

死傷者 4千余名 낸 인도네시아 플로레스 섬의 地震津波 피해

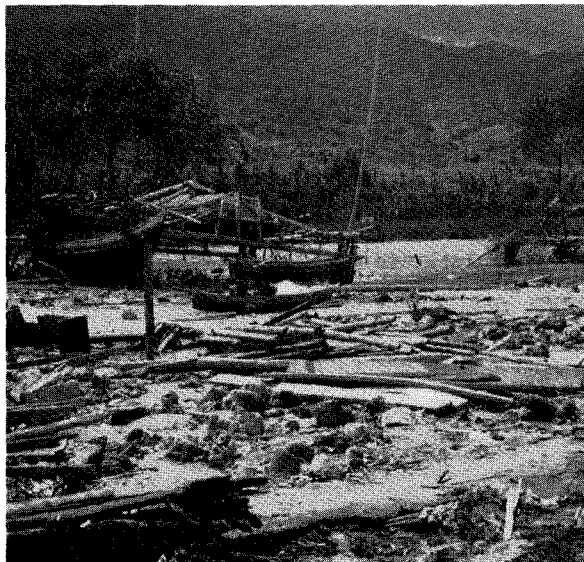
쓰나미被害경감 可能性 탐색

東海岸피해 工學的 대응책에 활용할터

필자와 미국인 교수, 영국의 지질학자 일본인 교수 등을 포함한 9명의 과학 조사단이 일본 문부성 지원아래 현지로 파견, 쓰나미의 국제 공동 조사를 인도네시아의 기상청 협조아래 실시했다. 과학 조사단은 진파의 피해 측정, 진파 내습 직전 상황, 흔적 조사 등 광범위한 공학적 조사를 벌였다.

崔秉昊(成均館大 土木工學科 教授)

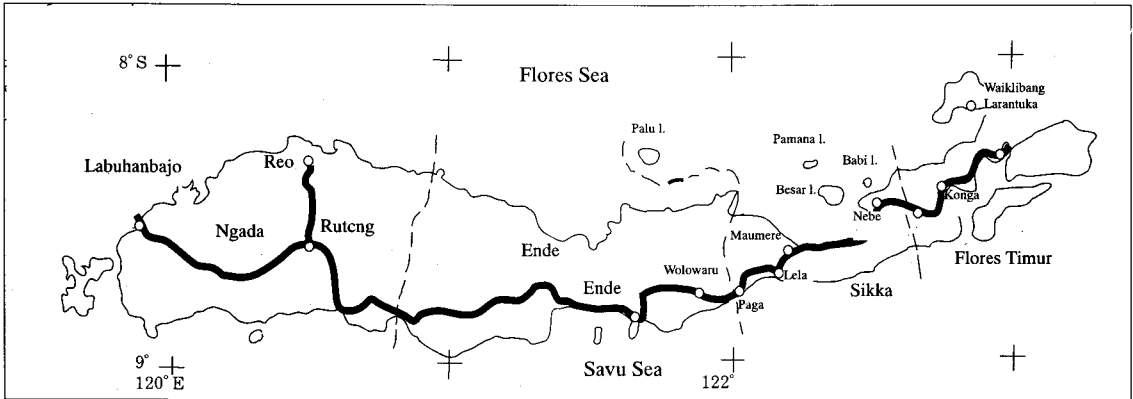
1992년 12월 12일 13시 29분 45초(현지 시각)에 인도네시아의 東누사텡가라지역의 플로레스(Flores)섬 마우메레(Maumere)시 동북측 연안에 해저진앙(Hypocenter)을 갖는 급세기들어 최악의 강진이 발생하였다. 이 지진피해의 사망자는 3,500명에 달하는 것으로 Jakarta Post는 보도하였으며 AF, AFP 통신은 25m의 지진진



〈사진1〉 Maumere시 부근 Wuring지역 쓰나미에 의한 피해광경

파(쓰나미)가 발생하여 해안의 어촌을 휩쓴 것으로 보도하였다.

