

화산재 피해 저감을 위한 상수도시설 대응매뉴얼 개선방안

윤형욱¹ · 라다혜¹ · 이경빈² · 김민규^{3*} · 정일문³

¹(주)에스디엠이앤씨 사업지원팀, ²에스제이엠앤씨(주) 연구사업팀, ³한국건설기술연구원 국토보전연구본부

Improvement Manual for Waterworks Facilities to Reduce the Damage of Volcanic Ash

Hyoung-Uk Yoon¹ · Da-Hye La¹ · Gyeong-Bin Lee² · Min Gyu Kim^{3*} · Il-Moon Chung³

¹Project Support Team, SDM ENC Co., Ltd.

²Research and Business Team, SJMNC Co., Ltd.

³Dept. of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Abstract

Volcanic ash from volcanic eruptions spreads to vast areas hundreds of kilometers away, and when volcanic ash flows into surface waters, it will be damaged by water supply. In case of water supply facilities, it provides to people drinking water and domestic water, be consumed by the people cause social disorder when water supply is cut off due to damage such as water pollution caused by harmful materials of volcanic ash. However, when we looked at the disaster management manual, the establishment of a water supply facility manual to deal with the damage of volcanic ash was found to be insufficient. Therefore, in this study, the existing volcanic and water pollution related manuals were analyzed and problems were derived. In order to make quick situation judgment and response activities, we have suggested the scope of the water supply facility manual, disaster type, major missions and system of related organizations, and scenario of crisis situation by disaster type.

Keywords: Volcanic Ash, Water Supply Facilities, Disaster Management Manual, Crisis Situation Scenario

초 록

화산 폭발 시 발생하는 화산재는 수백 km 떨어진 광대한 지역으로 확산되며, 화산재가 지표수에 유입될 경우 상수도 시설에 피해를 받게 된다. 상수도시설의 경우 우리 국민들이 먹는 식수와 생활용수를 공급하는 시설로서 화산재 피해가 발생되면 수질오염 등의 피해발생으로 상수도 공급 중단 시 사회적 혼란이 야기된다. 그러나 재난관리 매뉴얼을 살펴본 결과 화산재 피해에 대응하기 위한 상수도시설 매뉴얼 수립이 미비한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 기존에 수립된 화산 및 수질오염 관련 매뉴얼을 분석하여 문제점을 도출하였다. 그리고 신속한 상황판단 및 대응활동을 수행할 수 있도록 상수도시설 매뉴얼(안)의 적용범위, 재난유형, 관련기관 주요 임무 및 체계, 재난유형별 위기상황 시나리오 등의 개선 방안을 제시하였다.

주요어: 화산재, 상수도시설, 재난관리 매뉴얼, 위기상황 시나리오

OPEN ACCESS

*Corresponding author: Min Gyu Kim
E-mail: kimmingyu@kict.re.kr

Received: 22 March, 2018

Revised: 31 May, 2018

Accepted: 4 June, 2018

© 2018 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

화산의 폭발적 분화에 따라 발생하는 화산재는 수백 km 떨어진 광대한 지역에 위협이 가해지며, 미량의 화산재라도 상·하수도시설 및 수송 네트워크 등의 사회 인프라 시설의 운영에 영향을 미칠 수 있다(Blong, 1984; Johnston et al., 2000). 화산재가 지표수에 유입될 경우 수중의 탁도와 산도가 변화되고 불소와 화학성분에 의한 독성 증가 등의 영향을 받으며 단기간 동안 수체의 물리화학적 요소를 변화시켜 양질의 용수 공급에 차질을 일으켜 상수도 공급 중단이 발생되어 우리 국민들이 먹는 식수와 생활용수를 공급받는 지역주민들의 생활안전에 위협이 발생할 수 있다. 1995년 뉴질랜드에서 발생한 Ruapehu 화산폭발은 확산된 화산재로 인하여 인근 지역 수자원의 영향을 미쳐 상수도 시설을 오염시켰고(Johnston, 1997a; Johnston et al., 2000), 1980년 미국 세인트헬렌스 화산 폭발로 인해 바릴로체 지역에 30 mm의 화산재가 낙하하여 식수 공급원의 하천과 호수에 부분적인 음용수 기준을 초과하였다(Wilson et al., 2013). 이처럼 화산재의 물리적인 영향에 관한 연구(Blong, 1984; Johnston, 1997a), 수자원 부족(Johnston, 1997b) 등의 수자원의 화산재 피해 영향에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다.

