

2001. 1. 26 인도지진 및 그 피해 특성 Indian Earthquake (2001. 1. 26) and its damaged characteristics

전 명 순*
Jun, Myung-Soon

ABSTRACT

The Ms 7.7 earthquake of Gujarat, India occurred early in the morning of January 26, 2001. Subsequent of the earthquake, as a Seismologist at Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), I have been visited epicentral area here reporting the impressions and initial observations collected during the period of Feb. 07 to 13. The trace of surface faulting was not founded. However the mechanism of the earthquake suggests the indenting Indian plate to the Eurasian plate was the tectonic background of this earthquake. Large casualties compare with the magnitude and focal depth of the event, seems due to the poor construction of the typical ordinary Indian housing structure. The wall and roof of the house are very thick to avoid high temperature of the epicentral region.

1. 서 언

2001년 1월 26일 인도 서부 Gujarat 주에서(23.40N, 70.32E)에서 지진이 발생 출발일 당시 수만 명의 인명피해가 국내외 언론매체에 보도되었다. USGS가 발표한 금번 인도지진의 진원요소(Hypocentral Parameter)는 다음과 같다.

발생시각 : Jan. 26, 2001, 03h16m41sec (UTC)

발생위치 : 23.40N 70.32E

진원깊이 : 23.6 km

지진규모 : 7.7 Ms (Preliminary Magnitude 7.9)

- 인도정부(Indian Meteorological Department)는 M6.9로 발표

이 지진은 인도의 Delhi, Mumbai(Bombay) 뿐만 아니라 파키스탄의 Karachi, Peshawar 및 네팔의 일부에서도 진동이 보고되었다. 본 보고에서는 지진발생 지역의 텍토닉 환경과 피해현상에 대해 간략히 논하고자 한다.

2. 판구조론적 관점에서의 인도대륙

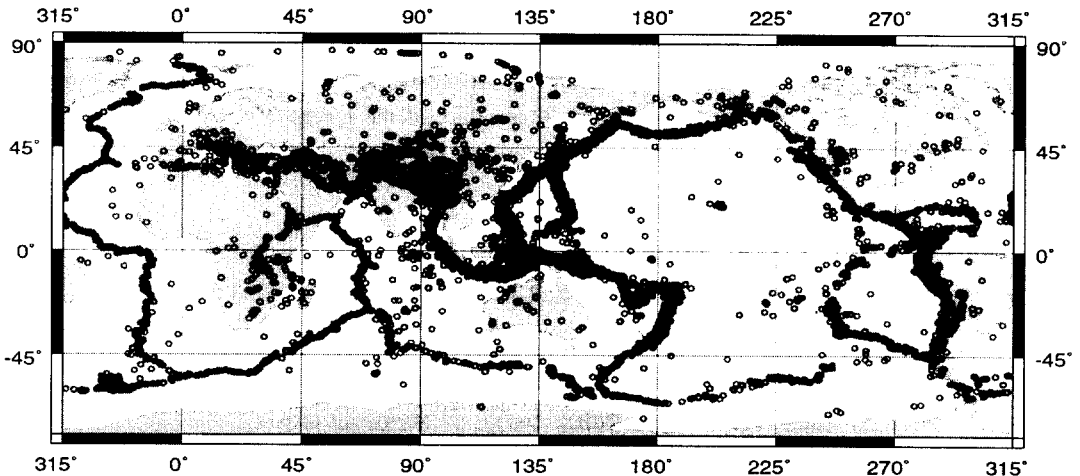
인도는 북쪽과 동쪽으로는 유라시아판과 경계를 이루며 서쪽으로는 아라비아 판(Arabian

* 한국지질자원연구원

Plate)과 남쪽으로는 호주 판 (Australia Plate) 과 경계를 이루면서 인도 판을 이룬다(Gordon and Stein, 1992). 원래 지구 남반부에 위치하던 이 인도판은 중생대부터 북상을 시작하여 대략 40MA 경에 유라시아 판과 충돌하기 시작하여 현재도 만입(indenting)을 계속하고 있다. 이런 현상에 의해 인도북부의 히말라야 산맥이 형성되었고 현재도 크고 작은 지진이 발생하고 있으며 넓은 지진대를 형성하고 있다(Fig. 1).

