

## 공진(共振) 증후군(Resonance Syndrome)

주 승 환 | 고려공업검사(주) 연구소장



살다보면 우린 가끔 대수롭지 않을 일에도 몸이 하늘로 치솟듯 기분 좋을 때도 있고, 반대로 눈살을 찌푸리고 짜증을 부릴 때도 있다. 그 같은 일은 각자 타고난 오감의 한 생체 리듬이다. 누구든지 일상에서 자주 마주치는 일이라 대수롭지 않게 여긴다. 자신의 통찰력으로 그런 일이 한 주기 운동인 물리적 현상임을 의심하진 않을 것이다.

필자는 얼마 전, 필자의 블로그(‘주승환 마당’)에 ‘원자핵의 공명(nuclear resonance)’ 현상에 대한 얘기를 올린 적이 있다. 한 개의 중성자가 한 원자핵 속으로 흡수될 확률은 그 중성자의 진동이 원자핵의 진동과 ‘공명(resonance)’을 일으켜 핵력이 한 쪽으로 찌그러질 때, 그 틈새로 중성자가 들어가 핵 속에 흡수되는 것임을 설명했다.

그때까지도 우리 생활 주변에서 일상적으로 일어나고 있는 작고 큰 사건들이 ‘공진’으로 견잡지 못할 위험한 경지까지 부풀려지는 것을 미처 깨닫지 못했다. 최근에 일어난 일련의 자연 재해들은 필자에게 이 글을 쓰게 만든 충격적인 사건들이다.

예컨대, 일본 니가타현에서 지난 7월 16일 오전 10시 13분경 리히터 규모 6.8의 강진이 일어났다. 그리고 보름 뒤인 8월 1일 오후 6시 5분, 미국 미네소타 주 미시시피 강 다리가 힘없이 주저앉았다. 일본의 지진은 인근 가시와자키 가리와 원자력발전소를 덮쳐 가동 중이던 7기를 모두 뒤흔들어 놓았다. 그들 중 6호기 예선 일부이긴 해도 방사성 액체 폐기물이 바다로 틈새 했던 적도 있었다.

뒤따른 미시시피 강 다리 붕괴는 상관이 300m나 무너져 내렸다. 1967년 11월에 완공된 다리다. AP 통신은 그 동안 3차레나 전문가들로부터 위험 경고를 받았지만 땀질식으로 보수만 해왔다고 지적했다. 2005년 미 연방 정부는 안전성 평가에서 만점은 100인데, 50점만을 매겼다. 제대로 보수되지 않은 다리에 하루 14만여 대의 차량들이 통행한 것이 무너진 까닭임을 진단했다. 찍힌 현장 사진을 바라보면서 “미국판 싱수대교”란 신문의 헤드라인은 우리를 또 한 번 놀라게

한양대 원자력공학과, 한양대 부설 산업대학원 금속공학과 석사, 한양대 대학원 원자력공학과 박사  
과학기술처 국립지질조사소 광업 연구사, 미국지질조사소 암석년형 측정기술 연수(덴버), 서독연방지구과학연구소 객원연구원(하노버)  
한국자원연구소(현 한국지질자원연구원) 책임연구원  
(주)세안기술 연구소장  
고려공업검사(주) 연구소장 (1999~)

했다.

예전 같았으면, 그런 사건들에 대해 한 천재지변이고, 안전이 소홀해서 일어난 한 인재로 치부했을지도 모른다. 하지만 지금은 엔지니어로서 그런 사건들을 바라보는 눈길이 달라졌다.

세상 많은 사건 사고들은 '공진 신드롬(Resonance Syndrome)'이 그 배후임을 인식하게 된 것이다. 기은경제연구소 양중서 연구위원은 한 칼럼(중앙일보, 8월 4일, 26쪽)에서 '생활 속의 공진'이란 물리적 현상을 소개하면서 일상 생활의 한 주기적 진동에서 자주 일어날 공진과 연관을 짓고 우리가 명심해야 할 몇 가지 지혜들을 귀뜸한다.

《공진 현상에서 볼 수 있듯이 주기적인 충격은 아주 작은 것이어도 문제를 일으키기 쉽다. 설악산을 단채로 등반하면서 케이블로 설치된 다리 위에서 단결력을 과시하겠다는 발맞추어 걷다가는 큰일 날 수 있다.··· 매일 공부하라고 잔소리하는 부모님들은 공진점을 생각하기 바란다. 어느 순간 아이가 미쳐버릴 수도 있다. 주기적으로 바가지를 긁는 부인도 남편이 공진점에 이르면 집을 나갈 수 있다는 것을 명심해야 한다.》

### 공진(resonance)

공진(소리 진동 영역에서는 '공명'이라 씀)은 우리 심장의 고동처럼 순조롭게 주기적으로 되풀이 되는 운동에서도 험사리 일어날 한 위상의 급격한 변조 현상이다. 보통사람들에게 별 것 아닌 사건임에도 심장 질환자들에게는 찰나에 그의 심장마비를 일으킬 강력한 힘으로 심실(心室)을 압박해 유명을 달리할 사인이 되기도 한다. 사망 진단은 의사가 판단할 몫이지만, 그들은 한결같은 진단서 카피를 쓰면서도 공진 현상만은 진단서에 쓰지 않는다. 물리적 현상은 자연 현상의 하나이므로 당연히 바이오 리듬엔 언급할 필요가 없을 사안일 수도 있을 것이다.

