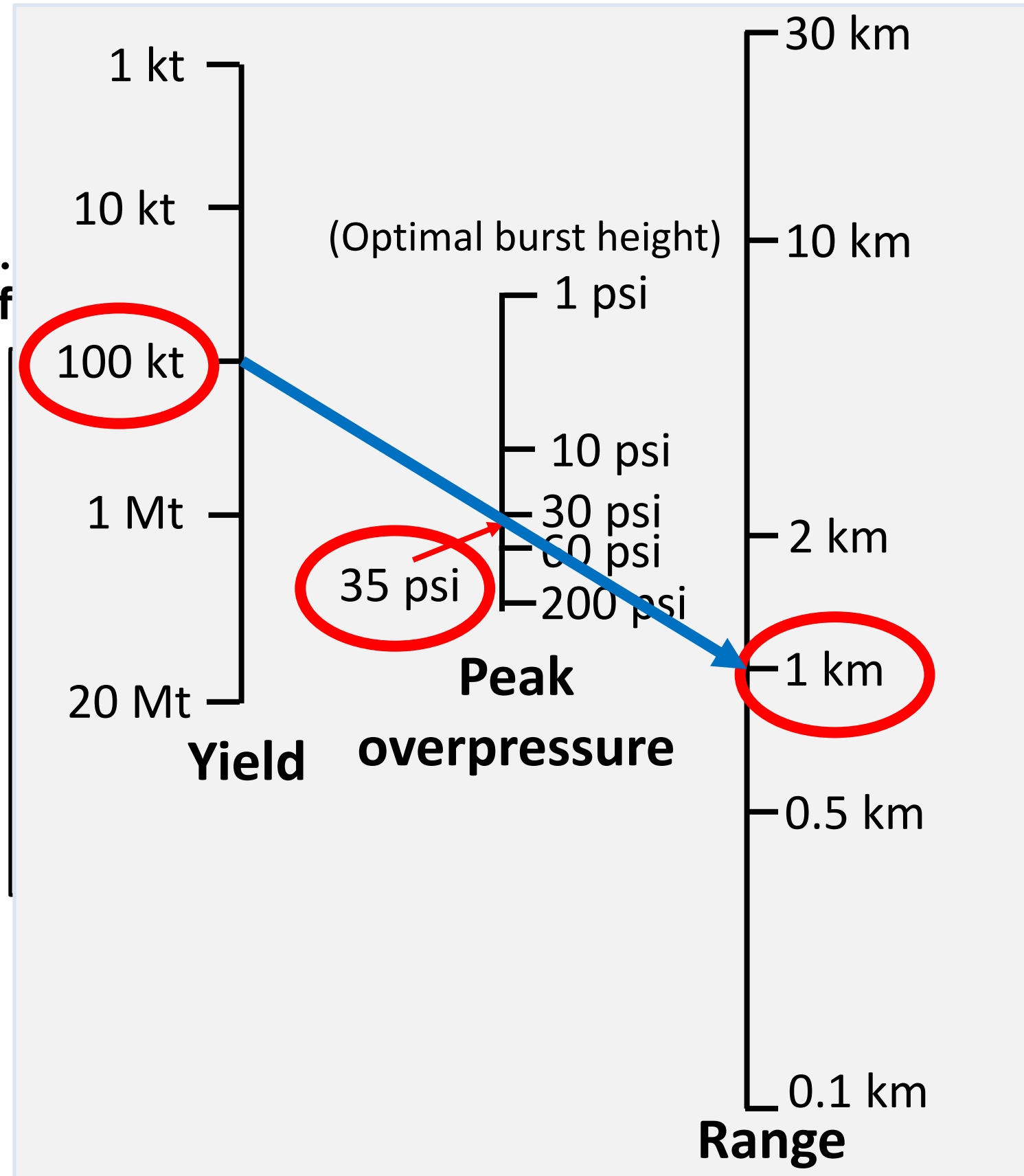
2

핵폭발에 대하여: ① Blast wave and overpressure

<Direct blast injury>

35 psi -> 1% Mortality

65 psi -> 99% Mortality



<사망률 1%인 거리 찾기>
1) 왼쪽의 100 kt에서 시작.
2) 가운데 35 psi와 연결.
3) 그걸 연장하면 1 km!

핵폭발에 대하여: ① Blast wave and overpressure

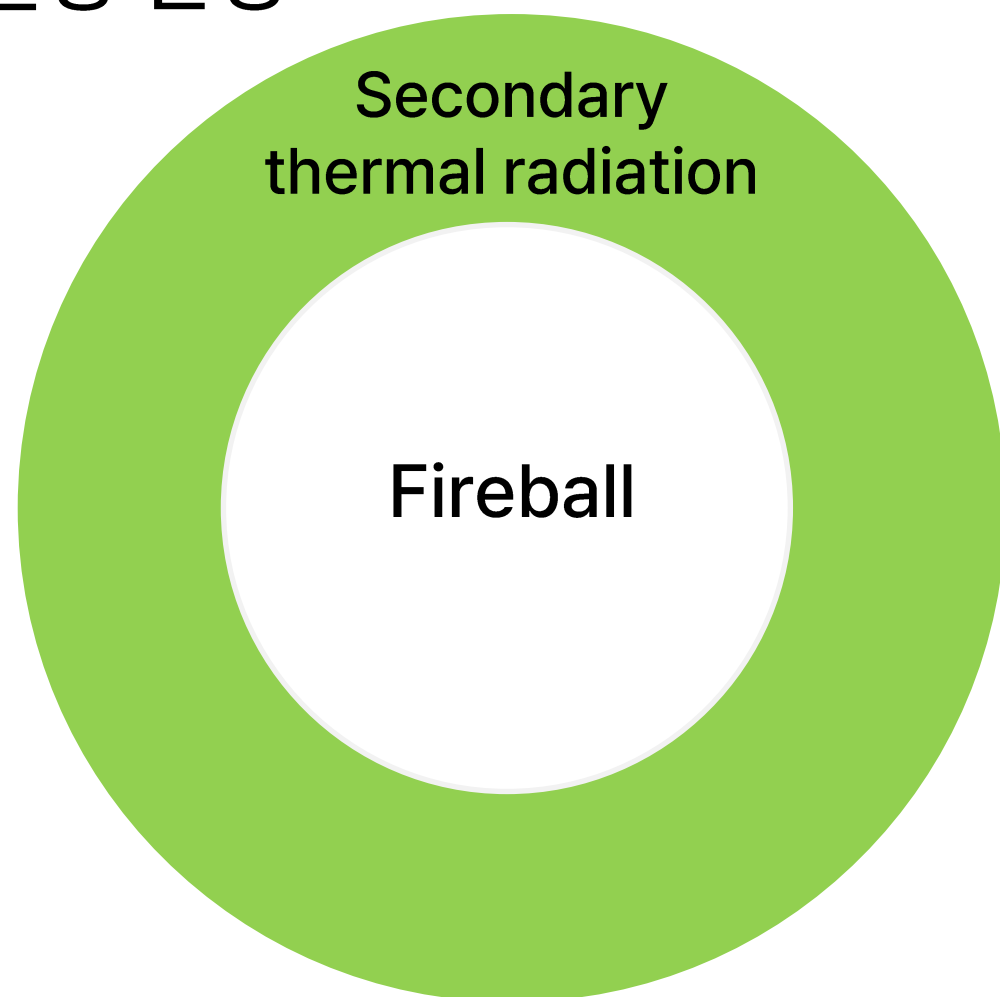


1% mortality circle (blast wave and overpressure)

