

## 고출력 전자기파에 대한 전력망 피해 비용 산출

# Estimation of Damage in Electric Power Networks due to High Power Electromagnetic Pulse

현세영 · 두진경 · 김우주\* · 육종관

Se-Young Hyun · Jin-Kyoung Du · Wooju Kim\* · Jong-Gwan Yook

### 요 약

본 논문은 거시적인 접근방법을 이용하여 고출력 전자기파에 대한 피해 비용을 보다 실제적으로 산출하기 위한 방법을 제시하고, 이에 대한 피해액을 계산하였다. 먼저 취약성 분석을 통하여 사회 기반 시설 중 사회적으로 가장 큰 혼란을 야기할 수 있을 것이라고 판단되는 전력망에 집중하여 연구하였으며, 이에 대해 고출력 전자기파에 의한 피해액 계산식은 GDP에 대한 총 에너지 소비를 고려하여 고출력 전자기파 피해 시 발생할 수 있는 피해 손실을 효과적으로 예측하기 위한 방법을 제시하였다. 피해액은 고출력 전자기파의 공격 형태에 따라 피해 범위를 설정하고 계산하였으며, 이러한 피해액 계산을 통하여 고출력 전자기파에 취약한 시설에 대해서는 피해액 산출 후 방호 비용과 비교하여 시설 방호 대책을 수립할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것이다.

### Abstract

In this paper, economic loss due to high power electromagnetic pulse is estimated and the methodology used for calculating its impacts is suggested using a macro approach. In order to investigate the most critical infrastructure for the high power electromagnetic pulse assault, the vulnerability assessment that provides information on the threats of concern is conducted. As a result, this study concentrates on the electric power networks. The presented assessment model is considered with gross domestic product (GDP) and energy consumption when the electric power networks are damaged due to high power electromagnetic pulse. In addition, economic losses are calculated by the extent of damages considering different types of the high power electromagnetic pulse assault generated by nuclear and man-made weapon. Through the estimation of these damages, the resulted economic loss will be compared with the protection cost. Consequently, protection of the vulnerable infrastructures can be prepared against electromagnetic pulse attack.

Key words: High Power Electromagnetic Pulse, Economic Loss, Electric Power Network, Macro Approach

### I. 서 론

최근 전자기기 기반의 사회로 발전함에 따라 고출력 전자기파에 매우 취약한 환경에 처하게 되었으며, 이에 따라 주요 시설의 전자파 안전성에 대한 확보 및 보장을

위한 체계적인 연구가 시급하다. 현대 사회가 정보화 시대, 디지털 시대로 대변되는 사회로 발전하면서 이에 따라 사회 기반 시설들도 전자 기기들에 의해 상호 연계되어 있으며, 이들 전자 기기 혹은 시스템에 일어날 수 있는 오작동, 장비의 성능 손상 등은 우리 사회에 막대한 피해

연세대학교 전기전자공학부(Department of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University)

\*연세대학교 정보산업공학부(Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University)

· Manuscript received May 6, 2014 ; Revised June 17, 2014 ; Accepted July 7, 2014. (ID No. 20140506-041)

· Corresponding Author: Jong-Gwan Yook (e-mail: jgyook@yonsei.ac.kr)

를 가져올 수 있다<sup>[1][2]</sup>.

고출력 전자파는 전자 장비 혹은 기반 시설 시스템 전체에 원치 않는 동작이나 고장, 파괴 등을 발생시킬 수 있으며, 특히 우리 사회의 중요 시설들은 이러한 영향에 대해 취약한 부분을 가지고 있다. 현재 사회 기반 시설들은 물리적인 충격에 대한 보호 및 방호뿐 아니라, 고출력 전자기파와 같은 의도치 않는 전자기파에 대한 보호 능력 또한 큰 비중을 차지하고 있으며, 아직 고출력 전자기파에 대한 보호 설계 방안은 극히 미비하다. 특히 전자전 시 발생하는 고출력 전자기파에 의한 국가 전략 기관 및 공공, 민간 부분의 운영 설비의 피해 규모에 대한 분석이 미흡하여 효과적인 방호 대책 수립이 어려운 실정이다.

현재 고출력 전자기파로 인한 피해는 피해액이 클 것이라 예측만 되고 있을 뿐, 아직 국내에서는 연구가 거의 이루어지지 않고 있으며, 이에 대한 자료 또한 부족하다. 따라서 고출력 전자기파에 의한 국가 기관 및 공공, 민간 부분의 운영 설비 등 사회 주요 시설들에 대한 피해 규모 분석이 미흡하여 효과적인 방호 대책 수립이 어렵기 때문에, 고출력 전자기파에 대한 피해액을 파악하는 것은 필수적이라 할 수 있겠다. 따라서 본 연구에서는 국가기반시설에 대하여 고출력 전자기파에 대한 경제적 손실이 가장 클 것으로 예상되는 분야를 선정하고, 이에 대해 거시적인 접근 방법을 이용하여 고출력 전자기파에 대한 피해 비용을 보다 실제적으로 산출하기 위한 방법을 제시하려고 하였다. 또한, 고출력 전자기파의 공격 형태에 따라 피해 범위를 설정하여 피해액을 계산하였다.