판 경계면에서 활발한 구조운동과는 달리 판 경계부에서 멀리 떨어진 지진학적으로 매우 안정된 대륙지역을 Stable Continental Region이라 한다. Jhonston(1993)은 SCR에서 발생한 4.5 이상의 지진 800여 개를 정리했다. 일반적으로 이렇게 판 내부에서 발생하는 지진은 큰 피해를 발생 시킨다. 그러나 이들 지진으로부터 발생하는 총 에너지(Moment)는 지구 전체의 지진활동 중 0.5% 에도 못 미친다. 이제까지 알려진 판 내부에서 발생한 지진중 가장 큰 것은 1811. 12. 16, 1812. 1. 23 및 1812. 2. 7에 미국 New Madrid에서 발생한 규모 8.2, 8.3 및 8.1의 지진 이었다. 그 다

1973. 1. 1 ~ 2001. 1. 31 (USGS)



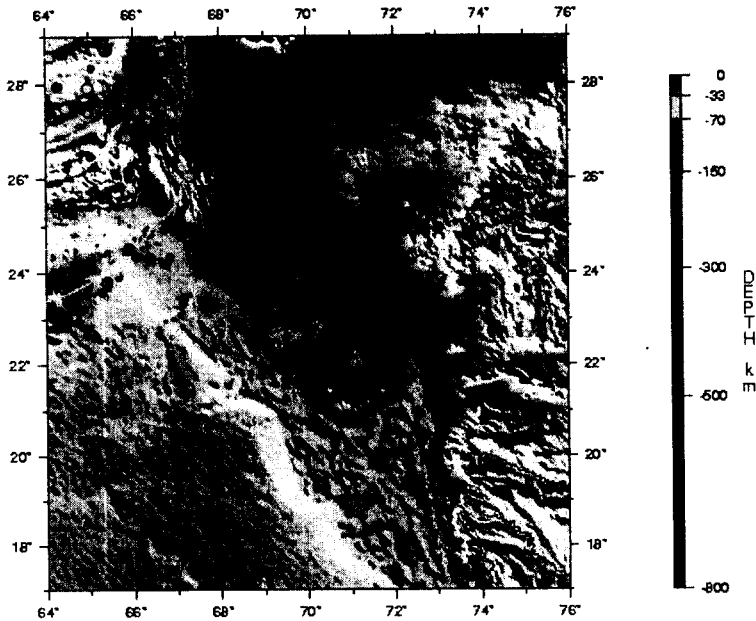
Mb > 5.0 , Dep < 40 km, Total = 26516

Fig. 1. Recent world shallow seismicity.

음으로 큰 지진은 금번 서부 인도에서 발생한 지진과 비슷한 위치에서 1819. 6. 16 발생한 규모 7.8의 지진이였다. 이 지진발생 후 높이 6 - 9 M의 지표단층(scarp)이 90km에 걸쳐 생겨났고 이 지역에서는 이를 "Allah Bund" 혹은 "Wall of God"라고 부른다. 1819년 발생한 지진에 의한 사망자는 약 1500명 정도로 보고되었다. 진앙지 일대는 가장 가까운 판 경계부에서 약 300 - 400 Km 떨어진 소위 판내부 지역에 해당하고 Figure 2는 진앙지 일대의 최근의 지진활동을 보여준다.

3. 2001. 1. 26 인도 지진의 특성

금번 인도지진은 1819. 6. 16 발생한 지진의 추정 진앙지로부터 남동쪽으로 약 50Km 떨어진 지역에서 183년 후에 발생하였다. 1819년 지진은 지표상에 약 100 Km에 걸쳐 수M의 지표단층을



