

베트남의 지질과 자연재해 특성



김승현

한국건설기술연구원
지반연구소 수석연구원
(sshkim@kict.re.kr)

1. 개요

자연재해와 재난은 인류의 삶을 파괴화시키며, 인적, 물적, 사회적 피해를 유발한다. 지진, 쓰나미(tsunami), 화산, 싱크홀(sinkhole), 지반침하, 태풍, 홍수, 하상·해상 침식, 야생산불을 비롯하여 운석과 혜성의 충돌까지 자연재해의 큰 범주로 볼 수 있다. 특히 산사태나 비탈면 붕괴와 같은 자연재해는 발생 빈도도 잦고, 인간의 삶의 공간에 직접적인 피해를 유발한다. 산사태와 비탈면의 체계적인 유지관리는 국가적 차원에서 이루어지므로, 선진국 반열에 올라서거나 거의 육박하여야만 관리가 이루어지는 실정이다. 산사태 관리의 선진국인 미국, 일본, 홍콩, 대만, 호주, 캐나다, EU국 등은 비탈면 노출 특성을 감안하여 관리시스템을 운영하고 있으며, 재해관련 네트워크 조직을 통하여 산사태 및 비탈면 붕괴 예방 노력을 경주

하고 있다.

우리나라의 국가 수준이 증대됨에 따라 국제적으로 대한민국의 역할이 강조되고 있는 상황이다. 우리나라는 2010년 1월 OECD의 정식 회원국으로 가입한 이후 유일하게 원조 수혜국이 공여국으로 전환된 최초의 사례로 국제사회의 큰 관심을 받아 왔다. 대부분의 수원국들이 지속가능한 성장보다는 생존을 겨우 지탱하는 수준에 머무는 경우가 태반인 현실에서, 우리나라는 예외에 해당되며, 원조후발국으로서 미래의 희망을 견인하는 파트너로 자리매김을 해야 할 현실에 놓여 있다. 2014년 한국건설기술연구원에서는 보유 기술 또는 강소형 기업체의 선진화된 기술을 해외에 전수하는 연구를 시작하였으며, 개발도상국의 산사태와 비탈면 관리에 도움을 주기 위한 연구를 진행해오고 있고, 그 일환으로 파트너 국가를 베트남으로 선택하였다.

베트남은 높은 잠재력, 가시적인 원조성과, 상대적으로 우수한 수원체계 등으로 세계적으로 가장 많은 원조를 받는 국가 중 하나이다(국제개발협력위원회, 2014). 원조 분야별로는 경제·사회 인프라에 대한 지원에 가장 큰 부분을 차지하며, 사회인프라, 생산 분야, 프로그램 및 예산 등에도 지원이 이루어지고 있으며, 지역별로는 하노이가 위치한 홍강델타 지역의 지원이 집중되고 있어 중부고원 및 북부산악 지역에 대한 지원은 상대적으로 부족하다. 행정개혁 강화, 소외 계층 지원사업, 보건시설 확충, 교육 및 인적자원, 전쟁후유증 극복, 에너지 사업, 농업 및 환경 개선 등 다양한 분야에서 지원이 이루어지고 있음에도 불구하고, 산사태나 비탈면 관리와 관련된 재해·재난 관리에 있어 지원은 아직도 요원한 실정이다. 산사태 관리를 위한 프로젝트 및 SOC 시설물 구축을 위하여 필요한 기본적인 정보로서, 베트남 지반에 대한 특성 파악은 우선적으로 확인해야 할 내용이며 베트남 지질에 대한 이해가 선행되어야 한다. 본 고에서는 베트남의 전반적인 지질 특성을 정리하고, 자연재해 특성을 정리함으로써 베트남으로의 기술 전파를 준비하는 회원들에게 필요한 정보를 제공하고자 한다.

