

## 우리의 교과서인 생명체

정 경 훈\*

(한국원자력연구원 스마트개발본부)

요즘 봄을 지나 여름으로 접어드는 시절에 창 밖으로 보이는 신록을 보면 어느 때보다도 생명의 약동을 느끼게 된다. 지구 밖의 환경을 상상해 본다면 생명이 있다는 것, 다시 말하면 살아있는 존재가 기적임에 틀림없다. 살아있는 생명체가 세상에 어떻게 존재하게 되었는가를 설명하는 과정에서, 신의 섭리로 모든 생물이 생겨나게 되었다는 창조론과 생명체라는 것이 우연한 조합으로 생겨나 환경에 적응하면서 진화한 것이라는 진화론적인 입장이 있다. 이러한 생명체의 존재에 대한 의문은 근본적인 질문임에도 우리는 유한한 생명과 제한된 지식으로 명확한 해답을 주거나 재현해 볼 수 없는 한계를 갖고 있으며 영원히 풀 수 없는 믿음의 영역일 것 같다. 하지만 생명체가 존재하고 생존하고 번성하는 것 자체가 하나의 기적이요, 신비의 세계임은 분명하다.

세상에 존재하는 생명체가 멸종되지 않고 지구상의 춥고 메마른 환경부터 비옥한 환경까지 그리고 공중과 물과 물속까지 다양한 환경에서 살아가는 모습을 TV의 다큐멘터리 프로그램을 통해서 종종 보게 된다. 내가 신의 입장이라면 세상의 생물들을 극심한 환경에서도 살아갈 수 있도록 저렇게 다양하게 설계할 수 있었을까라는 생각이 들면서 신비로

운 생명체의 활동에 감탄을 하게 된다. 각각의 생명체가 독특한 방법으로 먹이활동을 하고 스스로를 보존하고 자신의 유전정보를 후세에 남기는 생식활동까지 모든 것이 경이로운 일이 아닐 수 없다.

하나의 생명체가 생명을 유지하기 위해서 신경계, 소화계, 근골격계, 순환계, 생식계 등이 서로 조화롭게 연결되고 이들 계통은 서로 협력하여 생명을 유지해 나가게 된다. 먼저 골격계에 대해서 구조적인 관점에서 살펴보자. 동물들은 생존을 하기 위해서 먹이 섭취를 위한 공격과 포식자로부터 방어할 수 있는 체계를 동시에 지녀야 한다. 또한 지구상에 존재하는 중력에 극복하고 이동하기 위한 시스템을 갖추고 있어야 한다. 이에 대해서 가장 효율적인 방법이 골격을 갖추는 일일 것이다. 포유동물은 먹이로부터 칼슘을 섭취하여 머리뼈와 척추뼈를 만들어 몸을 중력으로부터 유지하고 재빨리 이동을 할 수 있도록 되어 있다. 이로써 다른 동물을 포획하여 먹이를 취하거나 또는 다른 포식자로부터 재빠르게 달아나 생명을 유지할 수 있도록 해준다. 대체로 조류, 포유류, 양서류, 파충류와 같은 척추동물들은 뼈가 근육을 감싸는 구조로 되어 있다. 근육의 수축과 팽창으로 뼈들이 운동을 해서 생명체가 신속하게 이동하게 된다.

\* E-mail : khjeong@kaeri.re.kr / (042) 868-8792

동물들의 모든 뼈가 머리뼈처럼 관절이 없는 단일 뼈로 만들어 진다면 강성 관점에서 보자면 가장 뛰어날 수 있다. 하지만 뼈가 여러 개의 관절로 나뉘어져 있지 않는다면 운동성에 매우 큰 제약을 받게 된다. 따라서 대퇴골과 정강이 뼈나 손가락에 있는 뼈마디처럼 나뉘어 있다는 것이 어느 정도 강성과 운동성을 동시에 유지하는 최선의 방법이 될 것이다. 이처럼 뼈대는 몸체를 견고하게 지지해주는 동시에 운동성을 갖는 양면성 다른 말로 하면 유연성을 지니고 있다.