용수철을 늘렸다 놓으면 당겨진 용수철에 잠재된 힘의 운동 에너지가 진동(振動)을 일으키면서 그 운동량(운동량=중량×가속도)도 서서히 감쇄한다. 주기 운동은 에너지가 전달되는 모양새다. 대개 물체나 공기의 진동(oscillation)으로 그 운동 에너지가 전달된다.

대체로 진동은 두 가지로 크게 나뉜다. 자유 진동(natural oscillation) 그리고 강제 진동(forced oscillation)이다. 한 물체를 망치로 친다면 그 망치의 운동량에 따라 그 물체에 비례하는 세기의 기계적인 떨림이 나타난다. 망치로 때리지 않을지라도 모든 물체들은 눈으로 잘 식별되지 않을 나름의 고유한 기계적 떨림 현상인 '자유 진동'을 계속하고 있다.

망치로 친다는 것은 외부의 힘이 그 강철에 작용한 것이므로 거기에 '강제 진

공진(소리 진동 영역에서는 '공명'이라 씀)은 우리 심장의 고동처럼 순조롭게 주기적으로 되풀이 되는 운동에서도 험사리 일어날 한 위상의 급격한 변조 현상이다. 보통사람들에게 별 것 아닌 사건임에도 심장 질환자들에게는 찰나에 그의 심장마비를 일으킬 강력한 힘으로 심실(心室)을 압박해 유명을 달리할 사인이 되기도 한다.

동'을 일으킨다. 진동은 주기 운동이므로 각 진동마다 정해진 고유 진동수(주파수)가 있다. 헬스(Hz)란 단위로 나타낸다. 초당 몇 번 떨림 현상이 일어나는지를 헬스로 정한다. 예컨대 한 철봉에 손으로 가볍게 한 번 쳐서 주기 운동이 1초에 10번 일어난다면 10Hz로 나타낸다. 그 10 헬스가 그 철봉의 자유 진동에 해당된다. 외부에서 강철봉에 줄 강제 진동에도 고유한 주파수를 갖는다.

공진은 서로 다른 주기 운동의 진동수(주파수)가 한 쪽에 접칠 때 일어나는 자연 현상이다. 공교롭게 강철봉의 자유 진동 위상에 강제 진동의 주파수가 접칠 때 자유 진동은 놀랍게도 무한대의 공진 현상을 일으킬 수 있다. 보통의 보행일 때도 케이블이 끊어질 위험이 도사리며, 보통의 잔소리에 아이가 미쳐버리고, 그리고 남편이 집을 뛰쳐나가게 할 불행한 일이 일어날 소지를 안고 있다.

'생활 속의 공진' 얘기는 사건의 발단이 사소한 일일지라도 엄청난 결과를 낳는다는 교훈으로 들린다. 이들 외에 갑자기 외부의 충격을 받고 놀라서 쓰러지는 경우는 대부분이 공진 현상의 예들일 것이다. '복상사(腹上死)'는 심장마비의 한 예이지만 공진이 일으킨 사인일 것이다.

개별 진동엔 그 세기를 가름할 고유한 '진폭'이 따로 있다. 한 사이클에서 위상의 높낮이를 서로 합쳐 절반 크기로 정해진다. 그 값은 진폭의 크기를 가름할 잣대이다. 그 진폭 값은 외부의 다른 강제 진동의 주파수와 공진을 일으킬 경우 무한대로 커질 경우가 있다.

예컨대 1940년 미국 워싱턴 주의 현수교인 타코마 다리(Tacoma Narrows Bridge)가 건설되고 나서 통행을 시작한 지 1주일 만에 가벼운 바람에 붕괴되고 만다. 그 다리의 구조물 안전 설계는 시속 190km의 바람에도 견딜 만큼 넉넉잡아 건설된 것이었다. 하지만 시속 20.72km 바람에 몇 번 흔들리다가 붕괴되고 말았다. 인간이 만든 구조물에서 공진의 피해를 본 대표적인 사례이다. 이후로 토목공학에서 동력학이 크게 부상하는 시발점이 된다.