2. 베트남의 지질

2.1 베트남의 광역지질

베트남의 지질은 복잡하며 풍화영향을 상당히 많이 받았다(그림 2.1). 베트남은 지질시대 동안 강력한 지각운동의 영향을 받아 위험성이 높은 지질선구조가 다수 발달하여 곳곳에 많은 단층파쇄대가 나타난다. 베트남은 광역적인 구조운동을 반영하는 매우 중요한 지질학적 특성들을 가지고 있기 때문에 오래전부터 지질학적인 연구의 매력지로 알려져 왔다. 특히 베트남의 지질에 관련된 연구는 동아시아 지역과 남중국해의 형성 메카니즘에 대한 구조지질학적 연구가 집

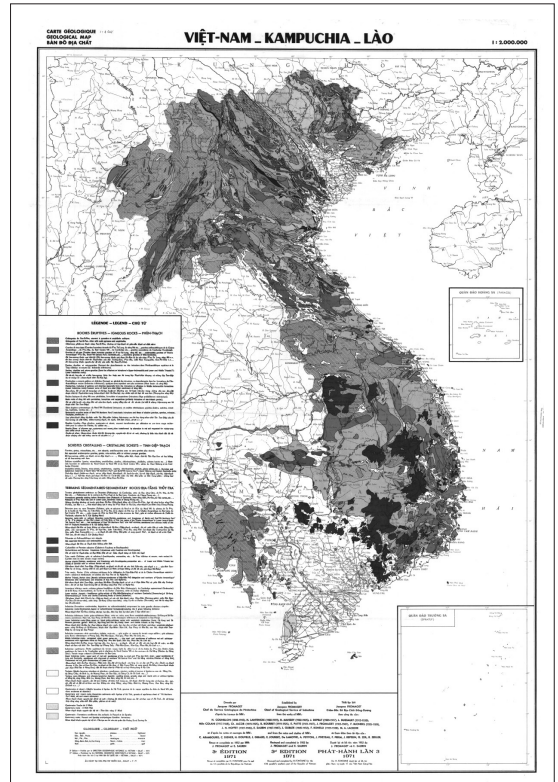


그림 2.1 인도차이나 반도 동부 지역 지질도(베트남-캄보디아)

중적이다(Dewey 등, 1989; Huchon 등, 1994; Lee and Lawyer, 1994; Peltzer and Tapponnier, 1988; Tapponnier 등, 1986).

베트남 지괴는 남중국판과 인도차이나판으로 구조적으로 나누어져 있다(그림 2.2). 이들 판의 경계는 홍강단층대이고, 상기 단층대는 퉁킹만과 티벳 사이를 통과하며 NW-SE방향으로 1,000km 연장 이상으로 발달하고 있다. Tapponnier 등(1986)의 모델에 따르면, 인도차이나판이 남동방향으로 충돌되었고, 인도차이나판과 남중국판의 상대적인 이동은 약 330~740km에 달하는 것으로 추정되어지고 있으며, 제3기 시대 동안에 좌수향주향이동운동을 하였다. 그 결과, 베트남 동쪽의 남중국해는 홍강단층대를 따라 형성된 인리형분지(pull apart basin)로 기원된 것으로 알려져 있다. 베트남의 지괴는 그림 3과 같이 5개

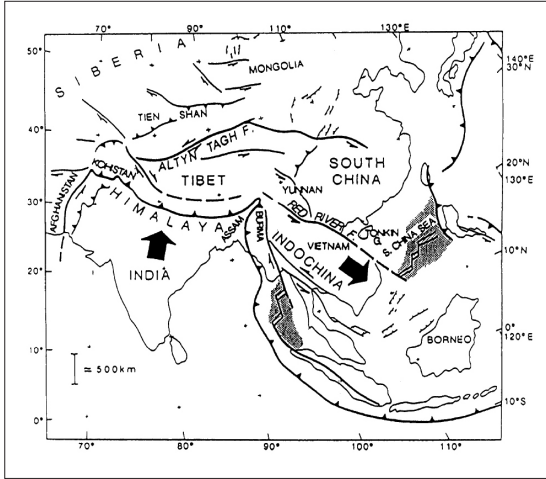


그림 2.2 동아시아 지역 신생대 단층계 (after Schrer et al., 1990)