우리 생활에서도 이러한 유연성을 많이 찾아 볼 수 있다. 3M 회사에서 나오는 노란색 스티커는 책의 문장을 표시하거나 글자를 적어 표시하는데 매우 유용하게 쓰인다. 즉 어느 정도 부착성이 있어야 하지만 필요하면 쉽게 떼어낼 수 있어야 할뿐더러 떼어내더라도 자국이 남지 않는다. 마찬가지로 우표나 두루마리 화장지도 처음부터 날개로 분리가 되어서도 안되지만 필요할 때에는 한 장씩 쉽게 뜯어 쓸 수 있도록 줄줄이 칼집이 나있거나 작은 구멍들이 일렬로 미리 나 있는 것이다. 공학적 유연성의 한 모습이다.

다시 본론으로 돌아가서 골격계를 다시 한번 살펴보자. 척추동물이 갖는 골격계는 한계를 가지고 있다. 즉 외부의 포식자로부터 몸을 보호하기에는 부족하다는 것이다. 토끼와 같은 포유류는 외부의 포식자에게 잡힐 경우, 근육과 내장을 보호해줄 수 있는 방안이 취약한 셈이 된다. 이를 보완하기 위한 장치가 어떤 포유류는 날카로운 이빨이나 뿔을 가지고 있기도 하고 다른 것은 포식자의 접근을 빨리 알아차릴 수 있도록 큰 귀나 예민한 코로서 보완을 한다.

이러한 척추동물이 갖는 한계를 다른 차원에서 극복한 동물이 갑각류이다. 게나 가재와 같은 갑각류는 포유류가 갖는 내골격을 외골

격으로 바꾼 생명체라고 볼 수 있다. 이들은 내부의 뼈를 바깥쪽으로 보내서 골격이 근육과 내장을 보호하고 있는 시스템이다. 게나 가재는 비교적 외부의 공격으로부터 몸을 둘러 싸고 있는 딱딱한 껍질이 보호해주고 있어 방어적인 측면에서 매우 효과적으로 보인다. 그리고 이것들의 다리는 관절과 유사한 막을 넣어서 어느 정도 유연성을 보장받고 있다. 그런데 문제는 생명체가 성장할 때 외골격으로 남아 있는 껍질을 어떻게 처리하느냐 하는 문제가 생기게 된다. 이러한 문제를 탈피라는 과정을 통해서 해결하고 있다. 그런 면에서 본다면 몸으로 섭취한 칼슘이라는 자원을 주기적으로 버려야 하는 비효율성을 가지고 있다고 볼 수 있으며 탈피 직후에 포식자에게 노출될 경우 매우 취약하다는 단점을 가지고 있는 셈이 된다. 다행하게도 게나 가재는 물에 녹아있는 칼슘을 비교적 쉽게 섭취할 수 있기 때문에 이러한 구조가 가능하다고 본다. 육상생물처럼 대량의 칼슘을 일시에 버리고 짧은 시간에 보충할 수 없는 경우는 이러한 형태의 외골격 구조를 갖추기가 근본적으로 어렵게 된다.

그러나 이와 유사한 구조를 갖는 생물이 육상에 존재한다. 이들은 바로 곤충들이다. 곤충들은 우리가 잘 알고 있듯이 딱딱한 껍질로 싸여 있다. 흔히 이러한 껍질을 각피라고 하는데 곤충을 일반적으로 외골격을 가진 동물이라고 한다. 굳이 따지자면 이들도 게나 가재처럼 뼈가 밖으로 드러나 있는 셈이 된다. 이러한 각피는 포도당과 단백질의 결합체인 키틴이라고 부르는 물질이 주성분인데 이 각피의 존재로 인해 곤충은 일정한 시기마다 탈피를 하고, 아니면 유충에서 성체가 되는 변태의 과정을 거쳐 자신의 몸의 크기를 키우게 된다. 각피는 가볍고 강성이 좋아서 곤충이 비행하는데 무게를 줄일 수 있고 가장 효율적