후에 사망자는 2,080명(12월30일자 집계), 상해자는 2,144명으로 조사되었는데 사망자는 반수 정도는 벽돌건물의 붕괴 등에 의한 직접 지진 피해였으며 나머지 반수는 해안지역의 목조건물의 붕괴와 동시에 내습한



〈그림 1〉 Flores섬 위치도

쓰나미에 의한 사망이었다. 이 쓰나미 기록은 1883년 자바섬 서측 순다해협(Sunda Strait)에 위치한 크라카토아(Krakatau) 화산의 대폭발에 의해 인근해안에 30~40m의 높은 쓰나미가 내습한 역사적인 기록에 버금가는 것이다.

이 재해발생이 있는 후 일본 정부는 인도네시아정부에 긴급대책에 대한 조언을 하기 위한 목적의 재해구호단을 현지에 파견하였으며 이어서 일본 문부성의 지원아래 9명으로 구성된 과학조사단을 파견하였다. 필자는 12월 26일

Jakarta에서 이 과학조사단에 합류하였는데 3 명의 미국인 교수와 한 명의 영국지질학자도 합류하여 지진, 쓰나미의 국제공동조사를 인도네시아의 기상청(Meteorological and Geophysical Agency, BMG)의 협조아래 수행하였다.

과학조사의 목적은 진원에 접한 진파의 피해추정, 진파에 의한 사망원인, 진파내습 직전 상황, 흔적조사, 생존자 증언, 지진피해, 건물파괴, 사면붕괴, 진파파원역, 진원역, 단층면의 공간적 위치의 정확한 추정, 임시적 여진관

측, 해빈의 융기, 침하분포를 광범위하게 조사하는 데 있다. 이러한 국제조사활동에 참여하는 궁극적인 목적은 쓰나미의 발생과정과 쓰나미 수치예보의 가능성을 타진하여 우리나라 연안 특히 동해안에서의 쓰나미피해를 경감시킬 수 있는 공학적인 대책을 강구하는 데 있다.

플로레스섬의 지진피해조사

발생한 지진의 규모는 Richter Scale로는 $M_b=6.8 \pm 0.4$ (인도네시아 기상청)로 발표

〈표 1〉 Flores섬 지진피해(12월30일자 Maumere공항내 군재해구원본부 집계)

縣名 Kabupaten	人口 (人)	人的被害			建築物被害								
		死亡者	中傷	輕傷	用途別被害棟數					被害程度別棟數			
					政府縣의 公共建物	住宅	모스크 教會	學校	기타	全燒	大破	小破	
Sikka	247,000	1,457	252	1,256	612	14,087	110	324	530	8,057	4,240	3,366	
Ende	219,000	191	228	336	365	13,614	204	306	149	8,752	3,100	2,766	
Ngada	198,000	11	9	11	26	2,954	69	85	123	384	1,765	1,108	
Flores Timur	265,000	235	21	31	111	1,143	83	156	27	212	558	750	
계	929,000	1,894	510	1,634	1,094	31,798	466	871	829	17,405	9,663	7,990	

되었지만 후에 미국 지질조사국의 지진정보서비스(National Earthquake Information Service)는 Ms=7.5의 추정치를 발표하였다.

또한 NEIS는 Seismic Moment Magnitude, Mw=7.8~7.9로 추정하였으며 진앙 위치는 Flores섬 Maumere시 북서 약 40km의 Batumanuk갑 부근(8.482° S, 121.93° N)으로서 1983년 5월 26일 동해 중부 지진과 같은 형태의 역단층형의 지진으로 추정하였다.

〈그림 1〉에서는 지진지역의 개략적인 위치가 제시되어 있는데 이 지역은 Sunda Arc의 후방지역으로 활발한 화산활동성을 갖는 대역이다. 이 지역 반경 500km내에는 Strong motion지진계가 없어 진원깊이의 정확한 추정은 어렵다.

