

한국 영광, 고리 핵발전소 사고피해 모의실험

2012년 5월 21일

한국환경운동연합(FOE-KOREA)

한국 원자력발전소 사고피해 시뮬레이션
저 : 박승준(일본 관서학원대학 종합정책학부 부교수),
양이원영(환경운동연합 탈핵에너지국 국장)
임상혁(노동환경건강연구소 소장)

요약

본 보고서는 일본의 원자력 발전소 사고 평가 프로그램인 SEO code(세오 코드)를 이용해 경제적 피해를 추정된 일본의 『원자력 발전소의 사고피해액 계산』(朴勝俊, 2003)을 한국의 핵발전소에 적용한 것이다. 세오 코드는 원자력발전소 사고 시 인명피해를 수치화 한 것으로 1980 년대에 故세오 타케시 박사가 개발해 핵산업계가 아닌 민간부분에서 일본 전역의 원전 사고에 따른 인명 피해를 조사하는데 사용되어 왔다. 일본 내에서 원전 사고에 따른 경제적 피해는 1960 년에 일본 정부에 의해서 진행되었지만 1999 년까지 공개되지 않았고 그 이후 민간 부분에서 박승준 교수의 피해연구(朴勝俊 2003 년, 2005 년)가 유일한데, 이번 분석은 한국에서는 최초로 경제적 피해를 계산한 것이다.

사고 모델로 선택한 영광 원자력 발전소(이하 원전) 1 호기와 고리 원전 1 호기가 대사고(방사성 물질 방출량에서 후쿠시마 제 1 원전사고 정도) 및 그보다 심각한 거대사고(방사성 물질 방출량에서 체르노빌 원전사고 정도)가 발생한 경우, 바람이 부는 방향에 대도시가 존재하는 최악의 경우에는 막대한 금액의 경제적 피해가 발생한다.

영광 원전 사고로 서울로 바람이 부는 경우를 가정하고 피난을 하지 않으면 대사고의 경우 암사망이 약 3.3 만명, 경제적 피해액은 약 17 조원이 된다. 거대사고의 경우에는 암사망이 약 55 만명, 경제적 피해액은 약 267 조원(2010 년 명목 GDP 의 22.7%)이 된다. 반면, 광주(光州)쪽으로 바람이 보는 경우를 가정하고 피난을 하지 않으면, 대사고의 경우는 암사망이 2.9 만명, 경제적 피해액은 약 25 조원이 된다. 거대사고의 경우는 암사망이 39.7 만명, 경제적 피해액은 약 210 조원(2010 년 명목 GDP 의 약 17.9%)이 된다. 피난조치를 취하게 되면 급성장애나 장기간에 걸쳐 나타나는 만성장애의 발생수를 줄일 수 있지만 2 일과 15 일의 피난기간으로는 방사성 물질로 인한 피폭을 피할 수 없어서 암발생율이 크게 떨어지지 않는다. 거대사고의 경우 피난으로 인한 인명피해를 대폭 줄일 수 있지만 피난조치로 인한 경제적 손실이 상당한 액수로 발생하게 된다(서울 방향 바람의 경우 267 조원 -> 451 조원, 광주 방향 바람의 경우 210 조원 -> 235 조원).

고리 원전 사고로 부산으로 바람이 부는 경우를 가정하고 피난을 하지 않으면 대사고의 경우는 암사망이 약 7.3 만명, 경제적 피해액이 약 33.6 조원이 된다. 거대사고의 경우에는 급성사망이 약 4.8 만명, 암사망이 약 85 만명, 손해액은 약 472 조원(2010 년 명목 GDP 의 약 40.2%)이 된다. 피난조치를 취하게 되면 급성장애나 장기간에 걸쳐 나타나는 만성 장애의 발생수를 다소 줄일 수 있지만 이 역시 2 일과 15 일의 피난기간으로는 방사성 물질로 인한 피폭을 피할 수 없어 암발생율이 크게 떨어지지 않는다. 근거리(19km)까지의 피난은 피난조치를 통해 경제적 손실이 일부 줄어들지만(거대사고의 경우 472 조원 -> 438 조원) 부산지역 대부분을 피난시키게 되면, 경제적 손실이 대폭 증가한다(대사고의 경우 34 조원 -> 235 조원, 거대사고의 경우 438 조원 -> 628 조원: 2010 년 명목 GDP 의 약 53.5%).

이번 분석에서는 인명피해를 중심으로 인명피해의 경제적 환산 가치와 피난 비용과 피난으로 인한 소득 상실 비용만 경제적 피해로 산출했다. 원전사고가 발생하기 전으로 회복되기 위한 방사능오염 제거작업(제염작업)이나 사고 수습비용, 폐로비용, 사고로 인해 발생한 방사능오염수나 폐기물 비용을 계산에 포함되지 않았다. 그럼에도 불구하고 최고 628 조원의 경제적 피해가 예상된다.

하지만 한국은 한국수력원자력(주)이 가입되어 있는 보험에 의한 배상액은 500 억원이고 배상책임이 3 억 SDR(약 5 천억원)로 한정되어 있으므로 나머지 비용은 정부에서 부담할 수밖에 없고 이는 전기요금의 인상으로 이어질 수 있다(일본의 경우 보험 배상액 1 천 2 백억엔, 추가 비용은 전력회사가 원칙적으로 부담).

이 시뮬레이션은 결코 [미래에 대한 예언]이 아니며, 전제조건이 변하면 그 값 또한 변할 수 있으므로, 변화 폭을 염두해두고 해석해야 한다. 본 연구가 입수 가능한 데이터와 타당한 가정 하에서, 원전 이용에

있어서 최악의 사태를 명백히 함으로 인해 원전 방재의 확충에 기여하고, 더 나아가 원전 이용 가부에 관한 논의에 일조하기를 기대한다.

1. 서론

2011년 3월 11일 동일본 대지진과 그 직후의 쓰나미에 의해서, 일본에서는 절대로 일어나지 않을 것이라고 생각되었던 핵발전소 대사고가 후쿠시마 제 1 원전에서 발생했다. 정부와 전력회사, 전문가 및 언론 유착에 의한 「안전신화」로 인해 그동안 일본사회에서는 사고 가능성에 대한 논의가 미루어져왔다. 이로 인해 이런 대형 사고 가능성 자체가 예상되지 않으면서 사고 예측이 사전에 충분히 이루어지지 않았다. 결국, 후쿠시마 원전 사고가 발생했을 때 도쿄전력과 정부의 대응은 더뎠고, 이로 인해 주민의 피난이 늦어지면서 주민들은 불필요한 방사선피폭을 당했다.

일본에서 원전 사고의 계기는 예상하지 않았던 지진과 쓰나미였지만, 원전은 이런 지진과 쓰나미가 아니더라도 여러 기기의 고장과 냉각계통의 문제로 인해 사고가 발생할 수 있고, 대응이 제대로 이루어지지 못하면 국가가 흔들릴 정도의 큰 피해가 발생한다. 본 보고서는 최악의 사고가 일어났을 경우의 주민의 건강피해와 피해지역의 경제피해를 정량화 함으로써, 사고방재와 손해배상제도의 설계에 참고가 될 수 있도록, 원자력발전의 옳고 그름에 관한 논의에 도움이 되는 것을 기대한다.

2. 세계의 주요 원자력발전소의 사고피해 추정 결과

한국에서는 지금까지, 원전의 참혹한 사고가 가져오는 피해에 관해 진행된 연구 중 피해액수의 연구내용이 공개적으로 발표된 것은 없다.

반면, 일본에서는 원전을 도입하기 전에 이미 1960년에 당시의 과학기술청이 원자력산업회의에 위탁해서, 「대형원자로 사고의 이론적 가능성 및 공중피해에 관한 시산」이 작성되었다(科學技術廳/原子力産業會議 1960). 하지만 열출력 50만 kW(전기출력 15만 kW)의 원자로 사고 피해액이, 최악의 조건 하에서 3.7조엔(당시의 국가예산의 약 2배)으로 추측되어 이 계산 결과는 공개되지 않았다. 이 계산의 결과 금액은 현재 주되게 운영 중인 원전 규모(전기출력 100만 kW)와 화폐가치를 고려하면, 현재는 100조엔이 넘는 규모로 증가될 것이다. 이 연구결과의 「비공개」 결정은 일본의 「원자력안전신화」의 첫걸음이 되었다. 그 후, 현재에 이르기까지 사고 피해액에 관한 공식적인 정량적 평가는 한번도 실시되지 않고 있다. 그 사이, 유럽과 미국에서는 몇 건의 연구보고서가 작성되었다.

미국의 첫 사고평가에는, WASH-740 (US-AEC 1957)의 피해액이 50만~70억 달러로 추정되었다. 그 후 18년이 지난 뒤 발표된 WASH-1400 (US-NRC 1975, 별명 「라스뮈센 보고서」)에서는 최악의 경우 3,300명이 급성 사망하고, 1년당 1,500명의 암 사망자가 30년에 걸쳐서 발생한다고 했다. 인명피해를 제외한 재산손해는 최대 140억 달러(1975년의 명목 GDP의 약 0.8%) 규모로 봤다. 단, 본 보고서는 확률적 안전평가(PSA, Probabilistic Safety Assessment)를 세계최초로 적용해, 이런 사태에 이르는 확률은 원자로-년(Reactor-Year) 당 불과 1억분의 1에 지나지 않는다(「운석의 충돌을 걱정하는 것과 같은 것」)고 판단했다. 보고서 발표 직후부터 확률계산에 대해 다양한 문제제기가 있어, 1979년 1월 18일에 미국원자력규제위원회가 보고서에 대한 지지를 철회하고, 그 직후인 3월 28일에는 스리마일섬 원전 사고가 발생했다.

확률론적 안전평가에 대해서는 사쿠라이(櫻井 1996)의 연구가 구체적이다. 사쿠라이의 비평에 의하면, PSA는 노심용융의 확률에 대해서 원자로-년 당 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ 이라는 상당히 낮은 값을 나타낸다. 외부에 방사성 물질을 방출하는 사고의 확률은 더욱 낮다. 하지만, 이에 대해 고이데(小出 1977)는 PSA의 이벤트 트리(사고 시나리오의 세부)에 사고 경로 전부가 포함되지 않았고, 기기의 고장률에 대해서도 신뢰할 수 있는 데이터 축적이 충분하다고 말할 수 없기 때문에, 확률의 절대치를 「안전성의 증명」으로써 액면 그대로 받아들일 수 없다는 지적을 했다.

Hennicke & Lechtenböhmer (1999)는 독일에서 실시된 서로 다른 입장인 3 개의 연구를 평가했다. 그 결과, 전력 kWh 당 피해는 1 만배 이상이나 되는 차이가 발생한다는 것을 나타내고 있다(표 1). 결과에 크게 영향을 끼치고 있는 것은 사고확률 값인데 300 배의 차이가 있다. 사고확률을 1 천만원자로-년에 1 회로 가정한 연구에서는, kWh 당 피해는, 0.00015~0.00086 페니히이므로 무시할 수 있는 값이 되지만 사고 확률을 3.3 만원자로-년에 1 회로 상정한 경우에는 그 5 천~3 만배 가량인 kWh 당 4.3 페니히(1 페니히는 약 10 원)가 된다. 하지만 인적·물적 피해의 총액은 사고 규모에 따른 집단피폭선량과 ICRP 권고기준인 피폭량 당 사망자 수에 의해 결정되기 때문에 사고규모에 따라 기껏해야 10 배정도(독일의 GDP 의 약 3 분의 1 부터 약 3 배까지)밖에 차이가 나지 않는다. 본 연구에 있어, 그리고 사회적인 차원에서도 중요한 것은 사고 확률보다 사고피해액수다. 사고 피해액수를 결정짓는 것은 사고 원전에서 방출되는 방사성 물질의 양에 대한 설정값이다. 이 값은 연구마다 큰 차이가 있는 것은 아니다.

표 1: 독일에서의 원전 사고의 외부비용 연구 비교

	Ewers/Rennings 1992	Friedrich 1993	Krewitt 1997	비고
0. 원자로형식	비브리스 B (1976 년형)	비브리스 B (1976 년형)	최신의 가압수형 경수로	비브리스 B 의 안전기준은 독일원전의 중간정도의 수준
1. 사고발생확률	33,000 원자로-년에 1 번	270,000 원자로-년에 1 번	1 천만원자로-년에 한번	미국에서는 3,333 원자로-년에 한 번이라는 추산(Ottinger 1990)
2. 집단피폭선량 (백만명 시버트)	33.6	4.2	1.15	
3. 피폭에 의한 사망자 수 (일만인 시버트 당 사망자수)	약 168 만명 (500)	약 21 만명 (500)	약 5.75 만명 (500)	국제방사선방호위원회 (ICRP) 1990 년 권고
4. 피해의 금전평가 · 확률적 생명가치 · 사망 피해총액 · 인적&물적 피해총액	· 600 만 마르크/명 · 10.08 조 마르크 · 10.697 조 마르크 (GDP 의 약 3 배)	· 530 만 마르크/명 · 1.113 조 마르크 · 1.181 조 마르크 (GDP 의 약 1/3)	· 584 만 마르크/명 · 3,360 억마르크 · 9250 억 마르크 (GDP 의 약 1/3)	Krewitt 의 총액은 단위외부비용에서 역으로 계산
5. kWh 당 피해단가	· 4.3 페니히/kWh	· 0.06 페니히/kWh	· 0.00086 페니히/kWh 0.00015 페니히/kWh	할인률 0% 할인률 3%

참고 : 1990 년대의 독일의 연간 GDP 는 약 3 조 마르크, 1 마르크는 0.5113 유로, 1 유로는 1500 원 (2012/4/29), 1 마르크는 767 원.

출처 : Hennicke und Lechtenböhmer (1999)

실제로 일본에서는 후쿠시마 제 1 원전 사고가 발생한 것에 대해, 전력회사와 전문가는 예상 밖의 사고였다는 말을 반복했다. 이 사고를 통해 확인된 것은 아무리 그럴듯한 확률론적 안전평가를 하더라도, 예상하지 못한 사고가 발생할 수 있다는 것이다. 거꾸로 말하면 확률론적 안전평가는 예상 내에서의 시나리오밖에 계산 할 수 없고, 사고발생 확률을 추정한다는 것은 불가능하다는 것이다. 따라서, 예상되는 사고확률과 재해규모를 곱해서 얻게 된 위험도는 자연히 과소평가하게 되어 오류가 발생하게 되는 것이다.

국민의 핵발전에 대한 수용성은 사고 발생확률(사실상 주관적인 확률평가)과 최악의 사태에서의 잠재적인 재해규모라고 하는 별개의 두 가지 요인으로 정해진다. 이 두 요인에 대해서 추정값이 각각 제시되어야 한다. 본 연구의 목표는 후자의 피해액의 추정값을 측정하는 것이므로, 확률론적 안전평가를 하는 것은

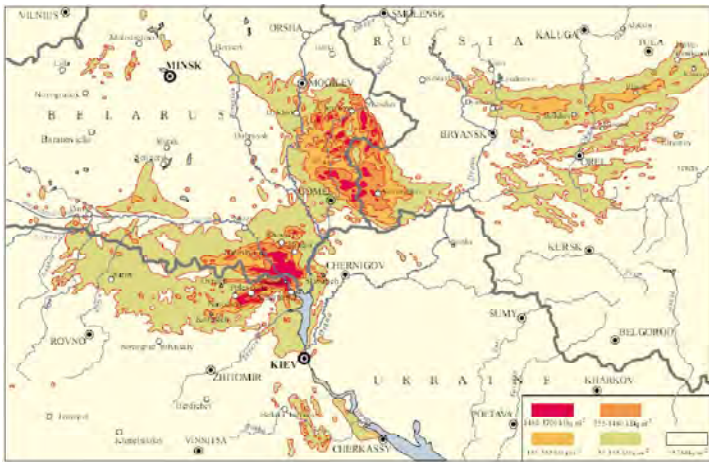
아니다¹.

일본에서는 2003 년에 독자적인 원전 사고 피해액 시뮬레이션이 처음으로 진행되었는데, 최악의 원전 사고가 발생한 경우의 손해는 수백 조원이 넘는다는 추정이 발표되었다(朴勝俊 2003, 2005). 본 보고서는 이 검증 방법을 한국 사례에 적용한 것이다.

3. 후쿠시마 제 1 원전 사고의 손해배상 추정액

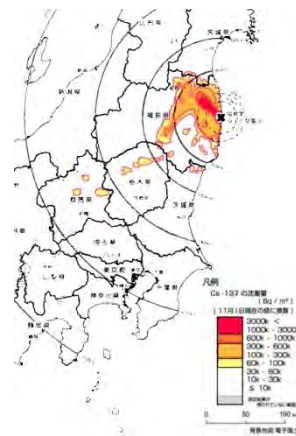
후쿠시마 제 1 원전에서는 4 기의 원전이 제어불능 상태가 되어, 그 중 3 기의 원전 건물이 수소폭발에 의해서 손상을 입었고, 엄청난 양의 방사성 물질이 방출됐다. 하지만 이 사건도 실제 방출된 방사성 물질량의 관점에서는 경수로형의 핵발전소에서 가정할 수 있는 「최악 중의 최악의 사고」라고 말할 수 없다.

그림 1: 체르노빌 사고의 오염지도



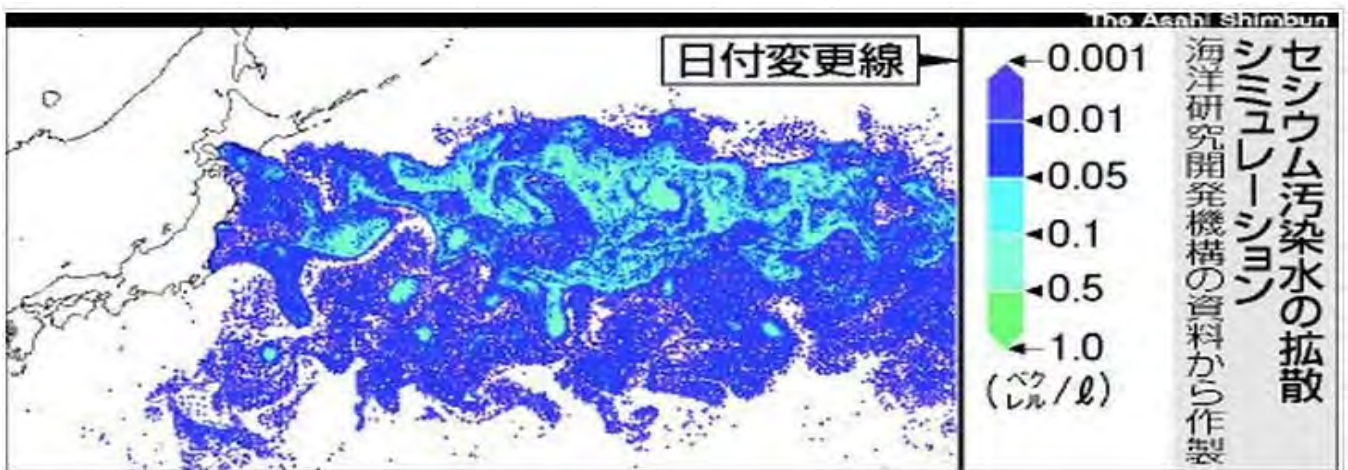
출처 : UNSCEAR 홈페이지

그림 2: 후쿠시마 제 1 원전 사고의 오염지도



출처: 문부과학청자료(2011/11/25)로부터 필자가 가공

그림 3: 후쿠시마 제 1 원전 사고로 인한 방사성 물질 바다 확산 시뮬레이션 지도(일본 해양연구개발기구)



출처 : 아사히 신문(2011.11.22)

¹ 사고의 확률은 별도 「주관적」 으로 가정해야 한다. 일본의 원자력위원회는 작년 11 월의 보고에서 500 원자로-년에 1 번 및 10 만원자로-년에 1 번이라는 2 개의 사고확률을 같이 기재했다.

사고 후, 일본 원자력안전위원회의 발표값에 의하면, 방출된 방사성 요오드 131 은 1.5×10^{17} 베크렐(405 만 퀴리), 세슘 137 은 1.2×10^{16} 베크렐(32 만 퀴리)이다². 이에 비해, 체르노빌 원전 사고에 의해서 방출된 요오드 131 은 1.8×10^{18} 베크렐 (4,865 만 퀴리), 세슘 137 은 8.5×10^{16} 베크렐(230 만 퀴리)이다(일본의 원자력안전·보안원의 참고값, 경제산업청 2011 참조). 이 결과만을 놓고 본다면 후쿠시마 사고는 체르노빌 보다는 한 단계 밑의 규모라고 생각 할 수 있다³. 같은 축적의 지도를 사용하여, 거의 같은 수준의 오염범위를 비교한 것이 그림 1 과 그림 2 다.

후쿠시마 원전 사고로 인해 방출된 방사성 물질의 대부분이 바다로 확산되고 있는데 이에 대한 일본 정부 차원의 오염지도는 없고 일본 해양연구개발기구에서 예측한 지도가 있다(그림 3). 이번과 같은 대량의 방사성 물질에 의한 바다오염은 역사적으로 경험한 적이 없어 이로 인한 식품 오염과 그 결과 발생할 수 있는 내부피폭과 건강피해에 대해서는 이번 연구에 포함되지 않았다.

표 2: 후쿠시마 제 1 원전 사고의 경제적 손해

1. 사고수습·폐로비용		
제 1 원전 1~4 호기 사고수습비용 (~2011 년 3 월) 사고수습·폐로비용 (2011 년 4 월~)		1 2 억 9,800 만엔 1 조 1,510 억엔
제 1 원전 5, 6 호기, 제 2 원전 냉온정지상태유지에 필요로 하는 비용 등		2,118 억 2,500 만엔
2. 피해보상·현재상황 회복 비용		
피해보상비용 사고후 2 년 사고후 3~5 년		4 조 5,402 억엔 1 조 3,458 억엔
현재상황 회복 비용 토양의 제염 중간저장시설		28 조엔? 80 조엔?
3. 행정비용 등		
부수적으로 발생하는 행정비용, 재판비용 2011 년도 제 2 차보정예산(국가) 2011 년도 제 3 차보정예산(국가) 2012 년도 예산 요구액(국가)		총액 불명 1,554 억엔 3,294 억엔 4,492 억 4,900 만엔

출처: 오오시마·요케모토(2012). 피해보상비용은 도쿄전력의 경영·재무조사위원회의 보고서(2011)에 기반하여 오오시마와 요케모토가 정리한 것이다 (표 2) .

주의: 이 숫자는 서로 연관될 수 있기 때문에 단순히 합하면 안된다

후쿠시마 제 1 원전의 사고에서도 사고의 진전상황에 따라서는 체르노빌과 동등한 또는 그 이상의 참사로 이어질 가능성은 여전히 남아 있다. 최근 제 1 원전 4 호기의 사용후핵연료 저장폴의 붕괴될 수 있다는 우려가 확산되고 있는데, 작년 3 월 22 일 일본 원자력위원회이 작성한 '최악의 사고 시나리오' 에 따르면, 원전 1 호기의 폭발로 작업원이 철수한 상태에서 4 호기 사용후 핵연료의 저장폴이 파괴되고, 이후 주위의 다른 원전들도 연속적으로 폭발하는, 인류역사상 최악의 원전사고가 예상되었다⁴. 당시 수상이었던 칸

² 본 보고서에서는, 방사능의 양에 관한 현재의 단위(베크렐)과 예전 단위(퀴리)를 적당히 병용한다. 1 베크렐은 1 초 동안 1 번의 핵분열이 일어나면서 방사선이 방출되는 방사선량이고, 1 퀴리는 370 억 베크렐이다.

³ 단, 후쿠시마의 방출량에 대해서는, 일본정부의 발표는 과소평가이며, 그 2~3 배가 방출되었을 것이라고 지적하는 전문가도 있다. 그 예로, 노르웨이의 연구기관에 의하면 세슘 137 의 추정값은 3.6×10^{16} 베크렐이다(<http://www.bloomberg.co.jp/news/123-LTPEY01A74E901.html>).

단, 후쿠시마 의 경우에는 대부분의 방사성 물질이 바다로 유출되었으며 대기를 통한 육지오염은 일부였다.

⁴ 장정욱, '후쿠시마 겨우 최악의 사태를 막았을 뿐, 프레시안 2012 년 3 월 9 일

나오토씨가 수도권 3,000 만명의 피난도 예상을 했었다고 작년 가을에 언론에 언급한 것과, 후쿠시마 제 1 원전 요시다 소장이 「곧 죽을 지도 모른다고 생각한 적이 많았다」고 말한 것이 이를 여실히 보여주고 있다⁵.

표 3: 후쿠시마 제 1 원전 사고의 피해보상 추정액(단위: 억엔)

구 분	일과성	첫년도	2년째	3년째	4년째	5년째	계
(1)정부의 피난 등의 지시	5,775	7,372	6,098	3,049	3,049	3,049	28,392
(2)정부의 항행금지 등	추산 불가						0
(3)농림수산물 출하제한	「소문 피해」에 포함해서 계산됨						0
(4)그 외의 정부지시	추산 불가						0
(5)소문에 의한 피해	13,039	0	0	0	0	0	13,039
(6)간접피해	7,370	2,874	2,874	1,437	1,437	1,437	17,429
(7)방사선피폭에 의한 피해	손해액을 0으로 계산						0
(8)지방공동단체 등	추산 불가						0
계	26,184	10,246	8,972	4,486	4,486	4,486	58,860

출처: 도쿄전력에 관한 경영·재무조사위원회의 보고서(2011)에 기반한 계산

주: 단, 원래의 보고서에는 첫년도와 2년째 이후의 구별밖에 없고, 5년째까지의 연장 및 3~5년째의 배상액을 2로 나누는 계산은, 오오시마·요케모토(2012)에 의한 표 2에 대응하도록, 박승준 교수가 별도로 계산함.

이 사고로 인해 정부의 지시에 따라서 10 만 510 명이 피난을 했고, 「안전」하다고 분류되어 있음에도 불구하고 오염수준이 높은 지역에서 5 만 327 명이 「자발적 피난」을 해서 총 약 15 만 명이 피난을 선택하게 되었다(오오시마·요케모토 2012, p. 43). 지금까지 피폭이 원인이라고 생각되는 사망자·환자는 공식적으로 확인되지 않은 상태다. 그러나 원전으로부터 4 킬로미터 가량 떨어진 후타바병원으로 피난한 환자 440 명 중 24 명이 사망한 것은 원전 사고에 의한 인명피해라고 볼 수 있다⁶. 그에 비해 2 만명이 넘는 지진·쓰나미 피해자(사망자·행방불명자)가 훨씬 많은 숫자인 것은 사실이다. 그러나 현재도 방사선 준위가 높은 지역에 사람이 거주하고 있고, 미량이지만 방사성 물질을 포함한 식품이 유통되고 있으므로, 장기적으로 보면 암 등의 후발성 장애가 발생할 가능성이 있다.