INDIA

01/01/26 03:16:41 UTC 23.36N 70.34E Depth: 22 km 7.7Mw

Seismicity 1977 - Present, Plate Boundaries in Yellow

Fig. 2. Recent seismicity around the epicentral region.2

형성하였으나 금번 지진은 현저한 지표단층의 흔적이 보고 되지 않은 것으로 보아 최초 지진이 발생한 장소인 진원의 깊이가 상대적으로 깊었던 것으로 판단된다. 금번 지진의 규모가 미국 지질조사소는 Ms7.7로 인도정부는 6.9로 발표되어 상대적인 차이가 큰 편이다. 그러나 이는 미국 지질조사소는 원거리에서 잘 발달되는 표면파(Surface Wave)의 진폭을 측정해 규모를 결정한 반면 인도에서는 근거리에서 발달되는 실체파(Body Wave) 중 가장 큰 그룹인 S-wave에서 규모를 산출한 것으로 판단된다. 근 거리 자료를 이용하는 경우는 표면파의 발달이 불량하여 원거리 자료를 사용하는 경우와 상당한 차이의 규모가 계산될 수 있다. Figure 3은 Kikuchi and Yamanaka(2001)가 제시한 금번 지진의 메카니즘과 인도판 경계부에서 발생한 지진들의 메카니즘을 보여준다. 금번 인도지진의 메카니즘은 대략 동서방향의 단층이 역단층운동을 일으키며 발생한 지진으로 나타나는 바, 이는 1819년 이 지역에서 발생했던 지진의 메카니즘과

0101260316 Southern INDIA (M_s 7.9)
(Kikuchi & Yamanaka)

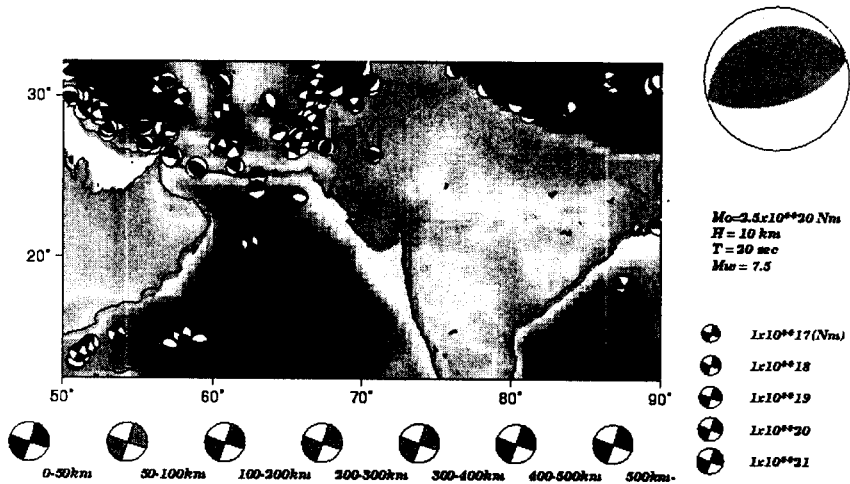


Fig. 3. Mechanism of 2001. 1. 26 Indian Earthquake.

매우 유사한 것으로 판단된다. 이는 조사지역에서 남북방향으로 위치한 교량의 상판이 남쪽에서 북쪽으로 이동한 것으로 보아 이 지진을 발생시킨 힘은 인도 일대에 작용하는 전반적인 인도판의 아시아판으로의 indenting에 의한 regional force에 의한 것으로 판단된다. 또한 이번 지진의 경우 진앙지에서의 최대 진도는 MMI X에 해당된다.

4. 피해현상

단 기간동안 체계적인 피해조사 및 지질조사는 불가능 하였으며 본 보고에서는 개략적인 특성을 기술코져 한다. 주 조사지역은 동쪽으로는 Bachau, 서쪽으로는 Bhuji, 북쪽으로는 Rodai 그리고 남쪽으로는 Anjar와 Gandhidam에 이르는 좁은 지역에 제한되었다. Figure 4는 진앙지 부근의 활성단층 분포와 조사지역의 위치를 보여준다. 진앙지 근처의 지질도 혹은 지형도는 현장에서 확보하지 못했으며, 본 조사에서는 휴대용 GPS(Global Positioning System)를 이용한 위치 확인 및 Internet에서 구한 대략적인 지도를 사용하였으며, 주요 기록은 Digital Camera를 이용하였다. 조사지역의 주요 지질은 주로 중생대 (Jurassic to Cretaceous)의 퇴적암(Sandstone and Limestone)이 주를 이루고 일부 화산암(Volcanic rocks)이 존재한다. 이들 지층은 심하게 풍화되어 있고 매우 깊은 풍화대(3-6M)를 이루고 있다.

