

사회기반시설의 화산재해 복구 우선순위 산정

박형근* · 강교석**

Park, Hyung keun*, Kang, Kyo seok**

Priority Analysis for Infrastructure Recovery from Volcanic Disaster

ABSTRACT

Recently volcanic eruptions and activities occurring in many parts of world have become a common global concern to many countries. The severity of these Volcanic disasters, such as of Mt. Eyjafjallajokull in Iceland and Mt. Merapi in Indonesia, have caused damages and casualties reaching astronomical levels. The infrastructure is categorized into 18 sections that appropriately reflecting the survey data collected from various government agents, current inhabitant and engineers to accumulate a database on the priorities and preferences of restoring and reconstructing many kinds of infrastructure and facilities. The survey data was collect by using the "Likert 5 Scale Method" which emphasized the importance and priority of reconstruction and restoration for the specific facilities and infrastructures. The data was corrugated, organized and used in plotting and planning a strategic recovery agenda. The survey results were analyzed and verified to ensure the validity and reliability of the data by using chi-square test. This paper presents that recovery period and recovery cost to the total damage of infrastructure and facilities were used to make a recovery network with implemented construction management method. The research is expected that a more efficient and prompt recovery protocol and recovery plan can be executed and can be use as a reference and database.

Key words : Volcanic disaster, Recovery priority, Infrastructure, Primary response

초록

최근 아이슬란드의 에야프얄라요쿨화산과 인도네시아의 메라피화산의 등 대형화산재해에 따른 국가적 손실이 세계 곳곳에서 빈번하게 발생하고 있으며 천문학적인 경제적 손실과 인명손실이 발생하였다. 국내의 경우 한반도의 백두산이 최근 빈번한 지진과 함께 발생하는 가운데 백두산화산 분화의 가능성이 고조되고 있는 현실이다. 본 논문은 사회기반시설에 대해 18가지로 분류를 통해 인도네시아 현지 공무원, 주민, 연구원을 대상으로 사회기반시설의 복구우선순위에 대한 리커트 5점척도 방법으로 설문문을 실시하여 설문결과에 가중치를 적용, 정량적인 복구우선순위 결과와 사회기반시설의 복구 니즈를 도출하였다. 국내의 경우 화산재해의 피해경험이 전무하기 때문에 이에 따른 피해자들의 복구수요 파악이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구를 통해 도출된 재해 복구 우선순위를 국내 대형 화산재해 발생 시 복구 우선순위로 활용할 수 있을 것으로 기대하며 연구결과를 활용하여 화산재해 발생 시 복구, 복원 시 참고할 수 있는 자료로써 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

검색어 : 화산재해, 복구우선순위, 사회기반시설, 초등대응

* 정회원 · 교신저자 · 충북대학교 토목공학부 교수 (Corresponding Author · Chungbuk National University · parkhk@chungbuk.ac.kr)

** 충북대학교 토목공학부 공학석사 (ggseok@nate.com)

Received January 9, 2014/ revised February 5, 2014/ accepted March 4, 2014

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 아이슬란드 에이아프얄라요쿨화산의 분화(2010)와 인도네시아 메라피화산의 분화(2010)의 분화의 기록을 보면 아이슬란드 에이아프얄라요쿨화산의 경우 인명피해는 없었지만 대량의 화산재로 인한 항공기운항의 마비로 인해 막대한 사회경제적 손실이 발생하였다. 인도네시아 메라피화산의 경우 지진발생 후 연쇄적인 화산의 분화로 인해 초등대응의 실패로 인명피해발생 및 천문학적인 자연피해액이 발생하였다(Kim and Park, 2013).

한반도 백두산 화산의 경우 최근 2002년 6월부터 2005년 12월 까지 약 3년 동안 한 달에 최대 250회의 지진파가 빈번하게 관측되고 있으며, 일본 연구진인 히로미쓰의 연구결과에 따르면 백두산 화산의 분화는 2032년 까지 99% 분화가능성이 있다고 발표되었다(The Korea Economy Daily, 2012). 2011년도 기상청은 중국의 경우 백두산의 분화위험 등급을 주의 단계에서 경고 단계로 조정 검토가 진행되고 있는 단계이다.

그러나 국내의 경우 화산재해로 인한 문헌적인 기록만이 남아 있을 뿐, 실질적인 초등대응의 경험과 피해에 대한 예측 및 화산 재해복구에 대한 체계적인 시스템이 전무한 상황이다. 대형 재해의 경우 재해로 인한 교통, 통신 등의 단절로 인해 복구의 초등대응체계가 무너지게 되어 대혼란이 발생하게 된다. 즉, 복구를 지원하는 단체의 접근성마저 불가능하게 되며 재해 복구 수요자가 필요로 하는 복구내용을 찾아내지 못하는 상황이 발생하게 된다(Toba, 2011).

따라서 본 연구에서는 화산재해의 초등대응의 방안으로서 재해 발생 시 긴급복구에 관한 민감도와 재해복구비용, 재해복구기간의 가중치를 부여하여 재해 복구 우선순위를 산정을 목적으로 한다. 산정된 최종 우선순위를 바탕으로 최적의 복구시나리오 도출에 활용하고자 한다.