현재까지 추측 되는 주요 경제적 손해를 표 2 와 표 3 에 요약했다. 사고를 일으킨 원전 그 자체의 폐로 비용은 1 조엔이 넘는 거액으로 예상된다. 또한, 피해자에 대한 보상액이 6 조엔 정도로 예상된다. 단, 표 3 에 적시된 대로, 사고 손해는 5년째까지만 계산되고, 3~5년째의 손해는 2년째와 비교해서 반으로 줄어든다고 가정했으며, 건강피해와 정신적 고통·사회적 관계의 손실 등이 포함되어 있지 않았다.

표 3 은 도쿄전력의 입장에서 본 「지불할 가능성이 높은 배상액」이고, 「배상」과 「손해」는 다른 개념이라는 것에 주목야 한다. 손해는 사고에 의해 발생한 인명과 재산의 가치, 혹은 소득의 손실이다. 이에 반해 배상은, 피해자가 입은 손해의 일부를 가해자에게 금전으로 부담시킴으로써 피해부담의 공평성을 회복하기 위한 소득의 재분배 행위다. 따라서 실제로 배상이 이루어진다고 해도 사회 전체에서 발생한 손해가 감소하는 것은 아니다. 나아가, 배상이 이루어지는 부분은 눈에 보이지 않는 잠재적 손해를 포함한 전체 손해액을 고려했을 때 극히 일부다.

한편, 피난과 오염제거(제염)는 손해를 감소시키는 「회피조치」가 된다. 회피조치가 적절하다고 가정 할

⁵ 교토신문 2011년 12월 8일

⁶ 마이니치신문 2011년 4월 26일 조간

경우, 이것을 실시하기 위해서 일정한 비용을 지불함으로써 인적·물적 손해를 감소시키는 것은 가능하다. 반면에, 회피 조치의 비용이 편익(건강피해등의 억제액수)을 상회할 수도 있다. 표 2 및 표 3 에서는, 「손해」와 「배상」, 「회피조치」의 금액이 혼재되어 있다.

후쿠시마 제 1 원전 사고가 제 3 자에게 미친 손해는, 건강피해와 배상되지 않는 손해, 6 년째 이후에도 발생할 수 있는 손해까지 포함할 경우, 10 조엔을 훨씬 넘을 가능성이 높다. 특히, 만발성 건강피해는 피폭의 건강 위험에 관한 과거 사례와, 인구집단의 방사선피폭량에 기반해서 추계하는 방법밖에 없다. 실제로, 암은 방사선 이외의 원인으로도 발생하는 특이성을 가지는 질환이기 때문에 오염지역에서 암에 걸린 사람이 손해배상을 청구해도 인정되기 어렵다고 볼 수 있다.

4. 한국의 원전 사고 피해에 관한 모의실험 가정

여기서는 이 연구에서 사용하는 모델과 데이터 및 사고 가정에 대해서 간략히 설명한다. 자세한 내용은 부록 A 를 참고하길 바란다.

이 연구에서 사용하는 모델은, 교토대학 원자로실험실의 故 세오 타케시가 개발한 SEO code(세오 코드)를 한국의 데이터에 적용한 것이다. 세오 코드는 미국의 WASH-1400 (라스뮈센 보고서) 의 사고손해 평가방법을 일본에 적용하기 위해서 제작되었다. 이 코드에서는 원전에서 방출되는 방사성 물질양과 원전까지의 거리를 이용하여, 특정 지점에 있는 사람의 피폭량을 구한다. 이런 결과에 대해서 한국의 기초지자체의 위치 데이터 및 인구 데이터를 사용하여, 인명피해(급성사·만발성 암사망)의 수를 계산하는 것이 가능하다. 사고영향이 미치는 시간범위는 50 년으로 한다.

또한, 세오 코드의 결과를 사용해서 한국의 지자체의 경제 데이터와 곱하여, 그 손해액을 추정하는 것이 가능하다. 이는 朴勝俊(2003, 2005)의 『원자력 발전소의 사고피해액 계산』 방법을 이용 가능한 데이터의 범위 내에서 한국에 응용한 것이다. 원전 사고 가정은 방사성 물질의 방출량 관점에서 볼 때 (1)대사고 와 (2)거대사고 이 두 가지를 가정할 수 있다. 전자의 방출량은 후쿠시마 원전 사고와 같은 정도이고, 후자는 체르노빌 사고에 필적한다⁷. 이 연구의 범위 내에서는 앞서 밝힌대로 그와 같은 사고가 어떻게 발생하는가, 어느 정도의 확률로 발생하는가는 문제삼지 않는다.

그림 4: 영광원전 대사고(내각 27.5 도)

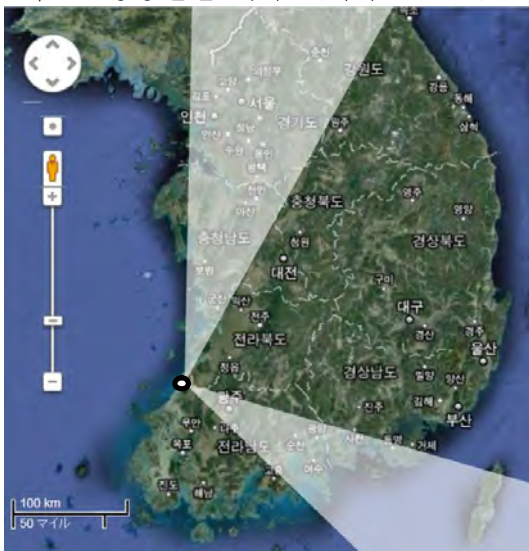


그림 5: 영광원전 거대사고(내각 15.2 도)



출처 : Google Map 필자작성

⁷ 자세한 내용은 부록 A 참조. 세오 코드에 설정되어 있는 사고 시나리오는 WASH-1400 에 근거하고 있고, 이에 관해 부록 B 에서 나열하고 있다. 주된 방사능종의 방출비율의 비교로 (1)대사고는 PWR4 시나리오, (2)거대사고는 PWR2 를 의미한다.

이 분석에서는 구체적인 원전의 위치와 규모 및 바람방향을 가정해야 한다. 세오 코드에서는 사고에 의해 방출된 방사성 물질은 바람이 불어가는 쪽을 향해서 일정한 내각의 부채꼴모양의 범위 내에서 확산 되는 것으로 가정한다. 거꾸로 말하면, 계산의 단순화를 위해서 이 부채꼴모양에 들어가지 않은 지역에서는 피해가 생기지 않는다고 가정하고 있다.

본 연구에서는 영관원전 1 호기(출력 90 만 kW)에서 사고가 발생하여, 서울특별시까지 영향을 미치는 바람 (a), 광주광역시에 영향을 미치는 바람 (b), 고리 원전 1 호기(출력 55.6 만 kW)에서 사고가 발생하여 부산광역시 방향으로 영향을 미치는 바람(c)의 3 가지 상황을 상정한다⁸. 그리고 대기의 상황은 구름이 많은 날 등에서 볼 수 있는 안정도 D 를 가정한다.

세오 코드의 설정상, 대사고의 경우에는 내각 약 27.5 도, 거대사고의 경우에는 내각 약 15.1 도로 바람이 불어가는 방향으로 방사성 물질이 확산되는 결과가 나타난다⁹. 그 바람이 불어가는 방향의 오염지역에 있는 지자체에서 피해가 발생한다고 볼 수 있다(그림 4, 그림 5, 그림 6, 그림 7).

그림 6: 고리원전 대사고(내각 27.5 도)

그림 7: 고리원전 대사고 (내각 15.2 도)



출처 : Google Map 필자작성

바람이 부는 방향에 위치한 지역의 주민은 인접한 정도에 따라 방사능 피폭이 일어나게 되고, 피폭량이 크면 급성사망 또는 급성장애에 걸리게 된다. 급성장애를 피한 경우도, 장기 피폭선량에 따라서 암에 걸리거나 암으로 사망한다. 피폭량과 암 발생건수의 관계에 대해서는 ICRP 가 1990 년에 권고한 리스크 계수(1 만명 시버트 당 1,735 건, 그 중 500 건이 치사성)을 사용한다¹⁰. 단, 이것은 그 리스크 계수를 필자가 믿고 받아들이기 때문이 아니라, 원자력 추진의 입장에 있는 권위 있는 기관이 인정한 값이고, 국민적 논의를 하는데 있어서 최저한의 추정값을 주는 것이라고 생각할 수 있기 때문이다. 실제로는 치사성

⁸ SEO 코드에서는 남풍을 0 도로 하고 있고, 시계방향 15 도씩으로 풍향을 정의 하고 있다. 영광 1 호의 경우, 15 도의 바람이 서울특별시까지 영향을 끼치고, 120 도의 바람이 광주시에 큰영향을 미친다. 고리 1 호의 경우는 풍향을 225 도로 설정된다.

⁹ 이것은 PWR2 형 시나리오는 격납용기까지 파괴되는 폭발로 한번에 방사성 물질이 방출되는 반면 PWR4 형 시나리오는 서서히 방사성 물질의 방출되기 때문에 방사성 물질이 주변에 더 넓게 흩어지게 되어 내각이 넓다고 가정한다. 내각이 작을수록 원거리까지 오염이 도달하는 한편, 같은 거리에서 오염되는 범위는 좁아진다.

¹⁰ ICRP(1990)를 참조. 그 후, 현재까지 ICRP2007 년 권고(ICRP2007)가 공표되었지만, 리스크계수에 큰 변화는 없다. 게다가, ICRP(2007)는 체르노빌 사고에 관한 기록이 전혀 없고, 이 사고에서 얻어진 자료에 의한 재검토는 이루어지지 않았다. 미국의 BEIR-7 보고서(Phase 2, 2006)에 의하면, 1 만명 시버트당의 총 암 발생수는 남성 970 건 (95% 신뢰 구간 490~1920), 여성 1,410 건(95% 신뢰 구간 740~2690)이며, ICRP 의 계수와 큰 차이는 없다.

암의 계수는 이것의 2~8 배가 되기도 한다¹¹. 또한, 집단피폭에 의한 유전적 장애도 발생한다(1 만명 시버트 당 100 건). 이 계산에 따라 인명피해는 부록 A 에서 나타내고 있는 바와 같은 방식에 의거하여 금액으로 환산된다(표 4).

표 4: 피해 개념표 (인명피해의 단가)

인명피해	단가(가정)	인명피해	단가(가정)
경미한 급성장애	30 만원/명	비 치사성 암	962.2 만원/명
위독한 급성장애	234.4 만원/명	암 사망	4.5 억원/명
급성사망	16.3 억원/명	유전적 장애	330.4 만원/명

주: 부록 A 참조

본 분석에서는 (A)피난을 실시하지 않는 경우 와 (B)피난을 실시하는 경우를 각각 계산한다. (A)의 경우에는 대량의 인명피해가 발생하지만, 계산의 단순화를 위해서 경제활동은 그대로 유지되는 것으로 계산한다. 많은 사람이 사망함에 따라 경제활동이 축소되는 것은 명백하지만, 사망에 따른 경제적 손해는 인명피해 금액에 포함된다고 해석한다. 사고 시점에 그 오염지역에 살지 않았지만 미래에 오염된 토지에 이주한 사람들도 피폭되면서 건강피해를 입을 가능성이 있지만 평가대상에서 제외한다.

(B)의 경우는 급성, 만발성 인명피해를 억제하기 위해서 지자체의 주민 전원을 피난시키는 경우를 가정한다. 피난 기준은 구소련의 기준을 참고하여 단위면적당(m²) 세슘 137 이 148 만 베크렐(40 만 퀴리)인 경우로 한다. 피난 대상지역 중 원전에서 30km 이내는 2 일 내에, 보다 먼 지역은 15 일 내에 피난하고, 그 후 50 년간 피난지역에는 사람이 살 수 없다고 가정한다. 그 결과, 물적손해는 피난과 이적을 할 수 밖에 없는 사람들의 노동소득의 30 퍼센트가 10 년에 걸쳐 손실되고, 피해지의 물적 자산으로 인해 얻을 수 있는 소득의 50 년 분이 없어진다고 가정한다. 오염수준이 피난기준을 넘는 거리는 영광원전 대사고의 경우 바람이 부는 방향으로 26km 까지이고 영광원전 거대사고의 경우 197km, 고리원전 대사고의 경우 19km, 고리원전 거대사고의 경우 146km 이다.

표 5: 피해의 개념표 (물적 피해)

물적 손해	개요
농업금지에 의한 소득 손실	지자체의 농림부가가치액×0.65×10
어업정지에 의한 손해	전북·전남 또는 경남의 연·근해 및 양식 어업의 연간 부가가치액 전북 677 억원, 전남 7,087 억원, 경남 4,415 억원
피난에 드는 비용	350 만원/명
인적 자본의 소득 손실	지자체의 총생산액(GRDP)×0.6×0.3×10
물적 자본의 소득 손실	지자체의 총생산액(GRDP)×0.3×10

주: 세부 사항은 부록 A 를 참조

어느 경우든 피난대상이 되지 않은 지역이라도, 세슘 18.5 만 베크렐/m² 을 넘는 오염지역에서는 농업이 10 년간 금지되고, 그 사이의 농업소득이 상실되는 것으로 한다. 오염수준이 농업 금지기준을 넘어서는 거리는, 영광원전의 경우 대사고의 경우 바람이 부는 방향으로 102km, 거대사고는 633km 까지다. 고리

¹¹ SEO 코드를 개발한 세오 외가 의거하고 있는 고프만은, 1981 년에 암사망 리스크를 약 4000[명/만명 Sv]로 했다. (고프만 1991) Cardis et al. (2006), IARC (2006), Fairlie and Sumner (2006), Greenpeace (2006) 등, 최근의 체르노빌 원전 사고에 관한 평가에서는 1000[명/만명 Sv] 등이 사용되고 있다. 1981 년 당시의 ICRP 의 리스크계수는 약 100[명/만명 Sv]였다는 점을 고려하면, 연구가 진행됨에 따라 암사망수가 높아지고 있음을 확인할 수 있다.

원전의 경우는 대사고가 바람 부는 방향으로 74km, 거대사고가 495km 까지다. 또한, 사고 원전 근해에서는 일정 기간 동안 어업이 불가능하게 되는데 영광 원전의 경우 전라북도과 전라남도에서, 고리원전의 경우 경상남도에서 근해어업과 양식어업이 1년간 불가능해진다고 가정한다.

이와 같은 피해의 개념을 정리한 것이 표 5, 바람이 부는 방향의 피난범위 및 농업금지 범위를 표시한 것이 표 6, 계산 시나리오를 정리한 것이 표 7 이다.

고리원전 사고의 경우 인근에 대도시 부산이 있기 때문에 대사고의 경우 오염수준이 피난기준을 넘지 않더라도 부산시 대부분을 피난범위에 포함시키는 경우(38km, 1-c-C)와 거대사고의 경우 오염수준이 피난기준을 넘더라도 부산시내 전인 기장읍까지만 피난범위에 포함시키는 경우(19km, 2-c-B)를 추가해서 인명피해와 경제적인 피해액을 계산했다.

표 6: 피난범위 및 농업금지범위

해당 원전	전기 출력	피난범위 (바람부는 방향)		농업금지범위 (바람부는 방향)	
		대사고	거대사고	대사고	거대사고
영광	90 만 kW	26km	197km	102km	633km
고리	55.6 만 kW	19km	146km	74km	495km

이 모델에서는 어느 경우에도, 사고 전으로 회복하기 위해서 방사성 물질에 오염된 지역을 제염하는 비용, 원전 사고를 수습하는 비용, 사고원전을 폐로하고 사고로 발생한 폐기물을 처리하는 비용, 관련된 사회적 피해와 행정비용은 일체 제외되어 있다.

표 7: 시나리오 계산을 위한 개념표

(1) 대사고(PWR4)	(a)영광: 서울방향의 바람(15 도) (b)영광: 광주방향의 바람(120 도) (c)고리: 부산방향의 바람(225 도)	(1-a-A) 피난조치를 실시하지 않는 경우 (1-a-B) 피난조치를 실시하는 경우(26km) (1-b-A) 피난조치를 실시하지 않는 경우 (1-b-B) 피난조치를 실시하는 경우(26km) (1-c-A) 피난조치를 실시하지 않는 경우 (1-c-B) 부산시내 직전인 기장읍까지 피난할 경우(19km) (1-c-C) 부산까지 피난할 경우(38km)
(2) 거대사고(PWR2)	(a)영광: 서울방향의 바람(15 도) (b)영광: 광주방향의 바람(120 도) (c)고리: 부산방향의 바람(225 도)	(2-a-A) 피난조치를 실시하지 않는 경우 (2-a-B) 피난조치를 실시하는 경우(197km) (2-b-A) 피난조치를 실시하지 않는 경우 (2-b-B) 피난조치를 실시하는 경우(197km) (2-c-A) 피난조치를 실시하지 않는 경우 (2-c-B) 부산시내 직전인 기장읍까지 피난할 경우(19km) (2-c-C) 부산까지 피난할 경우(146km)

5. 계산결과

5.1 영광 원전사고

영광 원전 1 호기(출력 90.0 만 kW)가 사고를 일으킨 경우 인명피해의 계산 결과를 표 8 에 나타냈다. 보다 상세한 표는 부록 C 에 기술했다.

1-a-A 의 경우에 급성장애가 발생하지 않는 것은, 주로 바람이 불어가는 방향에서 가까운 지역이 해상

또는 국립공원이기 때문이다. 집단피폭량은 65.7 만명 시버트(Sv)가 되고 군산시 보다 북쪽에 위치한 지역인 서울시와 경기도 등에서 총 11 만 명이 넘는 암환자가 발생해서, 그 중 3.3 만 명이 사망에 이른다. 다시 말해 서울 오염지역에서 암에 걸리는 비율은 0.4% (250 명 중 1 명)정도다. 1-a-B 의 경우는 가정을 통한 계산에서 26km 까지 피난 구역이므로 피난이 필요한 해당 지역이 바다쪽이라서 계산 하지 않았다.

표 8: 인명피해(명) 영광원전사고의 경우

	피난범위	집단피폭 (만명 Sv)	급성사망	위독한 급성장애	경미한 급성장애	암 사망	치유 암	유전장애
1-a-A	-	65.7	0	0	0	32,837	81,114	6563
1-a-B	-	피난이 필요한 지역이 없기 때문에 이 경우는 생략한다 ¹² .						
1-b-A	-	74.0	5,784	1,905	1,388	28,708	66,217	5,869
1-b-B	26km	55.3	1,719	5,892	160	27,247	67,316	5,438
2-a-A	-	1,101.4	0	0	35	550,692	1,360,248	110,113
2-a-B	197km	945.5	0	0	4	472,737	1,167,697	94,524
2-b-A	-	1,249.6	12,228	4,332	149,569	396,938	940,243	79,675
2-b-B	197km	145.4	10,673	2,365	29,871	45,560	112,396	9,106

1-b-A 의 경우, 바로 근교에 위치한 지자체에서 높은 수준의 피폭이 발생하여 피난하지 않으면 5,784 명이 급성사망에 이른다. 또한, 1,905 명 정도가 위독한 급성장애로 치료를 요한다. 집단피폭량은 74.0 만명 시버트(Sv)가 되고 대도시·광주를 중심으로 하는 넓은 지역에서 약 9 만 5 천 명이 암에 걸려, 그 중 2 만 9 천명이 사망한다¹³. 피난의 범위는 26km 이내이고, 그 보다 먼 지역(약 50km 떨어진 광주시 등)에서는 사고 전과 같은 생활이 지속되지만, 일본의 후쿠시마시(약 60km)가 피난의 대상이 되지 않았던 것과 비슷하다.

1-b-B 의 결과로 알 수 있는 것처럼 바로 옆에 위치한 지자체도 피난을 실시하면, 급성사망과 위독한 급성장애를 막는 것이 가능하지만, 피난한 사람들도 어느 정도의 피폭을 받았고, 또한 광주시와 같은 대도시에서 피난의 대상이 되지 않는 사람들 중 암 발생률이 높기 때문에, 암 발생은 그다지 감소하지 않는다.

2-a-A 의 경우에는 서울이 영광 원전으로부터 230km 가량 떨어져 있지만 대량의 방사성 물질이 서울시를 중심으로 하는 수도권을 덮치기 때문에, 집단 피폭량이 1,101.4 만명 시버트에 이르고 191 만건에 이르는 암이 발생하여, 55 만 명이 암으로 사망 한다(이 경우 서울에서도 인구의 약 9%에서 암이 발생하고 약 2.4%가 사망에 이른다는 계산이 나온다). 수도권에서 피난은 사실상 불가능하다고 생각되지만 피난을 가정한 2-a-B 의 결과에 의하면 피난을 실시해서 집단피폭량을 줄이는 방법(945.5 만명 시버트)에서도 암환자 수는 그다지 감소하지 않는다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 15 일 후에 피난을 실시한다는 가정 하에서는 주민들이 이미 상당량의 피폭을 받은 뒤라는 점때문이고 200km 이상 떨어진 경기도나 서울시는 197km 까지만 피난을 가정한 이 모델에서는 피난 대상이 아니기 때문이다.

¹² 인근의 군산시(68.3km)까지의 지역은 바다와 국립공원이기 때문에 모델의 결과에 따른 피난을 필요로 하는 오염지는 없다.

¹³ 1-a-A 의 경우보다 집단피폭량이 큰 것에 상관 없이 암 발생수가 작아지는 것은 급성사망자가 많기 때문이다.

2-b-A 의 경우에는 광주광역시 방향으로 엄청난 양의 방사성 물질이 통과한다. 그 결과, 30km 권내뿐만 아니라, 바람이 불어가는 방향 197km 까지 토지가 피난기준을 넘는 오염치에 도달 한다. 피난을 시키지 않는 2-b-A 의 경우에는 집단피폭량은 1,249.6 만명 시버트가 되고, 약 1.2 만명에 달하는 급성 사망자가 발생한다. 그 외에 134 만 명에 이르는 암 환자가 발생해서 그 중 39.7 만 명이 사망한다. 영광원전 부근 지역은 물론 광주광역시 대부분의 주민이 암에 걸린다는 계산이 된다. 이에 반해서 피난을 실시하게 되면 집단피폭량을 145.4 만명 시버트까지 감소시킬 수 있어서 만발성 장애의 피해자 수를 약 8 분의 1 로 줄이는 것이 가능하다. 그럼에도 불구하고 급성사망자의 수가 거의 줄어들지 않는 것은, 바로 옆의 흥농읍(3km, 인구 7,691 명)의 주민은 피난 전 2 일 동안에 이미 치사량을 넘는 피폭을 받기 때문이다. 이런 참사를 피하기 위해서는, 원자력 방재 대책을 철저히 실시하여 거대사고의 조짐이 보이는 경우에는 방사성 물질이 방출되기 이전에 피난태세에 들어갈 수 있게 해야한다. 물론, 그 외 지역도 피난은 빠르면 빠를수록 좋다.

그림 8: 원전 사고 지점과의 거리와 암발생 확률의 관계(영광원전 거대사고, 피난조치 없음)

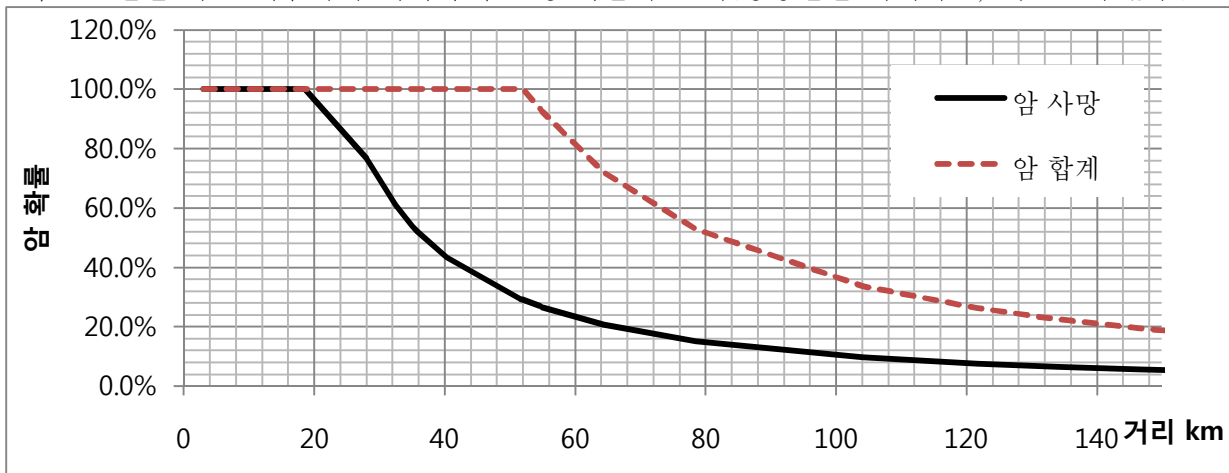


그림 8 은 영광 원전 사고 시, 거리와 암발생 확률의 관계를 보이고 있다. 피난하지 않을 경우, 바람이 부는 방향의 50km 까지 전원이 암에 걸리고, 가까운 시일 내에 30%가 사망한다. 100km 떨어진 지점에서도 약 10%의 인구가 암으로 사망한다.

표 9: 경제적 피해 (할인율 0%의 경우, 억원)

	급성장애	만발성 장애	피난·이주 비용	농업손해	어업손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실	합계
1-a-A	0	155,789	0	9,914	7,764	0	0	173,467
1-a-B								
1-b-A	94,328	135,751	0	8,918	7,764	0	0	246,761
1-b-B	28,158	129,268	594	7,242	7,764	6778	56,486	236,290
2-a-A	0	2,612,626	0	45,358	7,764	0	0	2,665,748
2-a-B	0	2,242,791	56,608	23,493	7,764	816,886	1,361,477	4,509,019
2-b-A	199,823	1,879,301	0	13,097	7,764	0	0	2,099,985
2-b-B	174,086	216,131	68425	0	7,764	707,552	1,179,254	2,353,212

경제적 피해는, 위에 기술한 인명피해를 금전적으로 환산한 것과, 피난을 실시하는 경우, 피난·이주에 소요되는 비용, 농업손실(농업금지지역의 농업금지에 의한 손해), 어업손실(원전 인근 연안 어업활동 1년간 금지 손해), 인적 자본 소득 손실(강제 피난 대상자들이 재취직을 하더라도 10년간에 걸쳐서 잃는 소득) 및 물적 자본 소득 손실(피난지에 있었던 고정자산은 영구적으로 손해)으로 구성된다(표 9, 부록 A-8 참조).