이번 과학조사단의 참가자는 都司嘉宣(조사단장, 동경대 지진연구소), 河田惠昭(경도대 방재연구소), 畠村文彦(동북대 재해제어센터), 武尾 實(동경대 지진연구소), 涉谷純一(동북대), 伯野元彦(동양대), 松富英夫(秋田大), 松山昌史(전력중앙연구소), 高橋智幸(동북대) 諸氏와 영국 Coventry대 지리학과의 Shaozhong Shi, 미국 남가주대의 Costas Synolakis, 워싱턴주립대의 Harry

Yeh, 코넬대의 Phillip Liu교수, 인도네시아 BMG의 H.Prih, Gunawan, Sunarjo씨와 필자이다.

12월 26일 및 27일 오전에는 Jakarta의 인도네시아 기상청에서 현지조사를 위한 회합이 있었다. 정보교환과 현지의 상세지도 입수 및 개략적인 피해조사의 보고 등이 포함되었으며 27일 오후에는 일본정부가 파견한 국제협력사업단의 국제긴급원조대(阿部勝征 단장, 동경대교수)로부터 Maumere시의 재난상황에 대한 정보를 확보하였다. 또한 일본 건설성 토목연구소의 宇多高明박사가 일차적으로 관측한 진파의 높이는 Wuring에서 2.8m, Maumere항구에서 2.8m, Wailiti에서 2.6m, Wairgete 2.4m, Nangobrok 1.8m, Babi섬 남서측마을 3.0~3.4m, Babi섬 남동측마을 3.3~3.4m이었다.

12월 28일 일찍 조사단은 Jakarta공항을 출발하여 Flores섬을 향하였다. 도중에 Babi섬의 Denpasar공항에서 Merpeti항공의 프로펠러기로 바꾸어 탑승하였다. 15시경 비행기는 재해 중심지인 Maumere시에 접근하였는데 화산섬 Palu섬의 계곡의 사면붕괴, 진파에 의해 마을이 휩쓸린 것으로 전

해 들은 Babi섬의 원경이 내려다 보였다. 그러나 현지공항의 강풍으로 인해 착륙하지 못하고 약 200km남쪽에 위치한 Timur섬의 Kupang시에서 일박하였다.

Kupang시는 Flores, Timur, Sumba섬을 포함하는 동서 약 400km의 Nusa Tenggara Timur주의 州都로서 주지사의 배려에 의해 12월 29일, 지진발생 17일 후 2대의 헬기로 Maumere시 공항을 향하였다. 공항에 착륙하여 군재해구원 본부에 들러 일차적인 피해현황을 청취하였는데 후일 보고받은 피해 통계는 〈표 1〉과 같다.

시 동측에 위치한 Permata Sari호텔에 숙소를 정한 후 오후에 전원이 Wuring지구를 방문하였다. 이 지역에서 쓰나미 높이는 2.7m 정도이었지만 취락이 해안에 인접한 저지대에 위치하여 범람에 의해 가옥들이 대파되고 사망자가 90명에 이른 지역이었다.

주민의 증언에 의하면 지진 발생과 동시에 지각이 갈라지고, 그 움직임은 2~3m에 달했으며 흙의 액상화 현상이 일어나며 상승된 간극수압에 의해 온수가 분출되는 gushing 현상이 뒤따랐다.

초동 현상으로 물이 빠져나가며 해안에 인접한 coral reef

가 노출된 연후에 3차례의 높은 쓰나미파가 내습하였다고 하는데, 이러한 상황이 지진 발생 5분전후에 일어났다고 한다. 이곳의 많은 사망자들은 지진진파가 내습할 당시 결혼축하객들이 해변에서 축하연회중이라 미처 대피하지 못했으며 또한 지진에 의해 목조가옥이 파괴되어 가옥내에서 한낮의 휴식중인 다수의 사람들이 사망하였다.