1.2 연구의 범위

재해 발생 시 발생하는 활동에 대해 재해 예방에서 개발 계획에 까지 총 7단계로 정의 한다. 본 연구는 재해 위기관리단계에서 비상관리, 재할, 복원에 이르는 단계이며 각 단계에서 필요로 하는 활동에 대해 사회기반시설 복구 우선순위 산정을 연구범위로 한다. 또한 인도네시아의 단계별 복구비용과 복구기간을 조사하고 통계적 분석을 통해 공공시설, 통신, 환경 등 추후 재난위험관리 방안으로 예방단계에서 활용 할 수 있도록 연구한다.

1.3 연구방법

본 연구는 국내화산의 분화기록에 의한 피해의 정량적인 피해추

정치가 전무한 관계로 해외사례를 적용한 재해 복구금액의 정량적인 산출을 근거로 진행하였다. 본연구의 연구방법은 아래와 같다.

첫째, 최근 해의 화산사례를 분석하여 연구지역을 선정하였다.

둘째, 연구지역을 인도네시아 조사를 통해 재해에 따른 사회기반 시설 피해 자료를 수집하였다.

셋째, 리커트 5점 척도 방식으로 설문조사를 실시하였으며 설문 자료의 일관성을 검증하기 위해 카이제곱검증을 통해 설문내용의 일관성을 확인하였다.

넷째, 화산재해 유경험자를 대상으로 인터뷰를 통해 화산재해 발생 시 사회기반시설복구수요를 파악 하였으며, 설문대상의 재해 민감도와 재해복구금액과 복구기간을 활용하여 가중치를 부과한 우선순위를 재 산정하였다.

다섯째, 재 산정된 사회기반시설 복구순위를 바탕으로 시설의 복구네트워크를 작성하여 재해발생 시 복구비용과 복구순서에 대한 분석을 실시하였다.

작성된 네트워크를 활용하여 최종 우선순위를 제안함으로써 재해발생 시 초등대응의 자료로 활용될 수 있도록 하였다.

2. 인도네시아 화산재해 현황

2.1 최근 세계 화산재해동향

전 세계적으로 화산분화가 진행되는 화산은 Table 1과 같이 분포하고 있으며, 그 중 아시아를 중심으로 가장 많은 화산 분화 수를 보유하고 있다. 그 중 본 연구에서는 해외사례 적용 지역으로 인도네시아 메라피 화산을 선정하였다. Table 2는 최근 국제 화산 분화의 기록을 살펴보면 인도네시아 메라피화산의 천문학적인 금액피해와 인명피해를 발생한 것을 확인할 수 있다.

Table 1. Status of Volcanic Disaster (1900~2013)

Volcano distribution map					
Item	Africa	America	Asia	Europe	Oceania
Number of volcano eruption	17	81	93	12	23
Death toll	2,218	67,858	21,788	783	3,665
Economic damage (\$)	9,000	2,168,697	708,351	44,300	110,000

Table 2. Case in the World of Recent Volcanic Disaster

Nation	Volcano name	Year	Introduction
Japan	Unzen	1991	Unzen volcano eruption had a massive casualties by rocks and tsunami, weak of awareness, killed volcano's specialists, fire fighter and media people who observed volcano eruption in evacuation area.
Philippines	Pinatubo	1991	In the case of Pinatubo, it was a massive explosion, but it succeeded in predicting volcanic eruptions, deaths from direct damage volcano was less than that of the socio-economic impact and the nature of the worst damage.
Iceland	Eyjafjallajokull	2010	Because of volcanic ash, the aircraft cancelled worldwide. Thereby Each country has resulted in enormous social and economic damage.

Table 3. Number of Deaths by 2010 Eruption of Merapi Volcano (BPBD, 2011)

Date	Loss of lives
Oct. 26, 2010 ~ Nov. 4, 2010	40
Nov. 5, 2010 ~ May 23, 2011	306
The total	346
The cause of death	Loss of lives
The number of death from scald	186
The number of death from non scald	160
The total	346

2.2 인도네시아 메라피화산

인도네시아 메라피 화산은 높이 2,930m로 인도네시아에서 가장 활발한 화산이며 1548년부터 정기적으로 분화되었다. 인도-오스트레일리아 판 사이에 위치한 유라시아 플레이트로 잦은 분화기록을 갖고 있다. 일반적으로 화산의 분화는 2~3년 주기로 발생하였고 대형 피해는 10~15년 간격으로 발생하며 화산분화로 인해 화산 북쪽 28km에 위치한 족자카르타 도시에까지 화산재로 인한 작간 점적인 피해를 발생하였다. 또한 메라피 화산에 위치한 시설물에는 쇄설물, 용암에 의한 직접적인 피해를 발생하였다.

2010년 11월분화로 인해 최대 15만명의 이재민을 발생시켰으며, Table 3과 같이 2010년과 2011년에 걸쳐 총 346명의 사망자를 발생하였다(BPBD, 2011).