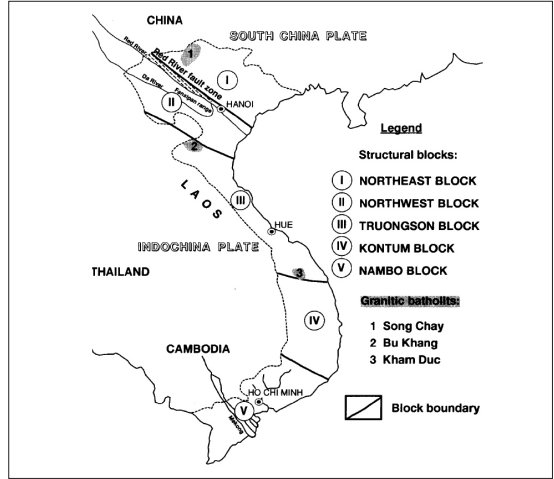


그림 2.3 베트남 지괴(Nam, 1995)

의 구조적인 지괴로 구분 가능하다(Nam, 1995)(그림 2.3).

베트남의 하노이와 호치민은 대규모 단층대와 메콩강의 선상지-삼각주 형성으로 산악지의 발달이 제한적이다. 그러므로 하노이와 호치민 주변은 산사태 활동이 많지 않은 편이다. 그러나 홍강단층대를 중심으로 양측의 지괴인 북동지괴와 북서지괴는 산악지가 집중되어 있으며, 트롱손 지괴에 해당되는 베트남 중부 역시 산악지가 집중되어 있다. 따라서 이 지역의 도로나 철도 등 인프라시설 건설시 필연적으로 비탈면이 형성되고 이로 인한 산사태 발생이 반복되고 있는 상황이다.

2.2 베트남의 지질시대별 지층분포

베트남의 선캠브리아 지층은 북서 지괴 내 홍강 계곡을 따라 발달하는 판시안 구조대를 따라 발견되며, 남쪽에서는 콘툼 지괴 내에서 형성되어 있다. 콘툼 지괴의 그라놀라이트(granulite)는 베트남 내에서 가장 오래된 암석이다. 이들 암석을 포함하는 복합체는 4,000m이상의 층후를 가지며 깊은 심도의 고

압의 광역적인 변성작용의 영향으로 만들어진 것이다. 하부원생대 변성암은 콘툼 지괴와 판시안 구조대의 중심, 홍강단층대의 중심에서 발견된다. 이들 복합체의 두께는 2,500~3,000m이며, 각섬석-흑운모 편마암, 각섬석-흑운모 미그마이트 등으로 이루어져 있다. 또한 규선선-흑운모-가넷(garnet) 과 편암이 발달하며, 흑연을 포함하는 편암과 규장암, 대리석, 탄산염변성암 등도 발견된다. 상부원생대 변성암은 1,000~1,200m 두께이며, 콘툼 지괴의 경계부의 넓은 경계를 따라 넓게 분포하고 있다. 이들 암석 내 하부 부분은 가넷-각섬석-커밍토나이트(cumingtonite)를 포함하는 대리석과 편암으로 이루어져 있고 상부 부분은 흑운모 편암, 편마암, 규암, 각섬석, 대리석 등으로 구성된다. 북서 지괴의 상부 원생대 암석은 주로 흑운모 편암과 세리시틱 편암으로 구성되며, 층후는 약 900~1,000m 이다. 원생대 암석은 고온-고압의 녹색편암 상의 환경에서 만들어진 것으로 추정된다.

베트남의 고생대 지층은 북동 지괴, 북서 지괴, 트롱손 지괴에 넓게 나타나지만, 콘툼 지괴와 남보 지괴에서는 발견되지 않는다. 중부 캄브리아기-하부 오오도비스기의 지층은 주로 석회암, 이암, 사암으로 구성