소형 목조선속에서 잠자던 어린이들과 재빨리 내륙쪽으로 대피한 생존자들도 많았다. 해안의 4톤급 목조선들은 내륙쪽으로 2km정도까지도 이동하였다 한다. <사진 1>은 폐허가 된 Wuring지구의 피해 광경이다. 다음에는 Maumere항구(Kota Uneng)의 피해를 조사하였는데 항구전면 해저의 지각이 갈라진 연 후 내습한 쓰나미에 의해 부두와 선박피해가 발생하였다(사진 2).

지진후의 항구전면의 중심



<사진2> Maumere항의 쓰나미 피해

은 지각침강으로 더 깊어진 것으로 보고 되었으나 자세한 관측 결과는 아직 없다. 숙소로 돌아오는 도중 Maumere시내의 지진피해를 관찰하였는데 <사진 3>에서 보이듯이 철근콘크리트구조의 건물까지 심하게 파괴됐다. 다행스러운 것은 발전소와 상수원은 피해를 입지 않았다.

12월 30일부터 조사대는 4개조로 나뉘어 활동을 시작했는데 지진공학자와 쓰나미 전문가로 구성되어 섬 전역에 걸친 쓰나미유펜과, 지각변동, 주민증언청취, 지질학적 시료채취작업을 수행하였다. 이와 더불어 강진계와 고감도 진계를 첫날에는 호텔에, 30일 오전에는 Maumere시 배후의 방송국 철탑부근에 각각 설치, 여진 관측을 개시하였다.

필자는 都司, 武尾, Prib박사와 한 조가 되어 Maumere시의 서측 해안에 대한 조사를 낭가

우레, 파티솜바 두 곳에서 실시하였다. 동북대의 솜村박사일행은 Pamana Besar, Pulu Besar섬의 조사를 실시하였는데 오후의 높은 파랑과 한낮의 더위에 큰 고생을 하였

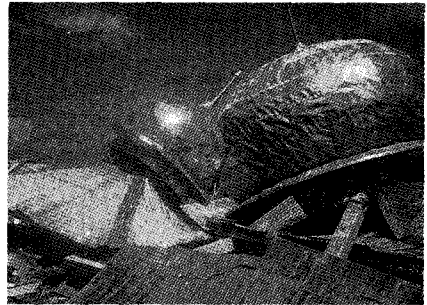
다.



<사진3> Maumere시내의 지진피해

<사진 4>는 Besar섬의 공회당(모스크건물)의 파괴 광경이다. Flores섬의 동북단까지는 차로 편도 6~8시간이 소요되어 31일 합류한 미국조사대원과 松富박사조(博士組)는 섬 동단의 Larantuka에서 1박을 하는 원정조사를 하였다. 이 결과 Riangkrok지구(Kroko촌)에서 26m의 쓰나미가 관측되었다. 이 지역마을은 Nipah강 입구에 위치하는데 1.5km길이, 150 m폭의 해변이 존재했지만 지진과 쓰나미에 의해 완전히 사라지고 수직 절벽만이 남게 되었다.

이곳에서 북쪽 6km정도에 위치한 Bou-Tanabeten(Bunga)



<사진4> Besar섬마을의 지진피해광경

마을에서도 12m의 쓰나미가 발생하였다.

이 지역의 야자수는 거의 뿌리가 뽑혀서 쓰나미파력의 위력을 다시한번 상기시켰는데 이 지역에 존재하던 모든 것을 휩쓸어 버린 것이다. 이 거대한 쓰나미가 발생한 지역의 남측에 위치한 Hading만의 남측해안을 따라서 큰 지각침강이 관측되었다. Lewora-hang에서는 15~20m의 침강이 해안을 따라 2km에 걸쳐 일어나 12가옥이 완전히 물속으로 사라져 버렸다.