조사지역의 지표상에서 뚜렷한 지진단층은 발견되지 않았고, 조사지역 북부(Rodai)에서는 단층운동의 2차적인 증거로 보이는 대략 동-서 방향으로 발달한 crack의 연장을 약 2Km 까지 확인 할 수 있었다(Fig. 5). 또한 작은 규모의 액상화(Liquefaction)는 조사지역 전체에서

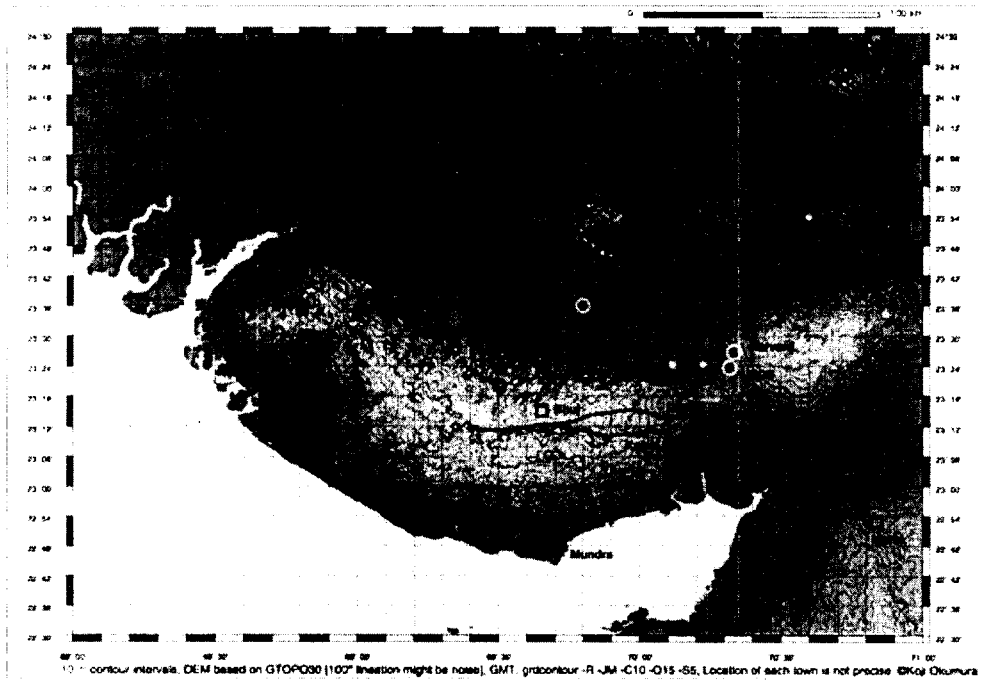


Fig. 4. Epicentral map and active faults.

