암석학회지
Jour. Petrol. Soc. Korea Vol. 25, No. 4, p. 409~419, 2016
https://doi.org/10.7854/JPSK.2016.25.4.409

자 료

2010년 이후 지구에서 발생한 화산활동 분석

윤성효[1]* · 반용부[2]
[1]부산대학교 지구과학교육과, [2]부산대학교 환경연구원

Analysis of Global Volcanic Activities since 2010

Sung-Hyo Yun[1]* and Yong-Boo Ban[2]
[1]*Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busan 46241, Korea*
[2]*Institute of Environmental Studies, Pusan National University, Busan 46241, Korea*

요 약: 지구상에서 약 1만 년 전 부터 활동하였던 홀로세의 활화산들은 대략 1,520개로 알려져 있으며, 이들 중 최근에 활동하고 있는 화산체 즉 2010년 1월부터 2016년 7월 말 까지 약 6년 7개월 동안에 걸쳐 활동하고 있는 화산은 209개이다. 이 기간 중 매년 90개 전후의 화산들이 활동 중이며, 이 기간 동안에 활동한 화산들의 90%이상이 환태평양화산대인 "불의 고리"(Ring of Fire)에 위치한다. 이는 지구상에 분포하는 활화산들의 분포가 80% 정도는 암석권 판이 수렴하는 경계부에, 나머지 15% 정도는 발산하는 경계부에, 나머지 5% 정도가 판 내부에 위치하는 것과 잘 일치한다. 이 조사 기간 6년 7개월 즉 350주 동안 300회(주 단위) 이상 활동한 화산은 Kilauea(338회), Sheveluch(337회), Aira(301회)등이다. 조사 기간의 자료에 근거하면 최근 들어 화산활동이 뚜렷하게 증가하는 현상은 볼 수 없으며, 매년 비슷한 수준의 화산들이 활동하고 있는 양상을 보여 준다.

핵심어: 활화산, 환태평양화산대, 화산활동

Abstract: The number of volcanoes erupted during the past ten thousand years(Holocene period) on this planet is known to stand around 1,520. Of those volcanoes, the number of active volcanoes during the six-years and seven-month period(January 2010 through the end of July 2016) is totals 209. These findings show that an average of approximate 90 volcanoes erupted every year since 2010. It is also found that over 90 percent of those active volcanoes took place in the circum-Pacific volcanic belt, which is commonly called 'Ring of Fire'. This status coincides with the distribution maps of active volcanoes on the earth: about 80 percent on subduction zone of the convergence of lithospheric plate; 15 percent on spreading zone; 5 percent on intra-plate zone. The period given in this research during 350 weeks, the following three volcanoes showed a frequency of more than 300 times eruption: Kilauea(Hawaii, USA, 338 times), Sheveluch(Kamchatka, Russia, 337 times), and Aira(Kyushu, Japan, 301 times). According to the survey conducted during the given period, there is no conspicuous increase in the frequency of volcano activities. It rather shows that volcanic eruptions took place almost evenly every year.

Keywords: Active volcano, circum-Pacific volcanic belt, volcanic activity

서 론

화산은 우리 인간생활에 큰 영향을 끼치는 매우 위험하고도 위협적인 존재이다. 그러므로 인류의 생존에 영향을 끼칠 수 있는 화산활동을 미리 예측하고 그 방재 대책을 수립하여 피해를 최소화 하는 일이 시급하다(Woodhouse *et al*., 2013). 이를 위하여 인접한 위치에 있어 화산으로 인한 피해가 예상되는 국가들은 국민의 안전을 위하여 그 화산으로 인한 피해를 최소화하기 위한 방재 대책 수립에 노력하고 있다. 이러한 각국의 노력으로 인하여 화산관련 연구와 분

*Corresponding author
Tel: +82-51-510-2723
E-mail: yunsh@pusan.ac.kr

화 위험 감시 방법이 나날이 발전하며, 화산들의 성격과 그 활동에 대한 정보가 점차 상세하게 파악되므로 화산 연구도 계속 발전되어 가고 있다.

화산활동으로 인하여 발생되는 각종 지구환경의 변화가 우리 인류의 생활에 큰 영향을 끼치고 있으므로(Yasuda *et al*., 2011), 화산에 대한 정확한 정보를 가짐으로서 미래에 닥쳐올 화산활동으로 발생 가능한 여러 재해 내용을 예측하여 그 활동으로 야기되는 피해를 가능한 범위에서 저감시킬 수 있도록 대처할 수 있을 것이다(Kartadinata *et al*., 2002).

본 연구는 이러한 화산의 위험에 대비한 기초 자료의 확보를 위하여 2010년부터 2016년 7월 말(8월 2일)까지 진행된 매 주별 화산활동 자료를 분석하여 활화산의 분포 위치를 조사하고 화산활동 정보를 확보하여 이를 바탕으로 화산의 활동상의 특징을 분석하였다.

이러한 연구를 통하여 얻어진 자료를 데이터베이스화하여 화산활동의 피해를 줄이고 안전관리에 활용함으로써 화산재해에 대한 피해를 저감할 수 있을 것이다.

제4기의 화산활동

오랜 시간이 지난 고기화산체들의 화산 활동 당시의 활동상을 알기에는 거의 불가능한 상태이나, 화산활동에 관한 발전된 첨단 연구를 통하여 범지구적 화산활동 조사 프로그램이 만들어졌고 The Smithsonian Institution's Global Volcanism Program(GVP)에서 그 내용을 조사하고 자료들을 데이터베이스(DB)화함으로써, 약 258만 년 전부터 1만년 사이에 활동하였던 화산들을 찾아내었다. 지금까지 확인된 플라이스토세의 활동했던 화산들은 대략 1,166개에 달한다고 보고되어 있다(GVP, 2016a).