2 핵폭발에 대하여: ② Thermal radiation and fireball

- Primary thermal radiation & Fireball
: 핵폭발 시 열 복사 방출. 이때, 고도가 낮아 공기의 밀도가 높은 곳에서는 수 피트 내에서 전부 흡수되어 Fireball 형성.
- Secondary thermal radiation
: 흡수된 에너지 중 일부는 Secondary thermal radiation으로 재방출.

• 살상 반경



Secondary thermal radiation으로 인한 화상
→ 폭발 원점으로부터 수직인 면에 단위면적당 전달되는 에너지

$$Q = \frac{E_{tot}}{4\pi D^2} e^{-\kappa D} \approx \frac{1.04WT}{D^2}$$

Q: 열 [cal/cm^2]

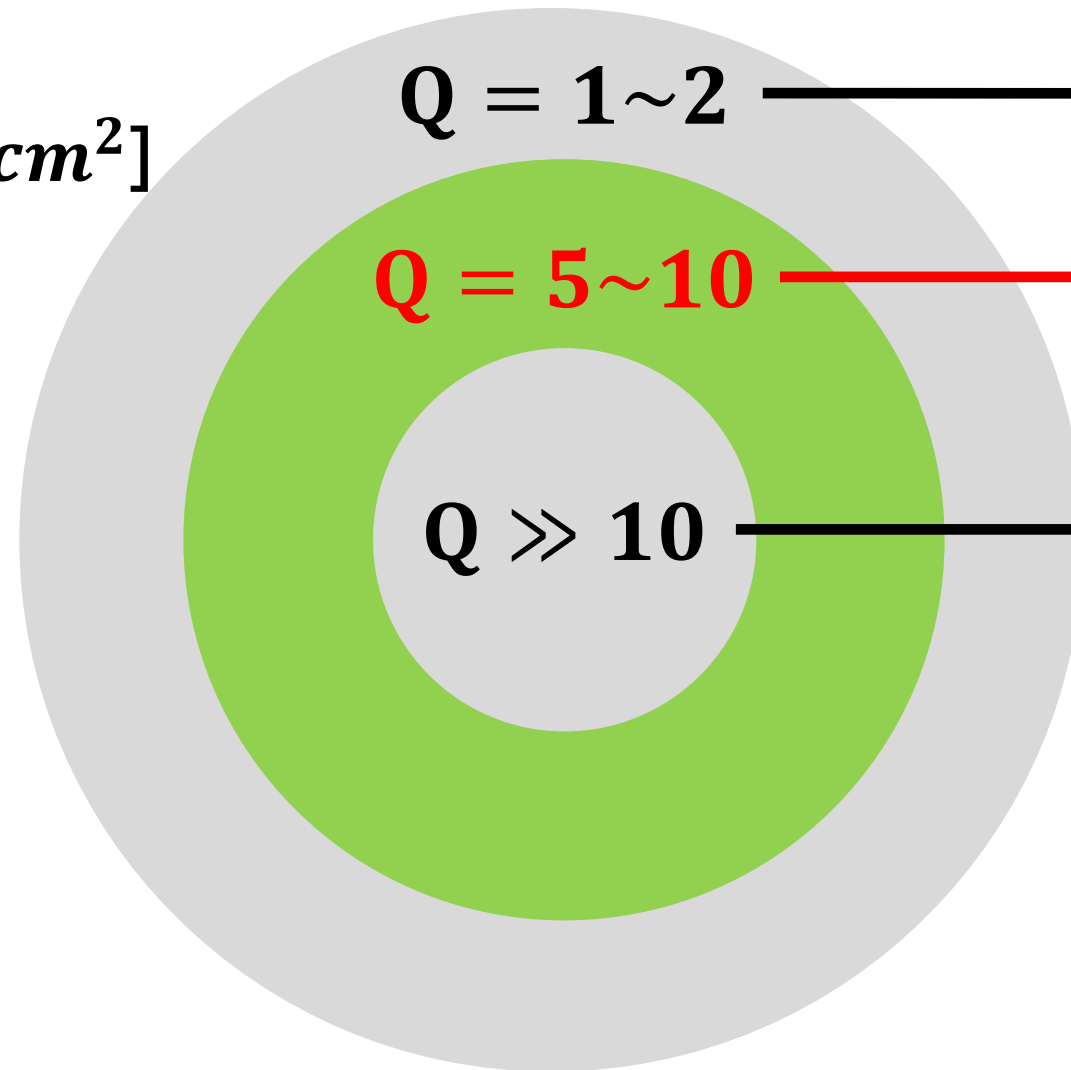
D: 거리 [mile]

T: 투과율
~날씨와 거리의 함수

W: 위력 [kt]

2 핵폭발에 대하여: ② Thermal radiation and fireball

$$Q \approx \frac{1.04WT}{D^2} [cal/cm^2]$$



$Q = 1 \sim 2$

1도 화상: 피부가 빨개지는 정도.

$Q = 5 \sim 10$

2도 화상: 물집. 4주 이내 치료.

