

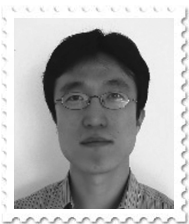
# 도심형 방사능테러 위험도 분석



유 호 식  
한국원자력통제기술원 선임연구원  
hsyoo@kinnac.re.kr



곽 성 우  
한국원자력통제기술원 선임연구원  
swkwak@kinnac.re.kr



장 성 순  
한국원자력통제기술원 선임연구원  
ssjang@kinnac.re.kr



이 정 훈  
한국원자력통제기술원 연구원  
jhlee@kinnac.re.kr

## 1. 서론

방사성 물질은 원자력발전소의 연료 및 구조용 재료의 비파괴 검사등 산업용으로부터 암진단 및 치료에 사용되는 의료용까지 다양한 분야에서 사용되고 있다. 최근에는 사용량 및 범위가 넓어져 국가간, 지역간의 이동이 빈번해지고 있으며 이에따라 분실 및 도난의 위험성이 커지고 있다. 방사성물질은 다른 물질과 달리 인체 및 환경에 미치는 영향이 크므로 특별한 관리가 요청된다. 특히 방사성 물질이 불순한 의도를 가진 개인 및 집단에게 흘러 들어가

사용된다면 그 피해는 막대할 것이다. 방사성물질은 구하기가 상대적으로 쉽고 소량으로도 치명적인 경제, 사회적 피해를 입힐 수 있기 때문에 테러리스트들의 좋은 표적이 되고 있다. 특히 도심에서 방사성물질을 폭발물과 같이 폭발시켜 비산하게 하면 넓은 지역에 복구하기 힘든 피해를 줄 수 있다. 방사성물질을 이용한 테러로부터 인체 및 환경을 보호하기 위해서는 예방이 가장 좋은 방법이다. 방사능테러를 예방하기 위해서는 방사성 물질의 관리 및 보관을 철저히 하고 방사성 물질이 분실되지 않도록 보관시설이나 이동 중 방호조치를 충분히 해야 한다. 예방에 대

한 대책뿐만 아니라 도심 내에서 방사능테러가 발생했을 경우 피해를 최소화 할 수 있는 대책의 수립이 필요하다. 도심 내에서 방사성물질이 폭발물에 의해 폭발되었을 경우 피해규모는 방사성물질의 종류, 폭발물의 세기 및 풍속 및 풍향 등 기상조건에 의해 결정된다. 방사능테러로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 가능한 한 빠른 시간 내에 방사능 피해규모를 예측하여 방재대책을 수립하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 발생 가능성이 높은 시나리오를 작성하고 이에 따른 인적, 환경적 피해규모를 예측하여 필요할 경우 즉시 관련 자료를 제공할 수 있는 체계가 구축되어 있어야 한다. 미국을 비롯한 많은 나라들이 이러한 대응체제를 갖추고 있으나 우리나라의 경우 방사능테러에 대한 관심 및 이해가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 국내의 방사성물질 보관·사용 현황을 살펴보고 지금까지의 분실, 도난 사례를 분석하여 방사능테러의 원료물질로 사용 가능성이 높은 방사성물질을 분류하였다. 또한 방사능테러가 발생했을 경우 피해 규모를 예측하기 위해 시나리오를 작성하여 시나리오에 따른 인적, 환경적 피해를 계산하였다. 이들 자료들은 향후 방사능테러에 대한 대응 전략을 수립할 때 중요한 자료로 사용될 수 있으리라 판단된다.

## 2. 방사성 물질 사용현황

국내에서는 산업용, 의료용으로 약 8100여개 기관에서 200여종이 넘는 핵종을 사용하고 있다. 사용빈도가 높은 핵종은 Ni-63, Cs-137, Co-60 및 Am-241 등으로 이들 방사성물질은 산업체, 의료기관 및 연구기관 등에서 사용되고 있다. 표 1과 2는 국내에서 사용되고 있는 사용빈도 상위 10개 핵종을 나타낸 것으로 산업체나 의료기관은 Cs-137이 연구기관에서는 Ni-63 핵종이 가장 많이 사용되고 있는 것을 알 수 있다.

