The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 18, No. 5, pp.203-208, Oct. 31, 2018. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.5.203
JIIBC 2018-5-26

지진 영향으로 인한 전기시설물의 붕괴피해 연계 방안 연구

A Study on the Connection Method for the Collapse Damage of Electric Power Facilities due to Earthquake Effects

이병훈*, 이병진*, 오승희**, 정우석**, 김경석***

Byung-Hoon Lee*, Byung-Jin Lee*, Seung-Hee Oh, Woo-Sug Jung**, Kyung-Seok Kim*****

요 약 본 논문에서는 지진에 의해 발생 가능한 시설물의 피해 유형 중에서 도시기반시설에 해당하는 전력시설물과 배전시설물을 선정하였고 피해 여부를 산출해내는 방식에 대해 연구를 진행하였다. 피해여부를 산출하기 위해 시설물의 유형과 종류에 따라 취약률을 산출할 수 있는 취약률 곡선 산출식을 적용시켜 피해 규모에 따른 그래프를 산출해 내었다. 산출 결과를 활용하기 위해서 도시기반시설에 지진 발생 상황을 가정하고 지진의 규모와 최대지진가속도에 따른 피해 발생 확률을 취약률 형태로 나타내었다. 또한 산출된 취약률을 정수 형태로 변환하는 방식인 취약률 정량화 방식을 적용시켜 피해 규모에 대한 상수값을 나타내었다. 본 논문에서 적용한 방식과 같은 연구가 지속될 경우 지진 발생 시 피해를 입는 시설물의 유형을 미리 파악하고 피해를 절감하기 위한 대응을 할 수 있을 것이다.

Abstract In this paper, we selected power and power distribution facilities corresponding to urban infrastructure from the types of damage that could be caused by earthquakes and studied how they were calculated to damage. To calculate the damage, a graph of the magnitude of the damage was produced by applying the vulnerability curve calculation formula, which can be calculated for each type and type of facility. The scale of the earthquake and the probability of the occurrence of damage by the maximum earthquake acceleration were shown in the form of a vulnerability rate when the earthquake occurred in the urban infrastructure facility for utilizing the calculation result. It also applied a method of quantifying the fragility, which is a method of converting the calculated fragility into an integrated form, to represent a constant value for the magnitude of the damage. Continuing research, such as the method applied in this paper, could help identify in advance the types of structures affected by an earthquake and respond to reducing damage.

Key Words : earthquake, complex disaster, prediction, modeling

Ⅰ. 서 론

최근 국내에 발생한 규모 6.0의 경주지진, 규모 5.3의 포항지진으로 인해 지진에 대한 국민들의 불안감이 늘어나고 있다. 또한 일본에서 발생하는 지진의 빈도와 규모가 점차 늘어가면서 국내에서도 언제든지 지진이 발생할 수 있다고 여기고 있다. 태풍의 경우 발생과 진행방향, 영향일자를 미리 알고 대응이 가능하다. 지진 또한 기상청에서 지진이 발생했을 경우 지진통보시스템을 통해 주요 기관에 지진정보 전달 및 대응을 하고 있다.[1] 하지만 태

*준회원, 충북대학교 전파통신공학과
**정회원, 한국전자통신연구원
***정회원, 충북대학교 전파통신공학과(교신저자)
접수일자 : 2018년 9월 20일, 수정완료 : 2018년 10월 3일
게재확정일자 : 2018년 10월 5일

Received: 20 September, 2018 / Revised: 3 October, 2018 / Accepted: 5 October, 2018
*Corresponding Author: kseokkim@cbnu.ac.kr
Department of Electrical and Electronic Engineering, Chungbuk National University, Korea

풍과 다르게 발생 시기를 미리 알 수 없어 지진에 의해 발생하는 피해에 사전대응 하는데 어려움이 있다.