## II. 피해액 산출

### 2-1 피해액 산출 분야 선정

현재 우리나라에서는 재난 및 안전관리 기본법(제26조)에 따라 국가 기반 체계를 보호하기 위해 계속적으로 관리가 필요한 시설에 대해 국가 기반 시설을 지정하고 있다. 지정 기준은 다음과 같다. 1. 다른 기반 시설, 체계 등에 미치는 연쇄 효과, 2. 둘 이상의 중앙행정기관의 공동 대응 필요성, 3. 재난이 발생하는 경우 국가 안전 보장과 경제, 사회에 미치는 피해 규모 및 범위, 4. 재난의 발생 가능성 또는 그 복구의 용이성.

이러한 지정 기준에 따라 에너지, 정보 통신, 교통수송, 금융, 보건의료, 원자력, 환경, 식용수, 정부 중요 시설 등 9개 분야와 91개 기관, 250개 시설을 국가 기반 시설로 지정하여 운영 중에 있다<sup>[3]</sup>. 또한, 2004년과 2008년 발표된 미국 의회의 고출력 전자기파 위원회 보고서에도 중요 기반 시설을 전력망, 통신망, 금융망, 에너지 관련 시설(석유, 가스 등), 운송망, 음식/물, 긴급 서비스(의료, 소방, 치안 등), 우주 체계(위성 등), 정부 기관 등으로 세분화하고 있다<sup>[4][5]</sup>. 현대 사회에서는 이러한 기반 시설들이 정보화, 자동화됨에 따라 서로 상호 연관되어져 있으며, 분류 시설 중 어느 한 부분이라도 고출력 전자기파에 사고를 당하게 된다면 그 영향은 국가 기반 시설 전체에 걸쳐 일어나게 된다. 이러한 부분은 국가 기반 시설의 특징에 따라 그 영향도가 각각 다를 수 있으며, 각 영향도에 따라 방호 우선 순위를 필요로 한다.

이를 정의하기 위해서는 국가 기반 시설들에 대해 취약성 평가 및 분석을 실시하여 경제적 손실이 많이 발생할 수 있는 시설들의 우선 순위를 결정하고, 선정된 분야 및 시설에 대해서는 세부 분석을 실시하여야 할 것이다.

고출력 전자기파에 대한 위험성을 나타내기 위한 평가 방법으로 George H. Baker가 제안한 취약성 평가 방법은 다음과 같다<sup>[6]</sup>:

$$Risk = E \times V \times C$$

여기서, 각각의 요소들은 다음과 같은 고려사항을 검토하여 결정되게 된다.

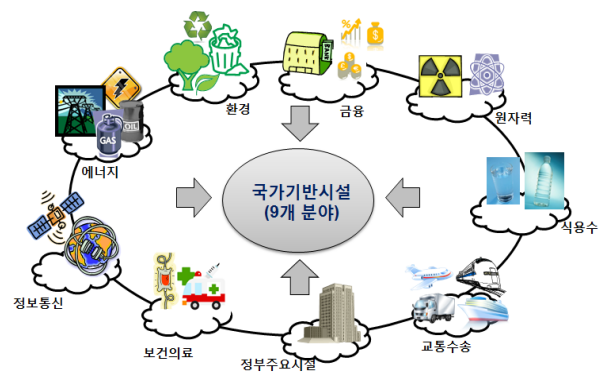


그림 1. 국가 기반 시설 지정 분야  
Fig. 1. National infrastructure.

**E (노출: exposure)**

- 공격을 위한 근접 가능성
- 공격에 대비한 보안성
- 시설의 공격 유인성 및 가시성
- 시설의 발전 가능성 및 목적

**V (취약성: vulnerability)**

- 기반시설과 장거리 도전 선로와의 연결성
- 디지털 전자 제어시스템의 의존성
- 수동 회피방법 절차의 부족
- 시스템을 수리 및 재구성하는데 걸리는 시간
- 방호의 어려운 정도

**C (중요도: criticality)**

- 영향을 받는 다른 기반시설의 수
- 서비스의 효력
- 경제적 충격 정도
- 인적 인과관계의 범위
- 공격 후 다른 기반시설의 수리, 복구를 가능케 하는데 필요한 기반 시설

이와 같은 요소들을 고려하여 위험성에 따라 1~3(값이 클수록 위험도 높음)으로 평가하였을 때, 각 국가 기반시설의 고출력 전자기파에 대한 위험성은 전력을 포함하는 에너지 분야와 정보 통신 분야가 가장 위험도가 높음을 알 수 있으며<sup>[6]</sup>, 금융 재정, 화학 산업/위해성 재료, 방위산업 기지, 수처리, 공공 보건, 재난 서비스, 정부 서비스, 수송, 농업 및 식품, 우편 및 해운 분야 순으로 나타났다. 전력망과 통신망 피해에 대한 우려는 미국의 Baltimore - Washington - Richmond 지역을 대상으로 고출력 전자기파 공격으로 인한 경제적 손실을 평가한 Sage 그룹의 보고서에도 나타난다. 이 보고서에 따르면 전력망과 통신망 시설의 피해가 가장 심각할 것으로 판단되고, 복구 정도에 따라 피해 규모가 달라질 것으로 보고되고 있다. 복구시간은 4개월에서 최악의 경우 33개월까지 소요될 것으로 생각되며, 이에 따라 누적된 피해액은 약 342억 달러에서 최악의 경우 7,708억 달러로 예상되었으며, 방호 대책 수립 시 약 90억~5,860억 달러로 피해를 줄일 수 있을 것으로 추산하였다<sup>[7]</sup>.