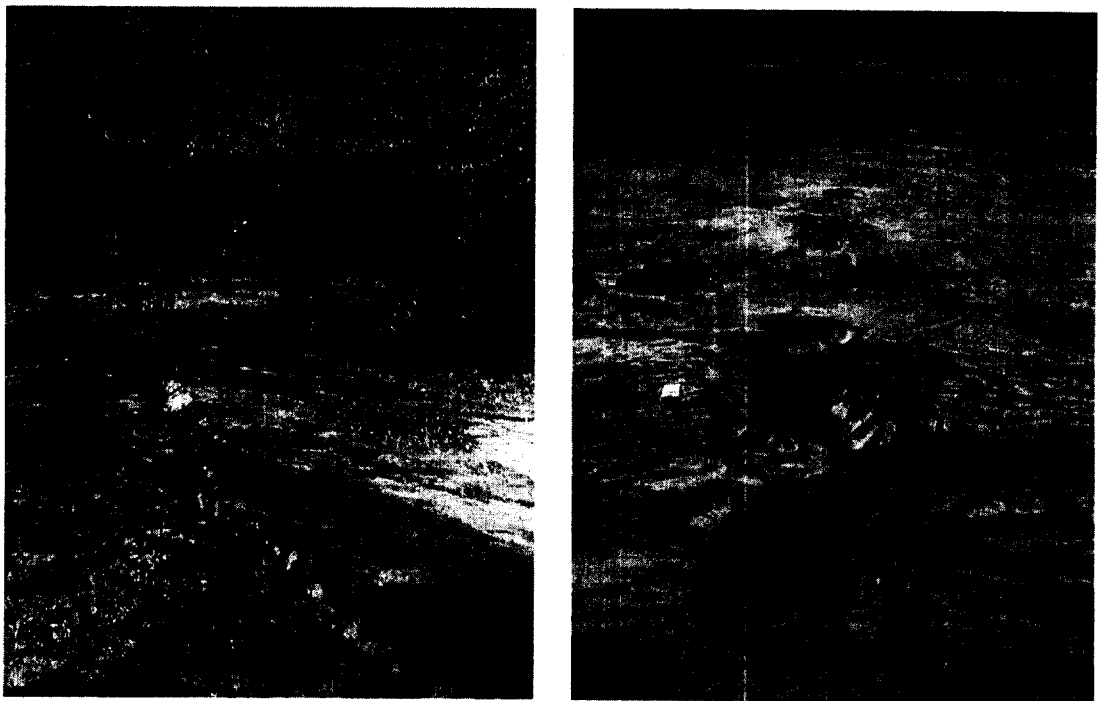


Fig. 5. Surface crack near the Rodai(left) and liquefactions near Kandra Port(right).

(북쪽은 Rodai, 남쪽은 Gandhidam의 Kandra Port)에서 발생하였다(Fig. 5).

조사지역중 피해가 가장 큰 지역은 Bhuj, Anjar 및 Bhachau 이었는데, Bhuj의 경우는 도시 건축물의 약 70%가, Anjar와 Bhachau의 경우는 도시의 약 90%가 파괴되었다. 일반적으로 진앙지 근처의 전형적인 서민들의 가옥구조는 연약한 사암을 잘라 벽과 지붕을 만든 것이었다. 돌 사이는 Chuna라고 부르는 석회암으로부터 추출한 석회질 물질로 된 충전물을 시멘트 대신 사용하였는데 이는 손으로 비비면 부서질 정도의 강도를 가지고 있었다. 또한 비교적 최근에 지은 것으로 보이는 구운 벽돌을 이용한 구조물의 피해도 심했는데 이들의 강도도 매우 약한 것으로 확인 되었다. 그림 6은 Anjar에서 채취한 피해 구조물의 sample 사진이다.



Fig. 6. Material for the ordinary buildings in Anjar.

귀국 후 물성실험을 위해 현장에서 몇 종류의 sample을 채취하였으나, 이들은 너무 물러서 3축 압축실험을 위한 정형이 불가능 하였다. 채취한 시료들은 당 연구원 실험실에서 점재하강도시험(Point Load Test)를 수행하였다. 실험결과를 경험식에 적용하여 일축압축강도(Uni-Axial Compressive Strength)로 환산한 결과는 sandstone Brick의 경우 79 - 101 Kg/cm²의 범위를, 붉은 벽돌의 경우 50 - 114 Kg/cm²의 범위를 보인다. 이는 일반적으로 적용되는 콘크리트의 설계기준 강도인 210 Kg/cm²에 비하면 매우 낮은 강도를 나타내는 것이다.

또한 진앙지 일대의 기온이 조사기간인 2월은 이 지역의 겨울에 해당되는 바, 이 기간에도 한낮의 기온은 30℃에 이른다. 이 지역의 여름 최고 기온은 44 - 45℃에 이른다고 하니 더위를 피하기 위해서 벽과 지붕을 두껍게 건축하는 것이 일반적인 경향이다. 이는 지진에 매우 취약한 구조를 지니게 되고 지진 발생시 피해를 크게 만드는 요인이 된다(Geological Society of India, 1994). 비교적 최근에 지어진 것으로 보이는 현대식 건물들도 비교적 심한 피해를 입은 것을 볼 수 있었는데, 이는 내진규정을 제대로 준수하지 않은 불량한 건축물로 추측된다.

5. 토의 및 결론

한명의 지진학자가 약 일주일 동안의 조사기간을 통해 자세한 지진학적, 지질학적 특성을 파악하기에는 불가능했다. 종합적인 조사를 위해서는 지질학자, 지진학자 및 지진공학자가 함께 참여하는 조사단이 필수적이다. 지진의 규모 및 진앙 깊이를 고려하여 진앙지 일대의 인명 피해가 컸던 것은 진앙지 일대의 지반상태가 지질학적으로 매우 불량한 지역에 더위를 피하기 위해 벽과 지붕이 매우 두꺼운 불량한 구조물에 큰 원인이 있었던 것으로 추측된다.

감사의 글

실험실 물성측정 결과를 분석해 주신 한국지질자원연구원 환경지질연구부 김경수 연구원께 감사드립니다.

참고 문헌

1. Geological Survey of India, 1944, "Latur Earthquake", P. 149.
2. Gordon, R. and S. Stein, 1992, "Global tectonics and space geodesy," Science, Vol. 256, pp. 333-342.