1-a-A 에서 피해액의 합계는 약 17.3 조원이 된다. 1-b-A 에서는 약 24.7 조원, 1-b-B 에서는 23.6 조원이다. 이는, 일본과 한국의 생활 수준이나 경제규모의 차이를 고려하면, 수조엔으로 예상되는 후쿠시마(福島) 제 1 원자력 발전 사고의 피해 배상 추정액에 가깝다.

1-b-A 와 1-b-B 를 비교해보면, 피난을 하게 되면 이에 따른 경제적 비용이 발생하지만 피난으로 인해 인명피해를 감소시키기 때문에 결과적으로는 전체적인 경제피해를 어느 정도 감소시키는 것이 가능함을 알 수 있다. 피난범위를 좁게 설정하고 있으므로 만발성 장애의 피해액은 거의 감소하지 않는다. 8 배 높은 암발생 리스크 계수를 가정하면 보다 먼 지역까지 피난시킬 필요가 생긴다.

2-a-A 의 경우에는 경제적 피해의 합계가 약 267 조원이 된다. 그 대부분은 암 사망을 중심으로 하는 만발성 장애다. 이때, 서울시에서도 약 9%의 사람들이 원전 사고에 기인하는 암에 걸리지만, 암은 방사선 피폭과의 인과관계 증명이 어렵기 때문에, 이러한 피해가 배상될 가능성은 낮다고 볼 수 있다. 197km 까지의 범위가 피난대상이기 때문에, 그보다 더 먼 지역인 서울시(약 230km 지점)는 피난대상이 되지 않는다. 그 로 인해 피난을 가정하는 2-a-B 에 있어서도 만발성 장애의 피해액 및 총 피해액의 합계는 거의 감소하지 않는다. 197km 까지의 피난범위를 확대시키더라도 인구밀집도가 높은 서울이 제외되어 인명피해는 감소하지 않고 피난비용만 들어서 오히려 경제적 손실이 증가하게 된다.

2-b-A 의 경우 피해액의 합계는 약 210 조원이 된다. 2-b-B 의 경우인 원전으로부터 197km 의 지역까지 피난을 실시할 때는 피난에 따른 상당한 인적 자본·물적 자본으로부터의 소득손실이 발생하지만, 피난 덕분에 많은 만발성 장애의 피해를 억제할 수 있다. 급성 장애 피해가 그다지 감소하지 않는 것은, 위에서 설명한 바와 같이 2 일 후에 피난하는 것으로는 많은 생명을 구할 수 없기 때문이다. 그러므로 충실한 방재계획이 필요하다.

표 10: 경제적 피해 (할인율 3%의 경우, 억원)

	급성장애	만발성 장애	피난·이주 비용	농업손해	어업손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실	합계
1-a-A	0	77,826	0	8,710	7,764	0	0	94,301
1-a-B				0		0	0	0
1-b-A	94,328	67,816	0	7,835	7,764	0	0	177,743
1-b-B	28,158	64,577	594	6,363	7,764	5955	29938	143,349
2-a-A	0	1305,170	0	39,852	7,764	0	0	1,352,786
2-a-B	0	1120,414	56,608	20,641	7,764	717716	721583	2,644,726
2-b-A	199,823	938,828	0	11,507	7,764	0	0	1,157,922
2-b-B	174,086	107,971	68425	0	7,764	621655	625005	1,604,906

사고 피해는 장기적으로 발생하기 때문에 미래에 발생하는 손해액은 일정한 할인율을 사용하여, 현재의 할인가치로 계산해야 한다는 입장도 있다. 할인율이 3%인 경우의 결과는 표 10에서 알 수 있다.

5.2 고리원전사고

고리원전 1 호기(출력 55.6 만 kW)가 사고를 일으킨 경우의 인명피해 계산 결과를 표 11 에 나타내고 있다. 더 자세한 표는 부록 C 에 기술하고 있다.

표 11: 인명피해(명) 고리원전사고의 경우

	피난범위	집단피폭 (만명 Sv)	급성사망	위독한 급성장애	경미한 급성장애	암 사망	치유 암	유전장애
1-c-A	-	146.8	0	0	628	73,400	181,317	14,672
1-c-B	19km	136.5	0	0	21	68,233	168,555	13,639
1-c-C	38km	27.8	0	0	21	13,874	34,282	2,768
2-c-A	-	1,927.4	47,586	19,123	1,374,285	849,043	1,125,278	172,682
2-c-B	19km	1,720.9	17,473	47,965	1,375,555	850,579	1,153,855	170,111
2-c-C	146km	269.8	16,402	44,182	788,774	125,711	297,491	25,142

1-c-A 의 경우에는 바람이 부는 방향에 거주 하는 주민의 급성 사망 또는 급성장애 피해는 없다. 이는 모델상 바람이 부는 방향의 가장 가까운 지자체가 8.4km 떨어져 있기 때문이다. 실제로는 원전 인근 지역에 위치한 마을에서 급성 사망 등의 피해가 발생할 것이다. 부산광역시의 일부를 포함하는 풍향권에서는 25 만건이상의 암이 발생하고, 그 중 약 7.3 만명이상이 사망에 이른다. 부산의 시가지에서 암에 걸리는 비율은 구역에 따라 4~8%정도다.

1-c-B 의 경우에는 부산시가지 직전인 기장읍까지가 피난의 대상이 되고 2 일 이내에 피난을 하는 것으로 가정했다. 그러므로 인근 주민의 피해를 줄일 수는 있지만, 부산시가 피난대상이 되지는 않기 때문에 암 발생의 절대수는 그다지 줄지 않는다.

그에 반해 1-c-C 의 경우에는 부산시가지의 오염지에서 15 일 이내에 전원(약 280 만명)이 피난을 하기 때문에 암 발생을 크게 감소 시킬 수 있다.

2-c-A 의 경우에는 4.7 만명을 넘는 급성 사망이 발생한다. 그 대부분이 바로 인접하고 있는 일광면과 기장읍의 주민이며, 주민의 대부분이 급성사 할 위험이 있다. 또, 부산시에서도 1,300 명 이상이 급성사 할 가능성이 있다. 암 발생은 약 197 만건, 그중 56.9 만명이 암으로 사망한다. 이 때, 방사능 오염정도가 매우 높아 부산시내에서는 부산시민 대부분이 암이 발생하고, 그 중 절반 가량이 암으로 사망하게 된다. 기장읍(약 19km) 까지를 2 일 이내에 피난 시키도록 하는 2-c-B 에서는 인근 주민의 급성사망은 크게 억제 할 수 있지만, 부산시가 피난 대상이 되지 않으므로 암 발생은 거의 줄지 않는다.

표 12: 경제적 피해(할인율 0%의 경우, 억원)

	급성장애	만발성장애	피난, 이주 비용	농업 손해	어업손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실	합계
1-c-A	2	330,296	0	845	4,415	0	0	335,558
1-c-B	0	323,713	2,155	659	4,415	15,228	25,379	371,549
1-c-C	0	65,823	101,384	0	4,415	817,376	1,362,293	2,351,291
2-c-A	780,223	3,934,673	0	859	4,415	0	0	4,720,170
2-c-B	290,06	3,944,250	2,155	673	4,415	15,228	126,897	4,383,679

	1							
2-c-C	270,755	595,157	68,905	14	4,415	572,237	4,768,639	6,280,122

부산까지 15 일 이내에 피난 시키는 2-c-C 에서는 암 발생도 대폭 억제 할 수 있다. 피난을 하는 경우라도 16,000~17,000 명이 급성사하는 이유는 2 일이 지난후에 피난하게 되면 이미 많은 주민이 치사량에 달하는 피폭을 받기 때문이다. 보다 신속한 피난을 가능하게 하기 위해 방재 대책을 검토해야한다. 경제적 피해는 영광원전 사고와 마찬가지로 상기의 인명피해를 금전적으로 환산한 것과 피난을 하는 경우에 피난·이주에 소요되는 비용, 농업손실(피난지의 농업금지에 의한 손해), 어업손실(원전 인근 연안 어업활동 1 년간 금지 손해), 인적 자본 소득 손실(강제 피난 대상자들이 재취직을 하더라도 10 년간에 걸쳐서 잃는 소득) 및 물적 자본 소득 손실(피난지에 있었던 고정자산은 영구적으로 손해)으로 구성된다(표 12, 부록 A-8 참조).

1-c-A 에서는 그 합계가 약 33.6 조원이다. 피난을 실시함으로 인해 1-c-B 에서는 약 37.2 조원으로 약간 증가한다. 수 조 엔이 넘을 것으로 예상되는 후쿠시마 제 1 원전 사고의 배상액과 비슷한 값이다.

1-c-C 에서는 235 조원의 피해가 발생하는데 부산시까지 전원을 피난시키는 비용이 증가하기 때문이다. 구할 수 있는 인명에 대한 경제적 가치보다 피난시키는 비용이 훨씬 높기 때문에 비용이 높다.

1-c-B 경우와 같이 19km 권까지 피난하는 경우는 경제적으로는 합리적이지만, 암과 같은 만발성 장애를 그리 많이 줄이지 못한다. 반면, 부산시내까지 피난을 강제하는 1-c-C 에 따르면 경제적 피해의 총액은 증가하겠지만 만발성 장애는 대폭 줄어든다. 8 배의 암발생 리스크계수를 가정한다면 부산시내까지도 피난하는 것이 합리적일 것이다.

2-c-A 에서는 피해액의 합계가 약 472 조원이 된다. 19km 지역인 기장군까지 2 일 이내에 강제 피난을 실시 함으로 인해 2-c-B 에서는 급성장애로 인한 피해액을 크게 억제 할 수 있다. 단, 부산시에서의 암 발생이 줄지 않으므로 총 피해액은 438 조원으로 그다지 감소하지 않는다. 부산시까지 15 일 이내에 피난 시키게 되면 1-c-C 에서처럼 만발성 장애를 대폭 줄일 수 있다. 반면, 피해액은 약 628 조원으로 늘어난다.

현재 발생한 사고의 피해는 장기적으로 발생하기 때문에 장래 발생하는 손해액에 대해서는 일정한 할인율을 이용해서 현재의 할인가치로 계산해야 한다는 입장도 있다. 할인율이 3%인 경우의 결과는 표 13 에 나타냈다.

표 13: 경제적 피해(할인율 3%의 경우, 억원)

	급성장애	만발성장애	피난, 이주 비용	농업 손해	어업손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실	합계
1-c-A	2	165,004	0	742	4,415	0	0	170,163
1-c-B	0	161,715	2,155	579	4,416	13,379	13,451	193,541
1-c-C	0	32,883	101,384	0	4,417	718,147	722,015	1,477,464
2-c-A	780,223	1,965,615	0	755	4,418	0	0	2,751,014
2-c-B	290,061	1,970,399	2,155	591	4,419	13,379	67,255	2,346,109
2-c-C	270,755	297,318	68,905	12	4,420	502,767	2,527,379	3,602,657

6. 시사점

6.1. 독일 및 일본의 인명피해 계산과의 비교

표 8 및 표 11 에 드러난 한국 원전사고에서의 인명피해를 독일과 일본의 연구 사례와 비교를 통해 재확인해 본다. 이번 분석에서 한국에서는 대사고의 경우, 집단피폭량이 65.7~146.8 만명시버트, 급성사망은 최대 5,784 명, 암사망수는 2.9~7.3 만명이 된다. 거대사고에서는 집단피폭량이 1,101.4~1,927.4 만명시버트가 되어, 급성사망이 최대 4.8 만명(피난하지 않을 경우), 암사망이 40~85 만명에게 달한다. 이 숫자는 표 1 에 드러난 독일의 경우인 집단피폭량 115~3,360 만명시버트에 상응한다. 일본의 오이(大飯) 원자력 발전 사고의 계산(朴勝俊 2005)에서는 급성사망이 0~1.7 만명, 암사망이 최대 41 만명이다. 한국의 경우 특히, 고리원전 사고의 경우에 있어서, 반경 10km so 3 만명이 거주하고 30km 이내에 대도시인 부산시가 포함되면서 342 만명이 거주하는 밀집지역이라 인명피해가 커졌다.

6.2. 독일 및 일본의 경제적 피해 계산과의 비교

표 9 및 표 12 에 보여진 한국 원전사고에서의 경제적 피해를 독일과 일본의 연구 사례와 비교를 통해 재확인해 본다. 이번 분석에서 한국에서는 대사고의 경우의 손해액은 17 조~34 조원 (2010 년의 명목 GDP 의 1.4~2.9%, 피난하지 않을 경우), 거대사고의 경우에는 210~472 조원 (2010 년 명목 GDP 의 17.9~40.2%, 피난하지 않을 경우)이다. 독일의 경우, 표 1 에 의하면 0.925 조~10.697 조마르크 (구화폐단위, 1 마르크=700 원으로서 647~7487 조원)이 된다. 일본의 경우, 평균 105 조엔, 최대 459 조엔 (100 엔=1400 원으로, 평균 1,470 조원, 최대 6,300 조원)이라고 추정되었다(할인율 0%의 경우). 덧붙이자면, 독일에서 최근 내놓은 라이프치히 보험 포럼의 리포트(Versicherungforen Leipzig 2011)에서는, 6 조 0900 억유로 (1 유로=1500 원으로, 9,135 조원)의 값이 채택되고 있다.

한국의 인명피해가 일본과 독일과는 크게 다르지 않는데도, 경제적 피해액수가 현저하게 다른 이유는, 일본과 독일에 비교해서 한국의 1 인당 GDP 가 낮은 것과 함께 의료비나 통계적 생명가치(VSL)가 대폭 낮기 때문이다(표 14, 15 참조). 게다가, 본 연구에서 한국의 경우는 최근의 VSL 연구의 결과를 바탕으로, 발병 후 사망에 이르기까지의 시간이 걸리는 암사망의 VSL 의 경우 급성사망의 VSL 에 비해의 4 분의 1 정도로 작게 설정되고 있기 때문이다. 일본이나 독일의 기존 연구에서는 급성사망과 암사망의 VSL 는 차이 없이 같은 값이 적용되었다.

표 14: 한국의 경우의 인명피해의 개념표

인명피해	단가(가정)	인명피해	단가(가정)
경미한 급성장애	30 만원/명	비 치사성 암	962.2 만원/명
위독한 급성장애	234.4 만원/명	암 사망	4.5 억원/명
급성사망	16.3 억원/명	유전적 장애	330.4 만원/명

주: 부록 A 참조

표 15: 일본의 경우의 인명피해의 개념표

인명피해	단가(가정)	인명피해	단가(가정)
경미한 급성장애	42 만원/명	비 치사성 암	2,745.4 만원/명
위독한 급성장애	1,036 만원/명	암 사망	63.2 억원/명
급성사망	63.1 억원/명	유전적 장애	1,057 만원/명

※일본의 연구에서는, 암사망과 급성사망의 VSL 은 같다고 가정했다. 1 엔=14 원으로서 환산.

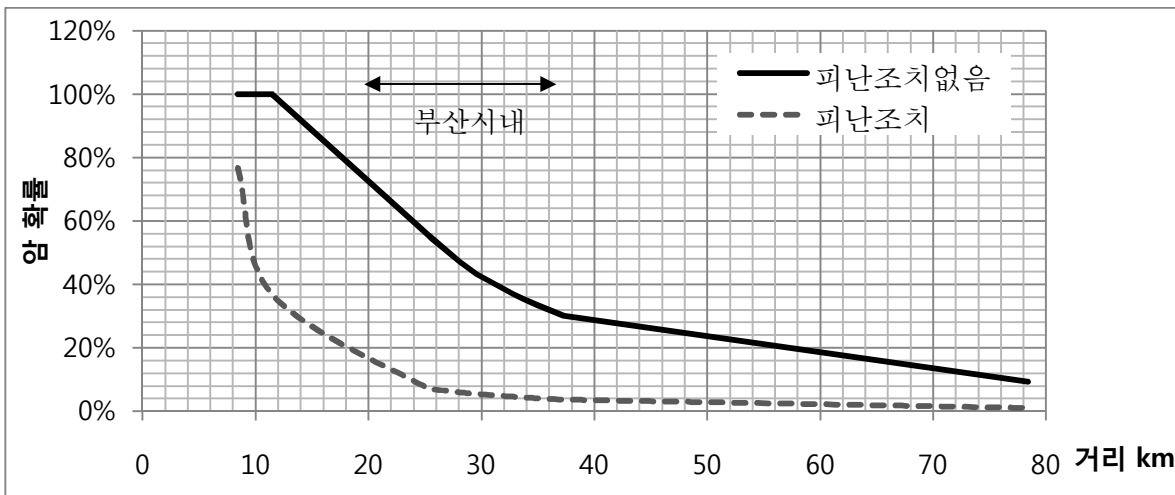
6.3. 피난의 효과

표 8~표 13 에 의하면, 빠른 피난에 의해 급성사망자의 수를 대폭 줄일 수 있다. 따라서, 가능하다면 대형 원전 사고의 전조가 되는 현상이 감지되면 방사성 물질이 유출되기 전에 인근 주민을 피난시킬 수 있도록 방재계획을 세워야 한다. 인근에 대도시가 존재할 경우에, 대도시로부터 모든 주민을 장기(50 년)간 피난시키게 되면 만발성 장애의 발생건수를 대폭 감소시킬 수 있다(2-b-A 와 2-b-B, 1-c-A 와 1-c-C, 2-c-A 와 2-c-C 를 비교). 그에 반해, 피난시킨다는 가정 하에서도 대도시가 피난범위에 포함되지 않을 경우, 암발생 건수는 피난시키지 않는다는 가정 하에서의 암발생 건수와 비교해 크게 줄어들지 않는다.

사고를 예상하지 못한 상태에서 신속한 피난은 사실상 어려울 수 있어 가장 좋은 방재대책은 원전 인근에는 거주를 하지 않는 것이다. 현재, 고리 인근 10km 이내에 거주하는 주민이 약 3 만명이다. 현행 한국의 비상계획구역은 8~10km 로 체르노빌과 후쿠시마 원전사고 시 피난구역인 30km 에 한참 못 미친다. 또한 국제원자력기구 권고안인 예방적보호조치구역(3~5km), 긴급보호조치계획구역(5~30km), 음식제한계획구역(300km)도 따르고 있지 않다. 한국은 인구 밀집도가 높아 원전 30km 이내 거주하는 인구가 많다. 4 개 원전 주변지역의 30km 내 거주민은 404 만명이고 고리인근은 약 342 만명이다. 이는 파키스탄과 대만에 이은 세계에서 세번째 원전주변 인구밀집도이다¹⁴. 하지만 고리 원전의 경우 현재 5 기가 가동 중이고 최대 12 기까지 가동 예정되어 있어 그만큼 대형사고 확률은 더 높고 사고 시 인명 피해가 클 수밖에 없다.

그림 9 는 고리 원전 거대사고의 경우, 피난 조치에 의해 어느 정도 암사망자수를 줄일 수 있는지를 나타내고 있다. 부산광역시 동구(약 30km 지점)에서, 피난 조치를 실시하지 않은 경우는 43%이 암으로 사망하지만, 15 일내에 전원을 피난시키게 되면 암사망률이 약 5%까지 억제될 수 있다. 물론, 보다 빨리 피난을 하게되면 더욱 암사망율은 더 줄일 수 있다.

그림 9 암사망 확률과 피난조치의 관계(고리 거대사고, 피난 조치 없음과 15 일내에 피난)



피난(거주 금지 조치)은 인명 피해인 암 발생 건수를 대폭 억제하지만, 피난지역에서 경제 활동이 금지됨으로 인해 초래되는 경제적 비용이 매우 크다. 결과적으로 화폐가치로 보면, 피난을 했을 경우와 하지 않았을 경우, 경제적 손실은 대부분 변함없는데, 피난조치로 인해서 경제적 손해가 증가하는 것도

¹⁴ 그린피스, 후쿠시마의 교훈 한국판 보고서, 2012년 4월 26일

발생한다(1-b-A 와 1-b-B 및 2-b-A 와 2-b-B 의 비교). 그러나, 피난조치로 인해 경제적 손해가 더 증가하더라도 인명을 구하는 조치가 우선이 되어야 할 것이다. 경우에 따라서는 피난조치가 광범위하게 진행되면서 경제적 피해가 대폭 증가할 경우도 있다. 영광 원전의 거대사고로·서울로 바람이 불 경우 (2-a-A 와 2-a-B 비교), 피난을 통해 광범위한 지역이 거주불가능하게 되면서 암으로 인한 사망은 7.8 만명 정도 줄일 수 있다 (55.1 만명→47.3 만명). 이를 화폐가치로 환산하면 대책비용이 생명이 가치를 상회하게 된다.

고리 원전 (2-c-A 와 2-c-B, 2-c-C 비교)의 경우, 피난으로 급성사망을 대폭 줄일 수 있는데 가장읍인 19km 까지만 피난했을 경우는 구할 수 있는 생명이 가치가 피난에 드는 비용 보다 높다. 반면에 부산시의 대부분을 거주불능지역으로 하면서 부산시민 대부분을 피난시키게 되면 암사망을 대폭 줄일 수 있지만 (85 만명→13 만명) 생명을 구하기 위한 대책비용이 생명이 가치를 대폭 상회하게 되고 결과적으로 경제적인 피해 또한 늘어난다(472 조원→628 조원). 시민 100%가 암에 걸릴 수도 있다고 예상되는 지역에서 피난대책을 실시하는 비용이 피난대책으로 구할 수 있는 생명이 가치보다 높다고 하는 결과는 “생명을 구하는 것이 경제적이지 않다”는 비인도적인 결론을 내리게 할 수 있다.

대도시의 시민들을 피난시키는 데는 경제적 손실이 크고, 이번 분석에서 암사망의 VSL 이 낮게 설정되어 있기 때문에 발생하는 문제다. VSL 값은 태생적으로 불확실한 수치이므로 대도시가 고농도에 오염되는 것이 예상될 경우에도 인명을 구하는 것이 우선되어야 한다.

6. 결론

본 보고서는 일본의 원자력 발전소 사고 평가 프로그램인 SEO code(세오 코드)를 이용해 경제적 피해를 추정 한 일본의 『원자력 발전소의 사고피해액 계산』 (朴勝俊, 2003)을 한국의 핵발전소에 적용한 것이다. 세오 코드는 원자력발전소 사고 시 인명피해를 수치화 한 것으로 1980 년대에 故세오 타케시 박사가 개발해 핵산업계가 아닌 민간부분에서 일본 전역의 원전 사고에 따른 인명 피해를 조사하는데 사용되어 왔다. 일본 내에서 원전 사고에 따른 경제적 피해는 1960 년에 일본 정부에 의해서 진행되었지만 1999 년까지 공개되지 않았고 그 이후 민간 부분에서 박승준 교수의 피해연구(2003 년, 2005 년)가 유일하는데, 이번 분석은 한국에서는 최초로 경제적 피해를 계산한 것이다.

사고 모델로 선택한 영광 원자력 발전소(이하 원전) 1 호기와 고리 원전 1 호기가 대사고(방사성 물질 방출량에서 후쿠시마 제 1 원전사고 정도) 및 그보다 심각한 거대사고(방사성 물질 방출량에서 체르노빌 원전사고 정도)가 발생한 경우, 바람이 부는 방향에 대도시가 존재하는 최악의 경우에는 막대한 금액의 경제적 피해가 발생한다.

영광 원전 사고로 서울로 바람이 부는 경우를 가정하고 피난을 하지 않으면 대사고의 경우 암사망이 약 3.3 만명, 경제적 피해액은 약 17 조원이 된다. 거대사고의 경우에는 암사망이 약 55 만명, 경제적 피해액은 약 267 조원 (2010 년 명목 GDP 의 22.7%)이 된다. 반면, 광주(光州)쪽으로 바람이 부는 경우를 가정하고 피난을 하지 않으면, 대사고의 경우는 암사망이 2.9 만명, 경제적 피해액은 약 25 조원이 된다. 거대사고의 경우는 암사망이 39.7 만명, 경제적 피해액은 약 210 조원 (2010 년 명목 GDP 의 약 17.9%)이 된다. 피난조치를 취하게 되면 급성장장애나 장기간에 걸쳐 나타나는 만발성장장애의 발생수를 줄일 수 있지만 2 일과 15 일의 피난기간으로는 방사성 물질로 인한 피폭을 피할 수 없어서 암발생율이 크게 떨어지지 않는다. 거대사고의 경우 피난으로 인한 인명피해를 대폭 줄일 수 있지만 피난조치로 인한 경제적 손실이 상당한 액수로 발생하게 된다(서울 방향 바람의 경우 267 조원 -> 451 조원, 광주 방향 바람의 경우 210 조원 -> 235 조원).

고리 원전 사고로 부산으로 바람이 부는 경우를 가정하고 피난을 하지 않으면 대사고의 경우는 암사망이 약 7.3 만명, 경제적 피해액이 약 33.6 조원이 된다. 거대사고의 경우에는 급성사망이 약 4.8 만명, 암사망이 약 85 만명, 손해액은 약 472 조원(2010 년 명목 GDP 의 약 40.2%)이 된다. 피난조치를 취하게 되면 급성장애나 장기간에 걸쳐 나타나는 만성 장애의 발생수를 다소 줄일 수 있지만 이 역시 2 일과 15 일의 피난기간으로는 방사성 물질로 인한 피폭을 피할 수 없어 암발생률이 크게 떨어지지 않는다. 근거리(19km)까지의 피난은 피난조치를 통해 경제적 손실이 일부 줄어들지만(거대사고의 경우 472 조원 - > 438 조원) 부산지역 대부분을 피난시키게 되면, 경제적 손실이 대폭 증가한다(대사고의 경우 34 조원 -> 235 조원, 거대사고의 경우 438 조원 -> 628 조원: 2010 년 명목 GDP 의 약 53.5%).

이번 분석에서는 인명피해를 중심으로 인명피해의 경제적 환산 가치와 피난 비용과 피난으로 인한 소득 상실 비용만 경제적 피해로 산출했다. 원전사고가 발생하기 전으로 회복되기 위한 방사능오염 제거작업(제염작업)이나 사고 수습비용, 폐로비용, 사고로 인해 발생한 방사능오염수나 폐기물 비용은 계산에 포함되지 않았다. 그럼에도 불구하고 최고 628 조원의 경제적 피해가 예상된다.

하지만 한국은 한국수력원자력(주)이 가입되어 있는 보험에 의한 배상액은 500 억원이고 배상책임이 3 억 SDR(약 5 천억원)로 한정되어 있으므로 나머지 비용은 정부에서 부담할 수밖에 없고 이는 전기요금의 인상으로 이어질 수 있다(일본의 경우 보험 배상액 1 천 2 백억엔, 추가 비용은 전력회사가 원칙적으로 부담).