이렇게 전력망과 통신망에 대한 피해 우려는 미국에서 보고된 여러 연구들을 통하여 나타나고 있으며<sup>[4-7]</sup>, 현재 전력회사의 전력 설비 자동화 시스템 운용으로 고출력 전자기파에 대한 위험도는 더욱 더 높아지고 있다.

본 논문에서는 참고문헌 [6]의 취약성 평가 결과를 기반으로 사회적으로 가장 큰 혼란을 야기할 수 있을 것이라고 판단되는 전력망에 집중하여 연구하였다.

**2.2 피해액 산출 방법**

본 논문에서는 고출력 전자기파의 피해 범위가 국가적 손실을 불러일으킬 정도로 광범위하기 때문에 GDP(Gross Domestic Product)를 이용한 거시적 방법을 이용하였다.

GDP를 이용하는 거시적 접근 방법의 장점은 국내 전력을 사용하는 주체들이 창출하는 부가 가치의 감소라는 측면에서 사용될 수 있다. 따라서 이를 통해 전력이 GDP에 기여하는 부분을 추정할 수 있다. 이에 반해 단점은 피해액이 부가가치뿐 아니라, 중간 투입 재료를 포함한 전체 매출에 관련될 수 있기 때문에 대략적 추정만 가능하다는 것이다. 하지만 고출력 전자기파 공격과 같이 파급 효과가 매우 광범위한 경우, 많은 경우에서 미시적 방법보다는 국가 전체 혹은 산업별 피해액을 계산할 수 있는 거시적 접근 방법을 이용하여 피해액을 산출하고 있다<sup>[8]</sup>.

전력망 피해에 대해서 일반적으로 정전에 의한 피해는 GDP/전력사용량[원/kWh]으로 공급 지장 비용을 나타내고 있지만, 산업별 지역별 특성을 고려한 전력망 피해를 나타내기엔 적절하지 않은 방법이다. 예를 들어 운수업의 경우, 전력사용량이 0이 된다고 해서 GDP가 0이 된다고 보기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 전체 에너지를 고려하여 고출력 전자기파에 대한 전력망 피해액 계산식을 도출하였다.

우선 순수 전력에 대한 피해액을 계산한다면 GDP 대비 우리나라 총 에너지 사용량에 대한 전력사용량을 고려할 수 있다. GDP의 순수 전력에 대한 의존도는 식 (1)과 같다.

$$\text{GDP의 전력 의존도} = \frac{\text{GDP(원)}}{\text{총 에너지 사용량(TOE)} \times \text{전력사용량(TOE)}} \quad (1)$$

우리나라에서 사용하는 모든 에너지는 석유의 단위인 TOE(Ton of Oil Equivalent)로 환산할 수 있으며, 전력 사용량 역시 TOE로 환산 가능하다. TOE는 석유 환산톤으로 원유 1톤이 갖는 열량으로 107 kcal를 말하며, 전기에너지를 열에너지로 환산할 경우에는 1 kWh=860 kcal를 적용한다. 이 때 전력의 공급 장치가 타 에너지의 사용에 영향을 미치는 경우를 고려해 볼 수 있다. 예를 들어, 정전으로 인해 가스 공급 장치가 제 기능을 할 수 없어 가스 공급에도 연쇄적인 공급 장치가 발생하였다면, 이는 전력 공급 장치가 가스의 공급에도 영향을 주는 경우가 된다. 이러한 경우에는 전력의 타 에너지에 대한 영향력을 고려하여야 하며, GDP의 전력 의존도는 식 (2)와 같이 수정할 수 있다.

$$GDP의\ 전력\ 의존도 = \frac{GDP(원)}{총에너지사용량(TOE) \times (전력사용량 + 타에너지사용량 \times 전력의\ 영향도)(TOE)} \quad (2)$$

여기서 전력의 영향도는 0(0%)에서 1(100%)까지 변할 수 있으며, 이는 산업별 특성에 의존한다. 이와 같은 계산식을 사용함으로써 얻게 되는 장점은 전력 분야뿐만 아니라, 석유, 가스, 석탄, 신재생 에너지 분야 등에 각 에너지에 대한 피해액을 계산할 수 있다는 것이다. 이러한 장점은 본 연구에서 수행된 수식이 여러 분야에 적용될 수 있다는 것을 알 수 있으며, 공급 지장 비용과 같은 거시적인 접근 방법의 수식들보다 정확하게 경제 피해 효

과를 산출할 수 있다.

표 1은 미국의 Baltimore-Washington-Richmond 지역을 대상으로 고출력 전자기와 공격으로 인한 경제적 손실을 평가한 Sage 그룹의 보고서와 본 논문에서 계산한 피해액을 GDP에 대한 비율로 나타내어 비교하였다. 여기서 전력 영향도가 0%라는 것은 순수 전력에 대한 피해액을 의미하며, 전력의 영향도가 100%인 것은 전력 피해 영향이 모든 에너지에 영향을 미치고 있음을 의미한다.

2005년의 우리나라 총 에너지 소비는 1,000TOE 기준 170,854였으며, 전력 소비는 28,588로 약 16.7%를 차지하였다. Sage 그룹 자료는 원으로 환산 시 1,100원을 적용하였으며, 그림 2는 한국 피해액과 비교하기 위하여 1개월로 정규화하여 나타내었다. 피해율은 피해 정도를 낮음, 중간, 높음으로 하여 각각 30%, 40%, 50%이다. 결과로 30% 피해 시 전력의 영향도를 0%로 하면 GDP 대비 피해액은 0.05, 전력의 영향도가 100%일 경우 GDP 대비 피해액은 0.3으로 나타났다.