이 곳에서 6km서쪽인 Lewobele에서도 2km의 해안이 침강하였으며 약 10.8m의 쓰나미가 관측되었다. Hading만의 북측해안에는 수중침하가 일어나지 않아 쓰나미의 높이는 3~4m에 국한되고 있어 이곳의 국지적인 높은 쓰나미는 진앙에서 발생되어 파급된 쓰나미라기보다는 국지적인 해저 지각침강에 의해 발생한 것으로 추측하는 견해가 일고 있다.

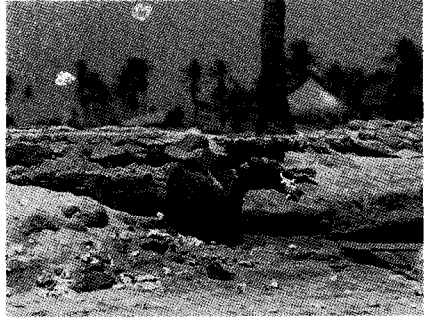
1월 4일 조사팀은 Babi섬을 탐방하였는데 이 곳은 Flores섬에서 5km정도 떨어진 직경이 약 2km, 표고 350m의 작은 섬이나 총인구 1,000여명 중 750명이 사망한 가장 쓰나미재해가 큰 지역이다.

쓰나미의 피해는 섬북측에

서의 쓰나미내습파가 섬의 동서측을 통과하여 섬남측의 대안인 Flores섬 해안에서 반사되어 이 반사파가 남쪽으로부터 해안에 내습하였다고 생존자가 증언하고 있다. 섬남측의 동쪽에 위치한 기독교마을인 Pagaraman과 서쪽의 모스렘마을인

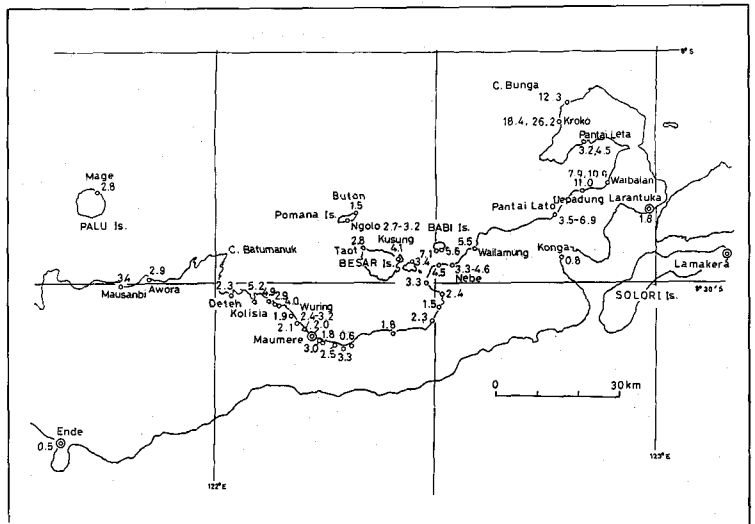
kampungbaru의 두 마을은 쓰나미에 의해 완전히 파괴되었다. <사진 5>는 황폐화된 Pagaraman마을의 해변을 보여 준다. 이렇게 관측된 쓰나미 월파고의 분포가 <그림 2>에 제시되어 쓰나미 수치계산에 중요한 자료로서 이용될 예정이다.

Flores섬의 지진은 쓰나미에 의한 사상자수와 재산피해



<사진5> Besar섬 모스렘마을의 쓰나미 피해

측면에서 특기할 만한 재난이었으며 지구물리학적, 지질학적, 또한 공학적인 측면에서 앞으로 상당한 규명이 필요한 자연재해였다. 앞으로 많은 연구결과들이 발표될 것이나 초기 현장조사결과는 참가자 전원의 이름으로 미국 「Science」지에 Tsumais of the Flores Island Earth quake의 제목으로 게재될 예정이다. ㉔



<그림2> 조사단에 의해 관측된 쓰나미높이의 분포도