이 시뮬레이션은 결코 [미래에 대한 예언]이 아니며, 전제조건이 변하면 그 값 또한 변할 수 있으므로, 변화 폭을 염두해두고 해석해야 한다. 본 연구가 입수 가능한 데이터와 타당한 가정 하에서, 원전 이용에 있어서 최악의 사태를 명백히 함으로 인해 원전 방재의 확충에 기여하고, 더 나아가 원전 이용 가부에 관한 논의에 일조하기를 기대한다.

부록 A: 한국 원자력발전소 사고 평가의 개념

A-1. 계산 프로그램과 계산 개요

피해주민의 피폭량과 토지오염에 대해서는 교토대학 원자로실험실의 故 세오 타케시 씨가 개발한 SEO code(세오 코드, 하라다 유지 씨에 의한 Windows 판)을 사용해서 계산한다. 원자로 내의 핵분열 생성물 축적량과 방출시간·방출량, 풍향·풍속·대기안정도, 주변의 지리적 조건 등의 입력하여, 바람이 불어가는 방향에 위치한 지역의 방사선 오염도와, 급성사망자·암사망자 수의 추계 등을 하는 것이 가능하다. 세오 코드에 관한 자세한 내용은, 고이데·세오(1997) 또는 세오(1995)를 참조하기 바란다.

손해액의 경제적 평가 논리에 관해서는 A-5 를 참조 바란다. 인명피해에 관해서는, SEO 코드의 사망·발병의 평가 결과를, 확률적 생명가치(VSL: Value of Statistical Life)나 표준 의료비를 이용해서 금액으로 환산했다(A-6). 물적손해에 대해서는, 시나리오에 따라서 원전 인근 주민의 긴급피난에 필요로 하는 비용 외에, SEO 코드로부터 얻을 수 있는 바람이 불어가는 방향의 거리와 토지오염도의 관계를 반영하여, 일정 기간 동안 거주 금지 구역이나 농업금지 구역의 범위를 설정하고, 이 조치에서 의해 손실되는 부가가치액을 구한 뒤 이를 손해액으로 했다(A-7, A-8). 이 계산은 Windows 용의 Microsoft Excel 을 사용해서 실시했다.

인명피해·물적 피해, 양쪽 다 계산하는 대상 기간은 사고 후 50 년으로 했다. 이것은, SEO 코드의 인체 피폭량 계산이 50 년을 기준으로 실시되고 있기 때문이다. 데이터 등에 관해서는 A-9 를 참조.

표 A-1 : 본 연구와 체르노빌 사고의 주요 핵종 축적량·방출량 비교

	반감기	WASH 1400 내장량 설정값	PWR2 방출량 설정값 (방출률%)	PWR4 방출량 설정값 (방출률%)	체르노빌 내장량 추정 만퀴리	체르노빌 방출량 핵종 추정폭 (만퀴리 방출률%)
요오드 131	8.05 일	8500	5950 (70%)	765 (9%)	3650	730 - 2540 (8.6% - 29.9%)
세슘 137	30.2 년	470	235 (50%)	18.8 (4%)	770	100 - 435 (13.0% - 56.5%)
르테니움 103	39.3 일	11000	220 (2%)	33 (0.3%)	11000	72 - 1040 (0.7% - 9.5%)
스트론튬 90	28.8 년	370	22.2 (6%)	1.85 (0.5%)	550	22 - 53 (4.0% - 9.6%)
지르코늄 95	64 일	15000			11900	23 - 400 (0.2% - 3.4%)
세륨 144	284 일	8500			8570	14 - 460 (0.2% - 5.4%)
플루토늄 241	--	340			470	14 - 25 (3.0% - 5.3%)

※대표적 핵종만 표기. 원자로 규모를 100 만 kW 로 맞추어 비교하고 있다.
 ※후쿠시마 제 1 원전에 관한 원자력 안전 위원회 발표치:
 요오드 131 는 405 만 퀴리 (1.5E+17 베크렐), 세슘 137 은 32 만 퀴리(1.2E+16 베크렐)
 ※체르노빌 원전 사고에 관한 보안원 참고 값 :
 요오드 131 은 4865 만 퀴리(1.8E+18 베크렐), 세슘 137 은 230 만 퀴리(8.5E+16 베크렐)
 참고: 이마나카(1996), 고이데·세오(1997), 경제산업청(2011), US-NRC(1975) Appendix IV

A-2. SEO 코드에 입력해야 할 기본적 전제조건

SEO 코드로 방사성 피해를 계산할 때에는, 원자력발전소의 기본사양(위치와 출력규모 등), 사고유형(부록 B)¹⁵, 풍속·대기안정도(방사성 물질의 확산에 관계함), 체류기간(피해 주민의 역외 피난까지 필요한 시간, 체류 중에는 외부피폭을 받는다), 지면차폐 계수 (옥내와 옥외의 방사선량의 차이와 생활

¹⁵ 이것은 어떤 원인으로 노심용융이 발생하고, 외부에 어떤 핵종이 얼마만큼 방출 되었는가를 나타내는 것으로, SEO 코드에서는 미국의 WASH-1400 를 참고로 15 가지 유형이 준비되어 있고, 그 중 9 개가 PWR 에 관한 것이다.

상황으로부터, 옥외와 비교해서 총 피폭량이 어느 정도 감소 하는가를 나타낸다)등 전제조건을 입력해야 한다. 이러한 조건에 대해 합리적인 가정을 어떻게 설정할 것인지에 대해 아래에 설명한다.

A-2-1. 원자력발전소와 사고 형태

전라남도의 영광 원전 1 호기(900MW)와 부산광역시 고리 원전 1 호기(556MW)를 대상으로 계산했다. 사고유형으로는, 대사고가 후쿠시마 제 1 원전 사고의 방출량에 가까운 PWR4 형, 거대사고에는 체르노빌 사고의 방출량에 가까운 PWR2 형으로 가정한다.

표 A-1 이 보여주는 대로, PWR-2 형의 주요 핵종의 방출량은, 체르노빌 사고의 방출량 추산 범위 내에 속하는 것이 대부분으로, 경제산업성(일본의 지식경제부, 표 A-1 각주 참조)의 설정값에 가깝고, 그것과 비교해 PWR-4 형의 방출량은 후쿠시마 사고의 추정값에 가깝다. 단, 이러한 설정값과 추정값에는 불확실성이 존재 한다.

A-2-2. 풍속·대기안정도·오염범위

풍속은 2m/s, 대기안정도는 D 형으로 한다. 이 조건 하에서 오염범위가 되는 장소는, 모델 상 원전으로부터 바람이 불어가는 방향에 해당되는 내각 15.2°(PWR2 의 경우)의 부채꼴 모양의 지역이 되고, 거리가 멀어짐에 따라서 오염도가 감소한다.

A-2-3. 체류기간과 오염지 거리

시나리오는 (1)피난 조치를 전혀 하지 않는 경우와, (2)피난을 하는 경우로 나뉜다. 후자가 보다 현실적이다.

피난을 하는 시나리오는, 세슘에 의한 지표오염이 148 만 베크렐/m²(40 퀴리/km²)¹⁶을 피난 대상지역으로 삼았다. 그 중 원전에서 바람이 불어가는 방향에 위치한 30km 이내의 지역은 평균 2 일 이내에 전원이 역외로 피난(체류기간 2 일)하고, 그 보다 먼 지역에서는 평균 15 일 이내에 전원이 피난(체류기간 15 일)한다고 가정한다. 더욱 멀리 떨어진 곳은 평상시 대로의 거주가 인정되는 것으로 가정 한다(체류기간 50 년=18,263 일). 이와 같은 설정은 이하와 같은 이유 때문이다.

체르노빌 사고 시와 후쿠시마 사고 시의 피난·대피 조치의 검토·결정 상황을 참고로 생각하면, 사고 발생으로부터 관할 장관에게 통보하여, 대책 본부가 설치되기 까지의 수시간의 지연이 생길 수 있다. 그리고 강제 피난이 필요하다는 정책적 판단을 내린 뒤, 버스 등의 교통 수단을 준비하는 일에 시간이 경과할 수 있다는 점, 실제 피난에서는 교통혼잡이 발생할 수 있다는 점 등이 고려되어 적절한 조건 하에서도 전원 피난을 완료하기까지 2 일 정도의 시간이 걸릴 것으로 생각된다. 이 경우, 주민은 연락 지연 등으로 인해 30%의 시간 동안은 평상시의 생활을 하고, 남은 70%의 시간을 차폐도가 높은 피난소에서 피난을 기다린다고 가정한다. 대형사고를 예상하고 평소에도 방재훈련이 잘 진행된 경우에는 체류시간이 더 짧아질 수 있지만, 한국의 경우 방재훈련을 하고 있는 원전의 비상계획구역은 8~10km 이므로 일상적으로 방재훈련이 잘 되고 있다고 가정하기 힘들다.

30km 보다 멀리 떨어진 곳은 한동안, 정부에 의해 ‘안전한 구역’이라고 지정되지만, 방사능 측정 등에 의해 오염의 실태가 명백해짐에 따라, 오염도가 높은 지역은 전원 피난 조치를 할 필요가 생길 것이다. 여기서는 세슘 148 만 베크렐/m²(40 퀴리/km²)을 넘는 오염치를 전원 피난의 대상으로 하고, 실태에 대해 확인하면서부터 피난의 정치적 결정, 피난지의 장소 확보, 교통 수단의 준비와 피난 완료까지는 2~3 주 정도(평균 15 일 정도)의 시간이 걸린다고 가정했다. 이 경우, 주민의 반은 평상시대로의 생활을 하지만,

¹⁶ 체르노빌 원전 사고 시 피난 기준이 된 방사능 오염수치

나머지 반은 차폐조건이 좋은 피난소에서 피난을 기다리고, 외출과 경제활동은 최소한으로 한다고 가정한다. 세슘 148 만 베크렐/m²의 제한기준은 구 소련정부의 강제 피난 방사능 오염기준이고, 피폭량으로 환산했을 경우 일본 정부가 피난 기준으로 한 20 미리시버트/년 에 가깝다¹⁷. 단, 이것도 국제 방사선 방호위원회(ICRP)와 세계보건기구(WHO)의 연간 피폭제한치(1 mSv/년)와 벨로루시공화국의 피난기준(15 퀴리/ km²)에 비하면 매우 높은 수준이다. 여기서는, 피난 대상을 넓히면 거주 금지 지역이 급격히 확대되므로, 정책적인 판단에 의해 이 범위로 제한한다. 이보다 더 먼 오염지역의 주민은 예전과 같은 상태로 거주를 계속하는 것으로 상정한다.

A-2-3. 지면 차폐계수

SEO 코드의 가정에서는, 방사능구름에 의한 피폭은 거의 막을 수 없다(사고 발생으로부터 주민에게 실태가 알려져 콘크리트로 지어진 건물에 대피하기까지 수시간이 경과하기 때문). 그러나 지면에 가라앉은 방사성 물질로부터의 피폭은 건물에 의해 어느 정도 차폐 가능한 것으로 가정하고 있다. 이 차폐계수에 관한 가정은, 일본의 공식 자료를 바탕으로 설정했다. 표 A-2 의 저감계수에 의해, 평균적인 생활 패턴과 건축구조가 다른 주택의 비율을 사용해서, 아래와 같이 차폐계수를 0.37 로 설정했다.

표 A-2 : 가라앉은 방사성 물질의 감마선에 의한 피폭의 저감계수

장소	저감계수
이상적인 평평하고 미끄러운 면 위 1m(무한의 넓이)	1.00
통상의 토지의 조건 하에서 지면으로부터 1 m의 높이	0.70
단층 또는 2층 목조가옥	0.40
단층 또는 2층 벽돌로 만들어진 가옥	0.20
그 지하실	0.10 이하
각 층이 약 450~900 m ² 면적인 3~4 층 건물의 1 층 및 2 층	0.05
그 지하실	0.01
각 층의 면적이 약 900 m ² 이상인 다층 건축물 윗부분	0.01
그 지하실	0.005

출전 : 원자력안전위원회 『원자력시설 등의 방재대책에 대해서』

구체적으로는, 「사회생활기본조사 (1996 년도)」를 참고로, 평균적인 일본인의 시간 이용률을 재택시간 7 할, 통근 등의 외출시간 1 할, 재직·재학 등의 시간을 1 할로 상정한다. 재직·재학 등의 시간은 3 등분하고, 각각의 옥외, 재택과 같은 조건, 차폐조건이 좋은 콘크리트 건물 안에서 지낸다고 상정한다. 반면, 「주택·토지통계조사 (1998 년도)」에 기반하여, 주택의 구조를 조사해 비율을 명백히 했다. (표 A-3) 건물의 피폭저감계수는 표 A-2 를 참고로 목조건축 0.4, 독채·단층연립주택 비목조 0.2, 공동주택비목조 1~2 층 0.05, 공동주택비목조 3 층이상 0.01 로 한다. 이것은 옥내에 방사성 물질이 침입하지 않은 상황에 기반한 가상적인 값이므로 과소평가로 이어질 우려가 있지만, 보수적인 수치로서 그대로 사용한다¹⁸. 저감계수를 가중평균하는 것에 의해, 지면차폐계수 0.3767 을 도출했지만, 소수 제 3 자리 이하를 버려 0.37 로 한다.

또한 가정에 의하면, 30km 권내에 역외 피난을 기다리는 주민이 7 할의 시간을 차폐조건이 좋은 피난소(차폐계수 0.01)에서 지내기 때문에 지면차폐계수는 약 0.12 이고, 148 만 베크렐/m² 이상의 바람이 불어가는 방향 오염지역에서 역외 피난을 기다리는 주민의 반이 차폐조건이 좋은 건물에서 지내도록

¹⁷ IAEA-TECDOC-1162 의 세슘 137 환산계수 2.1E-06[(μSV/h)/(Bq/m²)]에 따르면 3.1μSV/h 에 상당한다.

¹⁸ 체르노빌 주변에서의 실측값은 이것보다 높고, 건물 종류별의 데이터는 없지만, 옥내와 옥외의 방사선량의 비는 13 개의 지점에서 0.25-0.72, 단순평균은 0.47 이다. (Malko 1998)

주의하므로, 같은 계산에 의하면 지면차폐계수는 약 0.19 이 된다.

표 A-3 : 주택 구조 별 비율 (1998 년도) 및 피폭저감계수

	독채 · 단층연립주택 목조	독채 · 단층연립주택 비목조	공동주택 비목조 1~2 층	공동주택 비목조 3 층이상	합계 및 가중평균
호 수 (천 채) (백분율)	28275 (64)	2230 (5)	4255 (10)	9162 (21)	43922 (100)
피폭저감계수	0.4	0.2	0.05	0.01	0.3767

$$\begin{aligned}
 & \text{주택 저감계수} \times \text{재택시간} + \text{무차폐 조건} \times \text{외출시간} + \text{재직재학 시 저감계수} \times \text{재직} \cdot \text{재택시간} \\
 & (0.4 \times 0.64 + 0.2 \times 0.05 + 0.05 \times 0.10 + 0.01 \times 0.21) \times 0.7 + 1.0 \times 0.1 \\
 & + \left[1.0 \times \frac{1}{3} + (0.4 \times 0.64 + 0.2 \times 0.05 + 0.05 \times 0.10 + 0.01 \times 0.21) \times \frac{1}{3} + 0.01 \times \frac{1}{3} \right] \times 0.2 \\
 & \approx 0.3767
 \end{aligned}$$

A-3. 농작물 · 축산물의 폐기, 농업의 방지

SEO 코드에서는, 내부피폭의 추계에는 사고 시에 흡입한 방사성 물질로부터의 피폭을 사용하고, 식물 섭취에 의한 피폭량은 사고 후의 대응에 의해 크게 변화할 수 있기 때문에 계산이 난해 하므로 제외했다. 이는 내부피폭에 관해 명백한 과소평가에 이어지는 것이지만, 정합성을 얻기 위해서는, 농작물에 대해 엄격한 방사능 기준을 상정할 필요가 있다(A-8).

A-4. 피폭과 건강피해의 관계

A-4-1. 급성장애와 급성사망

SEO 코드의 초기설정에 따라, 급성장애의 견적은 단기선량(당초 7 일간의 선량과, 이후 23 일간의 선량의 반을 더한 것)에 기반해서, 이하의 함수에 의해 실시한다.

$$L(D) = \frac{1}{1 + \left(\frac{D_1}{D}\right)^a}$$

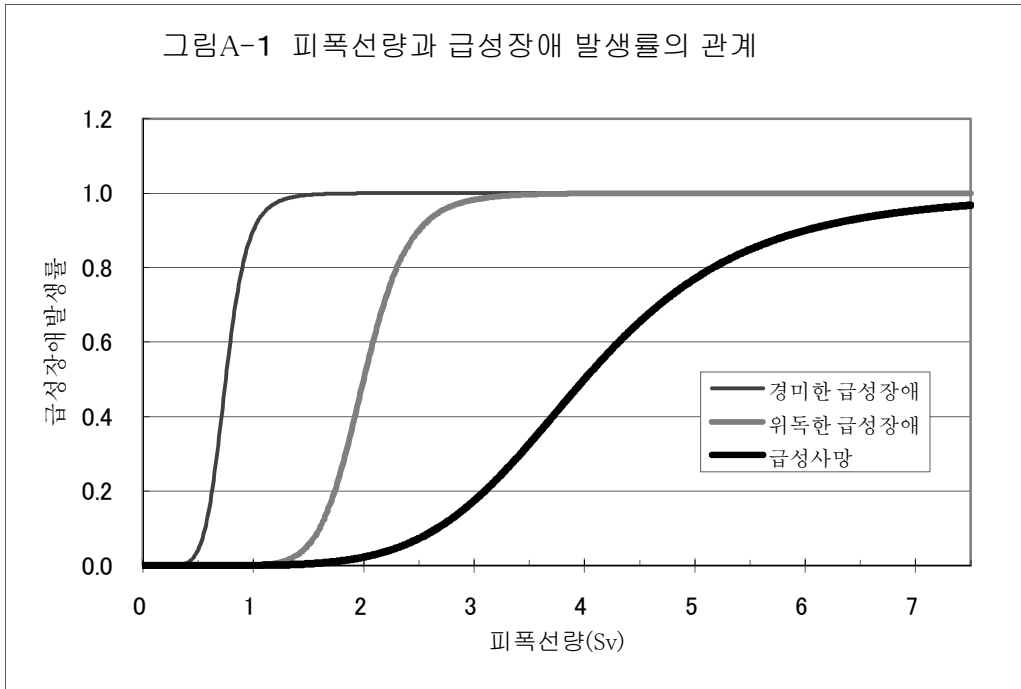
단, D 는 단기선량, D1 은 반수치사선량, a 는 매개변수이다. 매개변수 a 를 구하기 위해서, ICRP(1991) 등을 참고로, 경미한 급성 병(두통 · 권태감 등의 경미한 자각증상을 포함하고, 검사와 간단한 치료를 필요로 하는 것) , 위독한 급성병(구토 · 설사 등의 소화기계질환, 백혈구감소 등의 혈액이상, 방사선 화상 · 탈모 등의 증상을 보이고, 입원을 필요로 하는 것) , 급성사망 (위독한 급성병에 의한 치사) 의 선량과 발생률의 관계를 표 A-4 와 같이 상정한다.

표 A-4 : 피폭선량과 급성장애 발생률의 관계

발생률	경미한	위독한	급성사망
	급성장애	급성장애	
50% 발병 · 치사선량(Sv)	0.75	2.00	4.00
90% 발병 · 치사선량(Sv)	1.00	2.50	6.00

매개변수 a	7.6377	9.8467	5.4190
--------	--------	--------	--------

이것을 이해하기 쉽게 나타낸 것이 그림 A-1이다. 경미한 급성병은 0.25 시버트 전후로 발생하기 시작해, 급격히 곡선이 올라가서 1 시버트 정도에 대부분의 사람이 검사와 치료를 필요로 한다. 1.5 시버트를 넘을 쯤에, 위독한 급성장애를 보이는 사람이 나타나기 시작해, 2.5 시버트에서는 거의 대부분의 사람들에게 이러한 급성장애가 보인다. 이 정도의 선량에도 일부는 사망에 이르는데 4 시버트를 넘으면 반이 사망하고, 6 시버트에서는 9 할이 사망하는 것으로 상정한다.



A-4-2 만발성 장애 : 발암과 유전적 영향

만발성 장애로써, 발암과 유전적 영향을 들수 있다. (태내 피폭의 선천적 영향에 대해서는 생략한다) 이것들은, 저선량 피폭의 직선적 영향이 직선적이라는 가정 하에서, 장기 집단 피폭선량(50 년간의 적산선량)에 기반해서 계산한다. ICRP(1991)을 참고로 리스크 계수를 정한다. 즉 1 만명 시버트의 피폭에 의해서, 500 명이 암으로 사망하고 비치사성 암도 1235 건(그 중 998 건은 치유율이 높은 피부암)발생하며, 위독한 유전적 영향이 100 건 발생하는 것으로 한다¹⁹. ICRP 암 사망 리스크 수는 본문의 표 1에 표시한 독일의 연구에도 이용되고 있다. 또한, 세오는 ICRP의 암사망 리스크 계수(500명/만명 Sv)를 과소평가로 보고, 본래의 SEO 코드에서는 세오가 가장 적절하다고 보는 고프만의 계수(4000명/만명 Sv)를 사용하고 있다.

이것에 따르면, 암사망·발암 추계값은 약 8 배로 증가하게 된다. 만발성 장애의 계수는 급성사망하지 않은 인구에게만 적용하고, 급성사망과 암사망은 중복되지 않는다.

A-4-3. 피폭계산 상의 주의사항

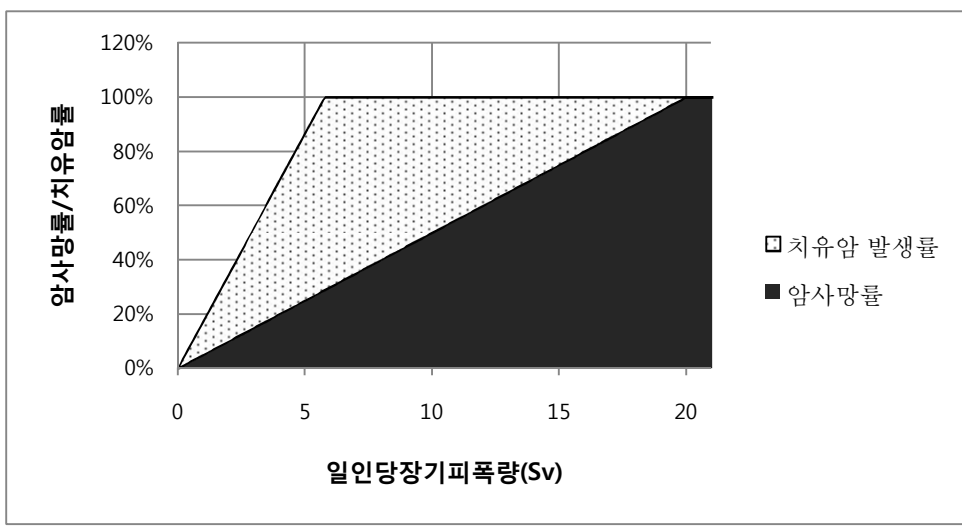
¹⁹ ICRP(1991)p.157 및 p.160을 참조. 「손해」로 나타낸 요약표를 사용한 것이 아니므로 주의. 비치사성 암은 ICRP가 제안하는 암 치사 비율(k)을 사용해 필자 계산
(비치사 암 수=치사 암 수×(1-k)+k)

사망수·발병수의 계산에 있어서, 6 개의 카테고리(급성사망·위독한 급성장애·암사망·비치사성 발암·유전적 영향)를 각각 계산한다. 피난대상이 되는 구역의 피난 시나리오에 의해 지면차폐도가 상이하므로, 이는 따로 계산했다.

급성장애에 대해서는, 거리에 따라서 정해지는 주민의 피폭량으로부터 급성 장애 발생률이 정해지고, 이것을 바람이 부는 방향에 위치한 시, 읍, 면의 인구에 곱하는 것으로 피해자수를 구할 수 있다. 만성장애에 대해서는, 피폭량과 인구를 곱한 값인 집단 피폭량에 리스크 계수를 곱하는 것으로 피해자 수를 구할 수 있다. 소수점 이하는 버렸다. 이런 피해는 시읍면을 단위로 파악했다. 인구는 시·군청 소재지에 집중되어 있는 것으로 가정했다.

방사능 피폭량 수치가 너무 높아 암사망자수와 치유가능한 암환자수의 합계가 급성사망을 제외한 잔존 인구수를 넘었을 경우(1 명당 장기피폭²⁰ 약 5.8Sv 이상), 잔존 인구와 계산상의 암사망수와의 차이를 치유암수로 한다.

그림 A-2: 1 인당 장기 피폭량과 암사망률 및 치유암발생율의 관계



A-5. 손해액에 대한 개념

본 보고서에서 다루는 것은, 금액으로 평가된 인명피해, 피해자가 부담하는 피난 비용, 피난자와 경제 활동이 제한된 사람이 입는 소득손실 및 그 합계로 이루어지는 피해액(사회적 비용)이다.

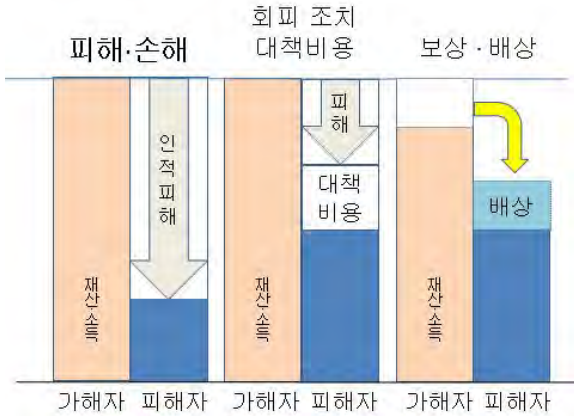
여기서 주의해야 할 점은, 피해액과 배상액은 금액적으로 다를뿐만 아니라, 본질적으로 다르다는 점이다. 배상이라는 것은, 가해자가 피해자에게 금전을 지급하는 것으로, 피해자가 입은 피해의 일부를 가해자에게 부담시키는(즉 피해를 가해자에게 이전한다) 소득의 재분배 행위이다. 그 때문에 배상이 되어도, 사회전체의 피해가 감소하는 것은 아니며, 또한 배상액이 피해의 전체를 의미하는 것도 아니다.

반면, 회피 조치(정부에 의한 강제 피난과 농업 금지 조치)는 일정한 경제적 희생을 감수함으로써 인명피해를 억제하는 조치이다. 따라서, 피난과 농업 금지에 의한 피해액보다 인명피해의 감소액이 큰 경우에는 그러한 회피 조치는 비용편익 기준에 기반해서 경제적으로 정당화 될 수 있다. 이 때 회피조치에 의해서 피난자와 사업자·근로자에게 여러가지 부담이 발생하지만, 이러한 회피 조치의 비용이 가해자에 의해서 배상되느냐 안되느냐에 따라 회피조치를 이행한 후의 피해 총액이 변화하지 않는다.