전력망 30% 피해 시 미국 보고서에서는 피해액/GDP가 0.19로 전력 영향도를 100%로 설정하였을 때보다 약 64.7%의 피해율을 나타내고 있으며, 피해율이 높아질수록 전력 영향도 100%에 가까워짐을 알 수 있다. 즉, 순수 전력에 대한 피해는 피해율에 따라 변화가 거의 없지만, 타 에너지에 미치는 영향은 크게 변할 수 있다는 것이다.

따라서 피해율이 변함에 따라 전력이 타 에너지에 미치는 전력의 영향도를 고려해 주어야 하며, 특히 각 산업

표 1. Baltimore-Washington-Richmond 지역과 한국의 피해 산출액 비교(2005년)

Table 1. Comparison of Baltimore - Washington - Richmond region and Korea for estimated economic loss.

| 구분                                     | 피해          | 30 %    | 40 %    | 50 %    |
|--|-------------|---------|---------|---------|
| Baltimore<br>- Washington<br>- Richmod | 피해액(억원/1개월) | 93,500  | 129,556 | 257,000 |
|  | GDP(억원/1개월) | 482,080 | 482,080 | 482,080 |
|  | 피해액/GDP     | 0.19    | 0.27    | 0.53    |
| 한국(전력의 영향도 0 %)                        | 피해액(억원/1개월) | 36,194  | 48,259  | 60,323  |
|  | GDP(억원/1개월) | 721,034 | 721,034 | 721,034 |
|  | 피해액/GDP     | 0.05    | 0.07    | 0.08    |
| 한국(전력의 영향도 100 %)                      | 피해액(억원/1개월) | 216,310 | 288,414 | 360,517 |
|  | GDP(억원/1개월) | 721,034 | 721,034 | 721,034 |
|  | 피해액/GDP     | 0.30    | 0.40    | 0.50    |

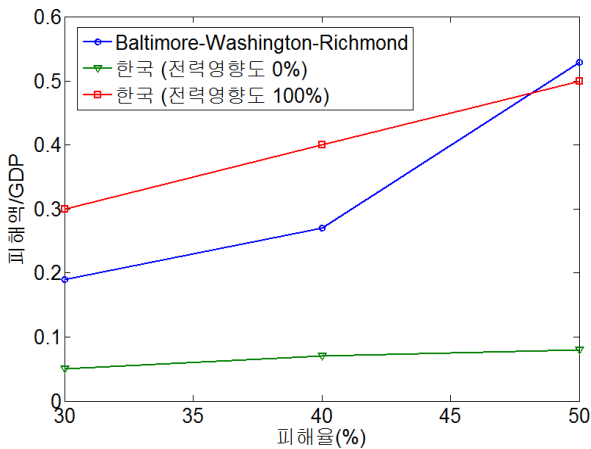


그림 2. Baltimore-Washington-Richmond 지역과 전력 영향도에 따른 한국의 피해 산출액 비교

Fig. 2. Comparison of Baltimore - Washington - Richmond region and Korea for estimated economic loss with electricity influence.

별 지역별로 전력 영향도가 모두 다를 수 있기 때문에, 적절한 전력의 영향도를 선택하여야 한다. 하지만 여기서 정확한 전력의 영향도를 알기 위해서는 추후 각 분야의 전문가들과 함께 논의가 되어야 할 것이며, 본 연구에서의 피해액 산출은 전력의 영향도를 0%(최저)인 경우와 100%(최고)인 경우에 대하여 계산하였다. 이에 따라 수정된 식은 순수 전력에 대한 피해액(타 에너지에 대한 전력의 영향도 0%)과 모든 에너지에 피해가 발생하는 경우(타 에너지에 대한 전력의 영향도 100%)를 모두 구할 수 있다.

피해 범위는 고출력 전자기파의 공격 형태에 따라 피해 범위가 달라질 수 있다. 따라서 피해 범위에 대해 핵폭발로 인한 고출력 전자기파는 매우 광범위한 지역을 대상으로 할 수 있으며, 고출력 전자기파 발생장치로부터 의도적으로 발생된 고출력 전자기파 피해는 이에 비해 특정한 건물이나 장비들을 대상으로 하기 때문에 피해 범위는 상대적으로 작다. 이에 따라 핵에 의한 고출력 전자기파 발생으로 인한 피해에 대해서는 각 산업별, 지역별 피해액을 고려하여 계산하였으며, 의도적으로 발생된 고출력 전자기파의 피해에 대해서는 피해 대상을 변전소로 한정하고, 이로 인해 발생할 수 있는 피해에 대하여 계산하였다. 다음은 이를 이용하여 피해 범위별 피해액을

계산한 내용이다.

### 2-3 핵에 의해 발생된 고출력 전자기파에 대한 피해액 산출 평가

먼저 핵에 의한 고출력 전자기파에 대하여 광범위한 피해 범위를 가정하고, 피해액 계산을 한 내용이다. 이와 같은 공격 유형의 피해는 고출력 전자기파에 대해 노출되는 피해대상이 매우 광범위하기 때문에 취약성 평가에서 노출 부분을 정의할 수 없다. 따라서 피해액은 우리나라 산업과 지역에 대해 피해액을 산출하게 된다.