Table 4. Classification of Social Infrastructure Facilities

1st Classification	2nd Classification
Traffic equipment	Road
	Railroad
	Airport
	Bridge
Facilities space	Square
	Park
	Public open space
Distribution provision facilities	Economic equipment
	Water supply facilities
	Electricity supply facilities
	Gas supply facilities
Disaster prevention facility	Communication facility
	Retarding basin
Sanitation	Dam
	Crematory
	Charnel Facilities
Environmental Foundational Facilities	Sewage treatment equipment
	Waste disposal equipment

2.3 사회기반시설의 분류

서울시의 도시계획용어사전(2012)을 참고하여 사회기반시설의 정의는 “도시계획 용어로서의 기반시설은 도로·공원·시장·철도·등 도시주민의 생활이나 도시기능의 유지에 필요한 물리적인 요소로 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 의해 정해진 시설을 말한다”(Seoul Urban Planning Bureau, 2012). Table 4는 서울시 도시계획국의 기반시설의 분류에 따라 교통시설, 공간시설, 경제시설, 방제시설, 보건위생, 환경기초시설로 대분류하였으며 그에 따른 소분류로 도로, 철도, 공항, 교량, 광장, 공원, 녹지, 경제시설, 수도시설, 전기시설, 가스공급시설, 통신시설, 하천·저수지, 댐, 화장장, 공동묘지, 하수처리시설, 폐기물처리시설의 18가지로 구분하였다.

3. 사회기반시설 복구 우선순위 선정

본 연구는 화산재해에 따른 피해 현황과 복구금액, 복구기간, 복구 수요를 파악하였으며, 실제 화산 재해 유경험 대상자들을 대상으로 사회기반시설이 재해로 인한 피해 발생 시 가장 중요시 되는 사항에 대해 설문 조사를 실시하였다. 사회기반시설의 분류와 정의는 Table 4와 같이 서울시 도시계획용어사전(2012)을 참고하였으며 총 6가지 대분류와 18가지소분류로 정의하였다.

설문 결과 국내 용어사전의 분류와 실제 인도네시아 현지 사회기반시설의 분포와의 차이가 발생하여 2가지의 소분류(화장장, 가스공급시설) 부분에서 신뢰성이 떨어지는 답변을 받았지만 그 외 사회기반시설에서는 정량적인 결과를 도출하였다.

3.1 리커트 척도기법을 활용 방법

리커트 척도라는 명칭은 이 척도 사용에 대한 보고서를 발간한 렌시트 리커트의 이름에서 따온 것이다(Institute for Social Research, 2011). 리커트 척도는 개인, 대상, 관념, 현상 등에 대한 개인의 태도나 성향의 강도를 측정하는 기법으로, 태도는 하나의 극단적인 입장 중에서 중립을 거쳐 또 다른 극단으로 나아가는 단순한 양분론적인 연속체라고 가정한다.

본 연구에서는 각각의 소분류 사회기반시설에 대해 응답자들에게 다음과 같은 질문을 제시하였다. “화산재해에 대해 도로복원은 얼마나 중요한가?”, “화산재해에 대해 댐 복원은 얼마나 중요한가?”와 같은 질의에 1.매우중요, 2.중요, 3.보통, 4.중요하지 않음, 5.매우중요하지 않음 등의 응답으로 설문지가 구성되었다. 설문결과에 대해 조사결과의 일관성을 검증하기 위해 카이제곱 검증을 통해 설문 대상자들의 일관성 있는 답변을 수거하였는지에 대한 검증을 실시하였다.

3.2 설문대상자의 범위

본 연구는 인도네시아 현지 사례적용 연구로써, 인도네시아 현지 언어로 설문을 진행하였다. 수거된 설문지는 5매 1개설문지로 총 125매 25개설문지를 수거하였으며 설문회수율은 100%이다. 설문 내용은 간단 5점 척도 설문으로써 18개의 소분류에 대해 각 소분류들의 중요성을 평가하는 항목으로 구성되었다.

설문 대상의 경우 현지 재난관리기관인 BPBD Sleman (Sleman Regional Disaster Management Board)와 재해 모니터링 기관인 BPPTKG (Agency for Investigation and Technological Development of Geological Hazard), 대학연구기관인 DREaM UDI (Disaster Research Education and Management in Univ. Development Indonesia) 등 현지기관 종사자들과 현지주민은 Purwobinangun 마을과 Hargobinangun마을주민을 대상으로 진행하였다. Table 5는 설문 대상자와 참여 인원이다.

Table 5. Classification of Survey Subjects

Survey time : 2013.09.01.~2013.09.11.	
Subject	Respondent No.
Local researcher	8
Local public servant	5
Local resident	12
The total	25

3.3 사회기반시설 복구 우선순위 설문 결과

리커트 5점 척도를 활용한 설문조사는 응답에 대한 답변을 개별적인 점수로 환산하였으며 설문의 결과는 사회기반시설들의 점수를 종합하여 점수화 하였다.

$$I_p = \sum_{n=1}^{18} C_n \quad (1)$$

I_p : 사회기반시설 점수, C_n : 설문지 선택 점수

예를 들어 댐의 경우 총 25명의 설문 대상자에게 4,4,3,4,3,4,4,4,5 ... 3,4,5의 설문결과를 얻었으며 이는 총 25개의 설문 선택 번호의 합으로써 93점을 기록하였다. 이와 같은 방법으로 18개 시설물에 대한 결과는 Table 6과 같다. Table 6의 결과는 가중치를 부과하지 않은 결과로써 경제, 통신시설물, 공항, 공원, 공동묘지에서 동점이 발생하여 동일한 순위를 기록한 것을 확인할 수 있다.