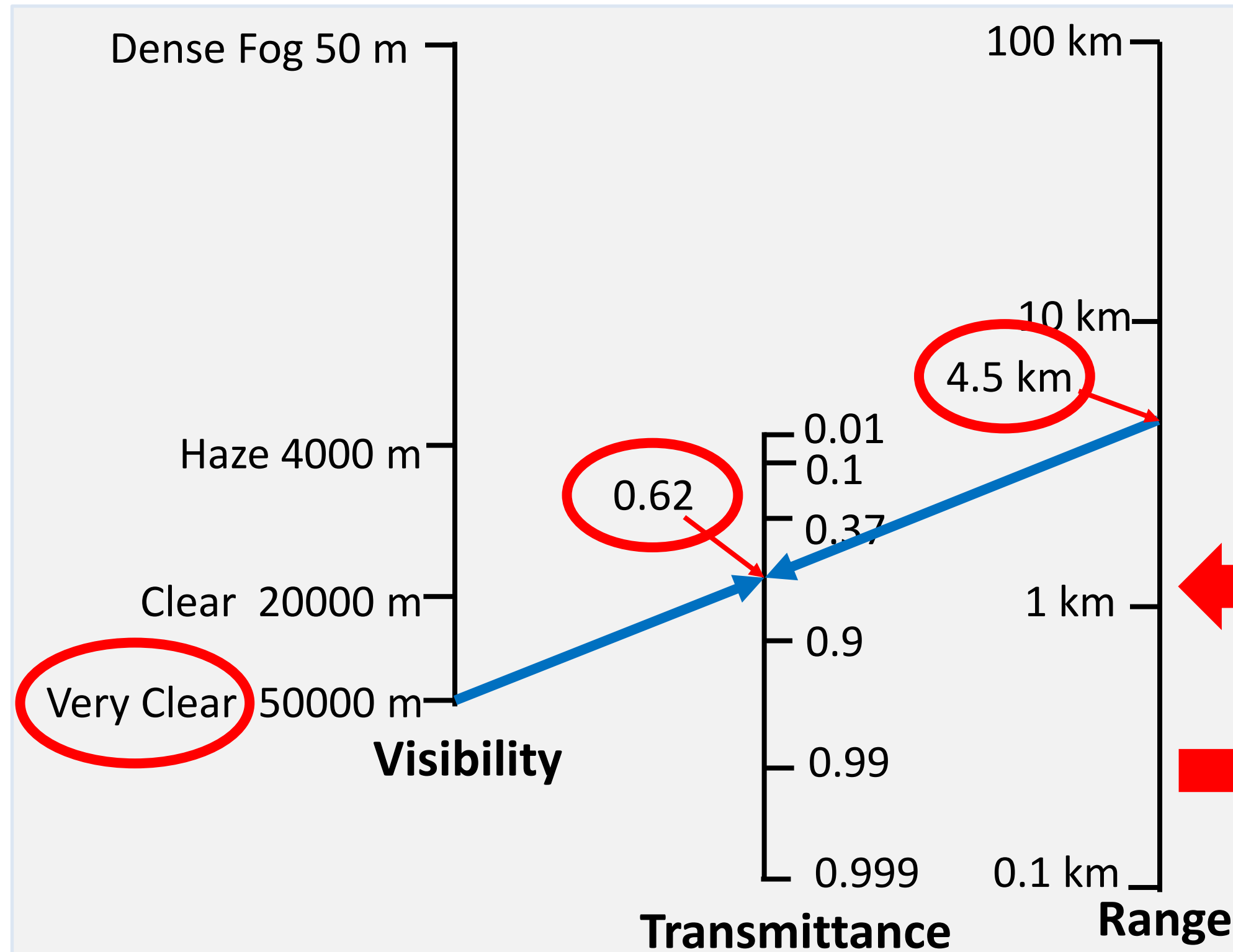
$Q \gg 10$

3도 화상: 괴사.

- 살상 반경의 기준은 **2도 화상**:
화상의 면적이 크면 사망할 수 있음.
전시에 시설, 위생 열악+방사선 피폭 -> 감염 위험.

- (참고) 2도 화상 기준도 지나치게 보수적일 수 있음:
 - 1) Flash burns의 특징.
 - 2) 피해는 다양한 방식으로 경감될 수 있음.
 - 3) **짧은 시간동안 열 전달이 충분히 이루어지지 않음***

핵폭발에 대하여: ② Thermal radiation and fireball



<Q=10(2도 화상)인 지점 찾기>

1) 날씨는 "Very Clear"로 고정.
(보수적인 가정)

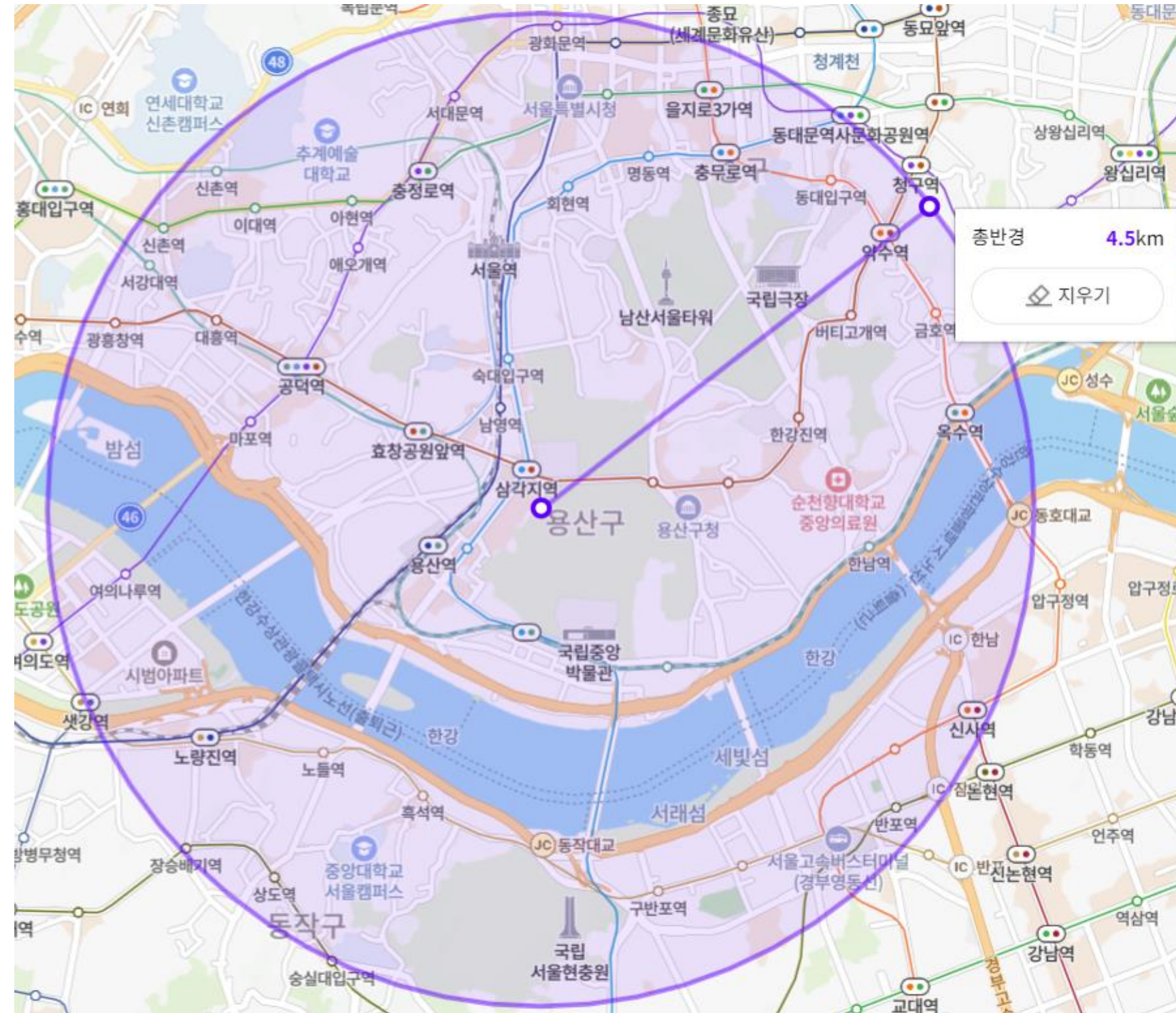
2) 임의의 거리를 날씨와 연결하여
중앙선과의 교점에서 T 도출 및 아래 식에
대입하여 Q 확인.