지진에 의한 피해는 주로 붕괴로 인한 피해가 발생하게 된다. 이러한 붕괴 피해는 일정 규모 이상으로 지진이 발생할 경우 발생을 하게 되며 붕괴에 따라 추가적인 재해로 이어질 가능성이 있다. 추가적인 재해의 경우 일반적인 주거시설물 외에도 도시 기능에 영향을 주는 도시기반시설물에 영향을 줄 수 있다. 국가기반시설은 전력시설 가스시설 도로시설물 등 53가지 시설물이 있으며 해당 시설물이 피해를 입을 경우 그로인해 도시기능에 추가적인 피해가 발생할 수 있다.

이러한 도시 기반시설의 피해로 인해 에너지사고, 대형교통사고, 정보통신사고, 환경오염사고와 같은 국가 8대 특수재난과 같은 재난이 연계될 수 있으며 이로 인한 피해는 지진에 의한 직접적인 피해만큼 광범위하고 심각하게 발생을 할 것이다. 이러한 피해는 재난 발생 지역에 있는 주요시설물의 유형에 따라 연계여부가 결정되게 될 것이며 현재 주요시설물의 유형에 따른 지진 피해 여부를 산출하는 식은 없는 상태이다.[2]

본 연구에서는 지진으로 인해 발생할 수 있는 피해인 붕괴에 대해 다루며 그 중에서도 광범위한 지역에 걸쳐 심각한 피해를 유발할 수 있는 전기시설물에 대한 지진 규모별 붕괴여부 산출 방식을 적용시켜 결과를 도출시켰다.[3] 결과의 경우 시설물의 피해량에 따른 각각의 취약률을 통해 시설물의 피해여부를 확인하는 방식으로 도출해 내었다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 지진에 의한 피해 시설물 유형 선정에 대해 설명하고 Ⅲ장에서는 전기시설물의 취약률 산출 방법에 대해 설명하고 Ⅳ장에서는 가상 지진에 의한 전기시설물의 종류별 취약률을 도출해내고 Ⅴ장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 지진 피해 시설물 유형 선정

지진에 의한 피해 유형은 셀 수 없을 만큼 다양하게 나타난다. 그 중에서도 주로 발생하는 피해는 붕괴로 인한 피해이며 붕괴가 발생할 경우 정전, 폭발, 화재와 같은 여러 가지 재난으로 연계가 될 수 있다. 여러 가지 재난에 대한 대응을 위해 주변 시설에 큰 영향을 주는 주요시설물을 선정하였으며 시설물 선정은 도시 기반시설을 나열한 표 1을 참고하여 선정하였다. 도시 기반시설의 경우 도시 전체의 기능에 큰 영향을 미치는 시설로 교통시설, 공간시설, 유통/공급시설, 공공/문화 체육시설, 방재시설, 보건위생시설, 환경기초시설과 같은 7가지 유형으로 분류된 53가지 시설로 구성되어 있다.[4] 이 중에서도 주변 시설에 큰 영향을 줄 수 있는 시설로는 물류 운송 및 이동에 큰 영향을 주는 교통시설의 도로시설물과 전기를 사용하는 모든 시설물에 영향을 주는 유통/공급시설의 전기시설물이 있다. 이러한 시설물 중에서도 전기시설물은 피해가 발생할 경우 광범위한 지역에 피해를 가할 수 있기 때문에 전기시설물을 선정하였다.

전기시설물은 변전소로 구성된 전력시설물과 전신주와 같은 배전시설물로 구분하였다. 전력시설물의 경우 154kV 변전소, 345kV 변전소에 대한 분석을 진행하였으며 해당 시설물의 정보는 표 2에 나타나있다. 또한 배전시설물의 경우 도시 내에서 주로 볼 수 있는 콘크리트 전주와 강관전주에 대한 분석을 진행하였으며 표 3과 같은 규격을 가지고 있다.[5][6]

표 1. 도시기반 시설물의 종류
Table 1. Types of urban infrastructure

분류	시설명
교통시설	도로, 철도, 항만, 공항, 주차장, 자동차정류장, 궤도, 기계검사시설
공간시설	광장, 공원, 녹지, 유원지, 공공공지
유통/공급시설	유통, 수도, 전기, 가스, 열, 방송통신, 공동구, 시장, 유류 및 송유
공공/문화체육시설	학교, 공공청사, 문화, 체육, 연구, 직업훈련, 사회복지, 청소년수련시설
방재시설	하천, 유수지, 저수지, 방화, 방풍, 방수, 사방, 방조
보건위생시설	장례, 도축장, 종합의료시설
환경기초시설	하수도, 재활용, 수질오염방지, 빗물저장고, 폐차장