플라이스토세의 화산자료는 홀로세의 것 보다는 불완전 하거나, 다소 부정확하다. 이 당시의 화산들은 역사시대 이전의 지질시대를 통하여 활동하였으므로 정확하거나, 완벽하게 검증된 정보를 얻기가 쉽지 않다. 현재 우리는 화산폭발지수(VEI)≥4인 경우의 화산은(GVP)에서의 LaMEVE Database에서 확인이 가능하다(Crosweller *et al*., 2012). 그리고 위의 스미소니언 연구소의 전 지구 화산활동 프로그램의 데이터베이스에서 플라이스토세 화산 목록을 확인할 수 있다(GVP, 2016a).

한편, 지금으로 부터 약 1만 년 전(0.0117 Ma)부터 활동하여 온 홀로세의 화산들에 관하여도 이러한 조사를 통하여 그 실체를 발견할 수 있었고(Hayashi and Uhira, 2008), 그 결과 지구상에서 대략 1,520개의 화산이 활동하였던 것을 파악하게 되었다(GVP, 2016b).

최근의 화산활동

일반적으로 화산활동의 횟수는 개개 화산에서 분화 사건이 발생할 때 마다 1회로 기록한다. 즉 하루에 수회의 분화 횟수가 기록될 수도 있고, 어떤 경우에는 분화 사건이 지속적으로 연결되어 발생하면 하루 또는 이틀 동안의 분화 사건도 1회로 기록될 수 도 있다. 화산학에서 화산활동의 횟수를 계량하는 일반적인 규칙은 없다.

스미소니언 연구소에서 발표하는 화산관련 자료(GVP, 2016c)를 참고하면 2010년 1월 첫 주부터 2016년 7월 말까지 지구상에서 활동하고 있는 활화산에 관하여 매 주별로 활동한 화산들의 활동상을 모니터링 하여 그 자료를 구축하여 이 기간 중의 화산활동의 실상을 알아보았다. 활동 수의 단위는 "주" 별로 1주간을 1회로 보았다. 즉 53주×6년=318회, 2016년은 32회(2016년 8월 2일까지), 합계 350주 동안 활동한 화산은 209개 화산으로 분석되었다.

이 기간 중 활동한 209개의 활화산의 국가별 분포 및 갯수는 Table 1과 같다. 스미소니언 연구소의 GVP에서는 2010년부터 2016년 7월 말까지의 기간 동안 활동한 활화산들에 대하여 이 기간 중 계속 화산활동 중인 '진행형(ongoing)' 화산과 불안정한 화산 전조활동이나 새롭게 화산 활동의 조짐을 보였던 것은 '불안정형(unrest)' 또는 '새로운 조짐형(new)'으로 구분하여 자료를 정리하고 있다(GVP, 2016c). 본 연구에서는 진행형과 불안전형, 새로운 조짐형을 모두 합하여 활동적인 화산으로 평가하였다.

가) 2010-2016년 연도별 활동화산의 분포

2010년부터 2016년 7월말까지의 기간 중 활동하였거나, 활동하고 있는 활화산 209개는 37개 국가에 분산되어 분포하고 있다(Table 1). 이 기간 중 활동한 화산들은 인도네시아에서 51개 화산이 활동하였으며, 그 다음 러시아 22개, 미국 18개, 일본 15개, 칠레 14개 등이다. 그리고 7개 활동한 화산을 보유한 4개

Table 1. 209 active volcanoes activity during the period from 2010 to 2016

Country	Volcano names (Number)
Indonesia	Dukono, Sinabung, Batu Tara, Tengger Caldera, Lokon-Empung, Ijen, Karangetang, Soputan, Paluweh, Merapi, Semeru, Raung, Gamalama, Krakatau, Slamet, Rinjani, Kerinci, Marapi, Sangeang Api, Papandayan, Tangkubanparahu, Dieng Volcanic Complex Lewotobi, Ibu, Kelut, Gamkonora, Sirung, Egon, Tambora, Ranakah Awu, Seulawah Agam, Galunggung, Sundoro, Lamongan, Kelimutu Makian, Dempo, Sorikmarapi, Talang, Iliwerung, Lewotolo, Ruang Ambang, Colo, Gunt (51)
Russia	Sheveluch, Karymsky, Klyuchevskoy, Kizimen, Chirpoi, Zhupanovsky, Ketoi, Chirinkotan, Tolbachik, Bezymianny, Alaid, Gorely Etorofu-Yakeyama [Grozny Group], Sinarka, Chikurachki Chachadake[Tiatia], Sarychev Peak, Moyorodake [Medvezhia], Ekarma, Ebeko, Kharimkotan, Rasshua (22)
USA	Kilauea, Cleveland, Shishaldin, Pagan, Pavlof, Veniaminof. Iliamna, Little Sitkin, Ahyi, Semisopochnoi, Kanaga, Mauna Loa, Redoubt, Sarigan, Katmai, Spurr, Axial sea mount (17)
Japan	Aira, Suwanosejima, Asosan, Kuchinoerabujima, Kirishimayama, Ontakesan, Nishinoshima, Kusatsu-Shiranesan, Hakoneyama, Miyakejima, Ioto, Asamayama, Izu-Torishima, Kikai, Fukutoku-Oka-no-Ba (15)
Chile	Villarrica, Chaiten, Calbuco, Llaima, Nevados de Chillan, Cerro Hudson, Lascar, Palena Volcanic Group, Guallatiri, Antuco, Callaqui, Descabezado Grande, Melimoyu (14)
Papua N. Guinea	Bagana, Manam, Rabaul, Ulawun, Langila, Karkar, Witori (7)
Colombia	Nevado del Ruiz, Galeras, Nevado del Huila, Chiles-Cerro Negro, Umbal, Machin, Sotara (7)
Iceland	Bardarbunga, Eyjafjallajokull, Grimsvotn, Hekla, Askja, Katla, Kverkfjöll (7)
Nicaragua	Masaya, San Cristobal, Telica, Momotombo, Concepcion, Apoyeque, Cerro Negro (7)
Vanuatu	Ambrym, Gaua, Yasur, Aoba, Suretamatai, Lopevi (6)
Ecuador	Tungurahua, Reventador, Sangay, Cotopaxi, Wolf, Guagua Pichincha (6)
Costa Rica	Turrialba, Poas, Arenal, Rincon de la Vieja (4)
Philippines	Bulusan, Mayon, Kanlaon, Taal (4)
N Zealand	White Island, Ruapehu, Tongariro, Okataina (4)
Guatemala	Fuego, Santa Maria, Pacaya (3)
Peru	Ubinas, Sabancaya, El Misti (3)
UK:	Soufriere Hills, Bristol Island, Michael, Zavodovski (4)
Tonga Islands, Ridge	Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, Tofua, Monowai (3)
Italy	Etna, Stromboli (2)
Chile-Argentina border	Copahue, Planchon-Peteroa (2)
Dr, Congo	Nyamuragira, Nyiragongo (2)
Australia	Heard, McDonald Islands (2)
Mexico	Popocatepetl, Colima (2)
Solomon Islands	Kavachi, Tinakula (2)
India	Barren Island (1)
Antarctica	Siple Island (1)
Cameroon	Cameroon (1)
Cape Verde	Fogo (1)
Eritrea	Nabro (1)
Ethiopia	Erta Ale (1)
Grand Comore Island	Karthala (1)
North of Grenada	Kick'em Jenny (1)
France	Piton de la Fournaise (1)
Spain	Hierro (1)
Yemen	Zubair Group (1)
Tanzania	Ol Doinyo Lengai (1)
El Salvador	San Miguel (1)