우리나라의 경우 미국이나 일본, 유럽과 달리 화산 재난에 대해 지리적으로 안전한 국가에 속하여, 국가와 국민의 관심이 부족하고 화산 재난에 대비한 국가적 안전장치 수립이 미비한 실정이다. 백두산 화산 분화 시 북풍~북동풍이 발달하게 되면 약 400 km 이상 떨어진 우리나라에까지 확산되며 봄철에 유입될 가능성이 높을 것으로 예상되었고(NIMR, 2011), 동절기에 북풍이 발달되면 간접영향권에 들어갈 것으로 분석되었다(MSF, 2010). 이처럼 백두산 분화 가능성이 대두됨에 따라 화산재난 대응방안 수립의 필요성이 제기되고 있다.

화산분화로 발생하는 화산재는 분화 정도에 따라 대규모 재난으로 발전할 가능성이 있으며, 화산재 피해범위에 있는 지역은 각종 시설 및 재산, 인체에 심각한 문제를 발생시킬 위험이 있다. 따라서 화산재 피해 저감 및 최소화, 신속한 복구 등을 위한 대응매뉴얼이 필수적이다. 그러나 우리나라는 지금까지 직접적인 화산재 위험지역에 포함되지 않는다는 인식 때문에 화산 재난과 관련한 대응매뉴얼은 종합적인 재난관리 대응방안을 다루고 있으며, 사회 인프라 시설별 피해 저감을 위한 매뉴얼은 미비한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 화산재 낙하에 의한 상수도시설의 피해저감 및 최소화, 신속한 복구를 위한 대응매뉴얼을 개선하여 발생 피해 및 국민 불편의 최소화와 사회 안정화를 도모하고자 한다. 이를 위해 첫 번째, 상수도시설 취약성 및 피해사례를 분석하여 상수도시설의 화산재 피해원인 및 관리기준을 도출하고, 두 번째, 화산재난 및 수질오염 대응 매뉴얼의 문제점을 분석하여 개선방안을 도출하였다.

상수도시설 취약성 분석

우리나라는 「상수원관리규칙」 제3조(수원의 구분)에 따라 호소수, 해수 및 강변여과수로 구분되고 있으며, 수도 취수원은 지표수에 거의 의존하고 있다(Kim, 2016). 국내 도심지 상수도 보급률은 99% 이상으로 국민의 생활용수는 상수시설에 의존하고 있으며(Table 1), 광역상수도의 취수원은 다목적 및 용수전용 댐에 의존하고 있다. 우리나라의 광역상수원은 단일 또는 몇몇의 취수원에 집약된 상수도 시설로 취수원의 오염이 발생할 경우 취수 중단 상황이 발생하게 되고, 극단적일 경우 폐쇄조치를 취해야하기 때문에 일상생활에 불편 및 사회 불안과 혼란을 일으킬 수 있다. 또한 상수도시설 개량 지연으로 노후화가 누적되어 20년 이상 노후관 비율이 1995년 6.5%에서 2013년 30.6%로 증가됨에 따라 2007년 대비 송배수관 단수건수가 1.4배, 피해주민 확대가 6.2배 증가하였다(MOE, 2016).

Table 1. Water supply status.

2011	Normal water supply ratio (%)	Local and wide-area water supply ratio (%)	Rate of water usage (%)
sum	95.8	94.6	97.9
City	99.5	99.4	99.6
Town	92.9	91.4	95.2
Village	68.6	59.1	87.1
Island Area	73.7	60.5	93.1

우리나라 취수원의 이용은 지표수에 편중되어 있고 상대적으로 지하수 이용이 저조하기 때문에 지표수의 오염은 상수도 공급 문제를 발생시킬 위험이 있다. 용수공급원은 하천수와 저수지(댐)수의 비율이 전체공급원의 약 90%를 차지하고 대부분의 취수를 지표수에 의존하고 있으므로 상수원의 수질은 주요 4대강과 용수공급용 댐에서의 수질과 직결되어 있다고 할 수 있다(NEMA, 2015). 상수원의 수질오염을 발생시키는 요인은 대부분 인위적인 오염이 차지한다. 대표적으로 공장폐수 및 생활하수, 축산폐수 등의 오염 부하량 증대에 기인하는 수질악화 문제와 고의 또는 과실에 의해 다량의 하수나 폐수, 폐기물의 방류 및 우발적인 사고로 인한 일시적인 수질악화에 의한 수질오염사고 등이 있다.