본 보고서가 대상으로 하는 것은 어디까지나 배상액이 아닌 피해액이다.

²⁰ 한 달 이상의 누적 피폭량

그림 A-3: 피해와 배상의 차이 개념도



A-6. 인명피해의 금전평가

A-4 의 계산에서 얻어진 사망자수와 환자수로 인명피해의 총액을 구한다. 피해의 각 유형은 피해단가를 설정했다.

경미한 급성 장애는 두통, 권태감등의 경미한 자각증상을 포함하고, 검사나 간단한 조치를 요하는 증세이다. 이에 해당하는 의료통계는 얻을 수 없으므로, 본 보고서에서는 한 건당 치료비를 낮게 추산하여 30 만원으로 설정한다.

위독한 급성장애에 해당하는 것은[소화기계 질환]과[혈액 및 조혈기 질환, 면역기구 장애]로 설정한다(표 A-5). 치료기간을 1 년 이내로 가정하면, 전자의 단가는 157.9 만원/명, 후자의 단가는 311.0 만원/명이 된다. 이 두가지의 발생 건수를 1 대 1 로 가정하면, 단순평균으로 급성 장애의 단가를 234.4 만원이 된다.

급성사망에 관해서는 신영철(2007)의 통계적 생명가치(11.28 억원~18.33 억원)의 중간치인 14.4 억원을, 2010 년도 수치로 조정한 것(16.3 억원)을 사용한다(조정 전 $P_{2010}/P_{2004}=1.131$, 조정 후 $14.4 \times 1.131 \approx 16.3$). 치료비는 이 수치와 비교해 극히 일부에 불과하므로 가산하여도 소수점 두번째 자리정도로 반올림한 수치는 변하지 않는다.

표 A-5 방사선에 의한 위독한 급성 장애의 치료비(입원)

2010 년	치료실인원수	연간치료비 (천원)	일 인당 (만원/명)
소화기계 질환	574,458	906,835,357	157.9
혈액 및 조혈기질환또는 면역기구의 장애	17,932	55,775,810	311.0

출처 : KOSIS 「298 질병분류별연령별급여현황(총계)」

발암과 위독한 급성장애는 입원이 필요하다. 암에 관한 비용은 일반적으로 암 발생 초기가 가장 높고, 지속기는 초기보다 저감 되고, 말기에 다시 증가하는 [U 자형]을 나타낸다고 알려져 있다. 김소영 외(2009)의 연구는 암의 치료비를 초기(암 진단 후 1 년까지)와 지속기(2 년째부터)로 구분하고, 2006 년도를 기준으로 보정 후, 환자 한 명당 치료비를 나타내고 있다.

암은 위암, 간암, 유방암, 폐암 등으로 분류되는데 여기서는 가장 발생 빈도가 높은 폐암을 이용한다. 그에 따르면 초기에는 1,955.3 만원, 지속기에는 619.8 만원이 1 인 당의 치료비가 된다. 말기의 치료비는

이지전 외(2005)의 연구 결과를 참고 하고 있다. 2002 년의 사망자를 모집단으로 하여 그 중 암으로 사망한 사람의 사망 전 1 년간의 의료비를 분석했다. 그 결과 폐암의 말기 치료비 남녀 평균은 1,068.7 만원이 된다. 이 것을 GDP 디플레이터 비교에 의해 물가 조정 후, 2010 년도 수치로 조정하여 합계한 것을 폐암 1 건의 치료비로 하고, 이 수치(4,168.9 만원/명)를 가지고 모든 암사망 1 건 당 치료비를 대표했다(1,955.3+ 619.8)×1.125+ 1068×1.207=4,186.9) 또, 암 사망의 통계적 생명가치(VSL)로 4.1 억원/명을 이용하였다. 이는 이용진 외(2004)에 의한 중앙 추정치 3.6 억원을 GDP 디플레이터 비율을 사용하여 2010 년 수치로 조정한 것이다. (P2010/P2004=1.131, 3.6×1.131≐4.07). 치료비와 VSL 의 합계인 4.5 억원을 암사망의 피해 단가로 했다.

표 A-6 방사선 피폭에 의한 1 만명 Sv 당 발암 리스크와 비치사성 암의 비율

	합계(건)	치사 비율	치사(건)	비치사(건)	비치사 비율
식도	15	0.93	14.0	1.1	0.08%
위	79	0.83	65.6	13.4	1.03%
결장	65	0.48	31.2	33.8	2.60%
간	30	0.95	28.5	1.5	0.12%
폐	114	0.89	101.5	12.5	0.96%
췌	7	0.45	3.2	3.9	0.30%
피부	1000	0.002	2.0	998.0	76.72%
유방	112	0.29	32.5	79.5	6.11%
난소	11	0.57	6.3	4.7	0.36%
방광	43	0.29	12.5	30.5	2.34%
갑상선	33	0.07	2.3	30.7	2.36%
골수	42	0.67	28.1	13.9	1.07%
기타	144	0.49	70.6	73.4	5.64%
생식기 (유전성)	20	0.80	16.0	4.0	0.31%
합계	1715		414.1	1300.9	100.00%

출처 : ICRP(2007)[일본어판], p.37 필자 계산

표 A-7 피부암 치료비 (입원)

2010 년	치료실인원수	연간치료비 (천원)	한 명당 (만원/명)
피부의 악성 흑색증	887	5,478,808	617.7
기타 피부의 악성 종양	2164	6,090,357	281.4
계	3051	11,569,165	379.2

출처 : KOSIS 「298 질병분류별 연령별급여현황(총계)」

치유가능한 암은 ICRP(2007)에 의하면 76.7%에 해당하는 비교적 쉽게 치료 가능한 피부암이다(표 A-6). 국가통계포털(KOSIS)의 [298 질병분류별 연령별급여현황(총계)]에 따르면 피부암에 해당되는 것은 [피부의 악성흑색증]및 [기타 피부의 악성 종양] 이다(표 A-7). 피부암은 1 년이내에 치유 가능한 것으로 가정하고, 입원환자의 연간 치료비를 치료 실인원수로 나눈 수치(379.2 만원/명)를 피부암의 치료비로 한다. 따라서 피부암(76.7%)에 이 수치를 적용하고, 피부암 이외의(23.3%)의 치료비로는 위에서 언급한 폐암의 초기, 지속기의 합계 값(2,897.0)을 이용하여 가중평균을 구하면 962.2 만원/명이 된다(379.2×0.767+ 2897.0×1.125×0.233=965.8). 이 수치를 비 치사성 암의 피해액으로 한다.

다중 다양한 유전적 장애를 단순한 병명으로 대표하는 것은 어렵다. 선천적 질환으로는 다운 증후군, 수두증, 무뇌증 등이 있지만 거기에만 국한되지 않는다. 본 보고서에서는 KOSIS 의 질병 21 대분류의 [선천성기형, 변형 또는 염색체 이상(Q00-Q96)]의 입원비를 대입하여, 유전적 장애의 단가를 330.4 만원/명으로 산출했다. (109,515,909[천원]÷33,150[명]). 이 설정치를 요약한 것이 표 A-8 이다. 통계적 생명가치로서 급성사망 보다도 만발성 암을 낮은 수치로 잡고 있는 것은, 최근의 VSL 연구의

결과와도 일치한다(타케우치 2002). 이는 즉시 사망에 이르는 병과 비교하여 암에 의한 사망은 수년~수십년후에 발생하는 것도 있으므로 그에 따른 기대 여명 손실(남은 생애의 손실)이나 심리적 공포감이 적기 때문이라고 생각 할 수 있다.

표 A-8 인명 피해의 개념표

인명피해	단가(가정)	인명피해	단가(가정)
경미한 급성장애	30 만원/명	비치사성 암	962.2 만원/명
위독한 급성장애	234.4 만원/명	암 사망	4.5 억원/명
급성 사망	16.3 억원/명	유전적 장애	330.4 만원/명

주: 부록 A 참조

참고로, 朴勝俊(2005)의 일본에 인명피해에 관한 설정을 표 A-5-1 에서 알수 있다. 급성 사망, 암사망에 적용하고 있는 확률적 생명가치에는 유럽의 ExternE 프로젝트에서 채용하고 있는 360 만유로(2000 년 가격)를 적용하고 있다(Friedrich et al. 2001 p. 88). 이 것은 표 1 에서 나타낸 독일의 평가와도 대응하는 수치이다. 이 값을 1 유로=약 135 엔으로 환산하여 4.5 억엔으로 설정했다. 당시(2003 년) 분석에서는 급성사망과 암사망의 VSL 을 구별하지 않았다. 방사능 피폭이 일어났지만 사망하지 않는 질환에 대해서 일본에서는 손실된 여명가치 등에 관해 공신력있는 연구를 찾기 어렵기 때문에, 후생노동성의 데이터베이스에 근거 하여 산출한 입원, 치료 비용을 계산에 넣었다.

표 A-5-1 : 1 인당 인명피해액(일본의 경우 설정값)

경미한 급성장애	30,000 엔/명	비치사성 암	196.1 만엔/명
위독한 급성장애	74.0 만엔/명	암 사망	45,164.7 만엔/명
급성 사망	45,074.0 만엔/명	유전적 장애	75.5 만엔/명

※참고: 일본의 분석에 있어서는, 총 죽음과 급성죽음의 VSL 은 같다고 가정했다.

출처 : 朴勝俊 (2003,2005)

A-7. 물적손실의 기본적인 사고방식

물적손실의 계산에서 다루는 것은, 피난하는 피해자가 지출하는 금전적비용, 회피조치에 따라 생기는 소득손실 및 그 총액의 손실(사회적비용)이다.

건강피해, 의료비용 등은 인명피해의 계산에서 기술 했기 때문에 여기서는 포함시키지 않는다. 취급하는 물적손해의 범위는, 사고원전의 피폭지역에 대한 정량화가 용이한 것에 한하며, 지역 외 과급효과(사람의 이동, 식료 등의 수요증가, 금융자산 채투자 등에 의한 것), 생태계 피해, 풍평(소문)에 의한 피해에 대한 것은 제외한다. 또한, 일본, 러시아 등 주변국에 끼치는 피해도 고려하지 않는다.

손해계산의 시간적 범위는 50년이지만, 모델 상에서는 경제성장을 배제하고 각 연도의 경제지표는 기준년 수준으로 일정하다고 가정한다. 정부의 피난지시와 농업금지조치가 없는 경우 심하게 오염 된 지역이라도 지금과 같은 경제활동이 이루어진다는 극단적인 가정을 둔다. 그렇기에, 물적손해가 발생하는 것은 피난이 실시 되는 시나리오에 한하게 된다.

원전에서부터 바람이 부는 방향에 위치한 지역의 세슘 148만 베크렐/m² (40퀴리/km²) 가 넘는 오염지역(영광 원전의 거대 사고의 경우, 원전으로부터 197km이내)에서는 거주민 전원이 강제이주 하고, 50년간에

걸쳐 모든 경제활동이 멈춘다고 가정한다.

또한, 인명피해 계산에서는 체내피폭을 제외하고 있기 때문에, 일관성을 유지하기 위해 오염지역에 대한 엄격한 농업제한을 전제로 할 필요가 있다. 여기서 세슘18.5萬만 베크렐/m² (5퀴리/km²) 에서는 농림업생산을 10년간에 걸쳐 완전히 금지한다고 가정한다. 이 오염농도는 작물의 방사성 물질오염에 의거한 일본의 농업기준²¹이 아닌, 토지오염에 의거한 우크라이나공화국의 기준을 참고했다. 더불어, 우크라이나공화국에서 91년 2월에 제정된 법률 「오염지역의 정의」에 따르면, 18.5만 베크렐/m²은 일시적으로 주민들의 피난이 이루어질뿐만 아니라, 식료품의 자급자족을 중지하고 외부로부터 비오염식품을 얻는 체제로 전환이 권장되는 기준에 해당한다. 또한, 18.5만~148만 베크렐/m²의 범위에 있는 농업금지지역에서도, 주민의 거주는 인정되므로 공업, 상업에 대해서는 사고 전과 동일하게 정상적인 업무가 가능한 것으로 가정한다.

인명피해 계산과 동일하게, 이와 같은 피해는 기초지자체 단위로 파악한다. 지자체의 위치정보는 관공서소재지의 북위동경(東經)에 대표되어 있으므로, 인구는 관공서소재지에 집중되어 있는 것으로 해석한다. 아래의 설명으로 알 수 있듯이, 각 시읍촌의 인구 및 경제지표는 기본적으로, 각 시읍촌의 도표, 데이터에 의해 쉽게 계산 가능하다.

A-8. 물적손해의 개념

취급하는 물적손해의 범위는 다음과 같다.

- ① 회피조치 실시비용
- ② 인적자본으로부터의 소득손실
- ③ 물적자본으로부터의 소득손실

어떠한 경우든 이중계산이 되지 않도록 하였다. 더욱이, 금융자산은 오염되지 않으므로 비오염지에 문제 없이 재투자된다고 생각하여, 손해계산으로부터 제외한다.

A-8-1. ① 회피조치의 실시비용

회피조치(피폭방지조치)의 비용에는, 긴급회피, 이주를 위해 필요한 일시적 비용 및 농업, 어업의 금지에 동반된 소득손실이 포함되었다. 오염제거활동(제염)은 상정 하기가 곤란하기 때문에 본 연구에서는 제외한다.

a) 피난·이주비용

이 것은 피난이 이루어지는 시나리오에서만 계상된다. 긴급피난, 이주를 위한 비용은사람의 이동을 위한 교통비, 일시적인 숙소, 거주를 위한 비용 및 이사비용이다. 긴급피난 또는 이주는 2주일까지 재해지역 외

²¹ 일본에서는 2012년 2월 28일, 작년도에 수확된 쌀의 세슘에 의한 오염레벨이 500 베크렐/kg(잠정 기준치)을 넘는 구역에 농작을 제한 하고, 100 베크렐/kg(신 기준치)을 넘는 구역에서는 전 푸대를 검사 하는 등 조건 부 농작을 허가했다.

에 위치한 호텔 등의 숙박시설에, 그 이후에는 일반적인 임대주택에 거주하는 것으로 생각한다. 이주자는 1년間に 걸쳐 취업이 곤란한 상황으로 상정하기 때문에 그 사이에 매달 거주비용(집세)이 지원되는 것으로 한다. 다음과 같이 일인당 비용을 정하여, 대상인원수, 일수를 곱하는 것으로 계산한다.

- 가) 이동을 위한 교통비 : 1인당 10만원
- 나) 일시적 숙박비용 : 1일 1인당 10만원×14일 = 140만원/명
- 다) 이사비용 : 1인당 200만원
- 라) 상기합계 : 350만원/명

b) 농업금지에 따른 소득손실

각 지자체의 농림업부가가치액을 농업 소득으로 본다. 이 중 절반을 노동에 의한 소득, 나머지 반이 토지에 의한 소득이라고 가정한다. 지표의 세습오염이 18.5만 베크렐/m³ (5퀴리) 를 넘는 농업금지는 10년만에 걸쳐 이루어진다고 본다. 노동자는 별도의 일을 찾게되면 기존의 70% 소득을 얻는 것으로 가정해서 노동에 의한 소득의 30%는 없어진다. 한편, 토지에 의한 소득은 전부가 없어진다고 가정한다. 따라서, 농업금지대상으로 지정된 지역의 농림부가가치액의 65%를 10배 (10년분) 가 피해액이 된다.

c) 어업금지에 따른 손실

대규모 원자력 발전소 사고가 발생했을 경우, 주변해역의 어류에도 방사성 물질의 영향이 미친다. 일본의 후쿠시마현(福島縣) 어업협동조합은 사고후 1년 이상이 경과한 2012년 4월이후에도 현(縣) 수준으로 연안 어업을 자체적으로 하지 않고 있다. 또, 미야기현(宮城縣)이나 이바라기현(茨城縣)등 주변현(縣)에 있어서도, 어업활동에 큰 손해가 생기고 있다.

본 분석에서는, 원자력 발전에 가까운 해역의 연안 어업이 1년만에 걸쳐 정지되는 것으로 설정하지만 이는 과소평가일 수 있다. 바다에는 해류로 방사성 물질이 이동하고 어류 역시 이동할 수 있기 때문에 직접 방사성 물질의 영향을 받은 해역만 피해를 입는다고 가정하는 것은 적절하지 않다. 따라서 어업피해를 한국에 적용할 때는 ‘도’단위에서 연안 어업 정지가 행해지는 것으로 가정한다.

원양어업은 영향을 받지 않는 것이라고 생각한다. 금지 기간이 긴 농업의 경우와는 달리, 어업의 경우에는 어업 정지 기간 동안 다른 수입원을 얻을 수 없다고 가정한다.

구체적으로는, 영광 원자력 발전소 사고의 경우에는 전라남도(全羅南道), 전라북도(全羅北道)에서, 고리 원자력 발전소 사고의 경우에는 경상남도(慶尙南道)에서, 「연·근해어업」 및 「천해 양식」에 대해서 각각 1년분의 어업부가가치액수가 상실되는 것으로 계산한다. 2011년의 해당어업부가가치액수는, 전라북도가 677억원, 전라남도가 7,087억원, 경상남도가 4,415억원이며, 이것이 1년분의 손해액이 된다.

A-8-2. ② 인적자본으로부터의 소득손실

인적자본의 손실은 회피, 피난, 이주 및 치안 때문에 일정기간취업이 불가능한 점, 및 일부 사람들의 이직에 따른 임금저하에서 오는 소득손실이다. 전원이 강제이주 당하는 세습 148만 베크렐/m² 이상의 오염지에 대해서는, 사람들이 이주처에서 비교적 빠르게 재취직하지만 임금이 30%정도 하락하는 것으로 가정한다. 10년이 경과하면 재숙련, 승진, 세대교체 등에 의하여 예전의 소득수준으로 회복한다고 상정한다. 인적자본으로부터의 소득은 GRDP(지역총생산액)의 60%로 가정한다. 따라서, 피난대상지역의 GRDP의 $0.6 \times 0.3 = 18\%$ 의 10년분이 이 손실에 해당한다.

또한, 여기서의 피난자에는 농업종사자도 포함되어 있기에, 농업금지에 따른 소득손실과의 중복은 없다(피난지역의 농업손해를 0으로 설정한다). 또한, 재취업처인 타 지역에서의 소득증가 등은 중복계산을 피하기 위해서 제외하고 있다.

A-8-3. ③ 물적자본으로부터의 소득손실

피난이 이루어지는 시나리오에서만, 이러한 손실이 발생하는 것으로 한다. 토지와 생산설비 등의 물적자본의 손해는, 그 자본으로부터 장래에 발생할 소득손실과, 현시점에서의 자본가치 손실의 두 가지 측면으로 파악하는 것이 가능하다.

이론적으로는 자본의 장래소득의 현재할인가치가 자본가치와 일치하는 것으로 하여, 양쪽을 계산하면 이중계산이 된다. 여기서는 통계이용의 편의를 위해 그 자본가치로부터 얻을 예정이었던 소득의 손실 면에서 손해를 계상하는 방법을 이용한다. 소유주에 대해서도 통계상은 귀속계산에 의해 차입자와 동일하게 집세가 발생하는 것으로 해석되어, GRDP계산에 포함되어 있기 때문에 거주서비스를 제공하는 「생산설비」로써 일괄하여 취급한다.

전원이 강제적으로 이주 하는 재해지에 대해서는, 항구적으로 경제활동이 금지되는 것으로 볼 수 있다. 본 계산은 50년의 시간범위에 따라 이루어지므로, 구역 내의 기업소득 및 가계 집세수입이 50년분 줄어드는 것으로 계산한다. 물적 자본으로부터의 소득은 GRDP의 30%로 가정한다. 그렇기에, 그 50년분의 합계가 손해액이 된다.

A-8-4. 그 외의 기존자산의 손실취급에 관하여

전 항목에서 알 수 있듯이, 피난이 강제로 집행되는 시나리오에 국한하여 토지, 생산, 설비, 주택 등의 물적손해가 소득손실로서 파악되기에, 기존자산의 손실로 파악되는 대상은 제한적이다. 운반 가능한 소비재, 영구재 등은 (다소 느슨한 가정이지만) 오염지역 외로 옮겨, 세정 등의 조치를 취하여 지금까지와 마찬가지로 이용가능한 것으로 간주하여, 손해(세척비용을 포함)에서 제외한다. 또한, 운반이 불가능한 영구재는 물적자본의 일부로서 간주하여, A-7-3의 계산에 이미 포함된 것으로 본다. 또한, 금융자산은 오염되지 않

으며 어떠한 손실도 입지 않기에 계산의 대상이 되지 않는다 (금융자산은 비오염지에 채투자되어, 동일한 금액의 자본소득을 가져온다고 해석하면 된다) .

따라서, 여기서 특별히 따로 추가해야 하는 항목은 없다. 물론, 이러한 조치로 인해 손해액이 일정부분 과소평가 될 수 있다.

A-9. 계산방법

물적손해의 계산은, 지방자치단체를 단위로 한 데이터를 이용한 방법으로 이루어진다. 사고원전의 피폭범위(바람에 따른 확산에 의한) 15.2도의 각도에 들어 가는 부채꼴형의 지역 내에 포함되어, 금지조치 대상으로 지정된 지자체를 단위로 하여, 그 안에서 균일한 피해가 발생한다고 가정한 뒤, 각 지자체의 일정기간의 소득감소액 등을 계산한다. 계산을 간략화 하기 위해, 지자체의 위치는 관공서 소재지에 의해 대표되기 때문에, 실제로는 30km 및 200km의 경계는 깔끔하게 호를 그리지는 않는다. 다시 말해, 지자체의 면적의 대부분이 오염지역의 경계 안에 포함되지 않는다 해도, 관공서소재지가 포함된다면 지자체 전체가 오염지역에 포함된다고 간주하여 계산한다. 이것은 반대의 관계도 성립하여, 일부에서는 과대평가 될 가능성이 있지만, 또한 과소평가 될 가능성이 있기에, 전체적인 결과에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다. 이는 인명 피해 계산에서도 동일하다.

피해가 장기간에 걸쳐 발생 하므로, 장애에 발생 할 소득의 손실에서 예상 가능한 손해는 현재의 할인가치를 계산하는 것으로 포함시켰다(A-11).

A-10. 데이터

계산에 이용된 데이터는 2010년도 한국의 기초지자체 단위(230곳)의 데이터이지만, 원전근교의 시, 군, 구에서는 경우에 따라 읍, 면 단위까지 나누었다²². 자료의 입수 문제로 인해 전후년도의 데이터도 필요에 따라 적극적으로 이용했다.

지자체의 위치는 계산상의 편의를 위해, 관공서의 북위, 동경에 의해 점으로 표시하여, 그곳에 모든 주민이 거주하는 것으로 간주한다. 지자체의 북위, 동경은 Web상의 지도 데이터베이스²³를 이용하여 정하였다. 또한, 원전의 북위, 동경, 전기출력은 Global Energy Observatory²⁴의 홈페이지에 의하였다.

경제데이터는, 한국정부의 KOSIS국가통계포털에 의한 e-지방지표²⁵를 이용했다

사용한 계열은 다음과 같다 :

- ① 주민등록인구(최신 2010년)

²² 영광 원자력 발전소에서 가까운 영광군, 고창군, 장성군은 읍, 면으로 세분화 하였다.

²³ Mashupsoft.com (<http://www.mashupsoft.com/>)

²⁴ Global Energy Observatory (<http://globalenergyobservatory.org>)

²⁵ e-지방지표(<http://kosis.kr/wnsearch/totalSearch.jsp>)

② 국내총생산액 (GRDP, 최신 2009년)

농림업의 부가가치액은 e-국가지표²⁶의 수치를 이용했다. 한국의 근년 노동 분배율이 약 60%인것에 근하여, ②의 GDRP중 60%가 노동생산액, 나머지 중 30%가 토지에 근한 물적자본 생산액, 마지막 10%가 금융자본 생산액이라고 가정한다. GDRP는 시, 도 단위로 밖에 알수 없기 때문에 2009년의 인구에 근거하여 배분하였다. 또, 농림업 부가가치액은 지자체별의 데이터가 입수 곤란한 관계로 전국의 추계치(24조 4160억원)를 농경지면적에 따라 배분했다. 원전과 가까운 자치체에 대해서는 한번 더 지자체 면적에 따라 배분하였다.

어업부가가치에 관해서는, 통계청 「2011년 어업생산 동향조사 결과(잠정)」의, 전라북도, 전라남도, 경상남도의 연근해 및 양식 어업생산액(2011년의 값)을 이용하고, 이것에 e-나라지표부터 얻을 수 있었던 부가가치대 생산액비율(2011년은 약 41%)을 곱해서 계산했다.

A-11. 할인계산

할인을 제로의 경우와 3%의 경우를 비교한다²⁷.

물적손해에 대해서는 다음의 식1, 식2를 바탕으로, 10년간에 걸친 손해가 0.8786배, 50년간에 걸친 손해가 0.5300배로 정하였다.

$$\frac{\sum_{t=0}^9 \left(\frac{1}{1+r}\right)^t}{\sum_{t=0}^9 1} \approx 0.8786$$

(식 1)

$$\frac{\sum_{t=0}^{49} \left(\frac{1}{1+r}\right)^t}{\sum_{t=0}^{49} 1} \approx 0.5300$$

(식 2)

인명피해에서 할인이 필요한 것은 만발성 장애에 동반하는 비용이지만, SEO코드는 결과를 시계열적으로 나타내는 것이 아니므로 아래와 같은 가정을 바탕으로, 할인 후와 할인이 없는 손해액 비율을 구하였다. 발암, 암 사망은 사고 후 50년간에 걸쳐 발생하지만, 연마다 직선적으로 증가하여, 25년째에는 정점에 다다르고, 50년 후에는 제로가 되는 것으로 상정하여, 매년 암 발생 확률에 할인을 적용하는 전후의 비율을 아래에 나타낸 식3을 이용하여 0.4997로 구하였다. 또한, 유전적 장애는 50년간에 걸쳐, 시간에 비례하여 증가하는 것으로 하여, 식4를 이용하여 0.4015로 구하였다.