3) 거리를 바꾸어 반복. Q=10에 가까운
거리 찾기!

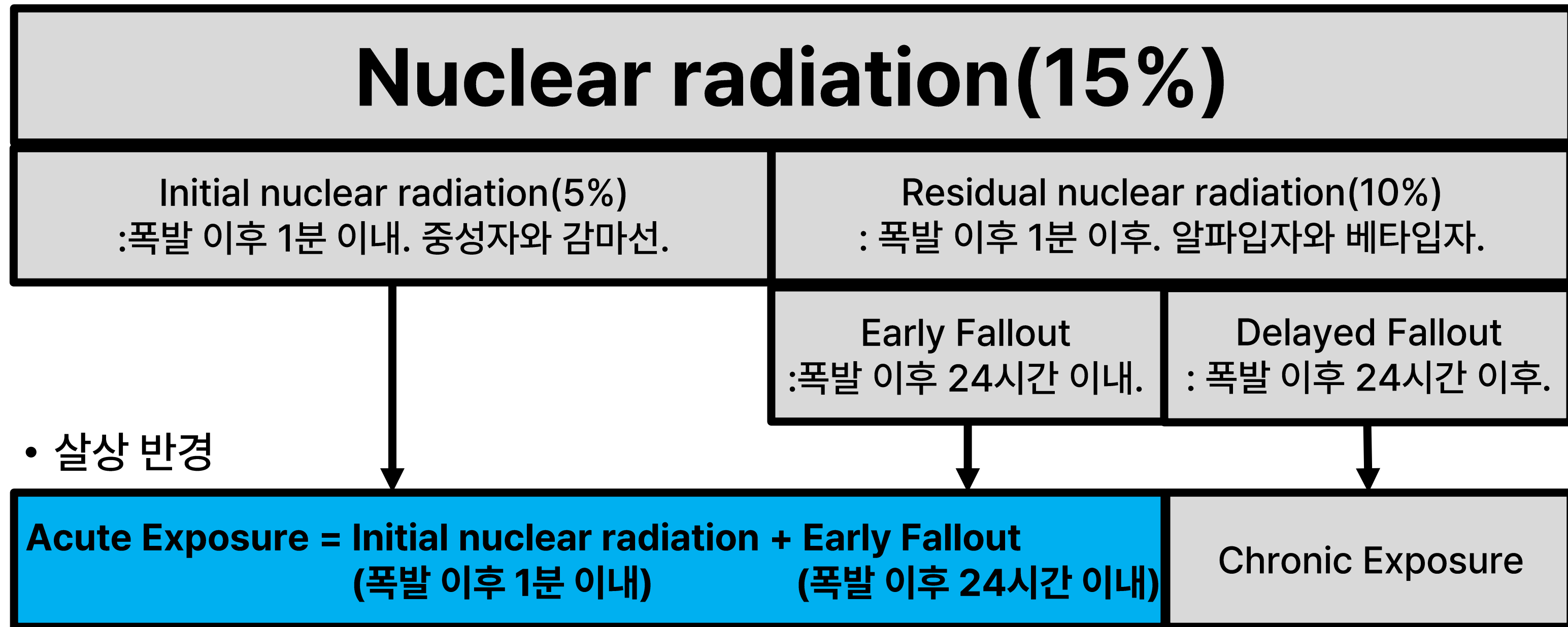
$$Q \approx \frac{1.04WT}{D^2}$$

4.5 km에서
 $Q \approx 8.3 \text{ cal/cm}^2$

핵폭발에 대하여: ② Thermal radiation and fireball



2nd degree burn circle
(Thermal radiation and fireball)