취수의 대부분을 지표수에 의존하는 우리나라의 환경에서 화산재가 유입되는 피해가 발생한다면, 취·정수 중단에 따른 극심한 용수부족 사태가 발생 할 수 있다. 화산재는 지표수의 일부분에만 피해를 미치는 것이 아니라 지역전체 또는 한반도 전체 수원에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 대응 및 방재 대책이 필요하다.

피해사례 분석

과거 화산 폭발에 따른 하천 환경의 화산재 피해와 관련된 내용을 Table 2와 같이 정리하였다. 화산재로부터 발생하는 하천의 변화는 pH 감소, 탁도 증가, 이온농도 증가 등으로 조사되었으며, 300 mm 이상의 많은 양의 화산재가 낙하하거나 입자가 큰 화산재가 낙하할 경우 수계내의 생태계를 파괴하는 것으로 조사되었다. 1 mm의 화산재가 퇴적되었을 경우 우수관 등을 통해 댐과 저수지에 유입이 가능하였고, 1~3 mm의 화산재가 퇴적되면 오염도가 증가되고, 3~5 mm 퇴적 시 파이프 막힘 등의 문제가 발생하며, 10 mm 이상 시 각종 처리시스템의 일부 시설 손상이 발생하여 시스템 가동이 불가능한 것으로 조사되었다. 화산재로부터 발생하는 화학물에 의한 영향은 하천에 미치는 시간이 매우 짧았으며, 음용수 기준과 비교하였을 때 지역에 따라 단기적으로 영향을 미치지만 장기적으로는 크게 영향이 없는 것으로 조사되었다. 하천은 호수와 다르게 흐름이 있기 때문인 것으로 판단되며 지역별 특성에 따라 변화 양상이 다른 것으로 판단된다.

하천 환경에 발생 위험이 있는 화산재 피해는 취수수질 불량, 탁도 증가, 산도 감소, 미생물 과잉 번식, 하상 증가, 퇴적물 용출 등이 있으며, 하루 지역일수록 유속이 느리고 하폭이 넓으며 유량이 많기 때문에 피해는 더욱 가중될 것으로 예상된다. 또한 용수 이용과 취수를 중점으로 하는 댐과 저수지는 독성오염과 탁도로 인한 미생물 증가에 민감하므로 이를 대응관리 할 수 있는 매뉴얼 수립이 필요하다.

Table 2. Cause of volcanic ash damage.

Year	Country	Volcano	Thicknesses of Ash (mm)	Damage in water	Source
1947	Iceland	Hekla	300	- Over 300mm volcanic ash from the volcano kills aquatic plants in lakes and rivers, destroys power and telephone lines, prohibits road use	Johnston et al., 2004
1970	Iceland	Hekla	30~50	- The fluoride concentration in the steel rose to 8 ppm - Normalize after a few hours	Smithsonian Institution, 2000 Blong, 1984
2011	Argentina	Ruapehu		- 30 mm of volcanic ash fell in the Bariloche area and exceeded the partial drinking water standards in rivers and lakes	Wilson et al., 2013
1980	USA	Spurr	3~20	- Increase of concentration of sulfate, chlorine, suspended matter etc. of Yakima river 150 km away - Nitrogen and organic nitrogen concentration in the river, increased turbidity	U.S. Geological Survey, 1996
1969	New Zealand	Ruapehu	1~6	- The volcanic ash decreased to pH 5.3 in the drinking water source, increased fluoride concentration	Johnston et al., 2004

화산재난 대응매뉴얼

대형 화산폭발 위기관리 표준매뉴얼

소방방재청(현 행정안전부)에서는 백두산 화산 폭발의 위험성이 대두되면서 국내·외 대형 화산 폭발 시 발생하는 화산재 및 화산가스 등의 화산분출물과 화산지진 영향에 따른 사회·경제·환경적 영향에 대비하여 「대형 화산폭발 위기관리 표준매뉴얼」을 2012년에 제정하였다. 본 매뉴얼에서는 범정부적 위기관리 체계에 따 대응 기관별 역할 및 활동방향을 규정함으로써 피해경감 및 피해 최소화를 목표로 한다.