으로 몸을 방어하도록 한다. 그런데 이런 각피는 당연히 공기에 대하여 불투과성을 갖고 있다. 그렇다고 곤충이 우리처럼 폐를 가지고 있는 것도 아니기 때문에 곤충은 기관이라는 것을 이용해서 호흡을 한다. 기관은 쉽게 생각하면 몸의 여기 저기에 관이 박혀 있다고 생각하면 된다. 이 관을 통해 몸을 구성하는 세포 여기저기로 산소를 운반하고, 이산화탄소를 밖으로 내보내게 되는 것이다. 따라서, 곤충의 크기가 너무 커져버리게 되면 관의 길이도 그만큼 길어져야 하고, 관의 길이가 길어지게 되면 산소가 세포가 있는 곳까지 도달하는데 더 많은 거리를 움직여야 하므로, 공기교환 속도가 현저히 떨어지게 된다. 그래서 곤충은 조류나 포유류처럼 몸의 크기를 키울 수 없는 것이다.

한편 갑각류가 갖는 칼슘자원의 비효율성을 극복하고 섭취한 칼슘을 버리지 않고 극대화한 수중 생명체가 있다. 이들이 바로 소라, 우렁이, 다슬기와 같은 복족류들이다. 이들은 갑각류처럼 외골격체를 가지고 있어서 외부껍질이 외부 포식자로부터 내부 근육과 내장을 완벽하게 보호하는 역할을 하고 있다. 이들은 물속에 서식하기 때문에 칼슘을 얻는데도 어려움이 없을 뿐만 아니라 복족류가 성장함에 따라 섭취한 칼슘을 나선형으로 성장시켜서 몸이 성장을 하더라도 전혀 칼슘의 손실을 걱정하지 않아도 된다. 하지만 이들이 갖는 단점은 운동성의 제한에 있어 움직임이 느리다는 것이다. 포유류나 갑각류가 갖는 운동성을 따라갈 수 없기 때문에 외골격체인 껍질 안으로 넣고 바깥쪽으로 뚜껑을 닫는 것으로 보안을 하고 있다. 이와 유사한 두족류인 오징어가 있다 이들은 소라와 유사한 골격을 가지고 있어서 외부의 공격에 잘 대응할 수 있고 섭취한 칼슘도 낭비 없이 사용하고 있지만 역시 운동성에는 제약이 많

다. 다만 이들은 소라나 다슬기의 뚜껑대신 딱딱한 2개의 껍질이 쌍을 이루는 구조로 되어 있어서 몸을 효율적으로 방어할 수 있는 장점을 지니고 있다.

지금까지 여러 생물체의 골격을 살펴보고 그들이 갖는 장단점을 생각해 보았다. 필자가 생명체를 보면서 느끼는 것이 있다. 먼저 세상에는 단 한가지 종만이 존재하는 것이 아니라 살아가는 환경에 맞도록 생명체가 탄생하고 생명을 유지해 간다는 것이다. 이들은 생명체의 다양성이 생명유지에 얼마나 중요한지를 되새기게 한다. 믿음의 눈으로 본다면 신이 만들어 놓은 세상이 얼마나 오묘하고 놀라운 것인가를 볼 수 있을 것이고 공학자의 눈으로 생명체를 본다면 설계하고 발명을 하는데 무한한 영감을 얻을 수 있다는 것이다. 요즘 생체모방공학이라는 것이 각광을 받고 있다. 생명체가 갖는 오묘한 능력을 모방해서 우리의 삶에 편리함을 누리보자는 것이다. 한 예가 소위 “찍찍이”라는 것이 있는데 도꼬마리 씨앗이 옷에 달라붙는 원리를 모방한 것이다. 곤충의 비행원리나 짓는 집 등 공학적 설계에 다양한 적용거리를 보여주고 있다. 자연(또는 신)은 인간에게 훌륭한 교과서를 제공해 주고 있는 셈이다.