3.4 설문결과의 일관성 검증

본 논문에서는 설문대상자들의 답변에 대해 객관적인 신뢰성 검증과 답변의 일관성을 확인하기 위해 카이제곱 검증을 실시하였다. 카이검증이란 통계학에서 광범하게 사용되는 검증방법으로,

Table 6. Priority of the Recovery of Social Infrastructure Facilities Associated with the Generated in Volcanic Disaster

Infrastructure Classification	Infrastructure point(Ip)	Restoration Priority
Bridge	120	1
Road	119	2
Water facilities	118	3
Green belt	112	4
Electricity facilities	104	5
Economic equipment	100	6
Communication facility	100	6
Dam	93	8
Waste disposal equipment	92	9
Sewerage arrangements	87	10
Airport	84	11
Park	84	11
Cemetery graveyard	84	11
Square	81	14
Railroad	68	15
River-Reservoir	66	16
Gas supply facilities	48	17
Crematorium	44	18

명목적 수준에서 측정되는 자료에 적용되며 변수가 정규 분포되어 있다면 빈도가 실제적으로 기대되는 것으로부터 유의미한 차이가 관찰되는가를 보기 위한 방법이다. 이러한 통계는 교차분석표를 해석하는 데 광범하게 사용되며 우연히 발생했다고 보여 지는 분포가능성은 배제한다. 따라서 카이 제곱 검정에 기초하여 각 변수간의 연관을 간단히 측정하기도 한다(Ko, 2000).

각 문항의 답변결과에 대해 설문대상자들이 어느 정도 일관성 있는 답변을 했는지 파악하도록 한다. 즉, 귀무가설과 대립가설을 수립하고 이에 대해 유의확률을 비교함으로써 일관성을 파악한다.

$$H_0: \mu = \mu; \text{ 각 문항에 대한 답변의 차이가 없다. } \quad (2)$$

$$H_1: \mu \neq \mu_1; \text{ 각 설문에 대한 답변의 차이가 있다.}$$

$$H_0: \text{귀무가설}, H_1: \text{대립가설}$$

Table 7. Utilizing SPSS Chi-square Verification Results

	Value	Freedom degree	Significance probability
Pearson chi-square	100.000 ²	96	0.370
Likelihood ratio value	78.424	96	0.904
Linear bound	.000	1	0.984
Valid case	25		

Table 8. Analysis of the Consistency of the Questionnaire Responses by Facilities

Facility (Is)	Significance probability	Credibility (Is > α = 0.05)
Road	0.394	O
Railroad	0.370	O
Airport	0.370	O
Bridge	0.406	O
Square	0.370	O
Park	0.370	O
Green belt	0.381	O
Economic equipment	0.370	O
Water supply plant	0.394	O
Electricity facilities	0.381	O
Gas supply facilities	0.381	O
Communication facility	0.394	O
River-Reservoir	0.370	O
Dam	0.381	O
Crematorium	0.381	O
Cemetery graveyard	0.370	O
Sewage treatment equipment	0.370	O

유의수준 α = 0.05으로 이보다 큰 유의확률(P-value)이 나왔을 경우 귀무가설을 채택하게 되고 유의수준보다 유의확률이 작게 나왔을 경우 대립가설을 채택하게 된다.

$$P\text{-value} \geq 0.05 \text{ 귀무가설 채택} \quad (3)$$

$$P\text{-value} \leq 0.05 \text{ 대립가설 채택}$$

$$P\text{-value} = \text{유의확률}$$

IBM SPSS Statistics 프로그램을 활용하여 각 문항에 대해 획득한 결과에 대해 일관성을 조사하였으며 설문문항 18개에 대한 총 25명의 설문대상자들의 각각의 카이제곱의 결과는 Table 7과 같다.

분석결과 총 25명의 설문대상자들의 답변들이 일관성 있는 결론을 도출하였으며 총 18개의 시설물에 대한 유의확률 결과는 Table 8과 같이 나타났다.

3.5 민감도에 따른 가중치 산정

인도네시아 메라피 화산지역은 화산재해위험지역에 따라 I, II, III지역으로 구분되어 있으며 화산 정상에서 하부지역으로 8km까지가 화산재해 위험지역 III, 화산 정상에서 26km까지 화산재해 위험지역 II, 그 이하지역이 화산재해 위험지역 I이다.