화산 폭발에 따른 인명 및 재산피해, 대규모 오염, 시설물 피해의 재난원인별 재난유형에 따라 위기관리 활동을 예방·대비·대응·복구로 구분하였고, 각 활동 단계별 관련기관의 역할 및 기능을 정의하였다. 그러나 화산폭발에 대한 전체적인 상황관리를 위한 표준매뉴얼 규정이기 때문에 화산재난 유형별 및 시설별 피해저감 방안 등의 구체적인 대응방안이 포함되어 있지 않아 현장대응을 수행하는 기관에서의 활용이 부족하다. 따라서 피해가 예상되는 시설에 대한 구체적인 피해요인을 규정하고, 피해요인에 따른 시나리오 기반의 대응기관별 역할 및 기능을 제시하여, 현장 실증형 행동매뉴얼의 개발이 필요하다.

대형화산 폭발 위기대응 실무매뉴얼

2015년 제정된 환경부의 「대형화산 폭발 위기대응 실무매뉴얼」은 환경부 소관의 피해유별(유해화학물질유출사고, 식용수사고, 대규모 수질오염)으로 인해 중앙사고수습본부가 설치될 경우를 대비하여, 환경부의 각 부서별 및 소관 기관별 임무, 역할 조치사항 등을 규정하였다.

소방방재청(현 행정안전부)의 표준매뉴얼과는 다르게 환경부가 내부적으로 취해야할 행동 등을 규정한 매뉴얼로서

관심·주의·경계·심각의 위기경보 단계별로 환경부의 각 상황반과 기관별 임무 및 역할을 규정하였다. 그리고 대형 화산폭발 재난 위기 대응은 본 매뉴얼을 기반으로 하며, 유해화학물질 유출사고, 대규모 수질오염사고, 식·용수 위기의 연계 피해에 대하여 해당재난에 대한 매뉴얼을 우선 적용하고 있다. 또한 별도로 화산재 발생 전·중·후 상황에 대비하여 실내·외 화산재 청소요령과 구비물품, 주의사항 등의 국민이 개별적으로 취할 수 있는 국민 행동요령을 제시하고 있다.

환경부에서 수립한 「대형화산 폭발 위기대응 실무매뉴얼」은 화산 폭발 시 발생하는 화산재 및 아황산가스 확산에 따른 하천오염, 수질오염 등과 같은 사항에 대해 규정하고 있지만, 상수도 및 하수도 관련시설에 대한 대응 및 행동은 수립되어 있지 않다.

수질오염 대응매뉴얼

대규모 수질오염 위기대응 실무매뉴얼

환경부에서 수립한 「대규모 수질오염 위기대응 실무매뉴얼」은 대규모 수질오염사고에 대한 철저한 감시와 사고 발생 시 신속한 초동대응을 통한 오염물질 확산 예방 피해 최소화를 통해 취·정수장에서 안전한 먹는물 공급과 사회 혼란 최소화를 목표로 환경부 및 관련기관이 조치하여야 할 사항 등을 세부적으로 규정하였다. 본 매뉴얼에서는 위기경보 수준에 따라 위기상황을 제시하고 환경부의 임무와 역할을 규정하였다. 또한 유류 및 특정수질 유해물질, 어류 폐사의 상황별 위기대응 시나리오에 따른 사고 대응방법을 제시하여, 수질오염 현장 대응의 활용성을 높일 수 있도록 하였다. 그러나 화산재 및 화산가스 등의 확산에 따른 상수도시설 대응방안에 대한 구체적인 임무 및 역할이 미비하며, 위기대응 시나리오가 부재한 것으로 나타났다.

수질오염사고 예방·방재 매뉴얼

2009년 환경부는 수질오염사고 발생 시 현장에서 신속하고 효율적인 수습으로 피해를 최소화하기 위하여 대응기관 관계자가 쉽게 이해할 수 있는 「수질오염사고 예방·방재 매뉴얼」을 개발하였다. 본 매뉴얼에서는 사회재난으로 발생하는 하천공사, 선박사고, 취·정수장 오염, 유해물질 유출, 수환경변화 등 각종 상황에 대한 예방 및 대처방안, 방재요령 등을 제시하였다. 그리고 현장조치 매뉴얼과 더불어 상황별 위기대응 시나리오, 화학물질별 사고 대응방법 등 다양한 상황별·유형별 대응활동을 수립하였다. 그러나 화산 재난에 따른 수질오염사고가 부재한 것으로 나타나 화산 재난에 대비한 예방방안 및 대처방안, 방재요령 등의 수립이 필요하다.