Table 2. Concentration rate of volcanic activities in the circum-Pacific volcanic zones from 2010 to 2016

Year	Total number of volcanic eruption (A)	Total number of volcanic eruptions in the circum-Pacific zones (B)	Concentration rate of volcanic activities in the circum-Pacific volcanic zones (%) (B/A×100)
2010	84	81	96.4
2011	84	76	90.5
2012	92	86	93.5
2013	97	93	95.8
2014	87	81	93.1
2015	104	96	92.3
2016	78*	70	90

*Data in 2016 (up to 2 Aug. 2016)

국가는 파푸아뉴기니, 콜롬비아, 아이슬란드, 니카라과 등이다. 그리고 6개 활동한 화산을 보유한 국가는 바누아투, 에쿠아도르 등 2개국이다. 그리고 4개 미만의 화산을 보유하고 있는 국가들은 코스타리카, 필리핀, 뉴질랜드가 각각 4개, 과테말라, 페루, 영국(령), 통가가 각각 3개 화산을 보유하고 있다. 이탈리아, 칠레-아르헨티나, 콩고, 오스트레일리아, 멕시코, 솔로몬 군도가 각각 2개 화산을 가지고 있으며, 그 외 인도, 남극, 카메룬, 케이프베르데, 에티오피아, 에리트리아, 코모로, 그라나다, 프랑스(령), 스페인(령), 예멘, 탄자니아, 엘살바도르, 등 국가에서는 각각 1개 화산을 보유하고 있다. 여기에 소개한 화산 국가들이 가지고 있는 화산들은 2010년부터 2016년 7월 말 까지 제한된 기간 동안 활동한 화산을 조사한 것이며 따라서 이 숫자가 해당국가가 가지고 있는 전체 활화산 수는 아니다.

Table 2는 2010년 이후 2016년 중 년도 별로 화산 활동을 한 화산의 수효와 이들 화산의 위치를 조사한 것이다. 이 기간 중 전체 활동한 화산들은 약 70-96개 화산이 환태평양화산대에 집중되어 있으며, 전체 활동 화산 수 중 환태평양 화산대의 집중도는 90-96%에 해당한다.

나) 2010-2016 연도별 활동 활화산 수 변화

2010년부터 2016년 7월까지의 기간 중, 매년 활동하는 활화산의 수는 84개에서 104개 화산에 이르며, 평균 90개 화산이 매년 활동하였다. 2010년과 2011년에 84개, 2012년에는 92개, 2013년에는 활동 화산 수가 97개로 증가하였다. 2014년에는 87개로 약간 감소세를 나타냈다. 그리고 2015년에는 104개의 화산이 활동하므로 매년 활동하는 화산의 수가 약하게 증가 추세를 보이고, 화산활동의 빈도, 즉 화산활동 횟수의 변동 양상 또한 미약한 증가 현상이 나타나고 있다. 2016년에 활동한 78개 화산은 7월 말까지의 기간 동안 활동한 화산의 수로, 연말 까지 조사 되면 그 수가 더 증가할 것으로 예상된다(Fig. 1).

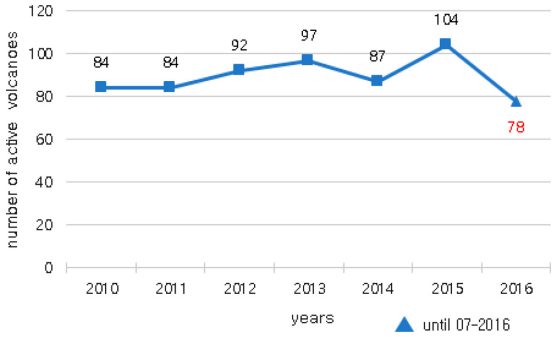

Fig. 1. Changes in the annual number of volcanic eruptions in the earth from 2010 to 2016.

다) 각 활화산의 활동 횟수

2010년부터 2016년 7월 말 까지 활동한 화산들의 활동 횟수(Table 3) 중에서 전체 기간 350주 중 300주 이상 활동한 화산은 미국 하와이의 킬라우에아 화산(GVP, 2016d) 338주, 러시아 캄챠카의 쉐벨루치 화산(GVP, 2016e) 337주, 일본 큐슈의 아이라 화산(GVP, 2016f) 301주 등이며, 그리고 291주 동안 활동한 캄챠카의 카림스키 화산(GVP, 2016g), 177주 동안 활동한 인도네시아의 듀코노 화산(GVP, 2016h) 등의 화산체들은 모두가 환태평양 화산대에 위치한다. 이들 화산의 활동양상은 주로 용암의 분출(또는 일류; 溢流), 그리고 화산재와 화산가스를 지속적으로 뿜어

Table 3. Total frequency of volcanic eruption activity during 350 weeks from 2010 to 2016