표 2. 전력시설물의 정보
Table 2. Information of power facilities

구분 / 전압	변전소형식	최대공급능력	변압기용량/초	고장용량
154kV	옥내GIS	24만 kW	60 MVA	15 GVA
345kV	Hybrid GIS	200만 kW	500 MVA	40 GVA

표 3. 배전시설물의 정보
Table 3. Information on power distribution facilities

종류	수정 깊이 (m)	수정 밑지름	끝지름	하중 재하 높이	강재재료	
					인장 철근 지름	보강 철근 지름
일반용	8.3	300	190	4740	7.4	5
	10	323	190	6400	8.3	8
중하중용	10	323	190	6400	11	9.2
고강도	11.3	341	190	6500	13	13
	13.2	366	190	6500	13	13

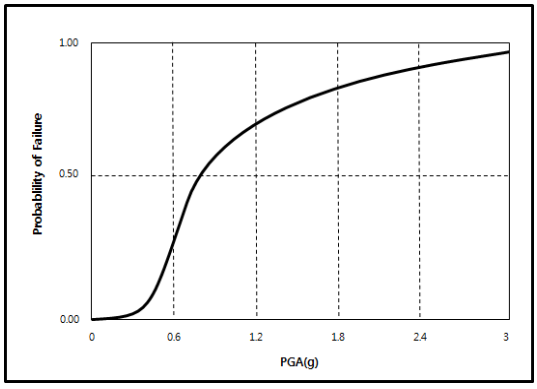


그림 1. 취약도 곡선 산출 예시
Fig. 1. Example of fragility curve calculation

Ⅲ. 전기시설물 취약률 산출 방법

지진에 의한 시설물의 피해여부를 산출하기 위해서 지진의 규모에 따른 피해여부 산출 방법 중 피해 유형에 따른 취약률을 분석하는 방식을 적용시켰다. 취약률 분석은 취약률 곡선의 형태로 결과가 산출되게 되며 취약률 곡선을 산출하는 식은 식 1과 같이 나타나있다. 해당 식의 경우 취약률이 50%가 될 때의 x값을 나타내는 재난 발생 한계변위 중간 값인 $S_{d.ds}$와 그래프의 곡률에 관여하는 시설물의 종류에 따른 표준편차 값인 β, 지진의 규모에 따른 지반변위량 또는 지진가속도 값에 따라 취약률 값이 산출된다. 해당 식을 적용시킬 경우 그림 과 같은 결과를 나타내게 된다. 그림에서 x축의 값은 적용시키고자 하는 값의 단위에 맞게 적용시킬 수 있으며 y값의 경우 0에서 1사이의 값으로 나타나는 것을 확인할 수 있다.[7]

$$P[ds|S_d] = \Phi[\frac{1}{\beta} ln(\frac{S_d}{S_{d.ds}})] \quad (1)$$

그림과 같은 결과를 통해 지진이 발생했을 경우 지진의 규모에 따라 피해가 발생할 확률을 알 수 있고 이를 적용시켜 시설물에 대한 피해여부를 예측할 수 있다. 또한 시설물의 피해를 경미한 피해, 보통 피해, 심각한 피해, 완벽한 피해의 4단계로 나누어 각각의 결과를 합산하는 방식을 통해 피해발생 유형을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 지진에 의한 전기시설물 취약률 산출 결과

취약률 곡선을 산출하기 위해 필요한 데이터 중 x값의 경우 지진 최대가속도를 활용하였다. 지진 최대가속도는 지진의 규모와 지진의 진원깊이에 따라 산출되는 값으로 지진가속도가 높을 경우 지반이 크게 흔들리게 되어 큰 피해를 입히게 된다. 재난 발생 한계변위 중간 값 $S_{d.ds}$와 시설물 종류에 따른 표준편차 값 β는 시설물 유형별로 정리된 값을 활용하였다.[6] 정리된 값의 경우 시설물의 종류, 손상상태에 따라 표 4와 표 5에 중간 값과 표준편차 값을 나타내었다.