²⁶ e-나라지표, 통계명은 농림업생산액및 GDP 대비부가가치비중

²⁷ Friedrich et al. (2001)에 의하면 0%와 3%의 할인으로도 충분하다.

$$\frac{\sum_{t=0}^{49} \left(1 - \frac{|t-25|}{25}\right) \left(\frac{1}{1+r}\right)^t}{\sum_{t=0}^{49} \left(1 - \frac{|t-25|}{25}\right)} \approx 0.499$$

(식 3)

$$\frac{\sum_{t=0}^{49} t \left(\frac{1}{1+r}\right)^t}{\sum_{t=0}^{49} t} \approx 0.4015$$

(식 4)

부록B : 사고유형 (세오·코이데1997)

PWR1 : 노심용융이 일어나, 녹은 노심이 원자로용기의 바닥에 떨어질 때, 그곳에 고여 있던 물과 격렬하게 반응하여 증기폭발을 일으킨다. 이 폭발에 의해 원자로용기 윗덮개가 떨어져나가, 미사일이 되어 격납용기에 충돌하여 그것을 파괴하고, 대량의 방사성 물질이 분출된다. 격납용기 스프레이 열제거장치는 고장.

PWR2 : 노심냉각장치가 고장을 일으켜 노심이 녹지만, 격납용기 스프레이와 열제거장치도 고장 나서 격납용기 내의 압력상승을 제어하는 것이 불가능하여, 결국에는 격납용기의 내압한도를 넘어서서 파열된다. 결국, 격납용기 안에 가득찬 대량의 방사성 물질이 환경에 방출된다.

PWR3 : 격납용기 열제거장치가 고장 나면, 과도한 압력에 의해 격납용기가 부서진다. 다만 노심냉각장치는 격납용기 파괴시점까지 작동하지만, 격납용기의 재순환 심프 내에 냉각재가 과열되어 끓어올라, 냉각재펌프가 공동현상 때문에 다운된다. 결국 노심용융이 진행되고, 방사성 물질이 환경에 방출된다. 따라서, 위에서 언급한 두 가지 경우보다, 방사성 물질 방출 지속시간은 훨씬 길다.

PWR4 : 노심 및 격납용기로의 냉각수 주입시점에서 노심냉각장치와 격납용기 스프레이장치도 고장 난다. 더불어 격납용기 격리장치도 고장 난다.

PWR5 : 위에서 언급한 것과 마찬가지로 노심냉각장치가 고장 났지만, 다른 점은 격납용기 스프레이 장치가 작동하여, 공기 중에 떠도는 방사능을 씻어 떨어뜨리는 것이 가능하다. 하지만 격납용기 격리장치가 고장 나서 큰 누출율로 방사성 물질이 환경으로 퍼진다.

PWR6 : 노심냉각장치의 고장으로, 노심은 용융되어 아래로 떨어진다. 격납용기 스프레이는 작동하지 않지만, 격납용기의 밀폐는, 콘크리트 바닥이 녹아내려 관통 될 때까지 유지된다. 방사성 물질은 지면의 아래에서 밖으로 누출된다.

PWR7 : PWR6와 마찬가지로, 격납용기 스프레이가 작동하여, 외부에 누출된 방사성 물질이 적은 상태로 끝난다.

PWR8 : Design Basis Accident의 대구경 배관의 손상을 모의 실험한 것, 다만 격납용기 격리장치가 설계대로 작동하지 않는다고 가정한다. 노심은 용융되지 않는다.

PWR9 : Design Basis Accident의 대구경 배관의 손상을 모의 실험한 것. 다시 말해, 우라늄 펠릿과 피복관 사이에 원래 있었던 방사성 물질만이, 격납용기 내로 새어나온다. 노심은 용융되지 않는다.

안전방호설비가 최저한도로 작동함에 따라, 노심과 격납용기의 냉각이 유지된다.

표 B-1: 방사성 물질 방출 비율(대표적 핵종만 표시)

Type	Xe-Kr	Org-I	I-Br	Cs-Rb	Te	Ba-Sr	Ru(a)	La(b)
PWR1	0.9	6.00E-03	0.7	0.4	0.4	0.05	0.4	3.00E-03
PWR2	0.9	7.00E-03	0.7	0.5	0.3	0.06	0.02	4.00E-03
PWR3	0.8	6.00E-03	0.2	0.2	0.3	0.02	0.03	3.00E-03
PWR4	0.6	2.00E-03	0.09	0.04	0.03	5.00E-03	3.00E-03	4.00E-04
PWR5	0.3	2.00E-03	0.03	9.00E-03	5.00E-03	1.00E-03	6.00E-04	7.00E-05
PWR6	0.3	2.00E-03	8.00E-04	8.00E-04	1.00E-03	9.00E-05	7.00E-05	1.00E-05
PWR7	6.00E-03	2.00E-05	2.00E-05	1.00E-05	2.00E-05	1.00E-06	1.00E-06	2.00E-07
PWR8	2.00E-03	5.00E-06	1.00E-04	5.00E-04	1.00E-06	1.00E-08	0	0
PWR9	3.00E-06	7.00E-09	1.00E-07	6.00E-07	1.00E-09	1.00E-11	0	0

부록 C 후쿠시마 원전 사고로 인한 피난조치 경과

2011년 3월 11일

- 14:46 지진으로 자동정지
- 15:42 전체 교류 전원상실
- 16:36 관저(官邸)대책실 설치
- 19:03 원자력 긴급사태선언 발령
- 19:30 육상 자위대 출동
- 19:45 총무부장관이 긴급사태선언 발령. 「원자로 자체는 문제 없다.」
- 20:50 후쿠시마현(福島縣) 대책본부가 2km 주민(1864명)에 피난 지시.
- 21:23 수상지시, 반경 3km 피난, 3~10km 옥내대피.
- 21:55 일본원자력안전보안원, 원자로수위 확인할 수 없다고 발표
- 22:00 원자로 노심용융, 격납용기설계상 최고압 도달이 예측됨.

3월 12일

- 01:10 주민피난 위한 60대의 버스 확보.
- 03:05 경제대신 등, 벤트(vent, 방사성 물질 방출)의 실시 방침을 발표.
- 05:44 수상지시, 반경 10km 권내(圈内)에서 피난.
- 06:00 원자력안전보안원, 방사성 물질의 누설을 처음으로 발표.
- 10:17 1호기 벤트 시작, 방사성 물질 방출
- 15:36 1호기 수소폭발, 방사성 물질방출
- 17:35 자위대 헬기 7대, 10km 권내(圈内)에서 미처 피난하지 못한 사람들을 구출함.
- 18:25 수상지시, 20km 권내(圈内)에서 피난.

3월 13일

08:00 10~20km 권내(圈内)의 피난을 유도하기 위해서 경찰관 100 명을 투입.

08:41 3 호기 벤트 시작, 방사성 물질 방출

11:00 2 호기 벤트 시작, 방사성 물질 방출

3월 14일

11:01 3 호기 수소폭발, 방사성 물질 방출

14:12 경제산업대신(장관), 옥내대피 명령받고 있는 주민에 대해 20km 외로 피난재개할 것을 지시.

]3월 15일

11:00 수상지시, 20~30km 권내(圈内)에 옥내대피

3월 25일

11:45 총무부장관, 20~30km 권내(圈内)에 자주피난 요청

4월말

30km 권외의 고농도오염 지역(년간 20mSv)을 계획적 피난 구역에 설정

출처: Asahi Shinbun Weekly AERA 2011.5.15

부록 D 계산 결과표

C-1 인명피해표

1-a-A 영광 → 서울로 바람(15도), 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	거리 km	선량		급성장애			후발성장애		
			단기 Sv	집단 만명 Sv	급성사망 명	위독한 급성 명	경미한 급성 명	암사망 명	치유암 명	유전장애 명
합계					0	0	0	32,837	81,114	6,563
전라북도	군산시	68.3	0.023	4.8	0	0	0	2,385	5,892	477
충청남도	서천군	78.5	0.018	0.8	0	0	0	424	1,046	85
충청남도	보령시	104.1	0.010	1.0	0	0	0	483	1,193	97
충청남도	부여군	105.9	0.010	0.7	0	0	0	326	806	65
충청남도	청야군	121.6	0.008	0.2	0	0	0	114	281	23
충청남도	홍성군	134.2	0.006	0.5	0	0	0	260	642	52
충청남도	예산군	146.7	0.005	0.4	0	0	0	222	548	44
충청남도	아산시	162.1	0.004	1.2	0	0	0	583	1,441	117
충청남도	당진군	166.0	0.004	0.6	0	0	0	304	752	61
충청남도	천안시	168.2	0.004	2.3	0	0	0	1,143	2,824	229
경기도	평택시	186.6	0.003	1.4	0	0	0	713	1,761	143
경기도	안성시	193.7	0.003	0.6	0	0	0	285	703	57
경기도	오산시	202.2	0.003	0.5	0	0	0	274	676	55
경기도	화성시	202.4	0.003	1.5	0	0	0	759	1,874	152
경기도	용인시	214.6	0.002	2.4	0	0	0	1,183	2,923	237
경기도	안산시	215.7	0.002	1.9	0	0	0	965	2,384	193
경기도	의왕시	220.7	0.002	0.4	0	0	0	192	473	38
경기도	시흥시	221.7	0.002	1.0	0	0	0	525	1,297	105
경기도	군포시	221.9	0.002	0.7	0	0	0	374	924	75
인천	연수구	223.4	0.002	0.7	0	0	0	349	862	70
경기도	안양시	225.8	0.002	1.6	0	0	0	777	1,920	155
경기도	이천시	226.1	0.002	0.5	0	0	0	253	626	51
인천	남동구	228.1	0.002	1.2	0	0	0	592	1,462	118
인천	남구	229.2	0.002	1.0	0	0	0	509	1,256	102
인천	중구	230.0	0.002	0.2	0	0	0	111	275	22
경기도	과천시	230.2	0.002	0.2	0	0	0	87	214	17
인천	동구	230.7	0.002	0.2	0	0	0	96	236	19
서울	금천구	231.3	0.002	0.6	0	0	0	294	727	59
경기도	광명시	233	0.002	0.8	0	0	0	413	1,020	83
인천	부평구	235	0.002	1.3	0	0	0	653	1,612	131
경기도	부천시	235	0.002	2.0	0	0	0	1,006	2,486	201
경기도	광주시	235	0.002	0.6	0	0	0	287	710	57
서울	관악구	235	0.002	1.2	0	0	0	611	1,510	122
서울	구로구	236	0.002	1.0	0	0	0	487	1,204	97
경기도	여주군	237	0.002	0.3	0	0	0	126	310	25
서울	서초구	237	0.002	1.0	0	0	0	500	1,235	100
서울	양천구	238	0.002	1.2	0	0	0	575	1,420	115
인천	계양구	238	0.002	0.8	0	0	0	400	988	80
서울	동작구	238	0.002	0.9	0	0	0	463	1,144	93
인천	서구	239	0.002	0.9	0	0	0	469	1,159	94
서울	영등포구	239	0.002	0.9	0	0	0	468	1,156	94
서울	강남구	241	0.002	1.3	0	0	0	627	1,549	125
서울	강남구	241	0.002	1.3	0	0	0	632	1,560	126
서울	용산구	242	0.002	0.5	0	0	0	269	665	54
서울	송파구	242	0.002	1.5	0	0	0	754	1,862	151
서울	마포구	243	0.002	0.9	0	0	0	431	1,065	86
서울	강동구	244	0.002	1.1	0	0	0	541	1,336	108
서울	광진구	244	0.002	0.8	0	0	0	413	1,020	83
서울	중구	245	0.002	0.3	0	0	0	146	361	29
서울	서대문구	246	0.002	0.7	0	0	0	357	882	71
서울	성동구	246	0.002	0.7	0	0	0	340	840	68
서울	종로구	246	0.002	0.4	0	0	0	188	463	38
경기도	김포시	247	0.002	0.5	0	0	0	250	618	50
서울	동대문구	247	0.002	0.8	0	0	0	385	951	77
경기도	하남시	247	0.002	0.3	0	0	0	158	390	32
서울	은평구	248	0.002	1.0	0	0	0	513	1,266	103
서울	성북구	248	0.002	1.0	0	0	0	513	1,268	103
경기도	양평군	250	0.002	0.2	0	0	0	101	249	20
경기도	구리시	251	0.002	0.4	0	0	0	206	509	41
서울	중랑구	252	0.002	0.9	0	0	0	449	1,109	90
경기도	고양시	253	0.002	2.0	0	0	0	998	2,464	200
서울	강북구	254	0.002	0.7	0	0	0	347	856	69

서울	노원구	256	0.002	1.2	0	0	0	611	1,510	122
서울	도봉구	257	0.002	0.7	0	0	0	368	910	74
경기도	남양주시	258	0.002	1.1	0	0	0	564	1,393	113
인천	강화군	260	0.002	0.1	0	0	0	67	166	13
경기도	파주시	263	0.002	0.7	0	0	0	338	834	68
경기도	의정부시	265	0.002	0.8	0	0	0	410	1,013	82
경기도	양주시	270	0.001	0.4	0	0	0	177	437	35
경기도	동두천시	283	0.001	0.2	0	0	0	81	200	16
경기도	포천시	285	0.001	0.3	0	0	0	134	333	26
강원도	홍천군	286	0.001	0.1	0	0	0	59	146	11
경기도	가평군	286	0.001	0.1	0	0	0	50	123	10
강원도	춘천시	299	0.001	0.4	0	0	0	202	500	40
경기도	연천군	304	0.001	0.1	0	0	0	33	83	6
강원도	철원군	315	0.001	0.1	0	0	0	34	84	6
강원도	화천군	321	0.001	0.0	0	0	0	17	42	3
강원도	양구군	331	0.001	0.0	0	0	0	14	35	2
강원도	인제군	334	0.001	0.0	0	0	0	20	51	4

1-b-A 영광 → 광주로 바람(120도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장예			후발성장예		
			단기	집단	급성장예	위독한 급성장예	경미한 급성장예	암사망	치유암	유전장예
		km	Sv	만명 Sv	명	명	명	명	명	명
합계					5,784	1,905	1,388	28,708	66,217	5,855
전라남도	영광군 홍농읍	3.0	4.909	20.4	5,784	1,905	1	1,907	0	505
전라북도	고창군 공음면	9.3	0.732	1.3	0	0	1,387	644	1,592	128
전라북도	고창군 대산면	18.5	0.225	0.6	0	0	0	306	757	61
전라남도	영광군 대마면	18.9	0.217	0.2	0	0	0	120	297	24
전라남도	장성군 삼계면	28.0	0.110	0.5	0	0	0	259	641	51
전라남도	장성군 동화면	32.4	0.086	0.1	0	0	0	65	160	13
전라남도	장성군 황룡면	35.0	0.075	0.2	0	0	0	124	307	24
전라남도	장성군 장성읍	35.5	0.073	0.6	0	0	0	319	788	63
전라남도	장성군 삼서면	35.8	0.072	0.1	0	0	0	74	184	14
전라남도	장성군 남면	40.3	0.058	0.2	0	0	0	76	188	15
전라남도	장성군 진원면	40.7	0.057	0.1	0	0	0	62	155	12
광주시	광산구	45.5	0.047	12.1	0	0	0	6,047	14,938	1,209
광주시	서구	51.6	0.038	8.3	0	0	0	4,154	10,260	830
광주시	북구	52.0	0.037	12.7	0	0	0	6,326	15,625	1,265
광주시	동구	54.6	0.034	2.6	0	0	0	1,310	3,237	262
광주시	남구	54.9	0.034	5.4	0	0	0	2,689	6,642	537
전라남도	화순군	64.4	0.025	1.3	0	0	0	665	1,644	133
전라남도	순천시	109.8	0.009	2.2	0	0	0	1,117	2,760	223
경상남도	하동군	127.0	0.007	0.3	0	0	0	167	413	33
전라남도	광양시	127.2	0.007	0.9	0	0	0	472	1,168	94
전라남도	여수시	134.4	0.006	1.7	0	0	0	865	2,138	173
경상남도	남해군	148.5	0.005	0.2	0	0	0	123	304	24
경상남도	사천시	156.3	0.005	0.5	0	0	0	262	648	52
경상남도	통영시	193.4	0.003	0.4	0	0	0	224	554	44
경상남도	거제시	208.8	0.003	0.7	0	0	0	331	817	66

1-b-B 영광 → 광주로 바람(120도) 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장애			후발성장애		
			단기	집단	급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전장애
		km	Sv	만명 Sv	명	명	명	명	명	명
합계					1,719	5,892	160	27,247	67,316	5,438
전라남도	영광군 홍농읍	3.0	3.179	3.5	1,719	5,892	79	1,349	3,332	269
전라북도	고창군 공음면	9.3	0.468	0.2	0	0	81	103	255	20
전라북도	고창군 대산면	18.5	0.141	0.1	0	0	0	46	114	9
전라남도	영광군 대마면	18.9	0.136	0.0	0	0	0	18	44	3
전라남도	장성군 삼계면	28.0	0.110	0.5	0	0	0	259	641	51
전라남도	장성군 동화면	32.4	0.086	0.1	0	0	0	65	160	13
전라남도	장성군 황룡면	35.0	0.075	0.2	0	0	0	124	307	24
전라남도	장성군 장성읍	35.5	0.073	0.6	0	0	0	319	788	63
전라남도	장성군 삼서면	35.8	0.072	0.1	0	0	0	74	184	14
전라남도	장성군 남면	40.3	0.058	0.2	0	0	0	76	188	15
전라남도	장성군 진원면	40.7	0.057	0.1	0	0	0	62	155	12
광주시	광산구	45.5	0.047	12.1	0	0	0	6,047	14,938	1,209
광주시	서구	51.6	0.038	8.3	0	0	0	4,154	10,260	830
광주시	북구	52.0	0.037	12.7	0	0	0	6,326	15,625	1,265
광주시	동구	54.6	0.034	2.6	0	0	0	1,310	3,237	262
광주시	남구	54.9	0.034	5.4	0	0	0	2,689	6,642	537
전라남도	환순군	64.4	0.025	1.3	0	0	0	665	1,644	133
전라남도	순천시	109.8	0.009	2.2	0	0	0	1,117	2,760	223
경상남도	하동군	127.0	0.007	0.3	0	0	0	167	413	33
전라남도	광양시	127.2	0.007	0.9	0	0	0	472	1,168	94
전라남도	여수시	134.4	0.006	1.7	0	0	0	865	2,138	173
경상남도	남해군	148.5	0.005	0.2	0	0	0	123	304	24
경상남도	사천시	156.3	0.005	0.5	0	0	0	262	648	52
경상남도	통영시	193.4	0.003	0.4	0	0	0	224	554	44
경상남도	거제시	208.8	0.003	0.7	0	0	0	331	817	66

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

1-c-A 고리 → 부산으로 바람(225도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장애			후발성장애		
			단기	집단	급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전장애
		km	Sv	만명 Sv	명	명	명	명	명	명
합계					0	0	628	73,400	181,317	14,672
부산시	기장군 일광면	8.4	0.529	2.6	0	0	563	1,309	3,234	261
부산시	기장읍	11.5	0.312	9.7	0	0	65	4,833	11,938	966
부산시	해운대구	21.2	0.110	29.5	0	0	0	14,764	36,469	2,952
부산시	동래구	23.1	0.095	17.1	0	0	0	8,539	21,093	1,707
부산시	연제구	25.3	0.081	11.1	0	0	0	5,562	13,738	1,112
부산시	수영구	25.6	0.080	9.1	0	0	0	4,572	11,294	914
부산시	부산진구	28.1	0.068	17.5	0	0	0	8,747	21,606	1,749
부산시	남구	28.1	0.068	13.2	0	0	0	6,580	16,255	1,316
부산시	동구	29.6	0.062	4.1	0	0	0	2,065	5,102	413
부산시	영도구	32.8	0.052	5.1	0	0	0	2,539	6,272	507
부산시	사상구	33.3	0.050	8.7	0	0	0	4,357	10,763	871
부산시	중구	33.7	0.049	1.6	0	0	0	820	2,027	164
부산시	서구	34.9	0.046	4.0	0	0	0	1,978	4,887	395
부산시	사하구	37.3	0.041	10.1	0	0	0	5,058	12,493	1,011
경상남도	거제시	78.4	0.011	2.0	0	0	0	993	2,453	198
경상남도	통영시	93.9	0.008	0.9	0	0	0	455	1,126	91
제주도	제주시	324.4	0.001	0.5	0	0	0	228	564	45

1-c-B 고리 → 부산으로 바람(225 도) 부산시가지 직전(기장읍)까지 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장애			후발성장애		
			단기	집단	급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전장애
		km	Sv	만명 Sv	명	명	명	명	명	명
합계					0	0	21	68,233	168,555	13,639
부산시	기장군 일광면	8.4	0.338	0.4	0	0	19	211	523	42
부산시	기장읍	11.5	0.198	1.5	0	0	2	764	1,888	152
부산시	해운대구	21.2	0.110	29.5	0	0	0	14,764	36,469	2,952
부산시	동래구	23.1	0.095	17.1	0	0	0	8,539	21,093	1,707
부산시	연제구	25.3	0.081	11.1	0	0	0	5,562	13,738	1,112
부산시	수영구	25.6	0.080	9.1	0	0	0	4,572	11,294	914
부산시	부산진구	28.1	0.068	17.5	0	0	0	8,747	21,606	1,749
부산시	남구	28.1	0.068	13.2	0	0	0	6,580	16,255	1,316
부산시	동구	29.6	0.062	4.1	0	0	0	2,065	5,102	413
부산시	영도구	32.8	0.052	5.1	0	0	0	2,539	6,272	507
부산시	사상구	33.3	0.050	8.7	0	0	0	4,357	10,763	871
부산시	중구	33.7	0.049	1.6	0	0	0	820	2,027	164
부산시	서구	34.9	0.046	4.0	0	0	0	1,978	4,887	395
부산시	사하구	37.3	0.041	10.1	0	0	0	5,058	12,493	1,011
경상남도	거제시	78.4	0.011	2.0	0	0	0	993	2,453	198
경상남도	통영시	93.9	0.008	0.9	0	0	0	455	1,126	91
제주도	제주	324.4	0.001	0.5	0	0	0	228	564	45

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

1-c-C 고리 → 부산으로 바람(225 도) 부산까지 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장애			후발성장애		
			단기	집단	급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전장애
		km	Sv	만명 Sv	명	명	명	명	명	명
합계					0	0	21	13,874	34,282	2,768
부산시	기장군 일광면	8.4	0.338	0.4	0	0	19	211	523	42
부산시	기장읍	11.5	0.198	1.5	0	0	2	764	1,888	152
부산시	해운대구	21.2	0.085	5.2	0	0	0	2,603	6,429	520
부산시	동래구	23.1	0.073	3.0	0	0	0	1,484	3,666	296
부산시	연제구	25.3	0.062	1.9	0	0	0	957	2,364	191
부산시	수영구	25.6	0.061	1.6	0	0	0	793	1,959	158
부산시	부산진구	28.1	0.052	3.0	0	0	0	1,484	3,666	296
부산시	남구	28.1	0.052	2.2	0	0	0	1,119	2,764	223
부산시	동구	29.6	0.047	0.7	0	0	0	350	865	70
부산시	영도구	32.8	0.039	0.9	0	0	0	425	1,051	85
부산시	사상구	33.3	0.038	1.4	0	0	0	721	1,783	144
부산시	중구	33.7	0.037	0.3	0	0	0	135	335	27
부산시	서구	34.9	0.035	0.7	0	0	0	327	809	65
부산시	사하구	37.3	0.031	1.7	0	0	0	825	2,037	165
경상남도	거제시	78.4	0.011	2.0	0	0	0	993	2,453	198
경상남도	통영시	93.9	0.008	0.9	0	0	0	455	1,126	91
제주도	제주	324.4	0.001	0.5	0	0	0	228	564	45

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

2-a-A 영광 → 서울로 바람(15도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	거리 km	선량		급성장예			후발성장예		
			단기 Sv	집단 만명 Sv	급성사망 명	위독한 급성 명	경미한 급성 명	암사망 명	치유암 명	유전장애 명
합계					0	0	35	550,692	1,360,248	110,113
충청남도	서천군	78.5	0.282	18.3	0	0	34	9,132	22,558	1,826
충청남도	보령시	104.1	0.168	20.8	0	0	1	10,423	25,745	2,084
충청남도	청양군	121.6	0.125	4.9	0	0	0	2,464	6,088	492
충청남도	홍성군	134.2	0.104	11.4	0	0	0	5,694	14,064	1,138
충청남도	예산군	146.7	0.088	9.7	0	0	0	4,872	12,034	974
충청남도	아산시	162.1	0.072	25.2	0	0	0	12,623	31,179	2,524
충청남도	천안시	168.2	0.067	50.0	0	0	0	24,983	61,709	4,996
경기도	평택시	186.6	0.055	31.7	0	0	0	15,834	39,111	3,166
경기도	오산시	202.2	0.046	12.1	0	0	0	6,032	14,899	1,206
경기도	화성시	202.4	0.046	33.4	0	0	0	16,692	41,230	3,338
경기도	용인시	214.6	0.041	52.4	0	0	0	26,208	64,735	5,241
경기도	안산시	215.7	0.041	42.4	0	0	0	21,196	52,355	4,239
경기도	의왕시	220.7	0.039	8.4	0	0	0	4,209	10,397	841
경기도	시흥시	221.7	0.038	22.9	0	0	0	11,427	28,225	2,285
경기도	군포시	221.9	0.038	16.3	0	0	0	8,145	20,119	1,629
경기도	안양시	225.8	0.037	34.1	0	0	0	17,066	42,153	3,413
경기도	과천시	230.2	0.036	3.8	0	0	0	1,919	4,739	383
서울	금천구	231.3	0.035	12.9	0	0	0	6,460	15,958	1,292
경기도	광명시	233.4	0.035	17.9	0	0	0	8,926	22,048	1,785
경기도	부천시	234.8	0.034	45.0	0	0	0	22,492	55,557	4,498
경기도	광주시	235.1	0.034	12.8	0	0	0	6,407	15,825	1,281
서울	관악구	235.1	0.034	27.3	0	0	0	13,631	33,669	2,726
서울	구로구	235.6	0.034	21.7	0	0	0	10,826	26,741	2,165
서울	서초구	237.0	0.033	22.0	0	0	0	10,998	27,166	2,199
서울	양천구	237.6	0.033	25.2	0	0	0	12,600	31,122	2,520
서울	동작구	238.3	0.033	20.2	0	0	0	10,087	24,917	2,017
서울	영등포구	239.1	0.033	20.3	0	0	0	10,130	25,021	2,026
서울	강남구	240.9	0.032	28.0	0	0	0	14,024	34,640	2,804
서울	강서구	241	0.032	28.2	0	0	0	14,123	34,885	2,824
서울	용산구	241.6	0.032	12.0	0	0	0	5,998	14,817	1,199
서울	송파구	241.9	0.032	33.5	0	0	0	16,755	41,385	3,351
서울	마포구	243.3	0.032	19.0	0	0	0	9,483	23,423	1,896
서울	강동구	243.7	0.032	23.7	0	0	0	11,854	29,279	2,370
서울	광진구	244.1	0.031	18.1	0	0	0	9,029	22,303	1,805
서울	중구	245	0.031	6.3	0	0	0	3,174	7,840	634
서울	서대문구	245.5	0.031	15.4	0	0	0	7,724	19,078	1,544
서울	성동구	245.7	0.031	14.7	0	0	0	7,356	18,170	1,471
서울	종로구	246	0.031	8.1	0	0	0	4,051	10,006	810
서울	동대문구	246.9	0.031	17.3	0	0	0	8,656	21,380	1,731
경기도	하남시	247.2	0.031	7.1	0	0	0	3,543	8,753	708
서울	은평구	247.9	0.03	22.9	0	0	0	11,446	28,272	2,289
서울	성북구	248.3	0.03	22.8	0	0	0	11,416	28,198	2,283
경기도	양평군	250.4	0.03	4.4	0	0	0	2,208	5,456	441
경기도	구리시	251	0.03	9.0	0	0	0	4,507	11,133	901
서울	중랑구	251.5	0.03	19.5	0	0	0	9,767	24,125	1,953
경기도	고양시	252.7	0.029	43.1	0	0	0	21,567	53,271	4,313
서울	강북구	253.7	0.029	15.6	0	0	0	7,796	19,257	1,559
서울	노원구	255.9	0.028	27.1	0	0	0	13,569	33,516	2,713
서울	도봉구	257.3	0.028	16.2	0	0	0	8,102	20,013	1,620
경기도	남양주시	257.6	0.028	24.8	0	0	0	12,382	30,585	2,476
경기도	의정부시	264.6	0.026	18.1	0	0	0	9,046	22,344	1,809
경기도	양주시	270	0.025	8.0	0	0	0	3,983	9,838	796
경기도	동두천시	283.1	0.023	3.6	0	0	0	1,783	4,406	356
경기도	포천시	284.9	0.023	5.9	0	0	0	2,927	7,230	585
경기도	가평군	286.3	0.022	2.2	0	0	0	1,077	2,661	215
경기도	연천군	304.3	0.02	1.5	0	0	0	743	1,835	148
강원도	철원군	314.5	0.018	1.5	0	0	0	760	1,879	152
강원도	화천군	321	0.017	0.7	0	0	0	365	902	73