Number of volcanic eruptions (Number of volcanoes)	Names of volcanoes & Number of eruptions
More than 300 times (3)	Kilauea: 338, Sheveluch: 337, Aira: 301,
200-299 times (1)	Karymsky: 291.
100-199 times (11)	Dukono: 177, Fuego: 167, Popocatepetl: 163, Santa Maria: 151, Tungurahua: 151, Sinabung: 120, Klyuchevskoy: 116, Kizimen:115, Chirpoi: 104, Etna: 101, Cleveland: 101.
50-99 times (16)	Colima: 91, Reventador: 89, Shishaldin: 86, Batu Tara: 82, Suwanosejima: 82, Soufriere Hills: 77, Zhupanovsky: 76, Bagana: 75, Nevado del Ruiz: 71, Manam: 67, Pacaya: 67, Chirinkotan: 64, Ubinas: 57, Puyehue-Cordon Caulle: 52, Sangay: 52, Copahue: 50.
20-49 times (29)	Tengger Caldera: 47, Lokon-Empung: 46, Karangetang: 45, Asosan: 44, Turrialba: 42, Rabaul: 40, Tolbachik: 40,Soputan: 36, Bulusan: 35,Villarrica: 34, Ulawun: 33, Paluweh: 32, Bardarbunga: 31, Galeras: 31, Hierro; 31, Pagan: 31, Bezymianny: 30, Piton de la Fournaise: 28, Mayon: 27, Alaid: 26, San Miguel: 26, White Island: 26, Merapi: 25, Pavlof: 24, Cotopaxi: 23, Kuchinoerabujima: 22 Stromboli: 22, Planchon-Peteroa: 21, Poas: 20,
10-19 times (35)	Ambrym: 19, Kirishimayama: 19,Masaya: 19, Semeru: 19, Veniaminof: 19, San Cristobal: 18, Barren Island: 17, Chaiten: 17, Gaua: 17, Telica: 17, Yasur: 17, Gamalama: 16, Raung: 16, Sabancaya: 16, Eyjafjallajokull: 15, Krakatau: 15, Momotombo: 15, Nyamuragira: 14, Ruapehu: 14, Slamet: 14, Tongariro: 14, Arenal: 13, Rinjani: 13, Kerinci: 12, Marapi: 12, Nishinoshima: 12, Ontakesan: 12, Kanlaon: 11, Sangeang Api: 11, Concepcion: 10, Gorely: 10, Ijen: 10, Kusatsu-Shiranesan: 10, Taal: 10, Tangkubanparahu: 10
5-9 times (32)	Fogo: 9, Nevado del Huila: 9, Papandayan: 9, Dieng Volcanic Complex: 8, Etorofu-Yakeyama Grozny Group: 8, Grimsvotn: 8, Lewotobi: 8, Sinarka: 8, Calbuco: 7, Chikurachki: 7, Ibu: 7, Langila: 7, Nyiragongo: 7, Rincon de la Vieja: 7, Chachadake [Tiatia]: 6, Gamkonora: 6, Hakoneyama: 6, Hunga Tonga-Hunga Ha'apai: 6, Iliamna: 6, Kelut: 6, Little Sitkin: 6,Llaima: 6, Nabro: 6, Sirung: 6, Ahyi: 5, Egon: 5, Heard: 5, Karkar: 5, Machin: 5, Nevados de Chillan: 5, Sarychev Peak: 5, Tambora: 5
4 times (6)	Awu, Bristol Island, Moyorodake [Medvezhia], Ranakah, Semisopochnoi, Zubair Group.
3 times (14)	Aoba, Cerro Hudson, Chiles-Cerro Negro, Cumbal, Ebeko,Ekarma, Galunggung, Kanaga, Lascar, Mauna Loa, Miyakejima, Palena Volcanic Group, Redoubt, Seulawah Agam.
2 times (22)	Ambang, Axial Seamount, Colo, Dempo, El Misti, Guallatiri, Guntur, Hekla, Iliwerung, Ioto, Kelimutu, Ketoi, Lamongan, Lewotolo, Makian, Ruang, Sarigan, Sorikmarapi, Sundoro, Talang, Witori, Wolf.
1 time (40)	Antuco, Apoyeque, Asamayama, Askja, Batur, Callaqui, Cameroon, Cereme, Cerro Negro, Descabezado Grande, Ebulobo, Erta Ale, Fukutoku-Oka-no-Ba, Guagua Pichincha, Izu-Torishima, Kaba, Karthala, Katla, Katmai, Kavachi, Kharimkotan, Kick 'em Jenny, Kikai, Kverkfjoll, Lopevi, McDonald Islands, Melimoyu, Michael, Monowai, Okataina, Ol Doinyo Lengai, Rasshua, Siple, Sotara, Spurr, Suretamatai, Tangkoko-Duasudara, Tinakula, Tofua, Zavodovski

내고 있는 폭발적 분화를 하는 진행형 활동을 하였다.

이들 지속적인 활동을 이어가는 화산들은 모두가 환태평양 화산대에 속하며, 150주 이상 활동한 화산도 9개 화산으로 여기에 위치한다. 또 10주 미만 활동한 화산은 120개로, 그 중 1주 이내의 활동도 40개 화산에 이른다. 나머지 80개 화산은 11주-120주 활동을 하였다.

이들 화산의 활동 빈도를, 2010년 1월부터 2016년 7월 말(8월 2일)까지 1년을 53 주로 계산하여 화산별 화산활동 기간을 주별로 정리하면 Table 3과 같다. 전체 기간 350주 중 338주 동안 활동하여 화산활동 빈도수가 높고 지속적으로 활동한 킬라우에아 화산이 있는가 하면, 화산활동 빈도수가 350주 중 단 1주 동안만 활동한 화산들은 카트마이(Katmai) 화산 외에 38개 화산이 있다. 이들 화산은 주로 환태평양 연안을 비롯하여 인도양, 대서양, 남극해 등 전 지구상에 널리 분포하고 있다. 그러나 대부분의 화산들은 환태평양 연안의 "불의 고리"에 해당하는 지역에 집중 분포해 있다.