지역의 위험도에 따라 화산피해의 즉각적인 영향의 정도가 다르게 분포하며 피해의 범위가 다르게 나타난다(Pemerintah Kabupaten Sleman, 2012). 따라서 설문조사 시 설문대상자의 주거지역의 위험도를 파악하여 설문결과에 적용하도록 하였다. 가장 위험지역

Table 9. Weights Reflecting the Sensitivity

Survey target	Weighted value (Wi)	Survey target	Weighted value (Wi)
Subject1	2	Subject14	1.5
Subject2	3	Subject15	2
Subject3	2.5	Subject16	3
Subject4	2	Subject17	2
Subject5	2.5	Subject18	3
Subject6	3	Subject19	2
Subject7	2.5	Subject20	2
Subject8	3	Subject21	2
Subject9	2	Subject22	2.5
Subject10	2	Subject23	2.5
Subject11	2.5	Subject24	1.5
Subject12	2	Subject25	3
Subject13	1.5		

인 화산 정상부를 3점 그 다음지역을 2점 안정지역을 1점으로 산정하였다. 또한 화산재해의 경험 횟수에 따른 가중치 산정은 최근 1994~2010년까지 1~3회의 재해경험횟수를 조사하였다. 이 두 가지 가중치 위험도와 경험횟수를 합산하여 산정된 평균치를 화산재해에 대한 민감도에 따른 가중치로 규정하였으며 산출식(Eq. (4))과 결과는 Table 9와 같다.

$$W = (KRB + Et) \times \frac{1}{2} \quad (4)$$

W : 민감도가중치
 KRB : 화산위험도
 Et : 화산경험횟수

가중치의 범위는 1.5~3까지이며 가중치가 최대 3인 경우 거주지역이 화산위험지역인 III단계 지역에 주거하고 있으며 메라피화산의 분화경험이 3회인 것으로 나타난다. 산정된 가중치 적용식은 아래와 같다.

$$Rke_i = IP_i \times W \quad (5)$$

Rke : 민감도가 반영된 사회기반시설 점수

Table 10. Priority of the Recovery of Social Infrastructure Facilities Imposed Weight Sensitivity of the Questionnaire Target

Infrastructure	Weighted point (Rke)	Restoration Priority
Bridge	275.5	1
Road	274.5	2
Water supply plant	272.5	3
Green belt	258	4
Electricity facilities	240	5
Communication facility	229.5	6
Economic equipment	228	7
Garbage dump	216.5	8
Dam	207.5	9
Sewage treatment equipment	203.5	10
Cemetery graveyard	191.5	11
Park	190.5	12
Square	189.5	13
Airport	189	14
River-Reservoir	157.5	15
Railroad	154.5	16
Gas supply facilities	106	17
Crematorium	97.5	18

가중치 적용 후 변화된 순위는 경제시설, 통신시설, 댐, 폐기물처리시설, 공항, 공동묘지, 광장, 철도, 하천-저수지의 순위가 변동됨을 확인할 수 있다. 경제시설과 통신시설의 경우 재해발생시 화산재해 위험지역에 주거하는 주거민의 경우 재해 정보와 재해에 따른 후속대피명령이 생계와 관련된 경제시설보다 더 민감하기 때문에 변경된 것으로 보인다. 또한 댐, 폐기물처리시설, 하수처리시설의 경우 주거지역의 재해피해요인에 의해 위험도가 낮은 지역민의 경우 홍수에 대한 피해가 발생하기 때문에 댐에 대한 복구 우선순위가 높게 나타났으며 위험지역에 위치하는 지역민의 경우 댐의 필요성이 개인위생과 관련된 폐기물처리시설보다 덜 민감하기 때문에 다른 결과가 도출되었다고 판단된다. 공항과 철도와 같이 화산위험지역에서 거리가 떨어져 있는 시설물의 경우 가중치부과 후 순위가 하락하는 것을 확인하였다. 이는 주거지역민의 화산재해에 대한 민감도에 따라 사회기반시설의 복구 우선순위가 변경되는 것을 확인할 수 있다.

3.6 재해 복구금액과 복구시간에 대한 가중치

재해의 복구단계에서 필수적으로 고려해야 될 부분은 복구금액과 복구기간이다. 자연재난의 과급성에 따라 그 발생금액과 복구기간을 늘어나기 때문에 이를 유기적으로 관리, 조절해야 된다. 모든 복구는 동시에 진행될 수 없다. 즉, 경험의 기준과 피해자의 수요를 반영하여 복구를 진행해야한다. 또한, 복구비용의 경우 중앙정부와 지방정부의 비용으로 복구가 진행되게 되는데 단기간에 천문학적 비용을 투입하기는 불가능하다. 따라서 단순한 재해 피해자의 수요를 반영한 복구가 아닌 복구기간과 발생 피해액을 고려한 사회기반시설 복구 우선순위가 필요하다.

