

## “액상화”가 세상에 이름 알린 날

송병웅\*

일본에서 지진에 의한 액상화 후 발생하는 측방유동(구 영구변형)에 대하여 박사학위 논문을 준비하고 있을 때 문득 액상화가 어떻게 세간에 회자되게 되었는지 궁금하여 문헌을 조사·정리한 적이 있는데 이번 기회를 빌려 그 내용을 보고하고자 한다.

현재 우리나라에서 액상화라는 말은 지반공학에 관련된 분야의 종사자뿐만 아니라 토목공학도들에게도 널리 알려진 용어이지만, 아직은 우리나라 사람들이 다 아는 용어는 아니다. 하지만, 이웃 일본의 경우 TV 뉴스시간에 “○○부근에서 진도 ○의 지진이 일어나 ○○에 액상화가 발생하였습니다.”라고 보도 되는 것을 보아 일본에서는 토목을 전공하지 않은 사람이라도 액상화가 무엇인지 잘 알고 있지 않나하는 생각이 든다.

지금까지 알려진 바로는 액상화와 그것에 관한 용어의 정의를 최초로 정한 곳은 Committee on Soil Dynamics of the Geotechnical Engineering Divisions(1978)로 알려져 있으나, 그 현상은 1964년 일본의 니이가타(新潟)지진 이후 널리 알려지게 되었다.

1964년 6월 16일 오후 1시 2분 니이가타(新潟)현에서 지진이 발생하였다. 그림 1은 액상화 발생

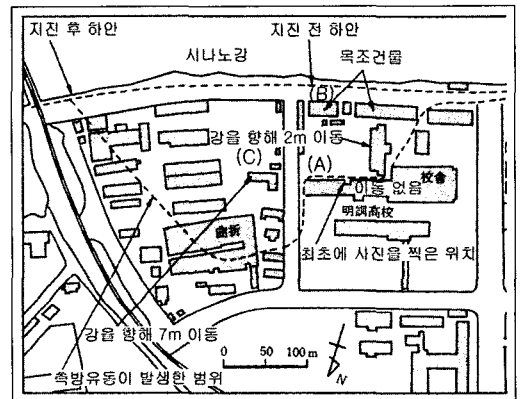


그림 1. 지진에 의한 액상화에 의해 발생한 明誠高等學校 주변 상황 (安田, 1995 - 수정)

후 측방유동의 진행과정을 설명하기 위하여 나타낸 그림이다.

그림 2는 그림 1에서 明誠高等學校의 (A)건물 4층에서 (B)의 목조건물을 향하여 1시 5분에 찍은 사진이다. 수업 중 지진이 발생하여 학생들이 교실에서 운동장으로 도망 나오는 장면을 찍은 사진이다 (安田, 1995). 그림 2에서 아직 학생들은 여유가 있어 보인다. 그림 2를 보면 지진 발생 후 3분 만에 액상화에 의하여 측방유동이 발생하였으며 지대가 높은 곳에서 지대가 낮은 학교 건물 뒤 시나노(信濃)강을 향하여 측방유동이 진행되고 있다.

그림 3은 그림 1의 (A)에서 하꾸산(白山)발전소

\* 다산컨설턴트 지반공학부 차장(soilsong@nate.com)

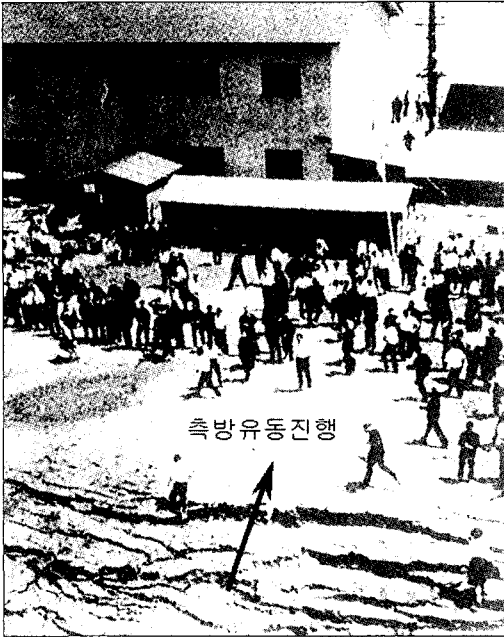


그림 2. 액상화 후 측방유동 발생 (1시 5분, (A)-(B); 安田, 1995)



그림 3. 측방유동 진행 중 (1시 6분, (A)-(C); 安田, 1995)

(C)를 향하여 1시 6분에 찍은 사진이다. 그림 3을 보면 액상화 후 발생한 지반 침하 및 시나노강(자전거가 세워져 있는 쪽 즉, 그림에서 오른쪽)을 향하여 진행되는 측방유동을 볼 수 있다. 하쿠산(白山)발전소에 보이는 철탑이 기울어져 있는 것을 알 수 있다. 지진 발생 후 4분 만에 나타났으며, 그 뒤로 쇼와(昭和)대교는 아직 온전하게 남아있다.