Table 4에서는 대표적인 화산의 연도별 화산활동

Table 4. Analysis of representative volcanoes in number and trend by year from 2010 to 2016

Names of Volcanoes	Country	Frequency & Trend		Remarks
		2010-'11-'12-'13-'14-'15-'16	Total	
Etna	Italy	6-23-14-22-22-10-4	101	Fluctuation in activities
Stromboli		4-4-1-5-8-0-0	22	Probability of activity resumption
Kilauea	USA	53-52-52-49-52-53-27	38	Continued activities
Cleveland		9-18-36-10-4-16-8	101	Fluctuation in activities
Shishaldin		0-0-0-0-38-47-1	86	Increase in activity
Pagan		10-6-9-3-2-0-1	31	Weak activities
Pavlof		0-0-0-9-6-0-9	24	Weak activities
Dukono	Indonesia	32-25-7-7-37-43-26	177	Continued activities
Sinabung		5-0-0-12-34-42-27	120	Active differentiation
Batu Tara		25-17-1-20-9-10-0	82	Progressive weakening activities
Tengger Caldera		6-10-2-0-0-10-19	47	Increase in activities after rest
Lokon-Empung		0-12-10-8-1-11-4	46	Decrease in activities after rest
Karangetang		3-6-2-3-3-21-7	45	Increase in activities after rest
Soputan		0-4-6-2-3-14-7	36	Increase in activities after rest
Paluweh		0-1-11-16-1-2-1	32	Decrease in activities after increase
Merapi		8-5-0-2-10-0-0	25	In rest
Ambrym	Vanuatu	3-2-0-3-4-6-1	19	Increase after activity decrease
Bagana	Papua New Guinea	12-7-8-14-12-9-13	75	Fluctuation in activities
Manam		9-5-11-22-2-17-1	67	Decrease in activities after Increase
Rabaul		6-6-2-20-6-0-0	40	Increase in activities after Rest
Ulawun		15-5-4-8-1-0-0	33	Rest after in activities decrease
Copahue	Chile-Argentina	0-0-2-15-12-8-13	50	Increase in activities after rest
Planchon-Peteroa		11-8-0-0-0-0-2	21	Rest after activities
Sheveluch	Russia	53-52-52-49-52-52-27	337	In continued activities
Karymsky		51-51-52-37-32-51-17	291	In continued activities
Klyuchevskoy		52-5-6-17-2-19-15	116	Fluctuation in activities
Kizimen		7-51-19-38-0-0-0	115	In Rest after Increase in Activities
Chirpoi		0-0-6-27-26-25-20	104	Increase in Activities after Rest
Zhupanovsky		0-0-0-1-29-32-14	76	Increase in Activities after Rest
Chirinkotan		0-0-0-24-22-18-0	64	In Rest after Activities
Tolbachik		0-0-6-34-0-0-0	40	In Repeated Rest
Bezymianny		9-7-5-1-8-0-0	30	In Rest after Decrease in Activities
Alaid		1-0-2-1-0-2-20	26	Uprupt Increase in Activities
Puyehue-Cordon Caulle	Chile	0-33-16-1-2-0-0	52	In Rest after Decrease in Activities
Villarrica		7-3-6-1-1-14-2	34	Increase after Decrease in Activities
Nevado del Ruiz	Colombia	0-0-26-3-2-22-18	71	Increase in Activities after Rest
Galeras		4-9-18-0-0-0-0	31	In Rest after Increase in Activities
Turrialba	Costa Rica	7-2-3-2-4-10-14	42	Increase in Activities
Poas		3-6-2-1-7-0-1	20	Decrease in Activity Frequency
Fuego	Guatemala	19-19-33-24-28-29-15	167	Decrease in Activity Frequency
Santa Maria		22-22-30-21-26-12-18	151	In continued Activities
Pacaya		17-2-2-17-16-9-4	67	In continued Activities

Table 4. Continued

Names of Volcanoes	Country	Frequency & Trend		Remarks
		2010-'11-'12-'13-'14-'15-'16	Total	
Aira	Japan	50-51-48-46-48-41-17	301	High Frequency in Annual Activities
Suwanosejima		28-12-4-7-14-8-9	82	Decrease in Activity Frequency
Asosan		0-5-0-0-18-16-5	44	Increase in Activity Frequency
Kuchinoerabujima		0-0-0-0-13-8-1	22	Decrease in Activity Frequency
Bardarbunga	Iceland	0-0-0-0-21-10-0	31	In Rest after Activities
Tungurahua	Ecuador	29-17-35-20-26-20-4	151	Sustained Activity Frequency
Reventador		12-3-12-18-22-15-7	89	Repeated Increase and Decrease in activities
Sangay		16-7-9-5-0-4-11	52	Decrease in Activities after Increase
Cotopaxi		0-0-0-0-0-20-3	23	Resumption of Activities after Rest
Bulusan	Philippines	9-13-1-0-1-6-5	35	Decrease in Activities after Increase
Mayon		3-3-1-3-17-0-0	27	Fluctuation in Activities Scope
Popocatepetl	Mexico	11-22-40-25-28-26-11	163	Sustained Activities
Colima		2-1-0-4-10-49-25	91	Decrease after Activity Frequency
Soufrière Hills	UK	40-13-16-7-0-1-0	77	In Activity Decrease
White Island	New Zealand	0-0-5-16-1-2-2	26	In Activity Decrease
Ubinas	Peru	1-0-0-4-31-20-1	57	In Activity Decrease
Piton de la Fournaise	France	9-0-0-0-1-17-1	28	Big in Activity Fluctuation
Hierro	Spain	0-18-12-1-0-0-0	31	In Activity Decrease

수 동향(2010-2016년 7월말에서 8월 2일까지)을 분석하여 제시하였다. 2010년부터 2016년 7월 말까지 매년 화산이 활동한 횟수를 기록하였다. Table 5의 화산활동 횟수 동향 6-23-14-22-22-10-4는 매년 53주 중 활동한 횟수(주별)를 연도 별로 분석한 것으로, 6은 2010년, 23은 2011년, 14는 2012년, 22는 2013년, 그 다음의 22는 2014년, 10은 2015년, 4는 2016년에 보고된 활동 횟수이다. 분석기간 중 활동횟수 합계 101은 전 기간 350주 중 101주 동안 화산활동을 하였음을 나타낸 것이다. 이 Table 4에는 조사기간 중 활동한 총 209개 화산 중 20회 이상 활동한 60개 화산을 선택하여 표시하였다.