대응매뉴얼 문제점 분석

본 연구에서는 화산재 피해 저감을 위한 상수도시설 대응매뉴얼 개선방안을 도출하기 위하여 기존에 수립되어진 화산재난 및 수질오염사고 대응 매뉴얼 분석을 Table 3으로 정리하였다. 분석결과 화산재난의 경우 대형화산 폭발에 따른 시설물 피해, 환경오염, 인명 및 재산피해에 대한 종합적인 재난관리 대응방안에 대해 다루고 있어 상수도시설과 같은 사회 인프라 시설별 대응 매뉴얼이 미비한 것으로 나타났으며, 시나리오 기반의 사고 원인별 대응방법이 제시되어 있지 않아 신속한 상황판단이 어려울 것으로 분석되었다. 그리고 수질오염사고의 경우 유류 및 특정수질 유해물질 및 어류 폐사에 대한 위기상황별 대응방법을 제시하여 사고현장에서의 활용성을 높였으나, 화산재 및 화산가스에 대한 수질오염 관리기준 및 사고 대응방법이 부재한 것으로 나타났다.

Table 3. Analysis of volcanic and water pollution manuals.

Items	Volcano		Water pollution	
	Standard	Practical affairs	Crisis response	Prevention & control
Volcano ash	○	○	×	×
Water supply facilities	×	×	○	○
Scenario	×	×	○	○
Water quality control standards of volcano ash	×	×	×	×

화산재 피해저감 매뉴얼 개선방안

화산 폭발은 분화지역의 일부분이 아닌 광범위한 지역에 피해가 발생하는 재난이며, 확산된 화산재로 인한 상수도 시설이 오염되면 우리나라 국민의 먹는물 공급에 차질이 발생하여 사회혼란이 예상된다. 따라서 화산재 확산으로 인한 상수도 시설 피해가 발생 시 신속하고 정확한 대응과 복구가 이루어질 수 있도록 세부적인 위기상황 대응절차 및 조치사항 수립이 필요하다.

상수도 시설은 환경부에서 관리하고 있으나, 재난이 발생할 경우 행정안전부, 국토교통부, 보건복지부, 환경부, 지자체, 지역주민 등 다양한 관리주체들이 관련되어 있기 때문에 관련 부처간의 유기적인 연계성 확보 및 협업체계 제시가 반드시 필요하다. 또한 화산 재난에 따라 상수도 시설에 발생할 수 있는 위기유형을 명확하게 확립하여 적용범위를 설정하고, 현장 담당자들의 대응관리 효율성을 높이기 위해 시나리오 기반의 실증형 매뉴얼 개선이 필요하다.

매뉴얼 분석을 통해 도출된 문제점과 화산재 피해저감 상수도 시설 대응매뉴얼 개선방안을 비교하면 Table 4와 같이 정리하였고, 항목별로 언급하면 아래와 같다.

Table 4. Comparison between existing and modifying manual.

No	Items	Existing manual	Modifying manual
1	Cause of disaster	Volcano explosion	Water pollution by volcanic ash
2	Disaster type	Composite of volcano disaster	Water pollution, water supply disruption, water resources interruption
3	Scenario	Oil pollution, perish of fishes	Water pollution by volcanic ash, mechanical loss of water supply facilities due to volcanic ash, turbidity and acidity increase, concentration of fluoride
4	Management criteria	Turbidity, PH, residual chlorine etc	Ash fall

- (1) 화산과 관련한 기존 매뉴얼의 경우 화산 폭발 시 발생할 수 있는 모든 피해원인들을 다루고 있어 구체적인 대응방안이 제시되어 있지 않으므로, 화산재 확산 시 상수도 시설에서의 수질오염에 대비한 대응 매뉴얼이 필요하다.
- (2) 대형 화산이 폭발할 경우 인명 및 재산피해, 환경오염, 각종 시설물 등의 피해가 발생되므로 화산 재난 발생에 따른 재난 유형별·시설별 매뉴얼이 수립되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 수질오염, 상수도 시설 폐쇄, 수자원 공급 중단 등의 화산재 확산으로 인하여 발생할 수 있는 상수도 시설의 재난유형을 포함하는 매뉴얼 수립이 필요하다.