그림 4는 1시 10분에 다시 그림 1의 (A)에서 (B) 지점을 향하여 찍은 사진이며, 분사현상이 시작되어 운동장에 모인 학생들이 뒤로 도망가는 모습을 촬영하였다. 그림 2에서 보이는 학생들과 그림 4의 학생들을 비교해 보면 액상화에 따르는 지반피해 현상이 사람들에게 얼마나 많은 공포심을 불러일으키는지 조금이나마 가늠할 수 있다.

그림 5는 그림 4를 찍은 후 5분이 경과했을 때의 분사현상 모습이다. 安田(1995)에 의하면 이 분사

고는 약 1 m정도 발생한 것으로 조사되었다. 그 후 10분이 더 경과된 후에는 그림 3에 보이는 자전거들은 모두 땅속으로 가라앉았다고 한다.

그림 6은 그림 3과 같은 방향에서 찍은 사진으로 시간은 약 1시 40분경으로 지진에 의해서 석유탱크에서 화재가 발생하여 검은 연기가 치솟고 있는 사진이다. 또한 그림 3에서 지진이 발생한지 4분 경과했을 경우에는 쇼와대교가 그대로 있었지만, 약 38분 후에 찍은 그림 6을 보면 이미 액상화에 의해서 측방유동이 발생하여 교각이 밀리면서 상판이 떨어진 것을 알 수 있다.

한편, 그림 7과 8은 매우 귀중한 자료로서 지진이 발생한 당일 유미나모찌(弓納持)씨 일행이 니이가타(新潟)시와 사도(佐渡ヶ)섬 사이를 취항하는 페리의 사진을 찍기 위하여 니이가타공항에서 막 이륙준비를 할때 지진이 발생하여 그들의 일정을 취소하고



그림 4. 분사현상 시작 (1시 10분, (A)→(B); 安田, 1995)



그림 5. 분사고 약 1m (1시 15분, (A)→(B); 安田, 1995)



그림 6. 쇼와(昭和)대교 붕괴 (1시 40분, (A)→(C); 安田, 1995)



그림 7. 6월 16일 항공기에서 찍은 쇼와(昭和)대교 (地盤工學塾, 1999)

공중에서 니이가타시의 피해상황을 찍은 사진이다. 그림 7은 비행기에서 찍은 무너진 쇼와대교의 모습이다. 강과 평행한 호안이 현저하게 일그러져 있다. 또한, 상류쪽(중앙상단) 호안에서는 액상화에 의한 분사현상으로 보이는 주름이 보이고, 하류쪽(중앙하

단)의 하쿠산(白山)소학교의 교정에도 액상화가 발생하였다.

그림 8은 니이가타 종합운동장을 찍은 사진인데 국민체육대회가 막 끝난 경기장의 모습인데, 지진에 의해서 액상화가 발생한 모습이다. 위에 무너져 내



그림 8. 6월 16일 항공기에서 찍은 사진 니이가타 종합운동장 (地盤工學會, 1999)

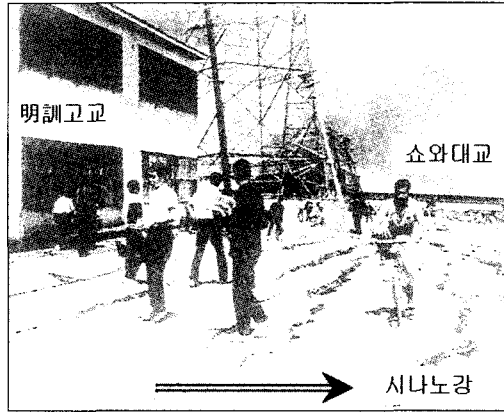


그림 9. 시간 모름, 액상화 후 발생한 측방유동에 의한 지표면 균열 (安田, 1995)

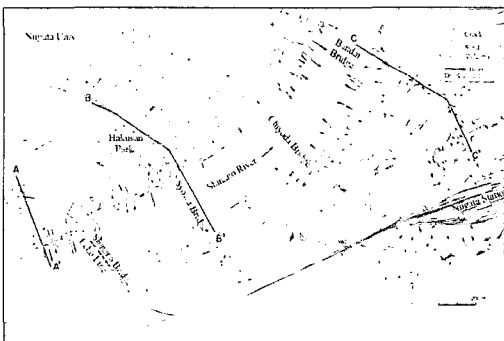


그림 10. 니이가타(新潟市)시에서 액상화 후 발생한 측방유동 피해 (濱田 등, 1986)

린 쇼와대교가 보인다.