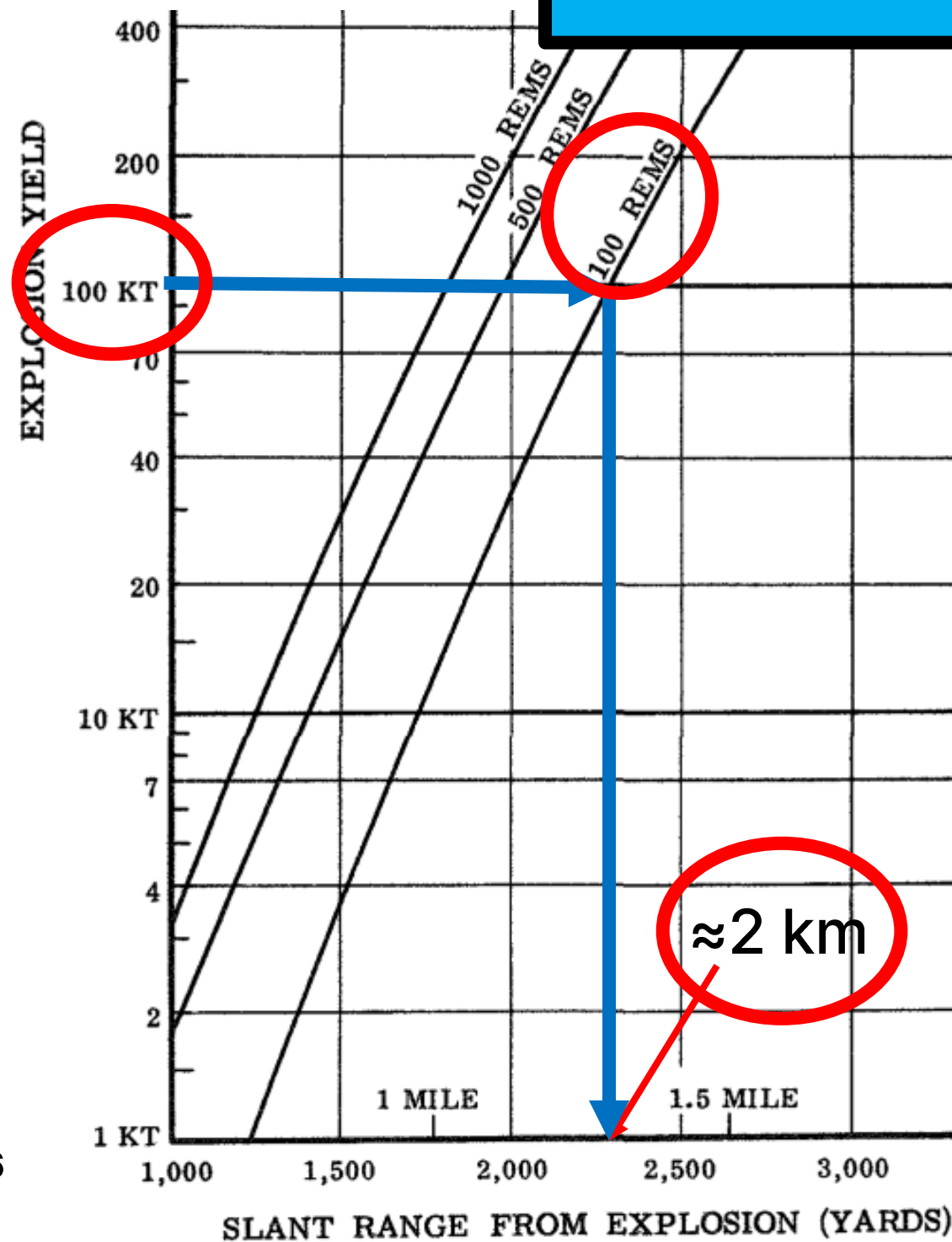
Acute Exposure = Initial nuclear radiation + Early Fallout
(폭발 이후 1분 이내) (폭발 이후 24시간 이내)

- 살상 효과에 대한 합의된 기준은 없음.
- Glasstone의 기준(캐슬 브라보 실험 기반)
0~100 rem: 치료 불필요.

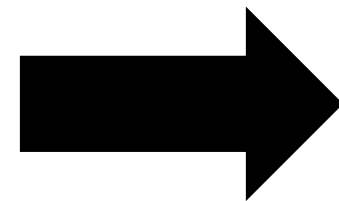
100~200 rem: 몇 주간의 치료. 사상자=0.

200~1000 rem: 피폭량에 따라 사망률 상승.
1000 rem 이상은 100%.

Acute Exposure = Initial nuclear radiation + Early Fallout
 (폭발 이후 1분 이내) (폭발 이후 24시간 이내)



<합산한 피폭이 200 rem 이하이게끔 하기>
 1) 왼쪽의 100 kt에서 시작하는 가로선.
 2) 중앙의 100 rem을 나타내는 선과의 교점 찾기.
 4) 세로선을 그어 100 rem에 해당하는 거리 찾기.



100 kt, 2 km에서,
 = 100 rem

핵폭발에 대하여: ③ Nuclear radiation

Acute Exposure = Initial nuclear radiation + Early Fallout
 (폭발 이후 1분 이내) (폭발 이후 24시간
 이내)

Early Fallout에 의한 인명 피해는 미미함.

→ Mt급 위력 정도가 아니면 자료조차 불충분함.

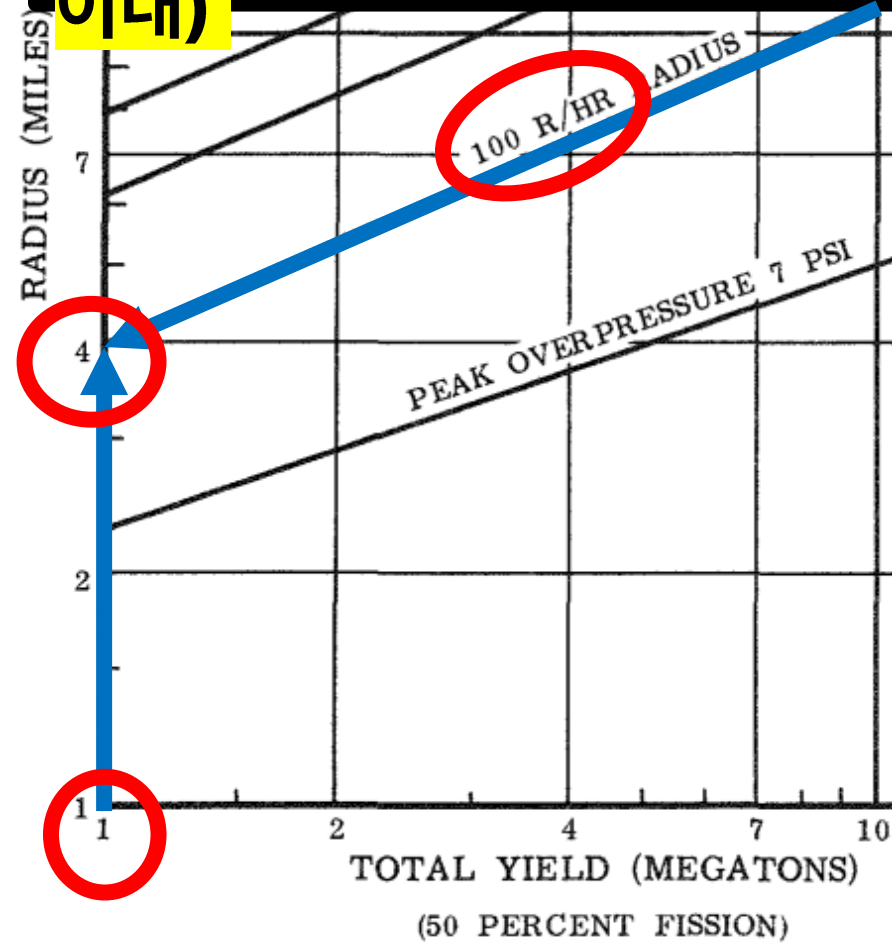
→ 1 Mt의 경우에도 무시할 만하다는 것을 보이는 전략!