- (3) 효율적인 재난관리 및 대응을 위해서는 재난 유형별 특성이 반영된 시나리오 구성이 필요하다. 상수도시설의 경우 화산재 확산으로 인하여 수질오염, 상수도시설의 기계적 결함, 상수도의 탁도 및 산도 증가 등이 발생할 수 있다. 위와 같은 확산 재난사고별 시나리오 수립 및 훈련을 통하여 현장 관리자가 실제 상황에서 신속하게 대응할 수 있어 피해를 최소화 할 수 있다.
- (4) 재난사고 현장에서의 신속한 대응을 위해서는 재난 유형별 적합한 관리기준 제시가 필요하다. 현재 상수도시설과 관련한 매뉴얼에서는 PH, 탁도, 잔류 염소 등의 관리기준치를 제시하여 유류오염 및 어류폐사에 대하여 관리하고 있다. 따라서 본 연구에서는 화산재 퇴적량 관리기준을 제시하여 현장 대응역량을 높이고자 한다.

화산재 피해저감 상수도시설 대응 매뉴얼(안)

적용 범위

화산폭발로 인한 화산재, 화산분출물 등이 국내에 유입될 경우 화산 재난과 관련된 중앙정부 기관 및 관련기관 등의 활동에 적용한다. 긴급방재·피해복구 및 사후처리에 관한 사항은 「재난 및 안전관리 기본법」의 재난관리체계를 적용한다.

재난 유형

대형화산 폭발로 인한 화산재 분출 및 확산, 화산재 낙하로 인한 취·정수 시설의 화산재 유입, 수자원에 대한 화산재의 장단기적 침전을 주요 재난 원인으로 설정하였다. 이에 따라서 발생하는 수자원 오염, 취정수장 오염 및 운영 중단, 상수도 시설 운영 중단에 따른 수자원 공급 중단, 수질저하 및 수질오염에 대한 위기 유형을 설정하였다.

관련기관 주요 임무 및 체계

화산재 피해로 인한 상수도시설과 관련하여 행정안전부는 중앙재난안전대책본부를 수립하며, 전체적인 상황관리를 담당하고, 상수도시설에 관한 실무적인 업무인 상황보고, 피해대응, 복구 등의 구체적인 업무는 환경부에서 담당한다. 중앙사고수습본부 주관인 환경부는 상수도시설과 관련된 부서로 상황실(물환경정책국) 및 측정분석예측지원실(물환경연구부)를 구축한다. 상황실의 경우 상황반(수질관리과), 현장지원반(유역청량과), 유관부서협력반(수도정책과)으로 구성하며, 측정분석예측지원실은 이동확산예측반(물환경평가연구과), 측정분석지원반(물환경공학연구과) 등으로 구성한다. 또한 국토교통부, 보건복지부, 국방부, 기상청 등과 협력체계를 구성하여 상수도시설의 화산재 피해를 대응하여야 한다.

지원부처/기관의 역할

상수도시설 피해 대응을 위한 중앙사고수습본부는 환경부 장관이 주관하며, 중앙재난대책본부와 협의 하에 피해 대응에 임한다. 중앙사고수습본부는 환경부의 수질관리과과 주관하며, 행정안전부, 보건복지부, 국방부, 국토교통부, 기상청과 협조 지원한다. 그리고 현장대응을 위한 지원기관인 지방정부 및 한국수자원공사, 유역(지방)환경청, 취정수장 관리자가 주도적으로 대응하며, 관할지역 군부대 및 소방서와 협조 지원체계를 구축한다.

재난유형별 위기상황 시나리오

위에서 제시한 화산재 피해로 인한 위기유형별 시나리오를 Fig. 1과 같이 위기경보 단계별로 구분하고, 단계별 화산재 관리기준을 제시하여 신속한 재난관리가 이루어질 수 있도록 한다.