이상에서와 같이 화산 활동 횟수와 활동 횟수의 변화가 일정한 주기성을 갖지 못하고 있으며, 뚜렷한 화산활동의 일정한 증가나, 감소 양상도 발견할 수 없다. 특히 활동횟수가 적은 화산들의 경우 그 동태가 매우 불규칙함을 알 수 있다.

한반도 주변 화산의 활동 분석

우리나라 주변에서 한반도에 광역 화산재 재해를 유발할 수 있는 화산은 주로 일본에 분포한다(Choi *et al*., 2016). 일본의 화산들은 위치적으로 우리나라와 비교적 인접해 있어서 특이 기상장에서 광역화산재 피해를 한반도에 미칠 수 있다. 그리고 러시아의 캄차카 반도와 쿠릴열도 지역에서 활동하는 활화산들은 우리나라의 미주항공노선에 화산재의 위협을 가할 수 있다(Yun *et al*., 2016). 이들 화산들이 활동을 재개할 경우 한반도에 끼칠 수 있는 위험에 관하여 살펴보는 것은 광역화산재해로부터 우리 국민을 보호하는데 큰 의미가 있다.

연구기간동안 활동하였거나 현재 활동 중인 일본의 화산들이 한반도에 영향을 미칠 수 있는지를 살피기 위하여 우선 대상 화산과 한반도와의 거리, 그리고 방위각을 조사하여 표로 작성하였다.

일본열도 전역에는 110개의 활화산이 열을 지어 늘어서 있으며 해구와 거의 평행한 위치에 화산이 분포하고 있다. 일본의 화산은 일본열도 내와 쿠릴-캄차카 해구와 이어지는 일본해구와 그 남쪽으로 연장되는 오가사와라 제도, 그리고 큐슈에서 뻗어 나온 난세이 제도 등에 분포해 있다. 이들 중 2010년부터 2016년 7월 말 기간 중 활동한 화산들의 한반도 수도권까지

Table 5. Distances and azimuths of active volcanoes in Japan to the Korean peninsula

Name of volcanoes	Location	Distance(km)	Azimuth(°)
Aira	Kyushu	746	335
Suwanosejima	Ryukyu Islands	911	345
Asosan	Kyushu	635	326
Kuchinoerabujima	Ryukyu Islands	843	341
Kirishimayama	Kyushu	729	332
Ontakesan	Honshu	967	285
Nishinoshima	Ogasawara Islands	1,731	315
Kusatsu-Shiranesan	Honshu	1,033	279
Hakoneyama	Honshu	1,110	287
Miyakejima	Izu islands	1,202	293
Ioto	Ogasawara Islands	1,976	320
Asamayama	Honshu	1,036	281
Izu-Torishima	Torishima, Honshu	1,460	306
Kikai	Kyushu	1,066	350
Fukutoku-Oka-no-Ba	Ogasawara Islands	2,040	321

의 거리와 방위각은 Table 5와 같다.

일본의 화산 중 한반도와 근거리에 있는 큐슈지역에는 아소산(阿蘇山; 635 km), 키리시마야마(729 km), 아이라-사쿠라지마(746 km)등의 화산이 있으며, 800-1000 km 거리에는 구치노에라부지마(口永良部島; 843 km), 스와노세지마(諏訪之瀨島; 911 km), 온타케산(967 km)화산이 있다.

1000-1500 km 거리에는 쿠사츠-시라네산, 하코네야마, 미야케지마, 아사마야마, 이즈-토리시마, 기카이 화산 등 6개 화산, 1500-2040 km 거리에는 니시모시마, 이오토, 후쿠토쿠-오카노바 화산 등 3개로 15개의 화산이 활동 중이다. 이들 일본의 화산들 중 서울과 최단거리에 있는 일본의 화산은 아소산으로 635 km이고, 가장 먼 거리에 있는 화산은 태평양 수중에 있는 후쿠토쿠-오카노바 화산으로 2040 km 거리에 있다, 한편 일본의 화산들로부터 한반도의 방위각은 정북방향을 기준으로 시계방향으로 측정할 때, 대부분 270-360°에 해당한다.

일본의 화산이 폭발적으로 분화하여 화산재나 화산가스 등을 대기 상층으로 분화하게 되면, 특이 기상장에서 한반도에 광역화산재에 의한 큰 피해를 가져올 수 있다(Choi *et al*., 2016; Yun *et al*., 2016).

2010년부터 2016년 7월 말까지의 기간 중 일본에서는 15개의 화산들이 활동을 하였다(Table 6). 화산의 활동 기간은 주 단위로 처리하였다. "1"이라는 숫자는 화산이 1주 동안 최소 1회 이상 활동한 것을 나타낸 것이다. 총 350주 기간 중 가장 활동이 많았던 아이라(姶良; Aira) 화산은 301주 활동하였고, 스와노세지마 화산은 82주 동안 활동하였다.

아이라 화산은 아이라 칼데라 화산의 남단에 있는 사쿠라지마(桜島) 화산활동(Ishihara, 1999)으로 2010년에는 50/53주, 2011년 51/53주, 2012년 48/53주, 2013년 46/53주, 2014년 48/53주, 2015년 41/53주, 2016년 17/32주(회)로 총 301/350 주간 활동하였다(GVP, 2016i). 스와노세지마 화산은 2010년 28/53주, 2011년 12/53주, 2012년 41/53주, 2013년 46/53주, 2014년 48/53주, 2015년 41/53주, 2016년 17/32 주로 총 82/350 주간 활동하였다. 그 밖의 350주 중 단 1주(1주내 1회 이상) 활동한 화산은 아사마야마, 이즈-토리시마, 기카이, 후쿠토쿠-오카노바 등 4개 화산이고, 2주 활동한 화산은 이오토 화산 하나이며, 3주 활동 화산은 미야케지마 화산 하나이고, 6주 화산은 하코네야마 화산 1개, 10주 활동한 화산은 쿠사츠-시라네산 화산 1개, 12주 활동한 화산은 온타케산, 니시노시마 화산 등 2개, 19주 활동한 화산은 기리시마야마 화산이고 구치노에라부지마 화산은 22주 동안 활동하였으며 아소산은 총 44주 동안 활동하였다.