Total dose = (① unit-time reference dose rate) * (② unit-time dose rate multiplying factor)

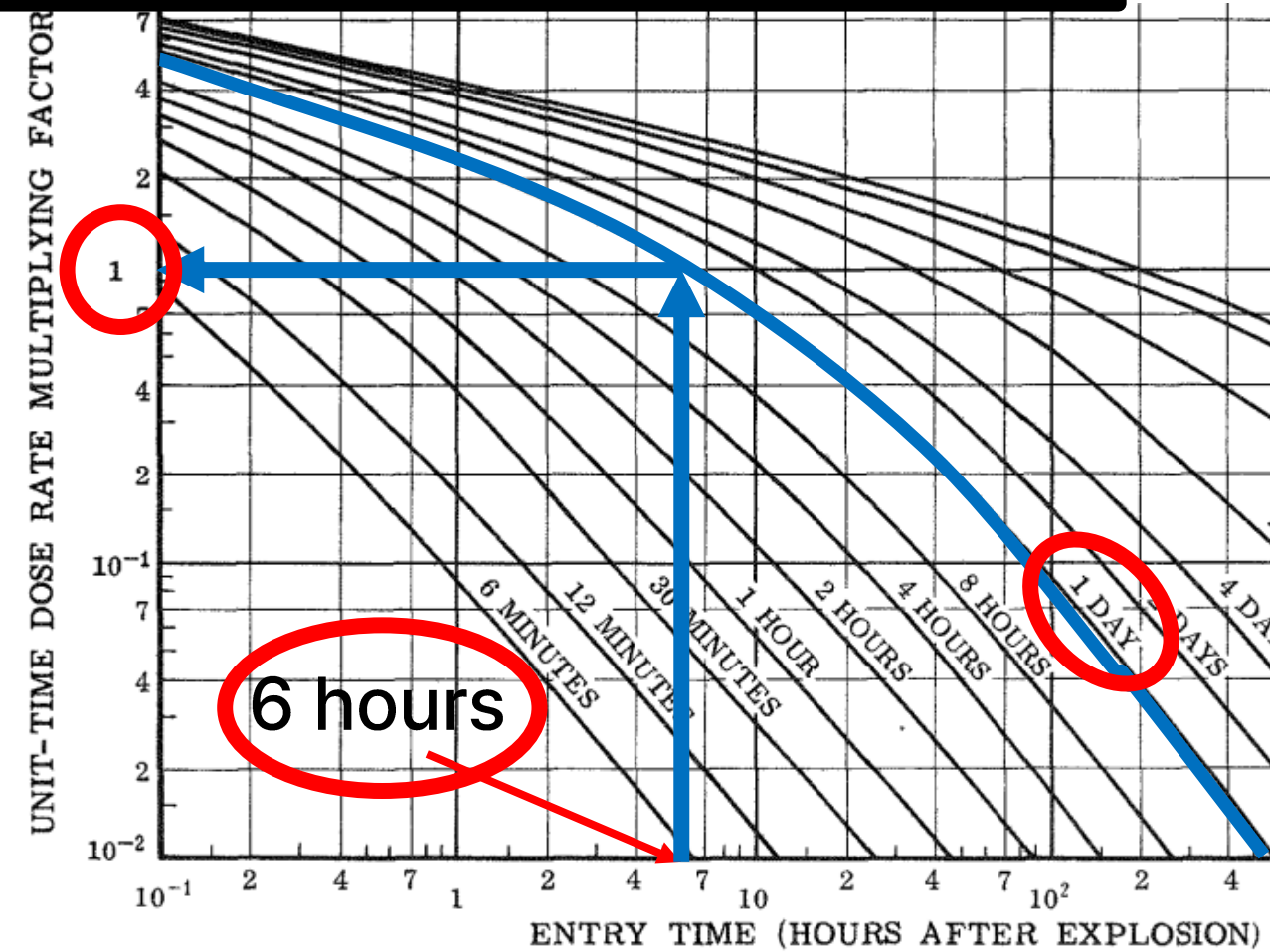
→ 두 값을 찾아보자.

핵폭발에 대하여: ③ Nuclear radiation

Acute Exposure = Initial nuclear radiation + Early Fallout
 (폭발 이후 1분 이내) (폭발 이후 24시간 이내)



- 1) 아래의 1 Mt에서 세로선.
- 2) 제시된 가장 작은 데이터인 100 R/hr에 해당하는 거리 찾기.



- 1) 아래의 "6시간"에서 세로선.
- 2) 1일에 해당하는 곡선과 교점 찾기.

*낙진은 폭발 이후 6시간 뒤 지상에 도착.
 -> 폭발 이후 6시간 뒤부터 24시간 피폭되는 시나리오.

① unit-time reference dose rate = 100 R/hr

② unit-time dose rate multiplying factor = 1

*S. Glasstone, The Effects of Nuclear Weapons, United States Atomic Energy Commission,

Acute Exposure = Initial nuclear radiation + Early Fallout
 (폭발 이후 1분 이내) (폭발 이후 24시간
 이내)

$$\text{Total dose} = \text{①} * \text{②} = 100 \text{ R}$$

$$\rightarrow *1R = \frac{1}{3880} X \text{ unit} = \frac{34}{3880} \text{ Gy (in air)}$$

*Fallout은 α 입자+ β 입자.
 공기중에서 α 는 멀리 못가니
 무시.