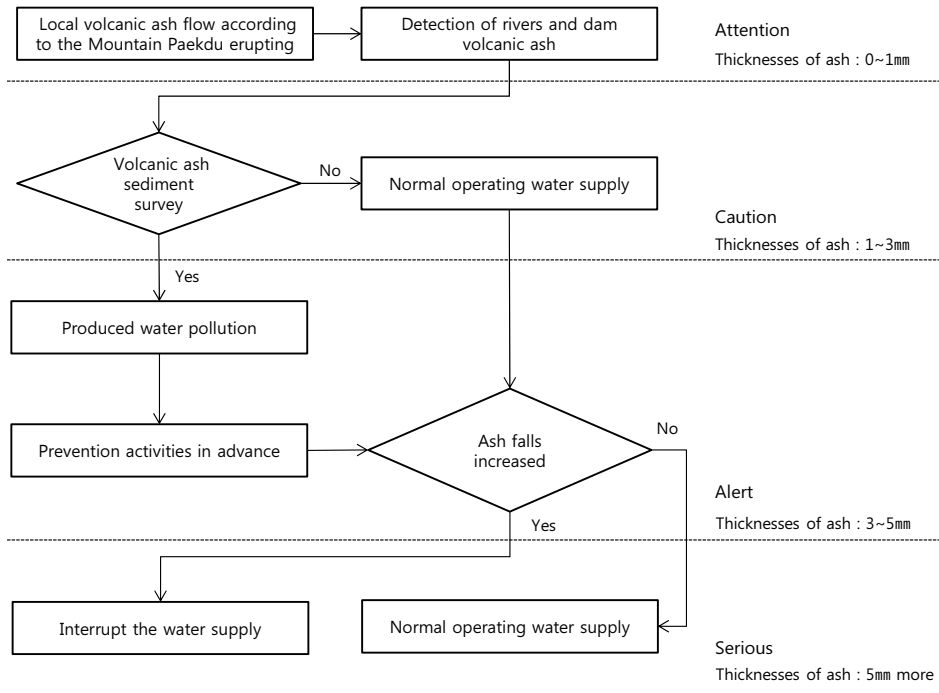


Fig. 1. Flow-chart of water supply scenario.

- (1) 관심 : 백두산 화산이 폭발 시 상수도시설은 정상 운영하고 간이 수질 측정을 실시한다.
- (2) 주의 : 지표면 및 수중에 화산재가 1~3 mm 퇴적 시 발령되며, 수질오염 발생 및 야외시설물 운영에 피해영향이 끼치므로, 비상근무 실시 및 일부 시설물 덮개 처리, 유입시설 순찰 강화, 약품처리 강화, 중금속 분석 등을 실시한다. 단 수질 측정 시 화산재 퇴적량이 1~3 mm 미만 시 상수도시설은 정상 운영한다.
- (3) 경계 : 지표면 및 수중에 화산재 및 수질오염이 증가하는 단계로 주의단계보다 화산재가 3~5 mm 퇴적 시 발령되며, 수질분석 주기 조정 및 오염상태, 하류지역 오염 현황 파악, 후각, 육안, 물질비중 등 정밀 분석, 자동수질 측정, 생물경보시스템을 가동한다.
- (4) 경보 : 지표면 및 수중에 퇴적량이 심각해지고(5 mm 이상), 하상 퇴적물 증가, 수질오염이 심각해지는 단계로 취수중단 판단기준에 준하여 상수도시설을 중단한다.

결론 및 토의

우리나라는 유럽 및 일본, 중국과 달리 화산폭발에 대해 지리적으로 안전한 국가에 속하였으나 백두산 화산 폭발의 가능성이 제기되면서 화산재난 피해유형에 따른 대응방안 수립의 필요성이 대두되었다. 이에 따라 행정안전부 및 환경부 등 화산재난 대응을 위한 세부계획 및 대응 매뉴얼 수립하였다. 그러나 화산 폭발 시 발생하는 화산재로 인

한 수질오염에 대한 상수도시설 대응 매뉴얼이 부재한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 기존에 수립된 화산 및 수질오염 관련 매뉴얼을 분석하여, 화산재난 분야에서 명확하게 정립되지 못한 화산재 피해 저감을 위한 상수도 시설 대응 매뉴얼 개선방안을 제시하였다.