### 가시와자키 가리와 원전의 지진 피해

일본 원전은 인근에서 일어난 리히터 규모 6.8의 지진으로 피해를 입었다. 거기에 건설된 원전은 모두 7기다. 모두 상업 운전을 시작한 시설들이다. 그들 중 3기는 지진으로 일어난 진동 때문에 자동으로 곧바로 정지되었고 다른 1기는 계획 정비를 막 끝낸 상태였기에 운전을 하지 않았다. 나머지 3기도 계획 정비중이라 운전이 정지된 상태였다. 대체로 원전은 다른 설비와는 다르게 강력한 지진에도 이겨낼 구조물로 시공된다.

당연히 지진으로 해당 지반이 움직일 예상된 '지반 가속도'를 기준하여 최대 지반 가속도를 설정해 둔다. 지반 가속도계들이 각 발전소의 원자로 건물 가장자리마

다 설치된다. 거기 지반이 외부의 강제 진동으로 생겨날 떨림의 진폭을 측정해낸다. 중력 가속도를 알면 물체가 움직일 운동량을 셈할 수 있다.

지진 에너지는 방향성을 가지고 옮겨간다. 지반 가속도의 하중을 셈해내는 데 남북 방향, 동서 방향 그리고 상하 방향으로 나뉘어 가속도계가 읽어 내게 설치되었다. 가속도계의 눈금은 중력 가속도를 나타낼 gal(갈: 1/1000g) 단위로 읽힌다.

<표>는 일본 동경전력 홈페이지(WANO-TC e-mail)에 있는 관계 원전에 관한 3개 호기들에서 관측된 자료이다. 지반 가속도계의 지진 설계 기준 값 그리고 규모 6.8 지진으로 생겨난 관측된 진동 세기의 자료들은 대체로 설계 기준 값을 2배나 넘었다. 여기서도 공진 현상이 나타난 것은 아닐지 눈길이 간다.

6호기에서는 주변에 설치된 태운 원전 연료를 저장하는 저장조, 그리고 비-안전등급 계통의 틈새로 방사능의 오염수가 샌 것이 나중에 발견되었다. 약 1.2톤의 물에는 총량의 방사능  $6 \times 10^4 \text{Bq}$ (환경 영향 규제치 이하)로 녹아 있었다. 필자가 가진 자료엔 틈새의 경로가 없다. 해당 원전 시설물의 어디에서도 식별해 낼 균열이 없었다고 한다. 하지만 오염된 물은 정상 배수 경로를 거쳐 바다로 흘러내렸음이 확인됐다.

전문가에게 당혹스러운 일이 벌어진 것이다. 앞으로 정밀 현장 조사가 자세히 이뤄져 새나간 경로가 밝혀질 것이긴 해도 필자에게 공진의 공포가 먼저 머리를 스쳐간다. 그게 '공진 신드롬'이다. 소프라노의 노래 소리가 전달할 연약한 운동 에너지가 멀쩡했던 와인 잔을 깨트린다는 얘기는 공진의 공포를 익살스럽게 표현한 것이다.

이번 일본 지진은 우리 원전에도 비상을 걸게 했다. 우리 것은 지반 중력 가속도의 기준을 200gal로 잡고 설계한다. 일본에서 관측된 자료들은 리히터 규모 6.8에서도 설계 기준값을 2배나 넘었다. 과학기술부는 발빠르게 8월 7일, 원전 지진대책 연구팀을 구성한다고 발표했다(연합뉴스 minor@yna.co.kr). 참여할 유관 기관들은 과기부, 원자력안전기술원, 한국수력원자력, 한국전력기술, 기상청, 원자력연구원 그리고 한국지질자원연구원 등이다. 앞으로 강진에 대응할 보다 안전한 대안을 연구팀이 마련하기를 기대한다. ☹

<표> 지진 설계 및 관측 자료

단위 : gal

관측 방향 설계/관측	남북 방향 설계치/관측치		동서 방향 설계치/관측치		상하 방향 설계치/관측치	
1호기	274	311	273	680	235	408
5호기	249	277	254	442	235	205
6호기	263	271	263	322	235	488

※ 관측치는 모두 각 호기 원자로 건물 최하층(Bed) 자료  
 ※ 자동 정지 설정치 : 수평 방향(120 gal), 상하 방향(100 gal)  
 (WANO-TC e-mail: 지진 발생 후 발전소 현황)

일본 원전은 인근에서 일어난 리히터 규모 6.8의 지진으로 피해를 입었다. 여기서도 공진 현상이 나타난 것은 아닐지 눈길이 간다.

6호기에서는 주변에 설치된 태운 원전 연료를 저장하는 저장조, 그리고 비-안전등급 계통의 틈새로 방사능의 오염수가 샌 것이 나중에 발견되었다. 전문가에게 당혹스러운 일이 벌어진 것이다.

앞으로 정밀 현장 조사까지 세이이 이뤄져 새나간 경로가 밝혀질 것이긴 해도 필자에게 공진의 공포가 먼저 머리를 스쳐간다. 그게 '공진 신드롬'이다.