[표-1] 핵종별/기관별 사용빈도 상위 10개 핵종

핵종	산업체	공공기관	의료기관	교육기관	연구기관	합계	백분율(%)
Ni-63	371	245	21	157	214	1008	12.37
Cs-137	496	135	174	38	75	918	11.26
Co-60	420	59	41	15	49	584	7.17
Am-241	250	21	13	9	21	314	3.85
P-32	8	6	94	133	40	281	3.45
H-3	16	7	84	118	53	278	3.41
I-125	9	5	127	90	30	261	3.20
C-14	8	8	81	106	46	249	3.06
S-35	7	6	74	123	37	247	3.03
Kr-85	202	4	1	10	26	243	2.98
합계	1787	496	710	799	591	4383	53.78

[표-2] 이용기관 형태별 사용빈도 상위 10개 핵종

순위	산업체 (50/2150)	공공기관 (94/713)	의료기관 (108/2960)	교육기관 (99/1219)	연구기관 (163/1108)
1	Cs-137	Ni-63	Cs-137	Ni-63	Ni-63
2	Co-60	Cs-137	I-131	P-32	Cs-137
3	Ni-63	Co-60	I-125	S-35	H-3
4	Am-241	Sr-90	Co-57	H-3	Co-60
5	Kr-85	Am-241	Tc-99m	C-14	C-14
6	Sr-90	Am-241/Be	Tl-201	I-125	P-32
7	Ir-192	Ba-133	Ga-67	P-33	S-35
8	Fe-55	Cf-252	Mo-99	Cr-51	I-125
9	Pm-147	Fe-55	P-32	Ca-45	Kr-85
10	Cd-109	C-14	I-123	Cs-137	Cr-51
합계(%)	92.19	76.44	40.24	75.23	53.70

## 3. 방사성물질 안전사고 분석

방사성물질은 잘못 사용되었을 경우 피해규모가 크기 때문에 보관, 사용 등에 주의를 기울여야 한다. 방사성동위원소는 특히 산업체에 많이 사용되기 때문에 산업현장이 위치한 곳으로 이동해야 할 경우가 많아 이동 중 안전관리가 중요하다. 보관, 사용 및 이동 중인 방사성물질이 도난이나 분실되면 그 자체로도 큰 피해를 입힐 수 있지만 만약 불순한 의도를 가진 사람들에 의해 오염폭탄으로 사용된다면 그 피해는 막대할 것이다. 방사능테러는 인적인 피해뿐만 아니라 환경적 피해가 많아 피해규모를 줄이기 위해서는 다양한 시나리오에 대한 방사능 영향평가를 수행해 이들 결과를 데이터베이스화 하여 방사능테러가 발생했을 경우 즉시 피해규모를 파악할 수 있도록 하는 것이

효과적이다. 방사능테러에 사용될 가능성이 높은 방사성 물질을 선택하기 위해서는 사용빈도와 함께 지금까지 발생한 방사성물질관련 안전사고 이력을 살펴보는 것이 도움이 될 것으로 판단된다. 표 3은 방사선 안전관리통합정보망에 등록된 방사선 사고 발생지역, 핵종 및 사고종류별 통계를 나타낸 것이다. 현재까지 등록된 사고건수는 총 56건으로 방사성물질을 취급하는 산업체 및 의료기관이 집중되어 있는 서울지역에서의 사고발생건수가 높은 것을 알 수 있다. 서울지역이외에 울산광역시에서 사고건수가 많이 발생했는데 이것은 중화학공업이 집중되어 있는 지역특성상 검사장비로 방사성물질의 사용이 많기 때문인 것으로 판단된다. 핵종별로는 의료용으로 많이 사용하는 Ir-192가 가장 많았으며 비파괴 검사용기에 장착된 방사성물질의 사고 발생건수가 그 다음으로 많았다. 사고 유형별로는 방사성물질에 의한 피폭이 가장 많은 건수를 나타내었으며 분실 및 도난이 각각 15건, 9건이었다.

[표-3] 방사선 안전사고 이력분석

지역별	핵종별	사고종류별
서울특별시	18	Ir-192 21
울산광역시	10	투과검사용 10
경상남도	6	Cs-137 5
부산광역시	5	Ra-226 4
인천광역시	5	Co-60 2
경기도	5	X-ray 2
대전광역시	3	I-131 2
대구광역시	2	방사선조사기 2
전라남도	2	기타 9
		사고 1

#### 4. 방사능테러 시나리오 작성

방사능테러에 대한 영향평가를 수행하기 위해서는 시나리오를 작성하는 것이 필요하다. 방사성물질을 사용한 테러는 방사선원, 폭발물의 양, 바람의 세기 및 방향에 따라 그 파급효과가 달라지기 때문에 시나리오는 이들 요소들을 모두 고려해야 한다. 특히 정확한 결과를 예측하기 위해서는 실제 가능한 시나리오를 분석해야 하기 때문에 시나리오의 입력 값으로 사용되는 자료는 과거의 경험 자료

를 바탕으로 설정하여야 한다. 이러한 기본원칙을 적용해 본고에서 설정한 시나리오의 각 구성요소는 다음과 같다.