산업 부문별 고출력 전자기파에 대한 피해액 산출은 총 12개 산업별 GDP와 에너지 사용비율을 바탕으로 계산하였다<sup>9)10)</sup>. 표 3에서 산업별 GDP의 비율을 살펴보면 2010년 기준으로 우리나라는 제조업이 약 30%로 가장 많은 부분을 차지하였으며, 총 에너지 사용량 대비 전력 사용 비율은 약 15.2%로 나타났다. 총 에너지 사용량 대비 전력 사용 비율이 높은 분야는 정보통신업(86.1%), 공공행정 및 국방(74.1%), 금융보험업(69.6%), 교육/보건/사회/기타서비스/기타 부분(62.7%), 부동산 및 임대업/사업서비스 부문(62.7%), 도소매 및 음식숙박업(61.1%)으로 나타났다. 이에 비해 전력사용량은 제조업, 도소매 및 음식숙박업, 교육/보건/사회/기타서비스/기타 부분 순으로 나타나게 된다. 다음의 식은 산업부문별 에너지 공급 지장 비용을 산출하기 위한 식이다.

표 2. 선릉 변전소 복구기간에 따른 청담동/삼성동 피해액 비교(피해율 90%)

Table 2. Economic loss with recovery times after EMP attack on Seolleung transforming station(90% damaged).

| 복구 기간 | 복구 비용 (억 원) | 피해액 (억 원)  |              | 총 피해액 (억 원) |              |
|-------|-------------|------------|--------------|-------------|--------------|
|       |             | 전력의 영향도 0% | 전력의 영향도 100% | 전력의 영향도 0%  | 전력의 영향도 100% |
| 1주일   | 1           | 7          | 27.3         | 8           | 28           |
| 1개월   | 1           | 30         | 118          | 31          | 119          |
| 6개월   | 1           | 182        | 711          | 183         | 712          |
| 1년    | 1           | 365        | 1,423        | 366         | 1,424        |

표 3. 산업부문별 GDP와 전력 사용 비율(2010년 기준)

Table 3. Ratio of GDP and electricity for industry.

| 항목                 | 전력사용량     | 총 에너지  | 전력 사용 비율 | GDP       |
|--------------------|-----------|--------|----------|-----------|
|                    | 1,000 TOE |        | %        | 십억 원      |
| 농림어업               | 864       | 3,201  | 27.0     | 27,832.0  |
| 광업                 | 145       | 240    | 60.4     | 2,223.2   |
| 제조업                | 15,096    | 99,166 | 15.2     | 319,275.2 |
| 전기, 가스, 수도사업       | 611       | 9,854  | 6.2      | 21,473.7  |
| 건설업                | 207       | 1,449  | 14.3     | 66,156.6  |
| 도소매 및 음식숙박업        | 5,458     | 8,928  | 61.1     | 114,858.5 |
| 운수 및 보관업           | 391       | 21,020 | 1.9      | 44,213.6  |
| 금융보험업              | 311       | 447    | 69.6     | 71,846.9  |
| 부동산 및 임대업/사업서비스    | 288       | 459    | 62.7     | 131,540.5 |
| 정보통신업              | 665       | 772    | 86.1     | 42,421.0  |
| 공공행정 및 국방          | 552       | 745    | 74.1     | 65,079.2  |
| 교육/보건/사회/기타 서비스/기타 | 3,224     | 5,139  | 62.7     | 147,012.4 |

표 4. 산업부문별 피해액 산정 결과

Table 4. Economic loss for industry.

| 항목                 | 전력의 영향도 0 % |          |          | 전력의 영향도 100 % |          |          |
|--------------------|-------------|----------|----------|---------------|----------|----------|
|                    | 일일 피해액(억 원) |          |          | 일일 피해액(억 원)   |          |          |
|                    | 피해율 30 %    | 피해율 40 % | 피해율 50 % | 피해율 30 %      | 피해율 40 % | 피해율 50 % |
| 농림어업               | 61.7        | 82.3     | 102.9    | 228.8         | 305.0    | 381.3    |
| 광업                 | 1.1         | 14.7     | 18.4     | 18.3          | 24.4     | 30.5     |
| 제조업                | 399.5       | 532.6    | 665.8    | 2,624.2       | 3,498.9  | 4,373.6  |
| 전기, 가스, 수도사업       | 10.9        | 14.5     | 18.2     | 175.7         | 234.2    | 292.8    |
| 건설업                | 77.7        | 103.6    | 129.5    | 543.8         | 725.0    | 906.3    |
| 도소매 및 음식숙박업        | 577.1       | 769.5    | 961.9    | 944.0         | 1,258.7  | 1,573.4  |
| 운수 및 보관업           | 6.8         | 9.0      | 11.3     | 363.4         | 484.5    | 605.7    |
| 금융보험업              | 410.9       | 547.8    | 684.8    | 590.5         | 787.4    | 984.2    |
| 부동산 및 임대업/사업서비스    | 678.4       | 904.5    | 1,130.6  | 1,081.2       | 1,441.5  | 1,801.9  |
| 정보통신업              | 300.3       | 400.5    | 500.6    | 348.7         | 464.9    | 581.1    |
| 공공행정 및 국방          | 396.3       | 528.4    | 660.5    | 534.9         | 713.2    | 891.5    |
| 교육/보건/사회/기타 서비스/기타 | 758.1       | 1,010.7  | 1,263.4  | 1,208.3       | 1,611.1  | 2,013.9  |

$$\text{산업부문별 피해액 (원)} = \frac{\text{산업부문별 GDP (원)}}{\text{산업부문별 총 에너지 사용량 (TOE)}} \times (\text{산업부문별 전력사용량} + \text{타 에너지 사용량} \times \text{전력의 영향도}) \times \text{피해율 (\%)} \quad (3)$$