되며, Changpung type과 Thansa type으로 구분된다. Thansa type은 북동 지괴에 존재하는 고생대 지층이며, Changpung type은 북서 지괴와 트롱손 지괴에 있는 지층이다. 북동 지괴 내의 중상부 오오도비스기 지층은 400~1,000m의 두께이며 갈색의 조립질 쇄설성암으로 이루어져 있다. 상부 오오도비스기-하부 실루리아기의 지층은 3,000~3,500m 두께이며 북동지괴와 트롱손 지괴에 주로 나타나며, 북서지괴의 다강(Da River)의 저지대를 이루고 있다. 이 암석에서는 산호초 화석이 발견되었으며 동물화석이 발견되기도 했다. 상부 실루리아기층은 앞서 언급한 지층을 정합 관계로 피복하고 있으며 많은 실루리아기의 대표 화석들이 발견되었다. 상부 실루리아기층은 트롱산지괴와 북동 지괴의 넓은 지역을 차지하고 있으며, 북서 지괴의 다강(Da River)의 저지대에서도 나타난다. 최하부 데본기 지층은 북동 지괴와 북서 지괴에 공통으로 나타나며 민물 환경의 물고기 화석을 포함하고 있고, 하부의 고생대 지층을 부정합 관계로 피복하고 있다. 중부 데본기 암석은 탄산염 지층이며, 산호초가 매우 풍부하게 화석으로 발굴된다. 상부 데본기 지층은 200m 두께 내외로 제한적으로 나타나며 이들 지층은 석회암, 셰일, 사암 등으로 이루어져 있다. 트롱산 지괴 내의 하부 데본기 지층은 2,000m 두께로 나타나는 것이 특징이며 셰일, 사암 등의 지층으로 이루어져 있다. 트롱산 지괴의 남부 지방인 휴(Hue) 지역의 하부 데본기 지층은 대륙성의 적색 역암, 사암, 이암층으로 나타난다. 석탄기-페름기의 지층은 북동 지괴, 북서 지괴, 트롱산 지괴에 넓게 분포하며 수많은 유공충(foraminifera) 화석을 포함하는 석회암으로 이루어져 있다. 북서 지괴에서 이들 지층은 석회암, 셰일, 규산질 셰일과 현무암으로 구성되어 있는 반면에 트롱산 지괴에서는 하부 석탄기의 탄산염질 셰일, 사암, 역암, 석회암으로 이루어져 있다.

베트남의 중생대 지층은 트라이아스기와 쥬라기의 해성퇴적층과 화산쇄설성퇴적암, 백악기의 적색 대륙 지층으로 이루어져 있다. 이들은 중생대 지구 내 분포

한다. 북동 지괴의 지구는 NE-SW 방향에서 W-E 방향으로 발달하는 데 반하여 다른 지괴에서는 NW-SE 방향으로 발달한다. 트라이아스기 지층은 주로 육성(陸成) 기원의 퇴적층, 화산층과 풍부한 조개화석을 포함하는 석회암층으로 구성된다. 백악기의 적색대륙지층은 주로 사암, 실트암, 적색계통의 셰일과 역암으로 이루어져 있고 일부 지역에서는 소금을 포함한 지층이 발견되기도 한다.

신생대 지층은 양적으로 제한적이며 화산암의 교호층을 포함하는 호성(湖成) 환경의 암층과, 석호(瀉湖, lagoon)와 삼각주 환경의 암층 그리고 해성층으로 구분할 수 있다. 호성환경의 퇴적층은 회색을 띠며 연흔 구조가 발달하고 역암과 사암과 교호되기도 하며 일부 석탄층을 포함한다. 3,500~6,000m의 두께운 퇴적층으로 나타나는 석호 퇴적층과 삼각주 퇴적층은 하노이와 메콩강 일대에 넓게 분포한다. 해성퇴적층은 베트남의 대륙붕에만 제한적으로 퇴적되어 있다. 베트남의 제4기 지층은 하노이와 메콩강 유역 주변의 삼각주 퇴적물 지층과 콘툼 지괴의 고산지대에 넓게 나타나는 현무암층으로 나눌 수 있다.