재해 피해자 수요가 반영된 사회기반시설 복구 우선순위에 화산재해로 인해 발생했던 재해 복구금액과 복구시간의 가중치를 부여하여 순수 피해자 수요를 반영한 우선순위와 복구금액, 복구기간의 가중치를 부과한 우선순위의 차이점을 비교분석하도록 한다(Table 11).

$$WRC_i = \frac{RC_i}{\sum_{i=1}^{18} RC_i} + 1 \quad (6)$$

WRC_i : i 복구비용에 대한 가중치

RC_i : i 시설물의 복구비용

본 연구는 메라피화산의 사회기반시설에서 발생한 시설물별 복구기간의 자료를 활용하였으며 각 시설물별 피해에 대한 복구기간이 장기간 소요되는 시설물에 대해 우선순위를 부여하고 이에 대한 가중치를 부과하였다. 그러나 재해 복구비용에 대한 가중치 산정과 동일하게 모든 시설물에 대한 복구기간이 존재하는 것은

Table 11. Weight Calculation in Accordance with the Recovery Costs of Social Infrastructure Facilities

Infrastructure	Rehabilitation Cost RC_i (USD)	Weighted Rehabilitation Cost WRC_i
Road	7,130,000	1.324
Railroad	30,000	1.001
Airport	31,000	1.001
Bridge	230,000	1.010
Square	-	1.000
Park	11,544	1.001
Green belt	38,000	1.002
Economic equipment	620,000	1.028
Water supply plant	822,500	1.037
Electricity facilities	2,063,000	1.094
Gas supply facilities	-	1.000
Communication facility	155,500	1.007
River-Reservoir	3,840,000	1.175
Dam	5,000,000	1.227
Crematorium	-	1.000
Cemetery graveyard	-	1.000
Sewage treatment equipment	2,025,000	1.092
Garbage dump	-	1.000
The total	21,996,544	19

아니다. 복구기간이 존재하지 않는 가스시설의 경우 사례지역인 메라피 화산 인근 지역에 가스시설이 존재하지 않기 때문에 복구기간이 산정되지 않았으며 화장장, 공동묘지의 경우 2010년 메라피 화산 분화로 인한 직접적인 피해가 없었기 때문에 복구기간이 제시되지 않았다. 사례지역의 특성을 반영한 복구기간에 대한 가중치는 아래와 같다.

$$WRD_i = \frac{RD_i}{\sum_{i=1}^{18} RD_i} + 1 \quad (7)$$

여기서, WRD_i = 복구기간에 대한 가중치
 RD_i = i 시설물의 복구기간

Table 12는 재해 복구기간에 대한 각 시설물의 복구기간에 따른 가중치를 나타내고 있다.

Table 12. Infrastructure Recovery Period Calculated According to Weight

Infrastructure	Restoration time (Day)	Weighting Restoration time (WRDi)
Road	730	1.244
Railroad	16	1.005
Airport	16	1.005
Bridge	730	1.244
Square	-	1.000
Park	120	1.040
Green belt	10	1.003
Economic equipment	365	1.122
Water supply plant	180	1.060
Electricity facilities	30	1.010
Gas supply facilities	-	1.000
Communication facility	7	1.002
River-Reservoir	365	1.122
Dam	365	1.122
Crematorium	-	1.000
Cemetery graveyard	-	1.000
Sewage treatment equipment	60	1.020
Garbage dump	-	1.000
The total	2,994	19

3.7 복구금액, 복구기간 가중치를 적용한 우선순위 산정

재해 경험자를 대상으로 설문조사를 실시한 후 민감도에 따른 가중치를 부과하고 최종적으로 복구금액, 복구기간에 대한 가중치를 부과하여 최종 우선순위를 산출하게 된다. 따라서 최종 결과 우선순위는 사회기반시설의 복구금액과 복구금액이 고려된 결과와 이를 고려하지 않은 재해복구 계획과의 차이가 있다. 복구금액과 복구기간의 가중치의 곱을 지형적, 경험적 가중치가 반영된 사회기반시설 복구 순위에 적용함으로써 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$Rke_i \times WRC_i \times WRD_i = Rscd_i \quad (8)$$

여기서, Rke_i = 지리적, 경험적 가중치를 부과한 설문 결과 점수

WRC_i = 복구비용에 대한 가중치

WRD_i = 복구기간에 대한 가중치

$Rscd_i$ = 복구비용과 복구기간의 가중치를 부과한 설문 결과 점수

Table 13. Weighted Addition Result of the Recovery Period and the Amount of Recovery

Infrastructure	Questionnaire result after weighted addition $Rscd_i$	Restoration Priority	
		before	after
Road	452.4	2	1
Railroad	155.5	16	16
Airport	190.3	14	14
Bridge	346.3	1	2
Square	189.5	13	15
Park	198.1	12	12
Green belt	258.9	4	7
Economic equipment	263.0	7	6
Water supply plant	299.7	3	3
Electricity facilities	265.2	5	5
Gas supply facilities	106.0	17	17
Communication facility	231.7	6	8
River-Reservoir	207.6	15	11
Dam	285.8	9	4
Crematorium	97.5	18	18
Cemetery graveyard	191.5	11	13
Sewage treatment equipment	226.7	10	9
Garbage dump	216.5	8	10

Table 13은 설문자의 지리적, 경험적 가중치에 복구금액과 복구 기간에 대한 가중치를 적용한 표이다. 가중치 적용결과 복구금액이 크고 복구기간이 장기간인 도로시설물이 최우선 복구시설로 나타났다. 댐 시설물도 크게 순위가 상승한 것을 확인되었다. 또한 하천·저수지복원에서 복구비용과 복구금액의 가중치가 적용되어 순위가 변동되었다. 이는 장기간 복구사업에 대해 시간요소와 비용요소를 고려하지 않은 우선순위와 적용된 우선순위를 비교함으로써 대형복구프로젝트에서 비용과 시간이 복구 우선순위에 영향을 주는 것으로 확인할 수 있다.