여기서, 피해율은 30, 40, 50 %를 가정하였고, 이에 대해 일일 피해액을 산출하였으며 이를 표 4에 나타내었다. 전력에 의한 피해는 일일 피해액 기준으로 교육/보건/사회/기타 서비스/기타 부분(약 1,263억 원)이 가장 높게 나왔으며, 부동산 및 임대업/사업서비스 부분(약 1,130억 원), 도

표 5. 지역별 GRDP와 전력 사용 비율(2010년 기준)

Table 5. Ratio of GDP and electricity for region.

| 항목 | 전력사용량     | 총 에너지  | 전력 사용 비율 | GRDP    |
|----|-----------|--------|----------|---------|
|    | 1,000 TOE |        | %        | 십억 원    |
| 서울 | 4,067     | 15,717 | 25.9     | 271,649 |
| 부산 | 1,743     | 6,683  | 26.1     | 59,531  |
| 인천 | 1,877     | 10,630 | 17.7     | 56,857  |
| 대구 | 1,245     | 4,569  | 27.2     | 35,632  |
| 광주 | 676       | 2,386  | 28.3     | 25,140  |
| 대전 | 763       | 2,568  | 29.7     | 26,413  |
| 울산 | 2,280     | 20,744 | 11.0     | 59,160  |
| 경기 | 8,017     | 24,043 | 33.3     | 232,429 |
| 강원 | 1,277     | 7,732  | 16.5     | 28,829  |
| 충북 | 1,672     | 6,191  | 27.0     | 36,233  |
| 충남 | 3,338     | 21,468 | 15.5     | 76,354  |
| 전북 | 1,630     | 5,121  | 31.8     | 34,643  |
| 전남 | 2,155     | 37,345 | 5.8      | 58,750  |
| 경북 | 3,577     | 19,134 | 18.7     | 78,314  |
| 경남 | 2,713     | 8,329  | 32.6     | 82,341  |
| 제주 | 307       | 1,168  | 26.3     | 10,469  |

소매 및 음식숙박업(약 961억 원), 금융보험업(약 684억 원), 제조업(약 665억 원) 순으로 나타났다. 이와는 달리 에너지 전체에 대한 피해로 보면 제조업(약 4,373억 원), 교육/보건/사회/기타 서비스/기타 부분(약 2,013억 원), 부동산 및 임대업/사업서비스 부문(약 1,801억 원), 도소매 및 음식숙박업(약 1,573억 원), 금융보험업(약 984억 원) 순으로 나타났다. 제조업의 경우, 총 에너지 사용량 중에 전력이 차지하는 비율이 낮으며, 총 에너지를 고려한 피해액과 전력만을 고려했을 때의 피해액 차이가 전체 산업 중 제일 크다. 제조업의 경우, 전력 공급 중단 시 생산 차질 외에도 전력공급 중단 당시에 생산하던 제품에도 영향을 미치게 되므로 산업 특성 상 전력 공급지장 시 전력에 의한 타 에너지의 영향도가 매우 높을 것이라고 판단할 수 있다.

지역별 피해액은 총 16개 지역별 GDP와 에너지 사용 비율을 바탕으로 산출하였다. 표 5에서 지역별 에너지 사용량은 2011지역에너지통계연보(지식경제부/에너지경제연구원)의 자료를 이용하였으며, 2010년을 기준으로 하였

다. 총 에너지 소비는 1,000TOE 단위로 전남(37,345), 경기(24,043), 충남(21,468), 울산(20,744) 등 산업도시에서 높게 나타나며, 전력 사용량은 총 에너지 소비와는 달리 경기(8,017), 서울(4,067) 순으로 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 지역내 총생산을 나타내는 GRDP(Gross Regional Domestic Product)는 해당지역의 부가가치로서 지역별 경제지표를 나타낸다. 2010년 기준으로 서울 2,716,490억 원, 경기 2,424,290억 원으로 지역내총생산이 가장 많은 지역으로 나타났다. 지역별 피해액은 다시 전력의 영향도와 피해율에 따라 다음과 같이 표현된다.

$$\text{지역별 피해액 (원)} = \frac{\text{GRDP (원)}}{\text{지역별 총 에너지 사용량 (TOE)}} \times (\text{지역별 전력사용량} + \text{타 에너지 사용량} \times \text{전력의 영향도}) \times \text{피해율 (\%)} \quad (4)$$

표 6를 통해서 보면 전력에 의한 피해는 일일 피해액은 피해율 50 %를 기준으로 경기(약 1,062억 원), 서울(약 963억 원) 순으로 나타났으며, 총 에너지에 대한 피해액

표 6. 지역별 피해액 산정 결과  
Table 6. Economic loss for region.