2-a-B 영광 → 서울로 바람(15도) 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	거리 km	선량		급성장애			후발성장애		
			단기 Sv	집단 만명 Sv	급성사망 명	위독한 급성 명	경미한 급성 명	암사망 명	치유암 명	유전장애 명
합계					0	0	4	472,737	1,167,697	94,524
충청남도	서천군	78.5	0.154	1.6	0	0	0	814	2,010	162
충청남도	보령시	104.1	0.202	2.1	0	0	4	1,073	2,651	214
충청남도	청양군	121.6	0.119	0.5	0	0	0	245	606	49
충청남도	홍성군	134.2	0.088	1.1	0	0	0	554	1,370	110
충청남도	예산군	146.7	0.073	0.9	0	0	0	465	1,149	93
충청남도	아산시	162.1	0.061	2.4	0	0	0	1,180	2,914	236
충청남도	천안시	168.2	0.050	4.6	0	0	0	2,314	5,716	462
경기도	평택시	186.6	0.046	2.9	0	0	0	1,426	3,522	285
경기도	오산시	202.2	0.046	12.1	0	0	0	6,032	14,899	1,206
경기도	화성시	202.4	0.046	33.4	0	0	0	16,692	41,230	3,338
경기도	용인시	214.6	0.041	52.4	0	0	0	26,208	64,735	5,241
경기도	안산시	215.7	0.041	42.4	0	0	0	21,196	52,355	4,239
경기도	의왕시	220.7	0.039	8.4	0	0	0	4,209	10,397	841
경기도	시흥시	221.7	0.038	22.9	0	0	0	11,427	28,225	2,285
경기도	군포시	221.9	0.038	16.3	0	0	0	8,145	20,119	1,629
경기도	안양시	225.8	0.037	34.1	0	0	0	17,066	42,153	3,413
경기도	과천시	230.2	0.036	3.8	0	0	0	1,919	4,739	383
서울	금천구	231.3	0.035	12.9	0	0	0	6,460	15,958	1,292
경기도	광명시	233.4	0.035	17.9	0	0	0	8,926	22,048	1,785
경기도	부천시	234.8	0.034	45.0	0	0	0	22,492	55,557	4,498
경기도	광주시	235.1	0.034	12.8	0	0	0	6,407	15,825	1,281
서울	관악구	235.1	0.034	27.3	0	0	0	13,631	33,669	2,726
서울	구로구	235.6	0.034	21.7	0	0	0	10,826	26,741	2,165
서울	서초구	237.0	0.033	22.0	0	0	0	10,998	27,166	2,199
서울	양천구	237.6	0.033	25.2	0	0	0	12,600	31,122	2,520
서울	동작구	238.3	0.033	20.2	0	0	0	10,087	24,917	2,017
서울	영등포구	239.1	0.033	20.3	0	0	0	10,130	25,021	2,026
서울	강남구	240.9	0.032	28.0	0	0	0	14,024	34,640	2,804
서울	강서구	241	0.032	28.2	0	0	0	14,123	34,885	2,824
서울	용산구	241.6	0.032	12.0	0	0	0	5,998	14,817	1,199
서울	송파구	241.9	0.032	33.5	0	0	0	16,755	41,385	3,351
서울	마포구	243.3	0.032	19.0	0	0	0	9,483	23,423	1,896
서울	강동구	243.7	0.032	23.7	0	0	0	11,854	29,279	2,370
서울	광진구	244.1	0.031	18.1	0	0	0	9,029	22,303	1,805
서울	중구	245	0.031	6.3	0	0	0	3,174	7,840	634
서울	서대문구	245.5	0.031	15.4	0	0	0	7,724	19,078	1,544
서울	성동구	245.7	0.031	14.7	0	0	0	7,356	18,170	1,471
서울	종로구	246	0.031	8.1	0	0	0	4,051	10,006	810
서울	동대문구	246.9	0.031	17.3	0	0	0	8,656	21,380	1,731
경기도	하남시	247.2	0.031	7.1	0	0	0	3,543	8,753	708
서울	은평구	247.9	0.030	22.9	0	0	0	11,446	28,272	2,289
서울	성북구	248.3	0.030	22.8	0	0	0	11,416	28,198	2,283
경기도	양평군	250.4	0.030	4.4	0	0	0	2,208	5,456	441
경기도	구리시	251.0	0.030	9.0	0	0	0	4,507	11,133	901
서울	중랑구	251.5	0.030	19.5	0	0	0	9,767	24,125	1,953
경기도	고양시	252.7	0.029	43.1	0	0	0	21,567	53,271	4,313
서울	강북구	253.7	0.029	15.6	0	0	0	7,796	19,257	1,559
서울	노원구	255.9	0.028	27.1	0	0	0	13,569	33,516	2,713
서울	도봉구	257.3	0.028	16.2	0	0	0	8,102	20,013	1,620
경기도	남양주시	257.6	0.028	24.8	0	0	0	12,382	30,585	2,476
경기도	의정부시	264.6	0.026	18.1	0	0	0	9,046	22,344	1,809
경기도	양주시	270.0	0.025	8.0	0	0	0	3,983	9,838	796
경기도	동두천시	283.1	0.023	3.6	0	0	0	1,783	4,406	356
경기도	포천시	284.9	0.023	5.9	0	0	0	2,927	7,230	585
경기도	가평군	286.3	0.022	2.2	0	0	0	1,077	2,661	215
경기도	연천군	304.3	0.020	1.5	0	0	0	743	1,835	148
강원도	철원군	314.5	0.018	1.5	0	0	0	760	1,879	152
강원도	화천군	321.0	0.017	0.7	0	0	0	365	902	73

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

2-b-A 영광 → 광주로 바람(120 도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장애			후발성장애		
			단기	집단	급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전장애
			km	Sv	만명Sv	명	명	명	명	명
합계					12,228	4,332	149,569	396,938	940,243	79,675
전라남도	영광군 홍농읍	3.0	72.985	421.6	7,691	0	0	0	0	0
전라북도	고창군 공음면	9.3	11.100	27.1	3,045	12	0	12	0	10
전라북도	고창군 대산면	18.5	3.448	13.0	1,370	3,043	21	3,063	0	898
전라남도	장성군 삼계면	28.0	1.712	11.1	72	1,213	5,926	5,472	1,680	1,094
전라남도	장성군 동화면	32.4	1.337	2.8	6	36	2,205	1,384	885	276
전라남도	장성군 황룡면	35.0	1.170	5.3	6	19	4,738	2,655	2,261	531
전라남도	장성군 삼서면	35.8	1.122	3.2	3	7	2,926	1,595	1,473	319
전라남도	장성군 남면	40.3	0.916	3.3	1	0	3,096	1,630	2,139	326
광주시	서구	51.6	0.595	178.1	10	0	44,189	89,037	214,172	17,807
광주시	북구	52.0	0.588	271.3	14	0	62,950	135,643	331,208	27,128
광주시	동구	54.6	0.540	56.2	2	0	7,856	28,111	69,436	5,622
광주시	남구	54.9	0.534	115.5	4	0	15,069	57,760	142,668	11,552
전라남도	화순군	64.4	0.402	28.8	0	0	587	14,379	35,518	2,875
전라남도	순천시	109.8	0.152	48.6	0	0	1	24,304	60,031	4,860
전라남도	광양시	127.2	0.115	20.5	0	0	0	10,251	25,320	2,050
전라남도	여수시	134.4	0.104	37.9	0	0	0	18,929	46,757	3,785
경상남도	남해군	148.5	0.086	5.4	0	0	0	2,708	6,689	541

2-b-B 영광 → 광주로 바람(120 도) 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장애			후발성장애		
			단기	집단	급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전장애
			km	Sv	만명Sv	명	명	명	명	명
합계					10,673	2,365	29,871	45,560	112,396	9,106
전라남도	영광군 홍농읍	3.0	43.959	51.3	7,691	0	0	0	0	0
전라북도	고창군 공음면	9.3	6.582	3.1	2,864	193	0	98	94	19
전라북도	고창군 대산면	18.5	2.010	1.4	104	2,167	2,160	691	1,708	138
전라남도	장성군 삼계면	28.0	0.985	1.2	4	3	6,416	576	1,424	115
전라남도	장성군 동화면	32.4	0.978	0.3	1	1	2,008	172	424	34
전라남도	장성군 황룡면	35.0	0.854	0.7	1	0	3,590	326	806	65
전라남도	장성군 삼서면	35.8	0.819	0.4	1	0	2,033	195	482	39
전라남도	장성군 남면	40.3	0.667	0.4	0	0	1,093	196	486	39
광주시	서구	51.6	0.431	20.7	2	0	4,343	10,370	25,613	2,074
광주시	북구	52.0	0.426	31.6	3	0	6,124	15,803	39,034	3,160
광주시	동구	54.6	0.390	6.5	0	0	703	3,248	8,023	649
광주시	남구	54.9	0.386	13.3	1	0	1,349	6,668	16,471	1,333
전라남도	화순군	64.4	0.289	3.2	0	0	48	1,619	4,000	323
전라남도	순천시	109.8	0.107	5.0	0	0	0	2,480	6,127	496
전라남도	광양시	127.2	0.081	2.0	0	0	0	1,011	2,497	202
전라남도	여수시	134.4	0.073	3.7	0	0	0	1,848	4,566	369
경상남도	남해군	148.5	0.060	0.5	0	0	0	258	639	51

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

2-c-A 고리 → 부산으로 바람(225 도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장예			후발성장예		
			단기	집단	급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전장애
			km	Sv	만명 Sv	명	명	명	명	명
합계					47,586	19,123	1,374,285	568,969	1,405,354	172,688
부산시	기장군 일광면	8.4	8.004	55.0	8,464	197	0	57	141	126
부산시	기장읍	11.5	4.738	203.6	37,808	15,094	10	4,353	10,752	5,813
부산시	연제구	25.3	1.261	236.4	407	1,835	206,508	61,178	151,111	23,596
부산시	수영구	25.6	1.235	194.4	305	1,228	172,868	51,286	126,676	19,405
부산시	부산진구	28.1	1.053	372.6	285	428	367,533	113,989	281,552	37,232
부산시	남구	28.1	1.050	280.4	212	311	276,713	85,950	212,296	28,017
부산시	동구	29.6	0.961	87.9	44	30	88,156	29,242	72,228	8,783
부산시	영도구	32.8	0.807	108.3	25	0	93,386	42,298	104,475	10,830
부산시	중구	33.7	0.771	35.0	6	0	27,312	14,247	35,189	3,498
부산시	서구	34.9	0.725	84.3	12	0	54,894	36,319	89,709	8,433
부산시	사하구	37.3	0.646	216.2	18	0	86,902	103,375	255,337	21,620
경상남도	거제시	78.4	0.175	43.0	0	0	3	21,477	53,048	4,295
제주도	제주	324.4	0.011	10.4	0	0	0	5,198	12,840	1,040

2-c-B 고리 → 부산(釜山)으로 바람(225 도) 부산시내 전(기장읍)까지 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장예			후발성장예		
			단기	집단	급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전장애
			km	Sv	만명 Sv	명	명	명	명	명
합계					17,473	47,965	1,375,555	577,647	1,426,789	170,117
부산시	기장군 일광면	8.4	6.636	13.3	8,138	523	0	151	373	80
부산시	기장읍	11.5	2.911	38.7	8,021	43,610	1,280	12,937	31,955	3,287
부산시	연제구	25.3	1.261	236.4	407	1,835	206,508	61,178	151,111	23,596
부산시	수영구	25.6	1.235	194.4	305	1,228	172,868	51,286	126,676	19,405
부산시	부산진구	28.1	1.053	372.6	285	428	367,533	113,989	281,552	37,232
부산시	남구	28.1	1.050	280.4	212	311	276,713	85,950	212,296	28,017
부산시	동구	29.6	0.961	87.9	44	30	88,156	29,242	72,228	8,783
부산시	영도구	32.8	0.807	108.3	25	0	93,386	42,298	104,475	10,830
부산시	중구	33.7	0.771	35.0	6	0	27,312	14,247	35,189	3,498
부산시	서구	34.9	0.725	84.3	12	0	54,894	36,319	89,709	8,433
부산시	사하구	37.3	0.646	216.2	18	0	86,902	103,375	255,337	21,620
경상남도	거제시	78.4	0.175	43.0	0	0	3	21,477	53,048	4,295
제주도	제주	324.4	0.011	10.4	0	0	0	5,198	12,840	1,040

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

2-c-C 고리 → 부산으로 바람(225 도) 부산시내까지 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	거리	선량		급성장애			후발성장애		
			단기	집단	급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전장애
			km	Sv	만명 Sv	명	명	명	명	명
합계					16402	44182	788774	125711	297491	25142
부산시	기장군 일광면	8.4	6.636	13.3	8,138	523	0	402	122	80
부산시	기장읍	11.5	2.911	38.7	8,021	43,610	1,280	16,437	28,455	3,287
부산시	연제구	25.3	0.926	30.1	76	32	177,156	15,064	37,208	3,013
부산시	수영구	25.6	0.907	24.8	57	17	144,368	12,377	30,570	2,475
부산시	부산진구	28.1	0.772	47.0	53	0	219,622	23,489	58,018	4,698
부산시	남구	28.1	0.770	35.3	39	0	164,137	17,666	43,636	3,533
부산시	동구	29.6	0.704	11.0	8	0	38,713	5,507	13,602	1,101
부산시	영도구	32.8	0.590	13.4	4	0	20,242	6,708	16,570	1,342
부산시	중구	33.7	0.563	4.3	1	0	4,973	2,158	5,331	432
부산시	서구	34.9	0.530	10.4	2	0	8,301	5,180	12,795	1,036
부산시	사하구	37.3	0.471	26.4	3	0	9,982	13,183	32,563	2,637
경상남도	거제시	78.4	0.125	4.7	0	0	0	2,341	5,781	468
제주도	제주	324.4	0.011	10.4	0	0	0	5,198	12,840	1,040

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

C-2 경제적피해액

1-a-A 영광 → 서울로 바람(15도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	급성장애 (억원)			후발성장애 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	16.6(조원)	0	0	0	147,768	7,805	217	0	9,914	0	0
전라북도	군산시	0	0	0	10,734	567	16	0	5,447	0	0
충청남도	서천군	0	0	0	1,906	101	3	0	4,467	0	0
충청남도	보령시	0	0	0	2,174	115	3	0	0	0	0
충청남도	부여군	0	0	0	1,469	78	2	0	0	0	0
충청남도	청양군	0	0	0	513	27	1	0	0	0	0
충청남도	홍성군	0	0	0	1,169	62	2	0	0	0	0
충청남도	예산군	0	0	0	998	53	1	0	0	0	0
충청남도	아산시	0	0	0	2,625	139	4	0	0	0	0
충청남도	당진군	0	0	0	1,369	72	2	0	0	0	0
충청남도	천안시	0	0	0	5,145	272	8	0	0	0	0
경기도	평택시	0	0	0	3,209	169	5	0	0	0	0
경기도	안성시	0	0	0	1,281	68	2	0	0	0	0
경기도	오산시	0	0	0	1,232	65	2	0	0	0	0
경기도	화성시	0	0	0	3,414	180	5	0	0	0	0
경기도	용인시	0	0	0	5,325	281	8	0	0	0	0
경기도	안산시	0	0	0	4,343	229	6	0	0	0	0
경기도	의왕시	0	0	0	863	46	1	0	0	0	0
경기도	시흥시	0	0	0	2,362	125	3	0	0	0	0
경기도	군포시	0	0	0	1,684	89	2	0	0	0	0
인천	연수구	0	0	0	1,571	83	2	0	0	0	0
경기도	안양시	0	0	0	3,497	185	5	0	0	0	0
경기도	이천시	0	0	0	1,140	60	2	0	0	0	0
인천	남동구	0	0	0	2,663	141	4	0	0	0	0
인천	남구	0	0	0	2,289	121	3	0	0	0	0
인천	중구	0	0	0	502	26	1	0	0	0	0
경기도	과천시	0	0	0	390	21	1	0	0	0	0
인천	동구	0	0	0	430	23	1	0	0	0	0
서울	금천구	0	0	0	1,324	70	2	0	0	0	0
경기도	광명시	0	0	0	1,858	98	3	0	0	0	0
인천	부평구	0	0	0	2,937	155	4	0	0	0	0
경기도	부천시	0	0	0	4,529	239	7	0	0	0	0
경기도	광주시	0	0	0	1,293	68	2	0	0	0	0
서울	관악구	0	0	0	2,750	145	4	0	0	0	0
서울	구로구	0	0	0	2,193	116	3	0	0	0	0
경기도	여주군	0	0	0	565	30	1	0	0	0	0
서울	서초구	0	0	0	2,250	119	3	0	0	0	0
서울	양천구	0	0	0	2,588	137	4	0	0	0	0
인천	계양구	0	0	0	1,800	95	3	0	0	0	0
서울	동작구	0	0	0	2,084	110	3	0	0	0	0
인천	서구	0	0	0	2,112	112	3	0	0	0	0
서울	영등포구	0	0	0	2,105	111	3	0	0	0	0
서울	강남구	0	0	0	2,822	149	4	0	0	0	0
서울	강서구	0	0	0	2,842	150	4	0	0	0	0
서울	용산구	0	0	0	1,212	64	2	0	0	0	0
서울	송파구	0	0	0	3,392	179	5	0	0	0	0
서울	마포구	0	0	0	1,940	102	3	0	0	0	0
서울	강동구	0	0	0	2,435	129	4	0	0	0	0
서울	광진구	0	0	0	1,859	98	3	0	0	0	0
서울	중구	0	0	0	657	35	1	0	0	0	0
서울	서대문구	0	0	0	1,606	85	2	0	0	0	0
서울	성동구	0	0	0	1,530	81	2	0	0	0	0
서울	종로구	0	0	0	844	45	1	0	0	0	0
경기도	김포시	0	0	0	1,126	59	2	0	0	0	0
서울	동대문구	0	0	0	1,733	92	3	0	0	0	0
경기도	하남시	0	0	0	711	38	1	0	0	0	0
서울	은평구	0	0	0	2,306	122	3	0	0	0	0
서울	성북구	0	0	0	2,310	122	3	0	0	0	0
경기도	양평군	0	0	0	453	24	1	0	0	0	0
경기도	구리시	0	0	0	928	49	1	0	0	0	0
서울	중랑구	0	0	0	2,020	107	3	0	0	0	0

경기도	고양시	0	0	0	4,489	237	7	0	0	0	0
서울	강북구	0	0	0	1,559	82	2	0	0	0	0
서울	노원구	0	0	0	2,751	145	4	0	0	0	0
서울	도봉구	0	0	0	1,657	88	2	0	0	0	0
경기도	남양주시	0	0	0	2,539	134	4	0	0	0	0
인천	강화군	0	0	0	302	16	0	0	0	0	0
경기도	파주시	0	0	0	1,520	80	2	0	0	0	0
경기도	의정부시	0	0	0	1,846	97	3	0	0	0	0
경기도	양주시	0	0	0	797	42	1	0	0	0	0
경기도	동두천시	0	0	0	365	19	1	0	0	0	0
경기도	포천시	0	0	0	603	32	1	0	0	0	0
강원도	홍천군	0	0	0	266	14	0	0	0	0	0
경기도	가평군	0	0	0	225	12	0	0	0	0	0
강원도	춘천시	0	0	0	909	48	1	0	0	0	0
경기도	연천군	0	0	0	149	8	0	0	0	0	0
강원도	철원군	0	0	0	153	8	0	0	0	0	0
강원도	화천군	0	0	0	77	4	0	0	0	0	0
강원도	양구군	0	0	0	63	3	0	0	0	0	0
강원도	인제군	0	0	0	90	5	0	0	0	0	0

1-b-A 영광 → 광주로 바람(120도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	급성장예 (억원)			후발성장예 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	23.9(조원)	94,279	45	4	129,186	6,371	193	0	8,918	0	0
전라남도	영광군 홍농읍	94,279	45	0	8,582	0	17	0	393	0	0
전라북도	고창군 공음면	0	0	4	2,898	153	4	0	491	0	0
전라북도	고창군 대산면	0	0	0	1,377	73	2	0	430	0	0
전라남도	영광군 대마면	0	0	0	540	29	1	0	362	0	0
전라남도	장성군 삼계면	0	0	0	1,166	62	2	0	323	0	0
전라남도	장성군 동화면	0	0	0	293	15	0	0	141	0	0
전라남도	장성군 황룡면	0	0	0	558	30	1	0	219	0	0
전라남도	장성군 장성읍	0	0	0	1,436	76	2	0	340	0	0
전라남도	장성군 삼서면	0	0	0	333	18	0	0	233	0	0
전라남도	장성군 남면	0	0	0	342	18	0	0	139	0	0
전라남도	장성군 진원면	0	0	0	279	15	0	0	139	0	0
광주시	광산구	0	0	0	27,212	1,437	40	0	1,336	0	0
광주시	서구	0	0	0	18,693	987	27	0	281	0	0
광주시	북구	0	0	0	28,467	1,503	42	0	731	0	0
광주시	동구	0	0	0	5,895	311	9	0	293	0	0
광주시	남구	0	0	0	12,101	639	18	0	365	0	0
전라남도	화순군	0	0	0	2,993	158	4	0	2,702	0	0
전라남도	순천시	0	0	0	5,027	266	7	0	0	0	0
경상남도	하동군	0	0	0	752	40	1	0	0	0	0
전라남도	광양시	0	0	0	2,124	112	3	0	0	0	0
전라남도	여수시	0	0	0	3,893	206	6	0	0	0	0
경상남도	남해군	0	0	0	554	29	1	0	0	0	0
경상남도	사천시	0	0	0	1,179	62	2	0	0	0	0
경상남도	통영시	0	0	0	1,008	53	1	0	0	0	0
경상남도	거제시	0	0	0	1,490	79	2	0	0	0	0

1-b-B 영광 → 광주로 바람(120도) 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	급성장예 (억원)			후발성장예 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	22.9(조원)	28,020	138	0	122,612	6,477	180	594	7242	6,778	56,486
전라남도	영광군 홍농읍	28,020	138	0	6,071	321	9	269	0	3,631	30,259
전라북도	고창군 공음면	0	0	0	464	25	1	107	0	938	7,817
전라북도	고창군 대신면	0	0	0	207	11	0	155	0	1,361	11,340
전라남도	영광군 대마면	0	0	0	81	4	0	63	0	848	7,070
전라남도	장성군 삼계면	0	0	0	1,166	62	2	0	323	0	0
전라남도	장성군 동화면	0	0	0	293	15	0	0	141	0	0
전라남도	장성군 황룡면	0	0	0	558	30	1	0	219	0	0
전라남도	장성군 장성읍	0	0	0	1,436	76	2	0	340	0	0
전라남도	장성군 삼서면	0	0	0	333	18	0	0	233	0	0
전라남도	장성군 남면	0	0	0	342	18	0	0	139	0	0
전라남도	장성군 진원면	0	0	0	279	15	0	0	139	0	0
광주시	광산구	0	0	0	27,212	1,437	40	0	1,336	0	0
광주시	서구	0	0	0	18,693	987	27	0	281	0	0
광주시	북구	0	0	0	28,467	1,503	42	0	731	0	0
광주시	동구	0	0	0	5,895	311	9	0	293	0	0
광주시	남구	0	0	0	12,101	639	18	0	365	0	0
전라남도	환순군	0	0	0	2,993	158	4	0	2,702	0	0
전라남도	순천시	0	0	0	5,027	266	7	0	0	0	0
경상남도	하동군	0	0	0	752	40	1	0	0	0	0
전라남도	광양시	0	0	0	2,124	112	3	0	0	0	0
전라남도	여수시	0	0	0	3,893	206	6	0	0	0	0
경상남도	남해군	0	0	0	554	29	1	0	0	0	0
경상남도	사천시	0	0	0	1,179	62	2	0	0	0	0
경상남도	통영시	0	0	0	1,008	53	1	0	0	0	0
경상남도	거제시	0	0	0	1,490	79	2	0	0	0	0