1. 기존의 화산재난 관련 대응 매뉴얼은 전체적인 상황관리에 대해 규정하고 있어, 화산재난 피해 유형에 따른 세부적인 대응 매뉴얼이 필요하다.
2. 우리나라의 경우 취수의 대부분을 지표수에 의존하고 있어, 화산재가 유입될 경우 취·정수 중단에 따른 극심한 용수부족 사태가 발생 할 수 있기 때문에 이에 대한 대응 및 방재 대책이 필요하다.
3. 화산 및 상수도시설의 재난대응 매뉴얼 분석하여 화산재 피해에 따른 매뉴얼 개선방안을 도출하였다.
4. 화산재 피해 저감을 위한 상수도시설 대응 매뉴얼(안)에서는 적용범위, 재난유형, 관련기관 주요 임무 및 체계, 지원 부처/기관의 역할, 재난유형별 위기상황 시나리오에 대한 개선방안을 제시하였다.
5. 상수도시설 피해현장에서의 사고대응을 위한 세부적인 위기관리 매뉴얼 개발이 필요하다.
6. 그리고 취수 및 급수 중단 판단기준에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

사사

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임[MOIS-재난-2015-07].

References

- Blong, R., 1984, *Volcanic Hazards: A Sourcebook on the Effects of Eruptions*. Academic Press, Australia. pp. 1-424
- Jee, Y.K., Lee, G.B, Choi, J.R., Kim, J.T., Assessment of water quality in paldang-dam surface area through the estimation of volcanic ash toxic components from Mt. Baekdu, *Journal of Korea Water Resources Association*, 47(3), 237-245 (in Korean with English abstract).
- Johnston, D.M., 1997a, Physical and social impacts of past and future volcanic eruptions in New Zealand, Unpublished Ph.D. thesis, University of Canterbury, Christchurch. pp. 1-288
- Johnston, D.M., 1997b, The impacts of recent falls of volcanic ash on public utilities in two communities in the United States of America, Institute of Geological Nuclear Sciences Science Report.
- Johnston, D.M., Houghton, B.F., Neall, V.E., Ronan, K.R., Paton, D., 2000, Impacts of the 1945 and 1995-1996 Ruapehu eruptions, New Zealand : an example of increasing societal vulnerability, *Geological Society of America Bulletin*, 112, pp. 720-726.
- Johnston, D., Stewart, C., Leonard, G.S., Hoverd, J., Thordarsson, T., Cronin S., 2004. Impacts of volcanic ash on water supplies in Auckland: Part I, Institute of Geological & Nuclear Sciences science report 2004/25,83 p.
- Kim, H.S., 2016, Present status of domestic and foreign groundwater sources and application of underground dam, *Magazine of Korea Water Resources Association*, 49(1), 8-28.
- Korea Environment Institute, 2014, Preliminary study on environmental values of ground-water resources in Korea. pp. 1-35
- MOE (Ministry of Environment), 2009, *Water Pollution Accident Prevention and Control Manual*, pp. 1-176.
- MOE (Ministry of Environment), 2014, *Large-scale Water Pollution Crisis Response Practical Manual*, pp. 1-488.
- MOE (Ministry of Environment), 2016, *Explanation of application plan for the national water supply modernization project and the 2017 government assistance project*, pp. 1-23.

- MOE (Ministry of Environment), 2017, Large Volcano Explosion Crisis Response Practical Manual, pp. 1-76.
- MSF (Ministry of Strategy and Finance), 2010, 2010 Macroeconomic Stability Report (in Korean).
- NEMA (National Emergency Management Agency), 2015, Development of Mitigation Measure and Risk Management Technology for Volcanic Disaster from Ash Dispersion, pp. 1-309.
- NEMA (National Emergency Management Agency), 2016, Large Volcano Explosion Crisis Management Standard Manual.
- National Emergency Management Agency, 2016, Large Volcano Explosion Crisis Management Standard Manual, pp. 1-101.
- NIMR (National Institute of Meteorological Research), 2011, Volcano Eruption Scenario of Mt. Baek-du.(in Korean).
- Smithsonian Institution, 2000, Copahue, Bulletin of the Global Volcanism Network, 25(6), 7-10.
- U.S. Geological Survey, 1996, Effects of the Eruptions of Mount St. Helens on Physical, Chemical, and Biological Characteristics of Surface Water, Ground Water, and Precipitation in the Western United States, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2438.
- Wilson, T., Stewart, C., Bickerton, H., Baxter, P., Outes, V., Villarosa, G., Rovere, E., 2013, Impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex eruption on urban infrastructure, agriculture and public health, Geological & Nuclear Sciences, pp. 1-98.