4. 우선순위에 따른 복구 네트워크 작성

시간, 비용 요소의 영향을 비교분석하기 위해 본 연구에서는 각각의 우선순위에 대한 복구 네트워크를 작성 비교하였다. 네트워크작성 도구로써 프리마베라를 활용하였으며 각각의 복구시설물을 하나의 활동으로 간주하고 그에 따른 복구비용과 복구기간을 적용 시킴으로써 하나의 네트워크를 작성하였다. 작성된 네트워크의 특성분석 통해 두 네트워크의 차이점을 도출하도록 하였다

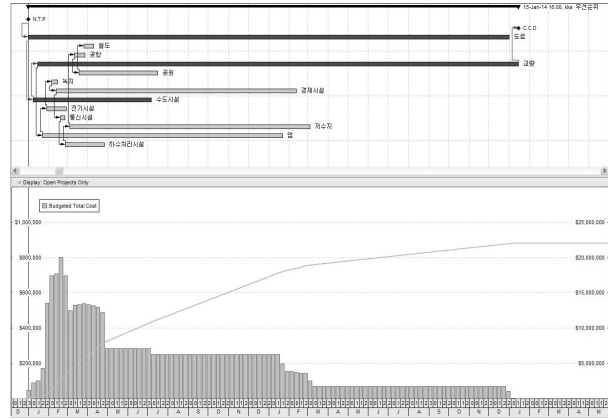


Fig. 1. Recovery Network (I) with Costs and Weight of the Recovery Period

복구기간에 대해서는 재해 발생 후 초등대응기간인 최소1개월을 기준으로 사회기반시설의 초등대응기간을 3개월로 가정하였으며 이는 3개월 이내에 모든 사회기반시설에 대한 복구진행이 시작하는 것으로 가정한다(나카무라 다미오, 2013). 즉, 90일 이내에 각각의 사회기반시설이 복구를 시작을 원칙으로 가정하고 우선순위로 산정된 18가지 기반시설 중 지역의 특성상 피해에 대한 복구의 필요성은 느끼지만 실제 복구금액과 복구기간이 산정되지 않은 광장, 가스공급시설, 폐기물처리시설, 화장장, 공동묘지시설 부분은 네트워크작성에서 제외하였다. 따라서 총 13개의 사회기반시설에 대해 복구우선순위를 네트워크화 하여 복구금액의 분포를 작성하였다.

총 90일을 기준으로 13개의 사회기반시설을 나눠줌으로써 각 기반시설 당 6.92일이 소요되게 되며 이는 7일 간격으로 사회기반시설에 대한 복구를 진행하는 것으로 가정하면 복구순위 1순위인 도로시설물을 최우선적으로 복구를 시작하고 7일 이후 2순위인 교량을 그 다음 7일후 3순위인 수도시설이 복구되는 형태를 가정하였으며 이에 대한 복구비용의 분포와 네트워크의 형태는 Fig. 1과 같다.

또한, 복구기간에 대한 가중치는 복구기간이 짧은 시설물에게 더 큰 가중치를 적용하는 방법으로 재 산정 하도록 하였으며 이에 대한 가중치를 역가중치라 하고 역가중치를 산정하는 방법은 다음과 같다.

$$Rke_i \times \frac{1}{WRC_i} \times \frac{1}{WRD_i} = Rri \tag{9}$$

Rri = 민감도 점수에 역 가중치를 적용한 점수

이를 적용하여 산정된 복구 우선순위는 Table 14와 같으며 이를 바탕으로 네트워크와 복구비용 분포를 작성하면 Fig. 2와 같다.

Table 14. Priority Applying the Weights Useful in the Evaluation of Sensitivity

Infrastructure	Reverse weighted addition point (Rri)	Restoration Priority
Green belt	257.14	1
Sewage treatment equipment	247.76	2
Park	227.35	3
Dam	219.20	4
Communication facility	197.64	5
Railroad	191.50	6
Electricity facilities	189.50	7
Water supply plant	187.73	8
Economic equipment	183.16	9
Road	166.58	10
Bridge	153.47	11
Airport	150.63	12
Reservoir	106.00	13