베트남의 마그마체 관입과 관련된 화성활동은 크게 다섯 시대의 에피소드로 나눌 수 있다. 이들 화성활동은 아키안 시대, 초기 원생대, 초중기 고생대, 후기 고생대-초기 중생대, 후기 중생대-신생대였으며, 아키안 시대 동안의 관입암체의 활동은 콘툼지괴에서만 발견된다. 콘툼지괴에서는 마그마의 성분이 초염기성암에서 화강암질 성분으로 다양하게 노출되는 것이 특징이다. 초기 원생대의 화성활동은 주로 사장화강암(plagiogranite)와 미그마타이트로 이루어져 있으며 콘툼 지괴와 판시판 지구대에 나타난다. 초기-중기 고생대 화성활동은 시대별로 4개로 세분되는데 이들의 활동은 베트남 전반에 걸쳐 넓고 왕성하게 발생되었고 구성성분상 초염기성암석에서 화강암질암석까지 다양하게 나타난다. 후기 고생대-초기 중생대의 화성활동은 화강섬록암 화강암으로 주로 이루어져 있으며 일부 초염기성암석과 염기성암석을 초합하고 있다. 후

기 중생대-초지 신생대 화산활동은 알루미늄 함량이 높은 화강암체와 알카리화강암과 알카리 조면암을 형성시켰다.

베트남에서는 전 지질시대에 걸쳐 화산활동이 있었다. 중생대 이전의 암석에 얹지만 분명한 화산활동이 있었음을 지질학적 구조 연구를 통해 찾아낸 바 있다. 이들은 아키안시대나 원생대 시대, 초기 캄브리아기-초기 오오도비스기, 후기 오오도비스기-초기 실루리아기, 후기 실루리아기-초기 데본기, 후기 석탄기-초기 페름기 동안의 육성층과 화석아집사암층, 규산질 암과 탄산염질암에 교호되어 나타난다. 중생대의 화산활동은 베트남 내 중생대 화산 지구대에서 발견되어지며, 신생대 화산활동은 현재의 지형을 그대로 피복하는 형태로 노출된다.

3. 베트남의 자연재해재난

그림 3.1는 베트남의 주요 지역별로 발생가능한 자연재해재난을 표시한 것이다. 베트남의 주요 구성암석은 선캄브리아기, 고생대, 중생대의 퇴적암층이 대부분이고 이들 지층은 주변 지역의 과거 지질시대의

대규모 조산운동의 영향으로 습곡이나 대규모 단층대의 발달이 뚜렷하다. 또한 베트남은 메콩강 하천과 많은 대하천의 존재로 인하여 바닷가 인근은 대부분 선상지-삼각주의 환경을 가지고 있으며, 이러한 지역은 비탈면의 노출은 상대적으로 미미하지만 해안침식과 하안침식에 큰 어려움을 겪고 있는 실정이다.

하노이와 호치민은 두꺼운 퇴적층으로 이루어져 있는 바 지반공학적으로 연약지반에 대한 문제를 항상 가지고 있다. 따라서 이들 지역에서 SOC 시설물을 만들거나 유지 보수를 할 때에는 지반의 기초를 보다 견고히 확보할 필요가 있다. 또한 휴 지역이나 다낭, 나짱 지역을 포함한 베트남의 동부 해안 지역은 해안침식(coastal erosion)이나 홍수로 인한 자연재해에 취약성이 상존해 있으므로 이에 대한 적절한 대응이 필요하다.

베트남 중부 산악지대(안남 산맥)와 북동부, 북서부 산악지대(북부 고원지대)는 높은 고산지대가 밀집되어 있고 풍화에 취약한 변성퇴적암층으로 이루어져 있어 산사태에 매우 민감하다. 그럼에도 불구하고 이들 지역은 사람들의 거주지가 밀집되어 있지 않은 이유로 산사태에 대응한 관리가 부족한 실정이었다. 특히 베트남의 북부지역은 최근에는 지진활동이 보고되고 있기 때문에 이를 고려한 지반구조물 대응 계획이 필요하다. 최근 베트남의 하노이와 호치민을 잇는 도로와 기타 시설물들이 새롭게 조성되면서 이들 지역에 대한 산사태 관리의 필요성이 증대되는 상황이지만 도로비탈면의 안정성이 확보되지 못한 지역이 대부분이라 집중적인 유지관리의 필요성의 인식이 높아지고 있다. 베트남 지역의 지반 관련 사업을 추진하기 위해서는 이들 지반의 특성과 지역별 재난 발생 현황을 정확하고 면밀하게 이해할 필요가 있다. 본 고를 통하여 지반 공학회 회원 및 관련학과 연구수행자들이 베트남의 건설사업 및 유지관리사업을 수행함에 있어 지질학적 이해에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