필자는 원자로내부구조물 설계라는 업무를 오랫동안 해왔다. 원자로내부구조물이 배관 파단이나 지진에 대하여 구조적으로 튼튼할 뿐더러 핵연료집합체의 열이 냉각재를 통해서 잘 전달되도록 설계되어야 하고, 필요할 경우 제어봉이 핵연료집합체 안으로 제약없이 삽입될 수 있어야 한다. 필자가 설계를 하면서 고민했던 경우가 있다. 노심을 지지하는 구조물이 예상되는 큰 하중에 견딜 수 있도록 설계하기 위해서는 부재의 두께를 증가시키게 되는데 이는 방사선조사로 구조물 내부의 열이 증가하는 일이 생겨서 오히려 재료의 강

도를 떨어뜨리는 역할을 하기도 한다. 원자로 가동중에 검사를 위해서 원자로내부구조물이 잘 해제되도록 설계해야 하지만 냉각재 유동과 예상되는 지진에 충분히 견디도록 강하게 기기들을 체결해야 하는 상반된 개념을 어떻게 조화시키는가가 늘 고민이 되어 왔다. 그러면서 자연에서 환경에 적합하도록 설계된 생명체가 보여주는 다양한 생존전략이 떠올랐다. 토끼처럼 커다랗고 민감한 귀와 올빼미처럼 뛰어난 시력과 호랑이의 민첩하고 날카로운 이빨, 그리고 황소처럼 힘센 뿔을 모두 갖추고 있는 생명체는 이 세상에 존재하지 않는다. 생명체의 골격체가 갖는 장점과 단점 그리고 이 단점을 보완하고 있는 능력을 생각하면서, 강하면서 유연하고 복잡하지만 단순한 작동을 하는 모든 것이 완벽한 만능의 설계를 완성할 수는 없다고 생각한다. 어디엔가 설계상에도 약점이 있게 마련이지만 이를 극복할 수 있는 대안을 준비하는 것이 중요하다고 볼 수 있겠다.

또 필자가 느끼는 다른 한가지는 자연의 생명체에서 일어나는 사건들로부터 교훈을 얻어야 한다는 것이다. 십여년전의 일이다. 우리 집에서 다슬기와 가재를 어항에 넣어 키운 적이 있다. 다슬기는 시골 강물에서 건져 올린 것을 가져다가 어항에 넣었고 민물에서 사는 가재는 대전 인근 골짜기에서 잡아온 것이었다. 가재는 전새우를 먹이로 주었고 물은 지하수와 수돗물을 섞어서 물갈이를 해주었다. 가재는 수온을 맞추고 수질관리를 잘하지 못해 죽었지만, 다슬기는 비교적 오

랫동안 살아있었다. 그런데 시간이 지나고 보니 다슬기의 뚜껑크기가 작아지고 있는 것을 확인했다. 그리고 하얗게 석회화가 된 양금이 어항의 가장자리에 부착되었다. 수돗물과 지하수를 섞어서 물갈이를 해주었더니 염소소독을 위해 수돗물에 첨가된 염소가 껍질이 가장 얇은 다슬기 뚜껑을 녹여서 줄어드는 것으로 생각이 되었다. 그 후에 다슬기의 성장이 멈추었고 죽기 시작했다. 수질의 산성화는 생명체에게 절대적인 위협이 되고 있다. 공기중에 많이 포함된 이산화탄소는 점점 강과 바다의 강물에 녹아 산성화시킬 것이며 해양생물의 골격형성에 심각한 위협이 될 수 있을 것이다. 그래서 바닷속 산호초가 사라질 수 있고 여기에 서식하는 많은 물고기들이 줄어들지도 모른다.

원자로에서 붕산이라는 산성물질을 냉각재에 주입해서 원자로의 반응도를 제어하고 있다. 그런데 이러한 산성물질이 원자로 용기벽이나 원자로내부구조물을 부식시켜서 피로하중을 받는 구조물을 약하게 할 수 있다는 우려가 제기되고 있다. 이에 따라서 요즈음은 환경피로(environmental fatigue)를 고려해서 설계하도록 규제가 강화되는 추세다. 이산화탄소가 녹은 바닷물이 산성화되면서 산호초를 녹여 죽게하는 것과 다슬기의 뚜껑이 물에 녹아 죽는 현상과 원자로용기가 붕산에 녹아 약해지는 것이 동일한 메커니즘이라는 것을 되새기면서 자연의 생명체로부터 우리가 보고 배우는 것이 얼마나 많은 것인지 다시 한번 생각해 본다. **KSNVE**