##### 4-1 방사성물질

국내에서는 약 8,100여개의 원자력시설에서 약 215개의 핵종이 사용되고 있다. 이들 핵종 모두 방사능테러의 원료물질로 사용될 수 있지만 이들 모두에 대한 영향평가를 수행하는 것은 쉽지 않다. 본고에서는 국내 사용빈도와 사고 경험사례 등을 종합해 7가지의 방사성물질을 선택하였다.

##### 4-2 폭발물

방사능테러의 영향은 사용되는 방사성물질의 종류 뿐만 아니라 사용되는 폭발물의 종류 및 양에 따라 크게 달라진다. 원자력시설에 사용될 수 있는 폭발물의 종류는 크게 휴대용 및 차량장착용으로 나눌 수 있고 본고에서는 휴대용으로 50 lbs, 차량장착용으로 500 lbs TNT 두 종류를 고려하였다.

##### 4-3 기상조건

방사성물질이 폭발하여 비산하면 기상조건에 따라 오염지역의 위치와 면적이 결정된다. 바람방향 및 세기등의 풍향조건, 대기안정도가 특히 결정적인 역할을 하는데 보다 타당성 있는 결과를 얻기 위해서는 실제자료를 사용해야 한다. 본고에서는 방사능테러의 가능성이 있는 국내 광역시 이상 대도시의 25년분의 기상자료를 기상청으로부터 입수해 대도시별 최빈 풍향 방향 및 세기를 얻어 사용하였다.

[표-4] 시나리오 입력자료

방사성물질	폭발물(lbs)	바람의세기	대기안정도
Am-241 Co-60 Cs-137 Ir-192 Ni-63 LEU Pu-239	50(휴대용) 500(차량장착용)	1.3 ~ 4.5 m/sec	A(안정) F(불안정)

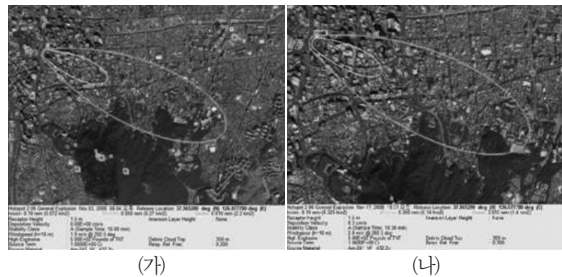
## 5. 분석결과

방사능테러로 인해 발생하는 피해정도는 경제적, 사회적, 방사능 적 측면에서 살펴볼 수 있다. 경제적, 사회적 피해는 여러 가지 요소를 고려해야 하기 때문에 추산하기 어려운 반면에 방사능 적 피해는 피해규모를 바로 확인할 수 있어 상대적으로 추산하기 쉬운 편이다. 방사능 적 피해는 인적인 피해와 환경적인 피해로 나눌 수 있는데 인적인 피해는 방출된 방사능으로 인해 발생한 인명의 손실 및 피폭된 사람의 수 등 정량적으로 나타낼 수 있으며 환경적인 피해는 방사능으로 오염된 지역의 범위로 추산된다. 본고에서 작성된 시나리오를 Hot spot 코드를 사용해 분석한 결과중 인적인 피해정도는 최대 총 유효선량(TEDE : Total Effective Dose Equivalent)으로 표시되고 환경적인 피해는 폭발지점으로부터 거리에 따른 오염정도로 나타낼 수 있다. 평가결과 방사선원으로 사용된 7가지 핵종중 Am-241이 가장 위험한 것으로 나타났다. Am-241 핵종은 외부피폭뿐만 아니라 내부피폭이 다른 핵종보다 많아 인체에 미치는 영향이 치명적인 것으로 알려져 있다. 표 5는 핵종에 따른 최대 총 유효선량을 나타낸 것으로 Co-60, Cs-137 등은 100배, Ni-63은 Am-241의 1000배 정도의 양을 대상으로 분석하였으나 Am-241의 최대 총 유효선량은 0.702 rem으로 Co-60의 0.544 rem에 비해 적은 것을 알 수 있었다. 방사능 누출량이 크다고 알려진 Pu-239의 경우에도 Am-241에 비해 적은 0.488 rem 정도인 것으로 분석되었다. 일반적으로 폭발력이 크면 방사능으로 인한 피해 정도가 커질 것으로 생각되나 인적, 환경적 측면을 모두 고려해 보았을 때 폭발력의 양에 의한 피해정도는 크게 차이가 나지 않는 것으로 판단된다. 폭발력의 양이 커지면 적을 때에 비해 방사능의 초기 오염지역이 넓어지나 전체적인 핵종의 양은 변화하지 않으므로 단위면적당 방사능 오염도는 폭발력이 작은 경우에 비해 적을 것이다. 방사능오염지역의 넓이를 결정하는데 중요한 역할을 하는 것이 폭발당시의 기상조건이다. 풍향과