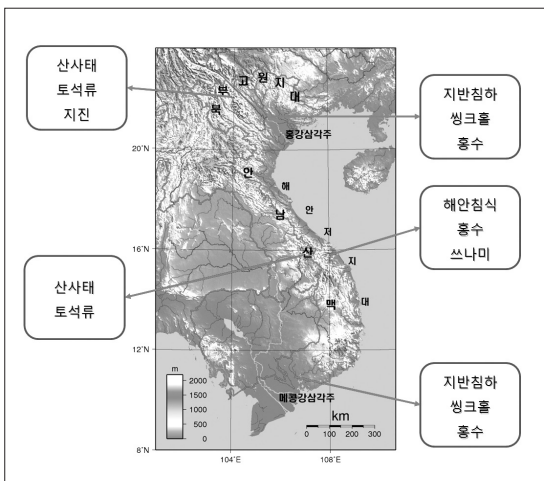


그림 3.1 베트남의 지역별 발생가능 자연재해재난
(한국건설기술연구원, 2014)

참 고 문 헌

1. 국제개발협력위원회 (2014) 베트남 협력전략 2011-2015, 60p.
2. 한국건설기술연구원 (2014) 도로비탈면유지관리시스템 도입을 통한 재난관리, 건기연 2014-053, 206p.
3. Dewey, J.F., Cande, S. & Pitman, W.C. (1989) Tectonic evolution of the India/Eurasia Collision Zone, *Eclogae geologicae Helveticae*, 82, pp. 717-734.
4. Huchon, P., Le Pichon, X. & Ragnin, C. (1994) Indochina Peninsula and the collision of India and Eurasia, *Geology*, 22, pp. 27-33.
5. Lee, T.Y. & Lawyerl, A. (1994) Cenozoic plate reconstruction of the South China Sea region, *Tectonophysics*, 235 pp. 149-180.
6. Nam, Tran Ngoc (1995) The geology of Vietnam: A brief summary and problems, *Geosci. Repts. Shizuoka Univ.*, 22, pp. 1-10.
7. Peltzer G. & Tapponnier, P. (1988) Formation and evolution of strike-slip faults, rifts, and basins during the India-Asia collision: an experimental approach, *Journal of Geophysical Research* 93, 15, 085-15, 117p.
8. Tapponnier, P., Peltzer, G. & Armijo, R. (1986) On the mechanics of the collision between India and Asia. In: *Collision Tectonics* Coward M.P. & Ries, A.C. eds. Geological Society Special Publication, London 19, pp. 115-157.

회비 납부 안내 (지로 및 온라인)

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 수납하고 있사오니, 홈페이지에 로그인 하시어 연회비 및 미납회비 확인 후 납부하여 주시기 바랍니다. 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드립니다, 문의 사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

• **은행 무통장(타행) 입금** 국민은행 계좌번호 : 534637-95-100979 예금주 : (사)한국지반공학회

• **카드결제** 홈페이지 하단 "회비납부"로 들어가서 결제하시기 바랍니다. (본인정보필수)

• 지로용지 기입시 유의점

- 지로 장표상의 금액과 납부자 관련정보(회원번호, 성명, 납입금 종류 등)는 검정색펜으로 정자체로 표기해 주시기 바랍니다.

- 납부금액란에는 정확한 위치에 정자로 아라비아 숫자만 기입합니다.

납부금액 앞뒤에 특정기호(₩, -, * 등)를 표시 할 수 없습니다.

* 지로용지가 필요하신 분은 지반공학회 사무국(02-3474-4428/박소영 대리)으로 전화주세요