2010년부터 2016년 7월 말까지의 기간 중 매년 활동한 화산 수는 다음과 같다. 2010년에 6개, 2011년에 4개, 2012년에는 3개 화산이 활동하였고, 2013년에는 6개, 2014년에는 7개 화산이 활동하였다, 2015년에 들어와서는 8개 화산이 활동하면서 점차 활동하

Table 6. Periodicity of volcanic activities in Japan from 2010 to 2016

Frequency of activities / volcano names	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Aira	50	51	48	46	48	41	17	**301**
Suwanosejima	28	12	4	7	14	8	9	**82**
Asosan		5			18	16	5	**44**
Kuchinoerabujima					13	8	1	**22**
Kirishimayama	4	14		1				**19**
Ontakesan					10	2		**12**
Nishinoshima				3	6	3		**12**
Kusatsu-Shiranesan					10			**10**
Hakoneyama						6		**6**
Miyakejima	3							**3**
Ioto	1		1					**2**
Asamayama						1		**1**
Izu-Torishima				1				**1**
Kikai				1				**1**
Fukutoku-Oka-no-Ba	1							**1**
Number of Active Volcanoes	**6**	**4**	**3**	**6**	**7**	**8**	**4**	**15**

는 화산의 수효가 증가하는 양상을 나타내는데, 2016년 현재까지는 4개 화산이 활동 중이나 2016년 연말까지는 활동 가능 시간이 많이 남아 있어 그 활동하는 화산의 수효가 증가 할 것으로 유추된다. 이 자료에 따르면 화산활동이 일정한 주기를 가지고 반복적 활동을 하는 경향성은 나타나지 않았다.

화산활동 횟수가 적은 화산들(350주 중 1, 2, 3, 6, 10주 활동)은 예측이 어려운 돌발적 활동의 위험성을 가진 것으로 유추된다. 최근 아소산, 구치노에라부지마(Iguchi *et al*., 2002), 온타케산, 니시노시마 등 화산의 활동이 빈번해지는 경향이 나타나고 있다.

토 의

한반도 인근의 일본과 러시아 캄차카의 화산들은 여전히 빈번한 화산활동을 지속하고 있으며, 몇몇 소수의 화산은 지속적인 활동을 하는 경향을 보였다. 일본의 경우는 화산활동이 가장 활발한 아이라 화산이 301회의 활동이 있었다. 그리고 이 기간 중 1회만 활동한 화산이 3개, 2회 활동 화산이 1개, 3회 활동 화산은 1개 이었다. 러시아의 화산 중 2010-2016 기간 중 100회 이상 활동한 화산이 5개 화산으로 화산활동이 빈번하였다.

2010년부터 2016년 7월까지 기간 중 활동한 한반도 인근의 일본과 러시아의 화산들의 화산활동 추이를 보면, 일본의 15개 화산이 활동에 참여하였으며, 2015년에 활동한 화산은 8개, 2014년에는 7개, 2010년과 2013년에는 각각 6개화산이, 2011년과 2016년에는 4개 화산이 활동하였다. 그리고 2012년 3개 화산이 활동하여 그 비율은 최대 53% 최소 20%가 활동하였다. 최대 8개(2015년)에서 최소 3개(2012년) 화산이 활동 중이며 나머지는 휴식중이지만 이들도 잠재적으로 분화 가능성이 있는 화산으로 평가된다.

러시아의 경우 2010년부터 2016년 7월 마지막 주까지의 기간 동안 활동한 22개 화산 중 2013년에는 14개 화산이 활동하여 최대가 되었고, 2011년에는 6개 화산이 활동하여 최소가 되었다. 러시아의 캄차카 반도와 쿠릴 열도를 따라 분포한 화산들은 140개로 일본의 110개이 비하여 화산 수가 많은 편이다. 러시아의 경우 2010년에 활동한 화산이 13개, 2011년에는 6개, 2012년 10개, 2013년에는 14개 화산이 활동하여, 2013년에 화산활동이 가장 빈번하였다. 2014년에는 10개 화산이 화산활동이 있었고, 2015년에는 11개 화산이, 2016년 현재에도 7개의 화산이 활동하고 있다. 이것은 2016년 7월까지 통계로 아직 그 이후의 활동은 포함되어 있지 않다. 따라서 러시아의 활동

화산은 22개 활동 화산들 중 2013년 최다 64%, 2011년에 활동한 화산은 22개 화산들 중 2011년에 최소 27%가 참여하였다.

2010년부터 2016년 7월 마지막 주까지의 기간 중 활동가능성이 있는 화산들 중 잠재되어있는 활동 가능성을 가진 화산들이 많을 것으로 보인다. 일본의 경우 전체 화산들(15) 중 20~53%가 참여하였으므로 활동 가능성이 잠재되어있는 화산 수가 많을 것이다. 러시아의 경우 22개화산 중 27~64%가 활동하였으므로 러시아에 분포되어 있는 활화산 중 활동 가능한 화산이 활동을 멈추고 있어 많은 화산의 활동이 잠재된 상태이다.

결 론

플라이스토세 동안 활동하였던 화산들은 대략 1,166개, 그리고 홀로세에는 1,520개의 화산이 활동하였다.

2010년 이후 활동 중인 활화산의 총 수효는 209개로 확인되었고, 매년 평균 90개 내외의 활화산이 활동 중이다. 2010년부터 2016년 7월 마지막 주까지의 기간 중 화산활동이 있었던 화산체들은 태평양을 둘러싸고 있는 "불의 고리"에 대부분이 집중되어 있다.