풍속에 따라 오염지역이 결정되며 풍속에 따라 오염지역의 범위가 결정될 것이다. 방사능테러로 인한 인적피해를 최소화하기 위해서는 오염지역과 범위를 빨리 파악하여 주변지역의 주민을 빠른 시일 내에 대피시켜야 한다. 풍속이 어느 한 방향으로 커진다면 폭이 좁은 형태로 멀리까지 오염이 진행될 것으로 예상된다. 그림1은 Am-241 핵종이 테러에 사용되었을 경우 풍속에 따른 오염지역의 범위를 나타낸 그림으로 1.9 m/sec의 풍속에 비해 2.8 m/sec인 경우가 더 넓은 지역을 오염시키는 것을 알 수 있다.

(표-5) 핵종에 따른 최대 총유효선량

입력조건		최대 총 유효선량
방사성핵종	양(Ci)	(rem)
Am-241(가)	1	(나)0.702
Co-60	100	0.544
Cs-137	100	0.125
Ir-192	100	0.175
LEU(5% U-235)	1000	0.188
Ni-63	1000	0.010
Pu-239	1	0.488



(가) (나)  
(그림 1) 풍속에 따른 오염지역의 범위(Am-241)  
(가) 500lbs, 1.9m/s (나) 500lbs, 1.9m/s

## 6. 결론

방사능테러는 방사선원으로 사용할 수 있는 핵종의 취득이 어려워 그동안 발생가능성이 적은 것으로 인식되어 왔으나 의료, 산업, 발전 분야에서의 방사성물질 사용이 급증함에 따라 발생 가능성이 높아지고 있다. 방사능테러의 목적이 사회혼란과 인적·물적 피해의 극대화이기 때문에 이러한 목적 달성을 위해 인구 및 사회기반시설이 집중되어 있는 대도시가 목표물이 될 가능성이 높다. 이러한 피해를 최소한으로 줄이기 위해서는 방사능테러로 인한

피해정도, 특히 방사능오염 지역 및 방사능량을 예측하여 필요한 조치를 신속히 취해야 한다. 이를 위해서는 발생 가능한 시나리오에 대한 영향평가를 수행해 데이터베이스화 함으로써 테러가 발생했을 경우 즉시 자료를 제공할 수 있어야 한다. 이러한 목적으로 한국원자력통제기술원에서는 관련연구를 수행하였으며 현재 국내 7대 광역시에 대한 336가지 시나리오의 평가결과를 데이터베이스화 한 상태이다. 국내에서 사용되고 있는 방사성물질의 양이 많아 336가지 시나리오로는 부족한 실정이므로 향후에 계속적인 연구가 필요하다. 국내도 더 이상 방사능테러의 안전지대가 아님을 인식하고 방사능테러 예방 및 피해 최소화를 위한 관심 및 지원이 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기 과제 '물리적방호 신기술 개발'의 연구성과 일부이며 과학기술부의 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. H. Kelly, Dirty bombs: Response to a threat, FAS Public interest report: J. fed of Am. sci, 55 (2002) 6-10
2. Lawrence Livermore National Laboratory. HOTSPOT: Health Physics Codes for the PC. Hotspot version 2.05, US DOE, 2004
3. D. Matthew, S. F. Paul, An Integrated Physical Dispersion and Behavioral Response Model for Risk Assessment of Radiological Dispersion Device (RDD) Events, Risk Anal. 26 (2006) 501-514
4. H. Rosoff, D. V. Winterfeldt, A Risk and Economic Analysis of Dirty Bomb Attacks on the Ports of Los Angeles and Long Beach, Risk Anal. 27 (2007) 533-546
5. RMS. Managing Terrorism Risk in 2004. Newark, CA Risk Management Solutions, 2004
6. T. O. Tengs, M.E. Aams. Five hundred lifesaving interventions and their cost effectiveness. Risk Anal. 15 (1995) 369-390