| 항목 | 전력 영향도 0 %   |      |       | 전력 영향도 100 % |       |       |
|----|--------------|------|-------|--------------|-------|-------|
|    | 일일 피해액 (억 원) |      |       | 일일 피해액 (억 원) |       |       |
|    | 30 %         | 40 % | 50 %  | 30 %         | 40 %  | 50 %  |
| 서울 | 578          | 770  | 963   | 2,233        | 2,977 | 3,721 |
| 부산 | 128          | 170  | 213   | 489          | 652   | 815   |
| 인천 | 83           | 110  | 138   | 467          | 623   | 779   |
| 대구 | 80           | 106  | 133   | 293          | 390   | 488   |
| 광주 | 59           | 78   | 98    | 207          | 276   | 344   |
| 대전 | 65           | 86   | 108   | 217          | 289   | 362   |
| 울산 | 53           | 71   | 89    | 486          | 648   | 810   |
| 경기 | 637          | 849  | 1,062 | 1,910        | 2,547 | 3,184 |
| 강원 | 39           | 52   | 65    | 237          | 316   | 395   |
| 충북 | 80           | 107  | 134   | 298          | 397   | 496   |
| 충남 | 98           | 130  | 163   | 628          | 837   | 1,046 |
| 전북 | 91           | 121  | 151   | 285          | 380   | 475   |
| 전남 | 28           | 37   | 46    | 483          | 644   | 805   |
| 경북 | 120          | 160  | 201   | 644          | 858   | 1,073 |
| 경남 | 220          | 294  | 367   | 677          | 902   | 1,128 |
| 제주 | 23           | 30   | 38    | 86           | 115   | 143   |

은 서울(약 3,721억 원), 경기(약 3,184억 원) 순으로 나타났다. 여기서 울산, 전남, 강원 등 인구밀도에 비해 공장이 많은 산업 위주 도시의 경우, 피해액은 전력 피해액보다 총 에너지에 대한 피해액이 보다 현실적이라고 생각되며, 이러한 도시들의 경우 전력망에 대한 피해가 타 에너지 분야에 많은 부분 영향을 받을 것임을 알 수 있다.

#### 2.4 의도적으로 발생된 고출력 전자기파에 대한 피해액 산출 평가

의도적으로 발생시키는 고출력 전자기파 공격은 1차 피해를 입은 시설의 피해액보다는 시설이 제 기능을 하지 못하여 발생하는 2차적 파급 효과에 대한 피해가 더 큰 경우라 할 수 있겠다. 따라서 공격대상이 되는 시설들은 파급 효과가 큰 국가 중요 시설들에 대해 공격이 가해질 가능성이 크다. 따라서 이러한 공격 유형에 대한 피해액 평가는 전력망 중에서 변전소를 특정하여 계산하였다. 평가에서 고려한 선릉 변전소는 특별 관리 변전소는 아

나, 서울 주요 지역에 위치하며, 2012년 3월 16일 ‘2012 핵 안보 정상회의’ 개최를 위해 한국전력에서 변전소 폭탄 테러 모의 훈련을 실시했던 변전소로서, 선릉 변전소의 피해는 삼성동, 청담동 지역에 정전을 야기할 수 있다.

본 절에서는 이러한 선릉 변전소에 대한 EMP 공격을 가정하고, 이로 인해 선릉 변전소에 정전 피해가 발생하여 삼성동, 청담동 일대의 90 % 지역에 1시간 동안 정전이 발생하였을 때 이 지역 GRDP에 대한 피해액을 추산하였다. 먼저 2009년 기준 서울지역의 GRDP는 2,575,980억 원으로 조사되었다. 하지만 강남구 지역 혹은 청담동/삼성동 지역에 GRDP는 따로 제공되지 않았기 때문에 여기에서는 이를 추정하고자 몇 가지 가정을 하였다. 만일 피해액을 산출하고자 하는 세부 지역의 GRDP 자료를 얻을 수 있다면 이와 같은 추정 과정 없이 직접 대입하여 피해액을 산출하면 된다. 우선 강남구의 GRDP를 추정하기 위해 GRDP 비율과 전력 사용 비율을 같다고 가정하였다. 이 부분에서 논란이 있을 수 있겠지만, 지역별 GRDP와 전력 사용량을 비교해 보면 GRDP와 전력 사용량이 서로 대략적인 비례 관계에 있음을 알 수 있기에 이러한 가정을 적용하였다. 2009년 기준 서울의 총 전력 사용량은 44,984,456,971 kWh를 기록하였고, 강남구의 전력 사용량은 4,711,804,578 kWh로 서울의 총 전력 사용량의 10.47 %를 차지하였다<sup>[11]</sup>. 여기에 청담동(2.33 km<sup>2</sup>)과 삼성동(3.18 km<sup>2</sup>)이 강남구(39.51 km<sup>2</sup>)에서 차지하는 면적비(약 14 %)를 함께 적용하였다. 이 경우에도 청담동과 삼성동의 전력 사용량을 알 수 있다면 추정 과정을 거치지 않고, 바로 피해액 식에 대입할 수 있을 것이다. 그림 3은 이와 같은 가정들을 적용하여 피해 지역의 시간당 최대 피해 비용 산출 과정을 간략히 정리하여 나타낸 것이다.

따라서 청담동과 삼성동에 최대 피해 비용은 시간당 약 3.9억 원으로, 실제 피해지역의 피해 비용은 전력 사용 비율(26 %)을 고려한 피해 비용 약 1억 원과 최대 피해 비용 3.9억 원 사이로 나타나게 된다. 전체 피해액은 피해 시간에 따른 피해액과 1차 피해를 입은 변전소의 피해액과 더하여 나타낼 수 있다. 표 2는 변전소의 피해에 대한 복구비용을 1억 원이라 가정하고, 복구기간에 따른 피해액을 전력의 영향도에 따라 계산하였다. 이 결과를 통해



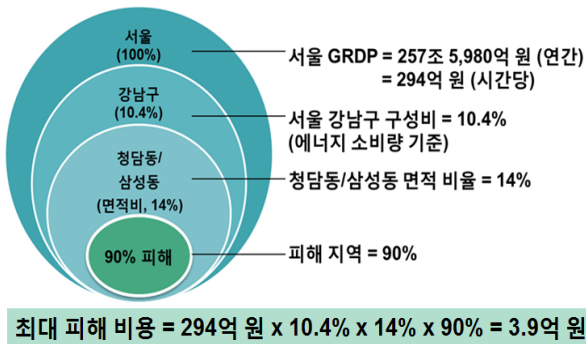


그림 3. 청담동/삼성동의 시간당 최대 피해 비용 산출  
 Fig. 3. Maximum economic loss per hour of Cheongdam and Samsung-dong.