2010년 이후 활동한 활화산을 보유한 국가의 수는 37개국이다. 그리고 화산활동에 대한 일정한 경향성은 나타나지 않고, 활동하는 화산체의 수효나 그 활동의 빈도(화산활동 횟수)의 고정성이나, 변동 양상의 경향이 나타나지 않았지만, 미미한 활화산 수의 증가가 발견된다.

활화산의 동향분석을 위하여 확보된 7년간의 활동 자료에 의존 할 때 그 기간이 충분치 않아 화산활동의 경향성 예측이 부정확하므로, 장기간에 걸친 조사 자료가 필요하다. 활화산은 계속적인 활동을 하는 화산, 활동횟수가 극히 적은 화산, 그 중간형 등 3 등급으로 구분이 가능하며, 10회 미만의 화산들은 활동 잠재력이 커서 가까운 시기에 잦은 활동이 예상된다.

연중 지속적 활동을 하고 있는 화산은 국가별로 재난대비가 잘되어 있는데 비해, 분화활동횟수가 적은(10회 미만) 화산은 돌발적인 활동이 예측되므로 활동이 시작되면 피해 범위가 클 것으로 예상된다. 휴식중인 화산들의 활동이 재개될 경우에 대비한 화산별 분화유형, 활동의 주기 등 각 화산의 특성(정체성) 파악이 필요하다.

한반도의 주변국에서 발생하는 화산활동으로 인한 피해 예상 및 방재 대책 수립을 위하여 기후표에 따른 계절별 기후요소(풍향, 풍속 등)에 기초하여 대비책의 강구 및 기상장을 수시로 검토하여 광역화산재의 피해에 대비하여야 한다. 특히 수치모의 실험에 의한 특이 기상장에서의 피해 영향범위를 설정하고 주변의 화산별 영향 시나리오를 만들 필요가 있다.

사 사

이 논문에 대하여 세심하고 건설적인 지적과 의견을 주신 이문원 교수님과 익명의 심사자에게 감사드립니다. 본 연구는 정부(국민안전처)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MPSS-자연-2015-81].

Reference

Choi, E.K., Kim, S.W., Yun, S.H., and Lee, K.H, 2016, The distribution of volcanoes around the Korean peninsula: An analysis based on the possibility of affecting Korea. Journal of Environmental Science International, 25, 1311-1322.

Crosweller, H.S., Arora, B., Brown, S.K., Cottrell, E., Deligne, N.I., Guerrero, N.O., Hobbs, L., Kiyosugi, K., Loughlin, S.C., Lowndes, J., Nayembil, M., Siebert, L., Sparks, R.S.J., Takarada, S., and Venzke, E., 2012, Global database on large magnitude explosive volcanic eruptions(LaMEVE). Journal of Applied Volcanology, 1:4, 1-13.

Global Volcanism Program, 2016a, Pleistocene volcano list. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. (http://volcano.si.edu/list_volcano_pleistocene.cfm)

Global Volcanism Program, 2016b, Holocene volcano list. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution.

Global Volcanism Program, 2016c, Smithsonian/USGS Weekly Volcanic Activity Report. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution.

Global Volcanism Program, 2016d, Kilauea, 16 March - 22 March 2016. Smithsonian/USGS Weekly Volcanic Activity Report, Smithsonian Institution.

Global Volcanism Program, 2016e, Sheveluch, 11 May - 17 May 2016. Smithsonian/USGS Weekly Volcanic Activity Report, Smithsonian Institution.

Global Volcanism Program, 2016f, Aira, 20 April - 26 April 2016. Smithsonian/USGS Weekly Volcanic Activity Report, Smithsonian Institution.

Global Volcanism Program, 2016g, Karymsky, 3 Feb. - 9

Feb. 2016. Smithsonian/USGS Weekly Volcanic Activity Report, Smithsonian Institution.

Global Volcanism Program, 2016h, Dukono, 10 Feb. - 16 Feb. 2016. Smithsonian/USGS Weekly Volcanic Activity Report, Smithsonian Institution.

Global Volcanism Program, 2016i, Asosan, 2 March- 8 March, 2016. Smithsonian/USGS Weekly Volcanic Activity Report, Smithsonian Institution.

Hayashi, Y. and Uhira, K., 2008, The classification of active volcanoes in Japan by way of "volcanic activity indexes" based on the eruption histories for the past 10,000 years. Quarterly Journal of Seismology, 71, 59-78. (in Japanese)

Iguchi, M., Yamamoto, K., Miki, D., Takayama, T., Teraishi, M., Sonoda, M., Onizawa, S., Yagiwara, H., and Hirano, S., 2002, Recent ground deformation at Kuchinoerabu Jima volcano. Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 45B, 601-608.(in Japanese)

Ishihara, K., 1999, Activity of Sakurajima volcano, Reports on Volcanic Activities and Volcanological studies in Japan for the period from 1995 to 1998, 4-8.

Kartadinata, M.N., Okuno, M., Nakamura, T., and Kobayashi, T., 2002, Eruptive history of Tangkuban Perahu Volcano, West Java, Indonesia - A Preliminary Report. Journal of Geography (Chigaku Zasshi), 111, 404-409.

Woodhouse, M.J., Hogg, A.J., Phillips, J.C., and Sparks, R.S.J., 2013, Interaction between volcanic plumes and wind during the 2010 Eyjafjallajokull eruption, Iceland. Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 118(1), 92-109. doi: 10.1029/2012JB009592.

Yasuda, N., Kajitani, Y., Tatano, H., and Onodera, S., 2011, The economic influence on the civil aviation by the large scale eruption in Iceland. Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 54A, 59-65.(in Japanese)

Yun, S.H., Choi, E.K., and Chang, C.W., 2016, Selecting hazardous volcanoes that may cause a widespread volcanic ash disaster to the Korean peninsula. Journal of Korean Earth Science Society, 37, 346-358.(in Korean)

Received November 1, 2016
Review started November 3, 2016
Accepted November 18, 2016