표 4. 전력시설물의 중간 값 및 표준편차 값
Table 4. Mid-range and standard deviation of power facilities

구분	손상상태	중간 값	표준편차 값
345kV	경미	0.20	0.60
	보통	0.28	0.50
	심각	0.39	0.40
	완벽	0.71	0.40
154kV	경미	0.31	0.50
	보통	0.37	0.45
	심각	0.46	0.35
	완벽	0.92	0.40

표 5. 배전시설물의 중간 값 및 표준편차 값
Table 5. Mid-range and Standard Deviation of Power distribution Facilities

구분	손상상태	중간 값	표준편차 값
콘크리트 전주	경미/보통	0.49	0.90
	심각/완벽	0.84	0.74
강관전주	경미/보통	5.26	1.26
	심각/완벽	6.05	1.15

앞서 나열한 표 4와 표 5의 중간 값과 로그표준편차 값을 취약률 곡선 산출식에 각각 적용한 결과는 그림 2와 3과 같은 그래프를 나타낸다. 그래프는 지진의 최대지진가속도에 따른 시설물 유형과 피해정도에 대한 취약률 곡선을 나타내며 최대지진가속도 값에 따라 피해 정도를 0에서 1의 값으로 산출해낸다. 해당 결과를 통해 지진 가속도에 따른 시설물의 손상 발생 확률을 산출할 수 있다.

이러한 시설물 취약률 곡선을 활용하여 지진이 발생한 상황에 대한 피해율을 산출하였다. 산출을 위해 전기시설물이 있는 지역에 규모 6.0의 지진이 발생했다고 가정하였으며 지진에 의해 발생한 지진최대가속도는 0.34g로 발생했다고 가정하였다. 이를 시설물별 취약률 곡선에 적용시킬 경우 표 6과 같은 결과를 나타낸다.

표 6. 시설물 종류별 취약률 산출 결과
Table 6. Results of calculation of vulnerabilities by facility type

구분	손상상태	취약률
345kV 변전소	경미	0.82
	보통	0.67
	심각	0.39
	완벽	0.04
154kV 변전소	경미	0.61
	보통	0.40
	심각	0.13
	완벽	0.01
콘크리트 전주	경미/보통	0.33
	심각/완벽	0.11
강관전주	경미/보통	0.03
	심각/완벽	0.01

산출된 시설물에 대한 취약률의 경우 각각의 피해 규모에 따른 발생할 확률로 표현이 되기 때문에 피해여부를 확인하기엔 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해 취약률에 대한 결과를 정수 값으로 정량화 시키는 과정인 취약률 정량화를 적용시켰다.[8] 취약률 정량화는 각각의 피해 규모별로 가중치 값을 곱하여 산출한 값으로 피해가 거의 없는 0부터 심각한 피해 또는 붕괴가 발생하는 1사이의 값으로 산출된다. 취약률 정량화를 적용시킨 결과는 표 7과 같다. 표 7에서 적용시킨 각각의 피해에 대한 가중치 값의 경우 피해 규모별 값이 산출되어 있지 않기 때문에 임의의 값인 0.25를 각각 적용시켰다.

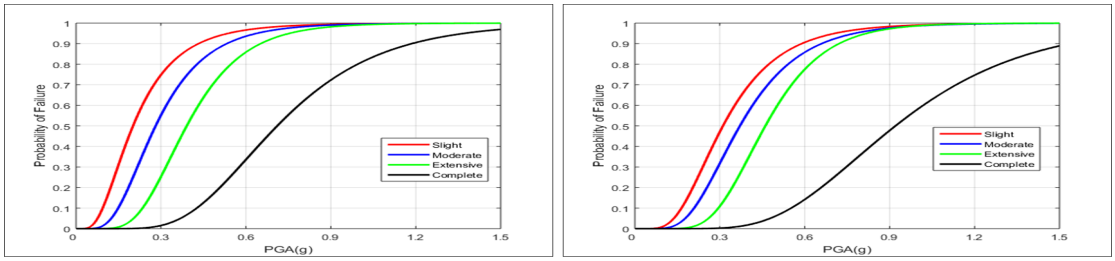
표 7. 취약률 정량화 적용 결과
Table 7. Results of applying vulnerability quantification