앞에서 언급하였듯이 복구기간이 늘어나게 되면 총 피해액에서 1차 피해시설의 피해액은 미미해지고, 2차 피해의 파급 효과가 더욱 커짐을 알 수 있다. 따라서 고출력 전자기파 공격 대상의 피해 복구 능력은 매우 중요한 파라미터일 것이다.

### III. 결 론

본 논문에서는 국내에서 연구가 거의 이루어진 적이 없는 고출력 전자기파에 대한 피해액을 산출하고, 피해액을 산출할 수 있는 방법에 대해 제안하였다. 고출력 전자기파에 대한 경제적 손실이 가장 클 것으로 예상되는 시설들을 선정하였으며, 이 결과로 전력 분야에 집중하여 고출력 전자기파에 대한 피해액을 산출하였다. 이에 대해 거시적인 접근방법을 이용하여 고출력 전자기파에 대한 피해비용을 보다 실제적으로 산출하기 위한 방법을 제시 하려고 하였다. 고출력 전자기파에 의한 피해액 계산식은 GDP에 대한 총 에너지 소비를 고려하여 발생할 수 있는 피해 손실을 효과적으로 예측하기 위한 방법에 대해 논의 하였다. 또한, 피해액은 고출력 전자기파의 공격 형태에 따라 피해 범위를 설정하고 계산하였으며, 전력 영향도는 0 %와 100 %로 설정하여 계산하였다.

이를 이용한 고출력 전자기파에 대한 피해액 산출은 다양하게 전력망에 대한 피해를 예측할 수 있을 것이라

판단되며, 전력뿐만 아니라 석유, 석탄, 가스 등에 대한 피해도 예측할 수 있다는 것이 큰 특징이라 할 수 있다. 특히 고출력 전자기파에 대해 취약한 시설에 대해서는 피해액 산출 후 방호 비용과 비교하여 시설 방호 대책을 수립할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것이다. 향후 이를 통하여 직접적 피해에 대한 피해액을 산출뿐만 아니라, 고출력 전자기파 피해로 인한 심리적 피해, 손해 배상 등과 같은 추가적으로 발생할 수 있는 잠재적 피해에 대해서도 피해액 산출 가능한 수식에 대해 고려해 볼 수 있을 것이다.

### References

- [1] 현세영, 이경원, 육종관, "철근 콘크리트에 의한 전자기파 차폐 효과 모델링", 한국전자파학회논문지, 23(3), pp. 384-391, 2012년 3월.
- [2] 정연춘, 육종관, "고출력 전자기파 방호 시설의 설계와 구축", 전자파기술, 23(4), pp. 3-15, 2012년 7월.
- [3] 안전행정부 안전관리본부 재난관리국 재난관리과.
- [4] Report of the Commission to Assess the Threat to the United States from Electromagnetic Pulse (EMP) Attack, 2004.
- [5] Report of the Commission to Assess the Threat to the United States from Electromagnetic Pulse (EMP) Attack, 2008.
- [6] George H. Baker, "EMP and Geomagnetic Storm Protection of Critical Infrastructure", 2008.
- [7] Initial Economic Assessment of Electromagnetic Pulse (EMP) Impact upon the Baltimore - Washington - Richmond Region, 2007.
- [8] 박충열, 허창수, "거시적 방법을 이용한 지역별 정전 비용 평가", 한국조명전기설비학회지, 19(1), 2005년 1월.
- [9] 지식경제부, "에너지통계연보", 2012.
- [10] 한국은행, 2010.
- [11] 서울연구원, "서울시 구별 전력 에너지 소비량", 2013.

현 세 영



2009년: 남서울대학교 전자공학과 (공학사)  
2011년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
2011년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
[주 관심분야] 마이크로파 해석, EMP 차폐 설계

폐 설계

김 우 주



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1989년: 한국과학기술원 경영과학 (공학석사)  
1994년: 한국과학기술원 경영과학 (공학박사)  
1996년~2003년: 전북대학교 산업정보시스템공학과 교수

2004년~현재: 연세대학교 정보산업공학과 교수  
[주 관심분야] 시맨틱 웹, 시맨틱 웹 환경의 의사결정지원 시스템, 시맨틱 웹 마이닝, 지식관리 및 인공지능 웹서비스

두 진 경



2005년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
2007년 2월~2010년 3월: 삼성전자 DMC 연구소  
2010년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

[주 관심분야] Multiscale EM analysis, EMT, EMI/EMC

육 중 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1998년: University of Michigan 전기공학과 (공학박사)  
1997년 1월~1998년 10월: University of Michigan Research Fellow

1998년 11월~ 1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer  
1999년 3월~ 2000년 2월: 광주과학기술원 조교수  
2000년 3월~ 현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수  
[주 관심분야] 수치 해석, 바이오 센서, 마이크로파 구조해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조, EMI/EMC, HEMP