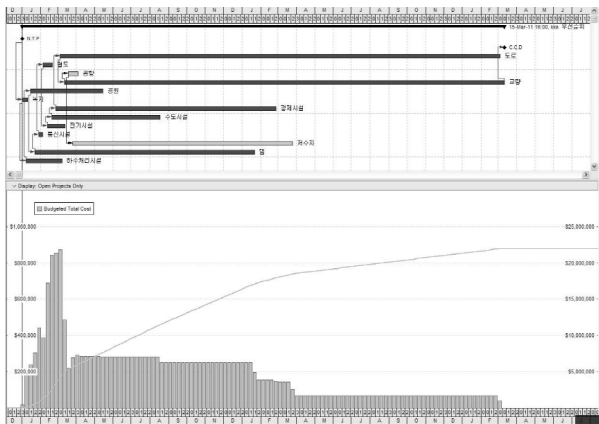


Fig. 2. Recovery Network (II) with Costs and Weight of the Recovery Period

Figs. 1 and 2를 비교하면 재해 시 소요되는 공사비용은 복구금액이 크고 복구기간이 긴 시설물부터 진행한 복구네트워크가 초기단계에 복구비용의 유입이 보다 적게 유입되며 시간이 지남에 따라 고르게 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 복구비용의 집중을 분산시켜 재난 관리자가 보다 효율적인 복구관리를 진행할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 화산재해로 인한 복구순위를 산정 시 복구금액이 크고 복구기간이 긴 사회기반시설물에 가중치를 부과하여 복구순위를 산정하는 것이 합리적인 복구우선순위 산정방법이라 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 해외사례를 통해 화산재해 발생 시 사회기반시설에 대한 발생 피해를 조사하고, 화산재해 유경험자를 대상으로 설문문을 통해 사회기반시설의 복구 우선순위 산정 및 복구 수요를 파악하였다. 도출된 피해와 복구 우선순위를 근거로 건설공정관리 기법을 동원하여 사회기반시설의 복구 우선순위를 작성하였다. 본 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서는 인도네시아 2010년 메라피화산의 분화에 따른 복구금액, 복구기간의 자료를 활용하였으며, 재해발생 시 도로와 댐 및 관개시설에서 가장 큰 피해가 발생하는 것을 확인하였다.
- (2) 화산재해의 복구 우선순위에 대해서 실제 유경험자들의 설문을 통해 우선순위를 도출하였으며 설문 답변의 일관성을 파악하기 위해 카이제곱 검증을 통해 설문결과와의 일관성을 확인하였다.
- (3) 설문대상자의 재해 민감도를 파악하기 위해 화산재해 유경험 횟수와 화산재해위험지역을 구분하여 가중치를 적용하여 이에 따른 우선순위에 최종적으로 복구금액, 복구기간에 대한 가중치를 적용하여 최종 복구순위를 산정하였다. 복구기간이 길고 복구비용이 큰 시설물에 가중치를 크게 적용하는 네트워크와 복구기간이 짧고 복구비용이 큰 시설물에 가중치를 크게 적용하는 네트워크를 작성하여 각각의 복구에 대한 복구비용 유입의 분포를 비교하였다.

본 연구를 통해서 도출된 재해 복구 우선순위를 통해 국내 대형 화산재해 발생 시 복구 우선순위로 활용할 수 있을 것으로 기대하며 국내의 경우 화산재해의 피해경험이 전무하기 때문에 이에 따른 피해자들의 복구수요파악이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구결과를 활용하여 화산재해 발생 시 복구, 복원 시 참고할 수 있는 자료로써 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

반면 본 연구의 향후 연구과제는 백두산 화산재해의 발생이 우려되는 가운데 백두산화산재해의 피해지역과 범위를 산정하고 그 지역에 존재하는 사회기반시설에 적용할 수 있는 방안을 고려하고 그에 따른 재해 피해자의 복구 수요를 파악해야 할 것이다. 또한 복구를 지원할 수 있는 지원체계의 구성과 체계적인 복구계획 수립에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청의 백두산화산대응기술개발사업인 ‘화산재해 대응 국제 협력 네트워크 기반 구축’ NEMA-백두산-2013-4

과제의 지원과 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- Blong, R. J. (1986). *Volcanic hazards : A Sourcebook on the Effects of Eruptions*, Disasters, Vol. 10, No. 3, pp. 238-240.
- Ha, H. S. (2012). *Enforcement an analysis of disaster recovery business*, National Assembly Budget Office (in Korean).
- Hong, Y. P. (2013). *The proposal of guidelines for elementary school system - for structure and support rapid and appropriate*, Korea University Press (in Korean).
- Kim, H. W. and Park, J. E. (2013). "An analysis of disaster management response with respect to supervolcano disaster case studies." *Journal of KOSHAM*, Vol. 13, pp. 151-156.
- Kim, I. H. (1995). *Decision-making and construction plan*, Construction Association of Korea (in Korean).
- Ko, Y. B. (2011). *Dictionary of sociology*, Social and Cultural Institute (in Korean).
- Lee, S. S., Kim, H. S. and Lee, D. H. (2010). *Analysis of volcanic ash dispersion due to eruption of Mt. Baek-doo*, National Institute for Disaster Prevention.
- Park, B. C. (2011). *Planning for countermeasure technologies for huge volcanic activity*, National Disaster Management Institute.
- Park, H. T., Kang, I. S. and Kim, C. H. (2007). *Construction project management*, Gimundang (in Korean).
- Seoul Urban Planning Bureau (2012). *Terms of urban planning easy to understand from Seoul* (in Korean).
- Toba, D. (2011). *Talk about it real in the affected areas*, Wani Plus (in Japan).
- Yoon, S. H. (2011). *Influence with the possibility of volcanic eruption of Baekdu*, Assembly Environment Forum, pp. 5-6.