구분	손상상태	취약률	정량화 수치
345kV 변전소	경미	0.82	0.21
	보통	0.67	0.17
	심각	0.39	0.10
	완벽	0.04	0.01
154kV 변전소	경미	0.61	0.15
	보통	0.40	0.10
	심각	0.13	0.03
	완벽	0.01	0.00
콘크리트 전주	경미/보통	0.33	0.17
	심각/완벽	0.11	0.06
강관전주	경미/보통	0.03	0.02
	심각/완벽	0.01	0.01

표 7에서 나타나는 각각의 정량화 수치를 더하면 345kV, 154kV 변전소에 각각 0.49와 0.28의 값이 나타나고, 콘크리트 전주와 강관전주에 각각 0.33, 0.03의 값이 나타나는 것을 확인할 수 있으며 이를 통해 피해 규모가 어느 정도로 발생하였는지 확인할 수 있다.

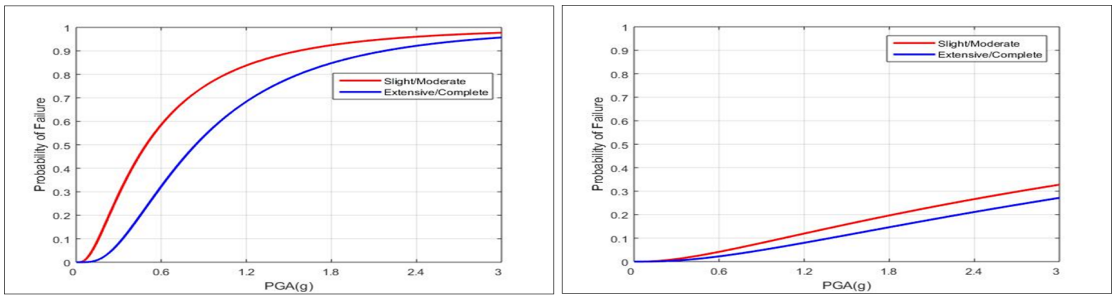
V. 결 론

본 논문은 지진이 도심지에서 발생했을 때 시설물의 피해여부를 확인하기 위한 연구를 진행하였다. 시설물의 경우 도시기반시설물을 다뤘으며 53가지 도시기반시설물 중에서도 정전으로 피해가 연계될 수 있는 전기시설물에 대한 연구를 진행하였다. 연구는 지진에 의한 전기시설물인 변전소와 전신주의 붕괴여부를 시설물의 종류



(a) (b)

그림 2. (a) 345kV 변전소의 취약률 곡선, (b) 154kV 변전소의 취약률 곡선
Fig. 2. (a) Vulnerability Curve of 345kV substations, (b) Vulnerability Curve of 154kV substations



(a) (b)

그림 3. (a)콘크리트 전주의 취약률 곡선 (b) 강관전주의 취약률 곡선
Fig. 3. (a) Fragility curve of concrete poles, (b) Fragility curve of steel poles

와 지진의 규모에 따라 발생하는 최대지진가속도를 통해 나타내었다.

지진 피해여부를 나타내기 위해 지진의 규모에 따라 나타나는 최대지진가속도에 따른 피해율 산출식을 적용시켰으며 시설물의 종류별로 나타나있는 중간 값과 표준정규분포 값을 통해 지진에 대한 취약률을 산출해 내었다. 취약률의 경우 피해의 규모에 따라 경미, 보통, 심각, 완벽의 4단계로 나타내었으며 피해단계별 전기시설물의 취약률 산출 값을 통해 어느 정도의 피해가 발생할 수 있는지 확인하였다.