$$\rightarrow \text{(ICRP 103) } W_R^\beta = 1$$

1 Mt, 4 miles(=6.4 km)에서 0.9 rem.

1 Mt, 6 miles(=9.6 km)에서 0.09 rem.

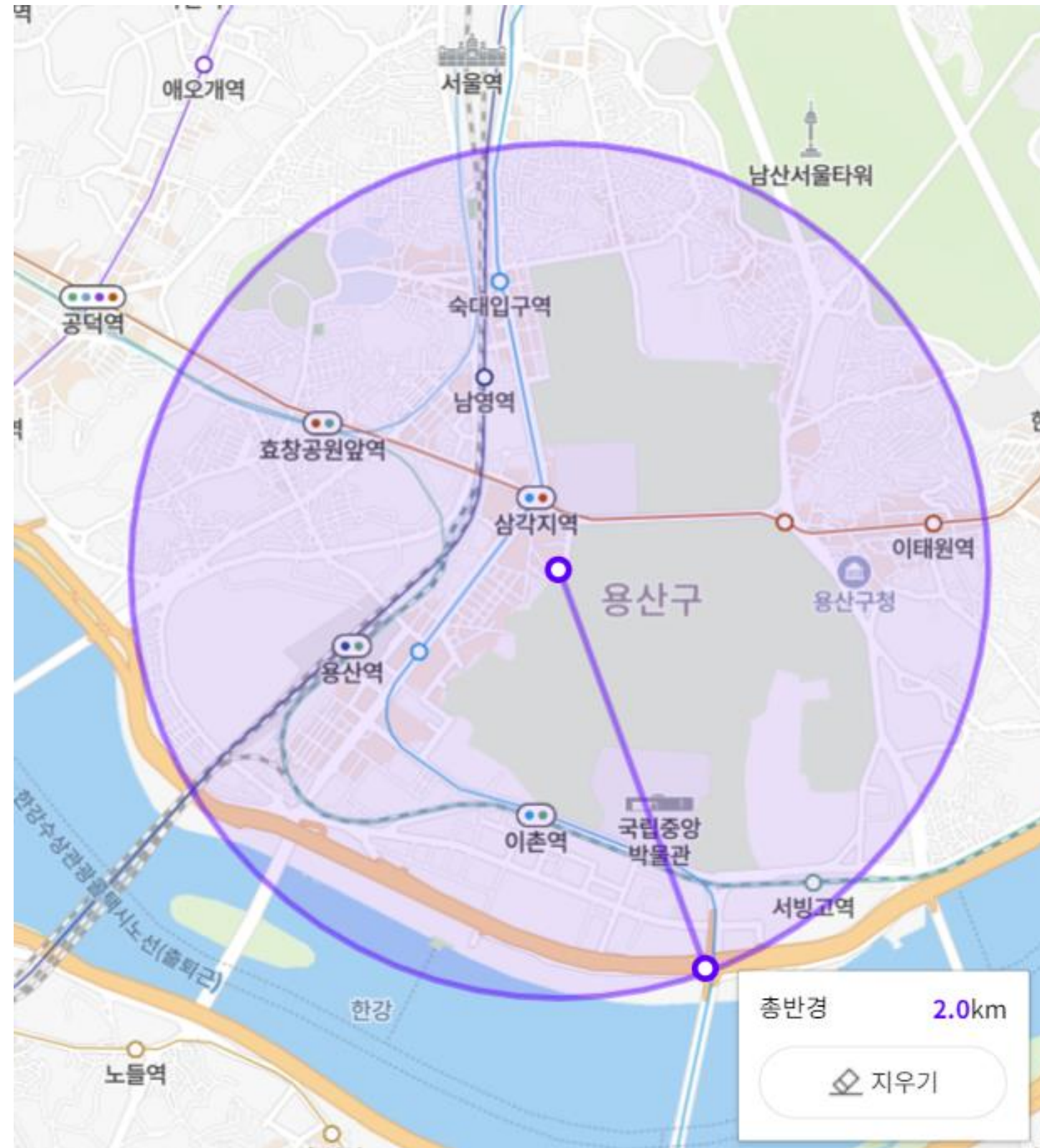
\rightarrow 100 kt, 2 km에서도 무시할 만할 것이다!

Acute Exposure = Initial nuclear radiation + Early Fallout
(폭발 이후 1분 이내) (폭발 이후 24시간
이내)

Acute Exposure \approx 100 rem + 0 rem = 100 rem!



100 kt, 2 km에서 사상자 \approx 0

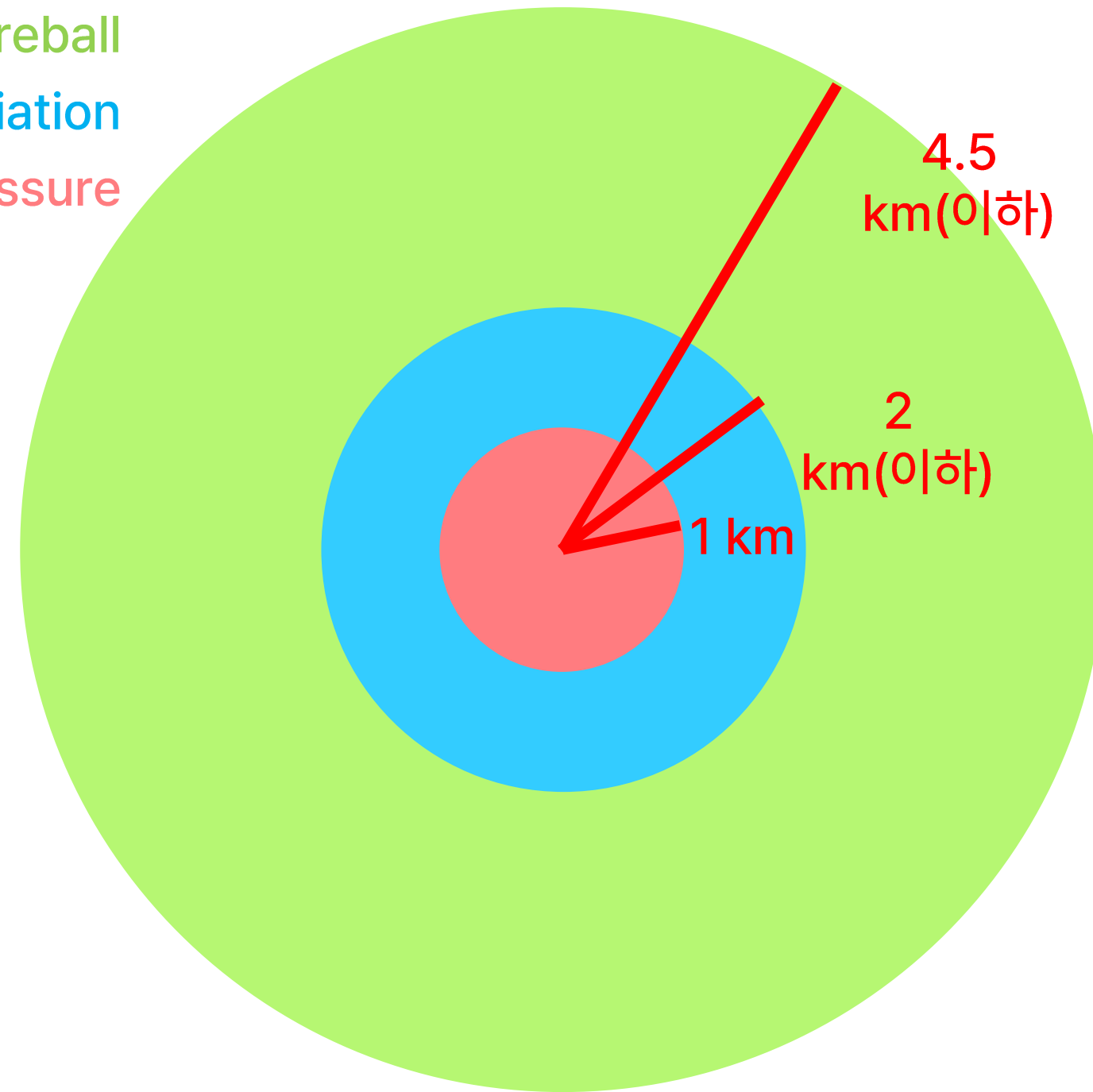


Zero fatality circle (Nuclear radiation)