그림 9는 다시 明訓고교 (B 지점)와 시나노(信濃)강 사이를 찍은 사진이다. 사진을 찍은 시간은 알려져 있지 않지만 액상화 후 발생하는 측방유동은 강물이 흐르는 방향에 평행하게 발생하는 것을 알 수 있다.

그림 10은 1964년 일본 니이가타(新潟)지진에 의해서 니이가타(新潟)시에서 발생한 액상화 후 측방유동에 의한 피해사진이다. 왼쪽 상단과 오른쪽 하단에 각각 보이는 니이가타 대학과 니이가타 역의

지대가 높은 곳이며 그 사이를 지나는 시나노(信濃)강의 지대가 가장 낮은 곳인데 지진 발생 후 관측한 데이터를 보면 니이가타시 대부분에서 액상화가 발생하여 측방유동이 고지대에서 저지대로 향하여 발생하였으며 짧게는 수 센티미터에서 길게는 수십 미터씩 발생하였다고 보고되었다(濱田 등, 1986).

이상에서 지진이 발생한지 불과 한 시간도 안 되어 이렇게 많은 액상화에 의한 피해가 발생하는 과정을 잘 설명할 수 있는 귀중한 자료가 전 세계에 공개되어 당시만 해도 액상화라는 것이 세상에 잘 알려져 있지 않았지만, 그 후 많은 연구자들이 액상화를 연구하는 계기가 된 사진들이다.

지금까지 액상화가 어떻게 세상의 주목을 받게 되었는지를 소개하였다. 지진의 발생 빈도나 규모가 일본에 비해서 크게 작은 우리나라에서는 지진에 의한 액상화 피해라고 하면 그 정도가 어느 정도인지 가늠하기 매우 어렵다고 생각한다. 하지만 상기의 그림들을 통하여 우리나라에서 지진이 발생한다면 이에 의한 액상화 피해가 어떻게 어느 정도 발생할 것인가에 대하여 간접적으로나마 가늠하는데 도움이 되었으면 한다.

### 참고문헌

1. Committee on Soil Dynamics of the Geotechnical Engineering Divisions(1978), "Definitions of terms related to liquefaction", J. Soil Mech. and Foundations Division, ASCE 104 (9), pp. 1197 - 1200.
2. 濱田正則, 安田進, 磯山龍二, 惠本克利, 1986. 液化化による地盤の永久変位の測定と考察, 土木学会論文集, No. 376(III-6), 211-200.
3. 安田進, 1995, 液化化の調査から対策工まで'鹿島出版会.
4. 地盤工学会, 1999, 液化化災害発生直後の新潟市市街地航空写真集.

## 연약지반 기술위원회 가을학술세미나

우리 학회 연약지반 기술위원회에서는 11월 26일(금)에 가을학술세미나를 아래와 같이 개최할 예정입니다. 회원 여러분의 관심과 참여를 부탁드립니다.

1. 일 정 : 11월 26일 (금요일) 13:00~18:00
  2. 장 소 : 한국교총회관
  3. 주 제 : 연약지반 실패사례와 교훈
  4. 회 비 : 정회원 10,000원 / 학생회원 5,000원
- 일 정

구분	제 목	저 자	비고
1	연약지반 시공 및 계측에서 실패사례	장용채 목포해양대 조교수 김지훈 목포해양대 석사과정 이강일 대전대학교 부교수	
2	○○항 준설토 투기장 호안 강제치환공사 사례의 교훈	이충호 (주)헤인이앤씨 전무	
3	인천지역 준설매립지반의 품질개선 사례	채영수 수원대학교 교수 김종국 한국건설품질시험원 지반기술팀 차장	
4	잔교구조물 사함의 변위 원인 및 보강방안	문한중 (주)시험과측량 상무	
5	연약지반 조사, 설계, 시공에서의 허와 실	천병식 한양대학교 교수 여유현 (주)가야이엔지 사장	
6	낙동강하구 지역의 사례를 통한 침하특성 분석	이강운 (주)동성엔지니어링 전무 김광호 (주)길평엔지니어링 이사 박택규 (주)동성엔지니어링 과장	
7	연약지반상의 제방 축조시 붕괴사례 및 교훈	김영남 (주)동명기술공단 전무 심재열 (주)유신코퍼레이션 부장 정규형 (주)유일종합기술단 차장	

▶ 연약지반위원회 위원장 : 이 우 진 (고려대학교 교수)

▶ 담당간사 : 이 명 재 (Tel : 031-420-4440, C.P : 017-235-0209, E-mail : mjlee92@chol.com)