취약률 산출 값을 정리하는 방식으로는 결과 값을 정수 값으로 정량화 시키는 방식을 사용하였다. 해당 방식의 경우 정량화를 산출하기 위한 가중치 값이 필요하지만 현재 전력시설물과 배전시설물에 대한 피해 가중치 값이 없는 상태이기 때문에 이에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

본 연구가 지속적으로 진행될 경우 현재 진행된 시설물인 전력 및 배전시설물 외에도 여러 가지 도시기반시설물에 대한 분석이 이루어지게 될 것이며 이러한 분석이 누적될 경우 지진 발생 규모에 따라 어떠한 시설물에 심각한 피해가 발생하는지 확인할 수 있을 것이다.

References

[1] Inchan Jeon, Seong-Jong Choi, Yong-Tae Lee, Sung-Dae Hong. (2012). A Development Of A System For Earthquake Warning Using Social Media. The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, 12(5), 169-175. http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.5.169

[2] Chang Seob Kim, Dong Myeong Ha. (2016). A Study on the Concept & Definition of Special Disaster. Korean Journal of Hazardous Materials, 4(2), 36-40.

[3] Rose, Adam, et al. "The regional economic impact of an earthquake: Direct and indirect effects of electricity lifeline disruptions." Journal of Regional Science 37.3 (1997): 437-458.

[4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Law on Land Use and Planning - Infrastructure”

[5] Kim, Min-Kyu Choun, Young-Sun Choi, In-Kil Oh, Keum-Ho, (2009) “Seismic Fragility Analysis

of Substation Systems by Using the Fault Tree Method", Earthquake Engineering Society of Korea, 13(2), 47-58

[6] Chang-Su Lee, (2015), "Development of Seismic Fragilities for Urban Infrastructure Network", Korea Institute of Science and Technology Information.

[7] Seo, Hyeong-Yeol, et al. "Modified HAZUS Method for Seismic Fragility Assessment of Domestic PSC-I Girder Bridges." Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection14.2 (2010): 161-170.

[8] Kruger, A. C. Pillay, D. L. & Van Staden, M. (2016). Indicative hazard profile for strong winds in South Africa. South African Journal of Science, 112(1-2), 01-11.
DOI: http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2016/20150094

저자 소개

이 병 훈(준회원)

• 2017년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 공학사
• 2017년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 석사과정
<주관심분야 : 재난 시스템 모델링, 전파신호처리, IR-UWB 레이더 신호처리>

이 병 진(준회원)

• 2013년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
• 2013년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파공학과 석박사 통합과정
<주관심분야 : 가시광 통신, Cognitive Radio, 전력선 통신, MIMO-OFDM>

오 승 희(정회원)

• 1994년 3월 ~ 1999년 2월 : 전북대학교 전자계산학과 졸업(학사)
• 1999년 3월 ~ 2001년 2월 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 대학원 졸업(석사)
• 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송미디어연구소 선임연구원
<주관심분야 : 재난정보시스템, 항공 및 해상 관제시스템, 네트워크 보안>

정 우 석(정회원)

• 1987년 3월 ~ 1992년 2월 : 명지대학교 전자공학과 졸업(학사)
• 1992년 3월 ~ 1994년 2월 : 명지대학교 전자공학과 대학원 졸업(석사)
• 2002년 3월 ~ 2009년 8월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 대학원 졸업(박사)
• 1994년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송미디어연구소 책임연구원
<주관심분야 : 재난정보시스템, IoT, 가상/증강현실, 스마트그리드, 실내측위, 네트워크 보안>

김 경 석(정회원)

• 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
• 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자 공학과 대학원 졸업(공학박사)
• 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
• 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
• 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 정교수
<주관심분야 : 5G Massive-MIMO, 복합 재난 모델링 기술, 전파채널모델링, 지정맥 알고리즘, Cognitive Radio, 가시광통신, 위성보안망분석, 디지털라디오>

※ 본 연구는 행정안전부 극한 재난대응 기반기술개발사업의 연구비 지원(2017-MOIS31-001)에 의해 수행되었습니다.