3

핵무기와 재래식 무기: 시각적 비교

Thermal radiation and fireball
Nuclear radiation
Blast wave and overpressure



북한 6차 핵실험

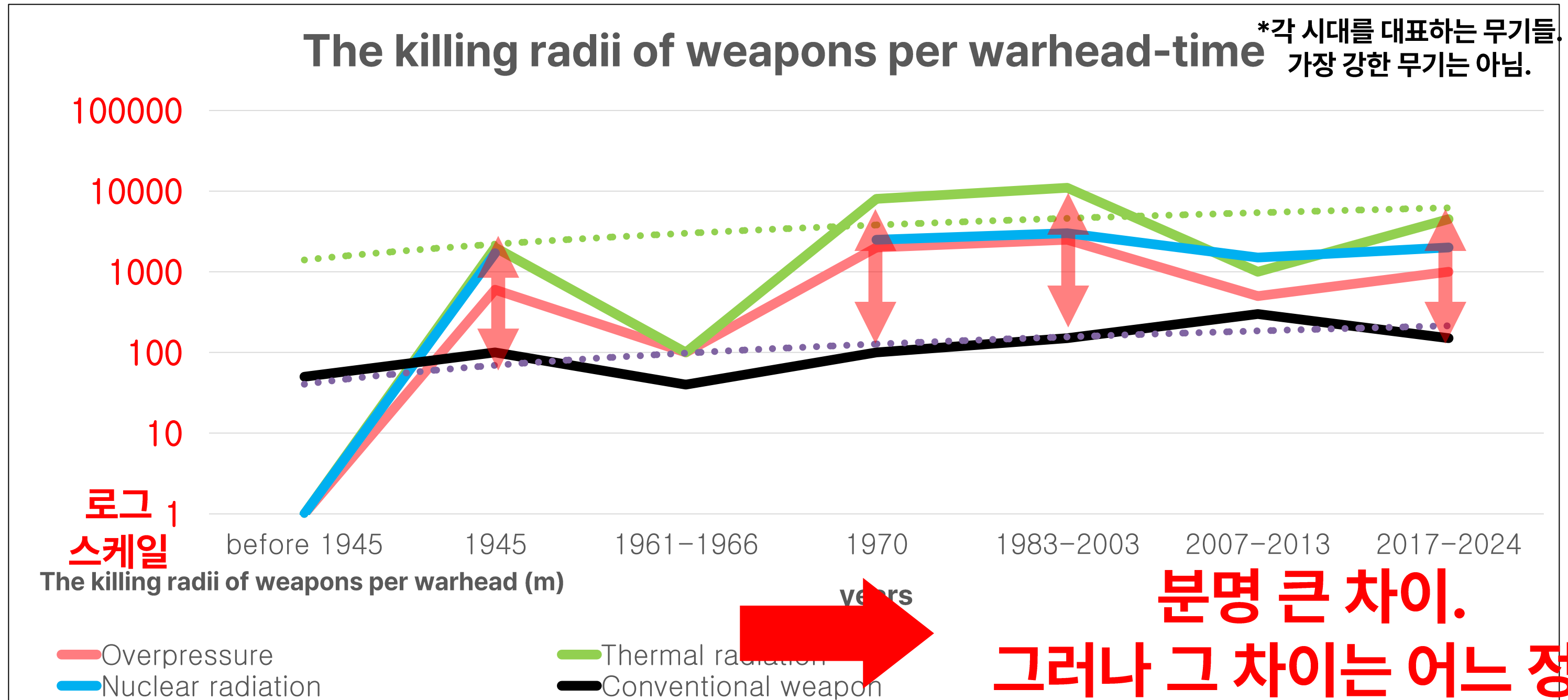
150 m



고위력 현무 탄도미사일
(추정치)

3

핵무기와 재래식 무기: 역사적 비교



	Before 1945	1945	1961-1966	1970	1983-2003	2007-2013	2017-2024
핵무기	-	Fat man (20 kt)	W54 (1 kt)	W88 (475 kt)	B83 (1.2 Mt)	1 st nuclear test of North Korea (10 kt)	6 th nuclear test of North Korea (100 kt)
재래식 무기	155mm Howitzer	Grand Slam	AGM-65	BLU-82	GBU-43/B	ATBIP	High-Yield Hyunmoo Ballistic Missile

3

핵무기와 재래식 무기: 역사적 비교(한반도)

	 북한 6차 핵실험 최대 살상 반경(m)	 남한 재래식 무기 살상 반경(m)	넓이 비율
2006	1000	50	400
2009- 2013	1500	60	625
2017- 2024	4500	150	900

한반도의 맥락에서,
핵무기와 재래식 무기의 차이는 증가 추세
수백~천 배

다시 처음으로,

Q. 핵무기는 재래식 무기에 비해 얼마나 강한가?

1000 : 1 ~~수백배~~ ≠ 천배 ∞ : 1

고하저이 저그버

구체적인 결정은 군차 분야의 몫.

그러나, **합리적인 핵무장론은** 맹목적인 느낌이나 정량적인 평가!

여기서부터 합리적인 토론이 시작되어야.
핵무기에 대한 정량적인 평가에 기반해야.

- [1] B. Brodie, *The Absolute Weapon: Atomic Power and World Order*, Yale Institute of International Studies, 1946. pp. 36-37. <https://www.osti.gov/opennet/servlets/purl/16380564wvLB09/16380564.pdf>. Accessed on August 19, 2024.
- [2] S. Glasstone, *The Effects of Nuclear Weapons*, United States Atomic Energy Commission, 1962. pp. 1-27, 46-47, 109-110, 360-368, 425-493, 556-572, 584, 588-595, 601-611.
- [3] W. Cramer, *Nomograms for Overpressure, Fireball Radius and Thermal Energy of Nuclear Weapons*, pp. 1-5, 1979.
- [4] H. Brode. *Fireball Phenomenology*, The PAND Corporation, pp. 25-29, 1964.
- [5] ICRP, *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 103, 2007, pp.63-64.
- [6] P. John, GBU-43/B ‘Mother Of All Bombs’, *Global Security*, July 7, 2011. <https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/moab.htm>. Accessed on August 19, 2024.

Thank you for listening!