1-c-A 고리 → 부산으로 바람(225도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	급성장예 (억원)			후발성장예 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	34.9(조원)	0	0	2	330,296	17,446	485	0	845	0	0
부산시	기장군 일광면	0	0	1.689	5,891	311	9	0	89	0	0
부산시	기장읍	0	0	0.195	21,749	1,149	32	0	98	0	0
부산시	해운대구	0	0	0	66,438	3,509	98	0	127	0	0
부산시	동래구	0	0	0	38,426	2,030	56	0	42	0	0
부산시	연제구	0	0	0	25,029	1,322	37	0	30	0	0
부산시	수영구	0	0	0	20,574	1,087	30	0	25	0	0
부산시	부산진구	0	0	0	39,362	2,079	58	0	75	0	0
부산시	남구	0	0	0	29,610	1,564	43	0	67	0	0
부산시	동구	0	0	0	9,293	491	14	0	25	0	0
부산시	영도구	0	0	0	11,426	603	17	0	35	0	0
부산시	사상구	0	0	0	19,607	1,036	29	0	90	0	0
부산시	중구	0	0	0	3,690	195	5	0	7	0	0
부산시	서구	0	0	0	8,901	470	13	0	35	0	0
부산시	사하구	0	0	0	22,761	1,202	33	0	102	0	0
경상남도	거제시	0	0	0	4,469	236	7	0	0	0	0
경상남도	통영시	0	0	0	2,048	108	3	0	0	0	0
제주도	제주	0	0	0	1,026	54	1	0	0	0	0

1-c-B 고리 → 부산으로 바람(225 도) 부산시가지 직전(기장읍)까지 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	급성장애 (억원)			후발성장애 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	36.7(조원)	0	0	0	307,044	16,218	451	2,155	659	15,228	25,379
부산시	기장군 일광면	0	0	0.057	950	50	1	303	0	2,142	3,570
부산시	기장읍	0	0	0.006	3,438	182	5	1,852	0	13,085	21,809
부산시	해운대구	0	0	0	66,438	3,509	98	0	127	0	0
부산시	동래구	0	0	0	38,426	2,030	56	0	42	0	0
부산시	연제구	0	0	0	25,029	1,322	37	0	30	0	0
부산시	수영구	0	0	0	20,574	1,087	30	0	25	0	0
부산시	부산진구	0	0	0	39,362	2,079	58	0	75	0	0
부산시	남구	0	0	0	29,610	1,564	43	0	67	0	0
부산시	동구	0	0	0	9,293	491	14	0	25	0	0
부산시	영도구	0	0	0	11,426	603	17	0	35	0	0
부산시	사상구	0	0	0	19,607	1,036	29	0	90	0	0
부산시	중구	0	0	0	3,690	195	5	0	7	0	0
부산시	서구	0	0	0	8,901	470	13	0	35	0	0
부산시	사하구	0	0	0	22,761	1,202	33	0	102	0	0
경상남도	거제시	0	0	0	4,469	236	7	0	0	0	0
경상남도	통영시	0	0	0	2,048	108	3	0	0	0	0
제주도	제주	0	0	0	1,026	54	1	0	0	0	0

주:굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

1-c-C 고리 → 부산으로 바람(225 도) 부산까지 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	급성장애 (억원)			후발성장애 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	234.7(조원)	0	0	0	62,433	3,299	91	101,384	0	817,376	1,362,293
부산시	기장군 일광면	0	0	0	950	50	1	303	0	2,142	3,570
부산시	기장읍	0	0	0	3,438	182	5	1,852	0	13,085	21,809
부산시	해운대구	0	0	0	11,714	619	17	14,936	0	120,584	200,973
부산시	동래구	0	0	0	6,678	353	10	9,897	0	79,915	133,192
부산시	연제구	0	0	0	4,307	227	6	7,444	0	59,697	99,495
부산시	수영구	0	0	0	3,569	188	5	6,239	0	50,306	83,843
부산시	부산진구	0	0	0	6,678	353	10	13,854	0	112,275	187,124
부산시	남구	0	0	0	5,036	266	7	10,446	0	84,545	140,909
부산시	동구	0	0	0	1,575	83	2	3,553	0	28,702	47,836
부산시	영도구	0	0	0	1,913	101	3	5,138	0	42,034	70,056
부산시	사상구	0	0	0	3,245	172	5	9,025	0	72,433	120,721
부산시	중구	0	0	0	608	32	1	1,730	0	13,877	23,128
부산시	서구	0	0	0	1,472	78	2	4,411	0	35,691	59,485
부산시	사하구	0	0	0	3,713	196	5	12,556	0	102,091	170,152
경상남도	거제시	0.0	0	0	4,469	236	7	0	0	0	0
경상남도	통영시	0.0	0	0	2,048	108	3	0	0	0	0
제주도	제주	0.0	0	0	1,026	54	1	0	0	0	0

주:굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

2-a-A 영광 → 서울로 바람(15도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	급성장애 (억원)			후발성장애 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	265.8(조원)	0	0	0	2,478,105	130,883	3,638	0	45,358	0	0
충청남도	서천군	0	0	0	41,094	2,171	60	0	4,487	0	0
충청남도	보령시	0	0	0	46,904	2,477	69	0	4,081	0	0
충청남도	청양군	0	0	0	11,088	586	16	0	2,767	0	0
충청남도	홍성군	0	0	0	25,623	1,353	38	0	4,343	0	0
충청남도	예산군	0	0	0	21,924	1,158	32	0	5,182	0	0
충청남도	아산시	0	0	0	56,804	3,000	83	0	4,863	0	0
충청남도	천안시	0	0	0	112,424	5,938	165	0	3,353	0	0
경기도	평택시	0	0	0	71,253	3,763	105	0	6,095	0	0
경기도	오산시	0	0	0	27,144	1,434	40	0	154	0	0
경기도	화성시	0	0	0	75,114	3,967	110	0	6,296	0	0
경기도	용인시	0	0	0	117,936	6,229	173	0	1,983	0	0
경기도	안산시	0	0	0	95,382	5,038	140	0	344	0	0
경기도	의왕시	0	0	0	18,941	1,000	28	0	61	0	0
경기도	시흥시	0	0	0	51,422	2,716	75	0	505	0	0
경기도	군포시	0	0	0	36,653	1,936	54	0	40	0	0
경기도	안양시	0	0	0	76,797	4,056	113	0	0	0	0
경기도	과천시	0	0	0	8,636	456	13	0	9	0	0
서울	금천구	0	0	0	29,070	1,535	43	0	3	0	0
경기도	광명시	0	0	0	40,167	2,121	59	0	59	0	0
경기도	부천시	0	0	0	101,214	5,346	149	0	139	0	0
경기도	광주시	0	0	0	28,832	1,523	42	0	552	0	0
서울	관악구	0	0	0	61,340	3,240	90	0	6	0	0
서울	구로구	0	0	0	48,717	2,573	72	0	4	0	0
서울	서초구	0	0	0	49,491	2,614	73	0	10	0	0
서울	양천구	0	0	0	56,700	2,995	83	0	4	0	0
서울	동작구	0	0	0	45,392	2,398	67	0	3	0	0
서울	영등포구	0	0	0	45,585	2,408	67	0	5	0	0
서울	강남구	0	0	0	63,108	3,333	93	0	9	0	0
서울	강서구	0	0	0	63,554	3,357	93	1	9	0	0
서울	용산구	0	0	0	26,991	1,426	40	2	5	0	0
서울	송파구	0	0	0	75,398	3,982	111	3	7	0	0
서울	마포구	0	0	0	42,674	2,254	63	4	5	0	0
서울	강동구	0	0	0	53,343	2,817	78	5	5	0	0
서울	광진구	0	0	0	40,631	2,146	60	6	4	0	0
서울	중구	0	0	0	14,283	754	21	7	2	0	0
서울	서대문구	0	0	0	34,758	1,836	51	8	4	0	0
서울	성동구	0	0	0	33,102	1,748	49	9	4	0	0
서울	종로구	0	0	0	18,230	963	27	10	5	0	0
서울	동대문구	0	0	0	38,952	2,057	57	11	3	0	0
경기도	하남시	0	0	0	15,944	842	23	12	13	0	0
서울	은평구	0	0	0	51,507	2,720	76	13	6	0	0
서울	성북구	0	0	0	51,372	2,713	75	14	5	0	0
경기도	양평군	0	0	0	9,936	525	15	15	2,085	0	0
경기도	구리시	0	0	0	20,282	1,071	30	16	3	0	0
서울	중랑구	0	0	0	43,952	2,321	65	17	4	0	0
경기도	고양시	0	0	0	97,052	5,126	143	18	684	0	0
서울	강북구	0	0	0	35,082	1,853	52	19	5	0	0
서울	노원구	0	0	0	61,061	3,225	90	20	8	0	0
서울	도봉구	0	0	0	36,459	1,926	54	21	5	0	0
경기도	남양주시	0	0	0	55,719	2,943	82	22	213	0	0
경기도	의정부시	0	0	0	40,707	2,150	60	23	69	0	0
경기도	양주시	0	0	0	17,924	947	26	24	827	0	0
경기도	동두천시	0	0	0	8,024	424	12	25	61	0	0
경기도	포천시	0	0	0	13,172	696	19	26	1,879	0	0
경기도	가평군	0	0	0	4,847	256	7	27	588	0	0
경기도	연천군	0	0	0	3,344	177	5	28	1,785	0	0
강원도	철원군	0	0	0	3,420	181	5	29	4,550	0	0
강원도	화천군	0	0	0	1,643	87	2	30	462	0	0

2-a-B 영광 → 서울로 바람(15도) 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	급성장애 (억원)			후발성장애 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	450.1(조원)	0	0	0	2,127,312	112,356	3,123	56,608	23,493	816,886	1,361,477
충청남도	서천군	0	0	0	3,663	193	5	2,103	0	34,894	58,156
충청남도	보령시	0	0	0	4,829	255	7	3,757	0	62,016	103,359
충청남도	청양군	0	0	0	1,103	58	2	1,139	0	18,946	31,576
충청남도	홍성군	0	0	0	2,493	132	4	3,083	0	50,907	84,844
충청남도	예산군	0	0	0	2,093	111	3	3,045	0	50,635	84,391
충청남도	아산시	0	0	0	5,310	280	8	9,282	0	148,977	248,294
충청남도	천안시	0	0	0	10,413	550	15	19,519	0	314,181	523,635
경기도	평택시	0	0	0	6,417	339	9	14,681	0	136,333	227,221
경기도	오산시	0	0	0	27,144	1,434	40	0	154	0	0
경기도	화성시	0	0	0	75,114	3,967	110	0	6,296	0	0
경기도	용인시	0	0	0	117,936	6,229	173	0	1,983	0	0
경기도	안산시	0	0	0	95,382	5,038	140	0	344	0	0
경기도	의왕시	0	0	0	18,941	1,000	28	0	61	0	0
경기도	시흥시	0	0	0	51,422	2,716	75	0	505	0	0
경기도	군포시	0	0	0	36,653	1,936	54	0	40	0	0
경기도	안양시	0	0	0	76,797	4,056	113	0	0	0	0
경기도	과천시	0	0	0	8,636	456	13	0	9	0	0
서울	금천구	0	0	0	29,070	1,535	43	0	3	0	0
경기도	광명시	0	0	0	40,167	2,121	59	0	59	0	0
경기도	부천시	0	0	0	101,214	5,346	149	0	139	0	0
경기도	광주시	0	0	0	28,832	1,523	42	0	552	0	0
서울	관악구	0	0	0	61,340	3,240	90	0	6	0	0
서울	구로구	0	0	0	48,717	2,573	72	0	4	0	0
서울	서초구	0	0	0	49,491	2,614	73	0	10	0	0
서울	양천구	0	0	0	56,700	2,995	83	0	4	0	0
서울	동작구	0	0	0	45,392	2,398	67	0	3	0	0
서울	영등포구	0	0	0	45,585	2,408	67	0	5	0	0
서울	강남구	0	0	0	63,108	3,333	93	0	9	0	0
서울	강서구	0	0	0	63,554	3,357	93	0	9	0	0
서울	용산구	0	0	0	26,991	1,426	40	0	5	0	0
서울	송파구	0	0	0	75,398	3,982	111	0	7	0	0
서울	마포구	0	0	0	42,674	2,254	63	0	5	0	0
서울	강동구	0	0	0	53,343	2,817	78	0	5	0	0
서울	광진구	0	0	0	40,631	2,146	60	0	4	0	0
서울	중구	0	0	0	14,283	754	21	0	2	0	0
서울	서대문구	0	0	0	34,758	1,836	51	0	4	0	0
서울	성동구	0	0	0	33,102	1,748	49	0	4	0	0
서울	종로구	0	0	0	18,230	963	27	0	5	0	0
서울	동대문구	0	0	0	38,952	2,057	57	0	3	0	0
경기도	하남시	0	0	0	15,944	842	23	0	13	0	0
서울	은평구	0	0	0	51,507	2,720	76	0	6	0	0
서울	성북구	0	0	0	51,372	2,713	75	0	5	0	0
경기도	양평군	0	0	0	9,936	525	15	0	2,085	0	0
경기도	구리시	0	0	0	20,282	1,071	30	0	3	0	0
서울	중랑구	0	0	0	43,952	2,321	65	0	4	0	0
경기도	고양시	0	0	0	97,052	5,126	143	0	684	0	0
서울	강북구	0	0	0	35,082	1,853	52	0	5	0	0
서울	노원구	0	0	0	61,061	3,225	90	0	8	0	0
서울	도봉구	0	0	0	36,459	1,926	54	0	5	0	0
경기도	남양주시	0	0	0	55,719	2,943	82	0	213	0	0
경기도	의정부시	0	0	0	40,707	2,150	60	0	69	0	0
경기도	양주시	0	0	0	17,924	947	26	0	827	0	0
경기도	동두천시	0	0	0	8,024	424	12	0	61	0	0
경기도	포천시	0	0	0	13,172	696	19	0	1,879	0	0
경기도	가평군	0	0	0	4,847	256	7	0	588	0	0
경기도	연천군	0	0	0	3,344	177	5	0	1,785	0	0
강원도	철원군	0	0	0	3,420	181	5	0	4,550	0	0
강원도	화천군	0	0	0	1,643	87	2	0	462	0	0

2-b-A 영광 → 광주로 바람(120도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	급성장예 (억원)			후발성장예 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	209.2(조원)	199,273	102	449	1,786,199	90,470	2,632	0	13,097	0	0
전라남도	영광군 홍농읍	125,363	0	0	0	0	0	0	393	0	0
전라북도	고창군 공음면	49,632	0	0	54	0	0	0	491	0	0
전라북도	고창군 대산면	22,334	71	0	13,784	0	30	0	430	0	0
전라남도	장성군 삼계면	1,173	28	18	24,624	162	36	0	323	0	0
전라남도	장성군 동화면	97	1	7	6,228	85	9	0	141	0	0
전라남도	장성군 황룡면	103	0	14	11,948	218	18	0	219	0	0
전라남도	장성군 삼서면	51	0	9	7,178	142	11	0	233	0	0
전라남도	장성군 남면	21	0	9	7,335	206	11	0	139	0	0
광주시	서구	162	0	133	400,667	20,608	588	0	281	0	0
광주시	북구	234	0	189	610,394	31,869	896	0	731	0	0
광주시	동구	33	0	24	126,500	6,681	186	0	293	0	0
광주시	남구	64	0	45	259,920	13,728	382	0	365	0	0
전라남도	화순군	4	0	2	64,706	3,418	95	0	2,702	0	0
전라남도	순천시	0	0	0	109,368	5,776	161	0	2,606	0	0
전라남도	광양시	0	0	0	46,130	2,436	68	0	1,093	0	0
전라남도	여수시	0	0	0	85,181	4,499	125	0	1,163	0	0
경상남도	남해군	0	0	0	12,186	644	18	0	1,493	0	0

2-b-B 영광 → 광주로 바람(120도) 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	급성장예 (억원)			후발성장예 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
계	234.5(조원)	173,941	55	90	205,016	10,815	301	68,425	0	707,552	1,179,254
전라남도	영광군 홍농읍	125,363	0	0	0	0	0	269	0	3,631	6,052
전라북도	고창군 공음면	46,688	5	0	441	9	1	107	0	938	1,563
전라북도	고창군 대산면	1,695	51	6	3,110	164	5	155	0	1,361	2,268
전라남도	장성군 삼계면	59	0	19	2,592	137	4	253	0	3,408	5,680
전라남도	장성군 동화면	18	0	6	774	41	1	80	0	1,073	1,789
전라남도	장성군 황룡면	19	0	11	1,467	78	2	172	0	2,322	3,870
전라남도	장성군 삼서면	9	0	6	878	46	1	108	0	1,449	2,415
전라남도	장성군 남면	4	0	3	882	47	1	132	0	1,779	2,965
광주시	서구	28	0	13	46,665	2,464	69	10,613	0	83,027	138,379
광주시	북구	41	0	18	71,114	3,756	104	16,340	0	129,989	216,648
광주시	동구	6	0	2	14,616	772	21	3,656	0	29,844	49,740
광주시	남구	11	0	4	30,006	1,585	44	7,479	0	59,177	98,628
전라남도	화순군	1	0	0	7,286	385	11	2,428	0	33,082	55,137
전라남도	순천시	0	0	0	11,160	590	16	9,542	0	127,969	213,282

전라남도	광양시	0	0	0	4,550	240	7	5,093	0	68,117	113,528
전라남도	여수시	173,941	55	90	205,016	10,815	301	68,425	0	707,552	1,179,254
경상남도	남해군	125,363	0	0	0	0	0	269	0	3,631	6,052

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

2-c-A 고리 → 부산으로 바람(225 도) 피난을 하지 않는 경우

시·도	시·구·군	급성장애 (억원)			후발성장애 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
計	471.6(조원)	775,652	448	4,123	3,820,694	108,274	5,705	0	859	0	0
부산시	기장군 일광면	137,963	5	0	891	0	4	0	89	0	0
부산시	기장읍	616,270	354	0	67,973	0	192	0	98	0	0
부산시	연제구	6,634	43	620	530,906	9,075	780	0	30	0	0
부산시	수영구	4,972	29	519	436,608	7,788	641	0	25	0	0
부산시	부산진구	4,646	10	1,103	837,725	20,147	1,230	0	75	0	0
부산시	남구	3,456	7	830	630,387	15,218	926	0	67	0	0
부산시	동구	717	1	264	197,622	5,538	290	0	25	0	0
부산시	영도구	408	0	280	243,680	8,912	358	0	35	0	0
부산시	중구	98	0	82	78,705	3,074	116	0	90	0	0
부산시	서구	196	0	165	189,729	8,070	279	0	7	0	0
부산시	사하구	293	0	261	486,437	24,114	714	0	35	0	0
경상남도	거제시	0	0	0	96,642	5,104	142	0	271	0	0
제주도	제주	0	0	0	23,391	1,235	34	0	14	0	0

2-c-B 고리 → 부산(釜山)으로 바람(225 도) 부산시내 전(기장읍)까지 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	급성장애 (억원)			후발성장애 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
計	437.9(조원)	284,810	1,124	4,127	3,827,606	111,024	5,620	2,155	673	15,228	126,897
부산시	기장군 일광면	132,649	12	0	1,809	12	3	303	0	2,142	17,852
부산시	기장읍	130,742	1,022	4	73,967	2,738	109	1,852	0	13,085	109,045
부산시	연제구	6,634	43	620	530,906	9,075	780	0	30	0	0
부산시	수영구	4,972	29	519	436,608	7,788	641	0	25	0	0
부산시	부산진구	4,646	10	1,103	837,725	20,147	1,230	0	75	0	0
부산시	남구	3,456	7	830	630,387	15,218	926	0	67	0	0
부산시	동구	717	1	264	197,622	5,538	290	0	25	0	0
부산시	영도구	408	0	280	243,680	8,912	358	0	35	0	0
부산시	중구	98	0	82	78,705	3,074	116	0	90	0	0
부산시	서구	196	0	165	189,729	8,070	279	0	7	0	0
부산시	사하구	293	0	261	486,437	24,114	714	0	35	0	0
경상남도	거제시	0	0	0	96,642	5,104	142	0	271	0	0
제주도	제주	0	0	0	23,391	1,235	34	0	14	0	0

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

2-c-C 고리 → 부산으로 바람(225 도) 부산시내까지 피난을 하는 경우

시·도	시·구·군	급성장애 (억원)			후발성장애 (억원)			물적손해 (억원)			
		급성 사망	위독한 급성	경미한 급성	암사망	치유암	유전 장애	피난이주 비용	농업 손해	인적자본 소득손실	물적자본 소득손실
計	627.6	267353	1036	2366	565702	28625	831	68906	14	572237	4768639
부산시	기장군										
	일광면	132,649	12	0	1,810	12	3	303	0	2,142	17,852
부산시	기장읍	130,742	1,022	4	73,967	2,738	109	1,852	0	13,085	109,045
부산시	연제구	1,239	1	531	67,789	3,580	100	7,444	0	59,697	497,475
부산시	수영구	929	0	433	55,695	2,941	82	6,239	0	50,306	419,214
부산시	부산진구	864	0	659	105,701	5,583	155	13,854	0	112,275	935,621
부산시	남구	636	0	492	79,499	4,199	117	10,446	0	84,545	704,545
부산시	동구	130	0	116	24,780	1,309	36	3,553	0	28,702	239,180
부산시	영도구	65	0	61	30,188	1,594	44	5,138	0	42,034	350,280
부산시	중구	16	0	15	9,711	513	14	9,025	0	72,433	603,605
부산시	서구	33	0	25	23,311	1,231	34	1,730	0	13,877	115,638
부산시	사하구	49	0	30	59,324	3,133	87	4,411	0	35,691	297,423
경상남도	거제시	0	0	0	10,533	556	15	4,910	0	57,451	478,761
제주도	제주	0	0	0	23,393	1,235	34	0	14	0	0

주: 굵은 글씨는 피난 대상이 된 지역

< 참고문헌 >

ICRP(1991) 『國際放射線防護委員會の 1990 年勸告』 (社) 日本アイソトープ協會
 ICRP(2009) 『國際放射線防護委員會の 2007 年勸告』 (社) 日本アイソトープ協會
 今中哲二(1996) 「チェルノブイリ原電事故による放射能放出量」、原子力資料情報室編 『チェルノブイリ 10 年：大惨事がもたらしたもの』 所収
 大島堅一・除本理史(2012) 『原電事故の被害と補償—フクシマと「人間の復興」』 大月書店
 經濟産業省(2011) 「東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の事故・トラブルに対する I N E S (國際原子力・放射線事象評価尺度) の適用について」 2011/4/12。
 小出裕章・瀬尾健(1997) 「原子力施設の破局事故についての災害評価手法」、原子力安全研究グループ・原子力安全問題ゼミ、京都大学原子炉実験所
<http://www-j.rrri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No68/kid9708.html>
 小出裕章(1977) 「「原子炉安全性研究」(WASH-1400)とその波紋」 『公害研究』 VOL.7, NO.2
 ゴフマン、J・W(1991) 『人間と放射線』 社会思想社
 桜井淳(1994) 『原電システム安全論』 日刊工業新聞社
 瀬尾健(1995) 『原電事故・・・その時、あなたは!』 風媒社
 竹内憲司(2002) 「生と死の経済学--死亡リスクの微小な変化に対して人々ほどの程度の支払いをするつもりがあるか」 『会計検査研究』、Vol. 26, pp. 229-241
 東京電力に関する経営・財務調査委員会 (2011) 「委員会報告」平成 23 年 10 月 3 日
 朴勝俊(2003) 「原子力発電所の事故被害額試算」環境経済・政策学会 2003 年大会発表論文。
 朴勝俊(2005) 「原子力発電所の過酷事故に伴う被害額の試算」 『国民経済雑誌』 191(3)、pp.1-15

김소영/김성경/박종혁 등 (2009) 암환자의 발생 초기 의료비와 이에 영향을 미치는 요인, 예방의학회지, 42(4).
이용진/김예신/신동천/신영철 (2004) 울산 지역에서 대기중 벤젠으로 인한 암 사망 손실비용 추정 모형에
관한 연구, 자원환경경제연구, 13(1), pp. 49-82.

이지전/유원곤/김소영 등 (2005) 암환자에서 암 발생부위와 생존기간에 따른 사망 전 1 년간의 의료비용,
예방의학회지, 38(1).

Cardis et.al (2006) Cancer Consequences of the Chernobyl Accident: 20 Years On, Journal of Radiological
Protection 26 (2006) 127-140.

Fairlie and Sumner (2006) 20 Years after Chernobyl: A scientific report prepared for the “Chornibyl+20”:
remembrance for the future conference, April 2006. <http://www.chernobylreport.org/>

Friedrich and Bickel eds.(2001) *Environmental External Costs of Transport*, Springer

Greenpeace (2006) The Chernobyl Catastrophe Consequences on Human Health, GREENPEACE 2006.
<http://www.greenpeace.org/international/press/reports/chernobylhealthreport#>

Hennicke, Peter & Stefan Lechtenbömer (1999), Kurzexpertise: Risiken und externe Kosten eines
auslegungüberschreitenden Kernschmelzunfalls, in Rahmen des Projekts: Bewertung eines Ausstiegs aus der
Kernenergie aus klimapolitischer und volkswirtschaftlicher Sicht. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

IARC (2006) The Cancer Burden from Chernobyl in Europe, IARC Press Release No.168, 20 April 2006.
http://www.iarc.fr/ENG/Press_Releases/pr168a.html

Malko, Mikhail V. (1998), Assessment of the Chernobyl Radiological Cosequences, in: Imanaka T. eds. *Research Activities
about Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Suffers by the
Accident*, KURRI-KR-21, March 1998

Shin, Young Chul (2007) Estimating Values of Statistical Lives using Choice Experiment Method, *Environmental and Resource
Economics Review*, Vol. 16, No.3, pp. 683-699.

US-AEC (1957) *Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants* (WASH-
740)

US-NRC (1975) *Reactor Safety Study* (WASH-1400, NUREG 75/014)

US-NRC (1984) *Reactor Risk Reference Document* (NUREG-1150), Main Report, Draft for Comment

Versicherungforen Leipzig (2011), *Calculation of a risk-adjusted insurance premium to cover the liability risks resulting
from the operation of nuclear plants*, Leipzig, 01 April 2011.

<資料・統計>

原子力安全委員会 『原子力施設等の防災対策について』 http://www.bousai.ne.jp/2_6.html

厚生労働省『厚生労働省統計表データベースシステム・厚生統計要覧』

http://www.dbtk.mhlw.go.jp/toukei/youran/indexyk_2_2.html

総務庁統計局 『住宅・土地統計調査（平成 10 年度）』 <http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/>

総務庁統計局 『社会生活基本調査（平成 8 年度）』 <http://www.stat.go.jp/data/shakai/>

総務庁統計局 『統計でみる市区町村のすがた 2002』、総務省統計局 <http://www.stat.go.jp/data/ssds/4-3.htm>

内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部 『平成 11 年度県民経済計算』

통계청(2012) 「2011 년 어업생산동향조사 결과(잠정)」 2012.2.16

e-나라지표 「농림업 생산액 및 GDP 대비 부가가치 비중」

e-나라지표 「어업 생산액 및 GDP 대비 부가가치 비중」

Mashupsoft.com (<http://www.mashupsoft.com/>)

Global Energy Observatory (<http://globalenergyobservatory.org>)

e-지방지표(<http://kosis.kr/wnsearch/totalSearch.jsp>)