

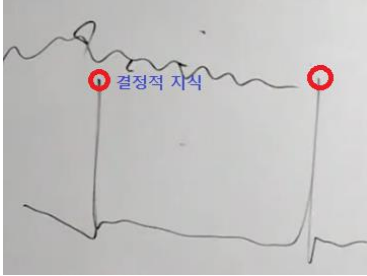
제 38회 과학리딩 노트

(박문호 박사님의 강의를 녹취한 내용입니다)

결정적 지식

많이 들어 봤다고 자기 것이 되지는 않는다.

결정적 지식을 만나느냐 그렇지 않느냐에 따라 공부의 길이 달라진다.



공부할 것이 그렇게 많은 것이 아니다.

지식에도 차이가 가있다. 모두 같은 것이 아니다. 공학에서 델타 평선 같은 것이 있다.

지식은 극단점에 모여 있다.

예를 들어 천문학에서 결정적 지식은 우주가 팽창한다는 것이다.

지난 500년 천문학의 역사는 우주가 팽창한다는 것을 증명하는 역사이다.

결정적 지식을 갖고 있는 사람은 말이 많지 않고 질문도 없다.

결정적 지식의 속성은 2-3가지 질문을 불러 온다.

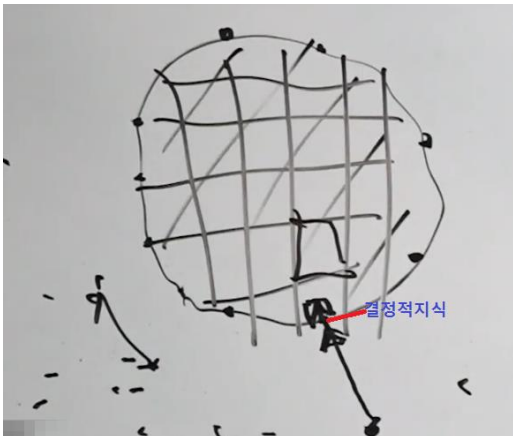
어떤 지식을 알았을 때 곧장 서너가지 질문을 불러오지 않으면 결정적 지식이 아니다.

우주가 어떻게 팽창한다는 것을 어떻게 알았는지, 무슨 에너지로 팽창하는지, 어떤 속도로 팽창하는지, 등속도로 팽창하는지, 가속도로 팽창하는지 등의 질문을 부른다.

가속도로 팽창한다는 것을 밝혀 노벨상을 받았다.

모든 분야의 결정적 지식은 3개를 넘지 않는다.

결정적 지식은 본인이 느끼는 것이다.



우리가 알아야 할 지식이 구름 같은 것이라면 결정적 지식은 그 안을 열어주는 열쇠 같은 것이다.
그곳을 통하면 안을 볼 수 있다. 그 속은 바둑판 처럼 되어 있다. 한 유닛을 알면 모든 것을 알 수 있다.
그냥 들어가서는 보이지 않는다. 그래서 보통 사람들은 들어 갔다고 생각하지만 안을 제대로 보지 못한 것이다.

우리 브레인이 할 수 있는 것은 비교하는 것과 카운트하는 것이다. 카운트를 짧은시간에 많이 하는 것을 적분이라 한다. 적분은 더하기이다. 좀더 정확하게 하기 위해 단위를 작게한다. 단위를 작게하는 것이 미분이다. 결국 단위를 작게해서 더하는 것이다. 미분, 적분 두러워 할 것 없다.

인간의 브레인은 수에 약하다. 가장 늦게 진화했다.
한꺼번에 처리할 수 있는 숫자는 3개 이내이다. 6, 7, 8이 되면 잘 처리하지 못한다.
자연은 숫자로 되어 있다. 수를 훈련해야 한다.
크고 복잡한 수가 아니라 1,2,3 정도이고 대부분 더하기 빼기이다.

결정적 지식은 만나는 것이다. 소스라치게 만나는 순간이 있다. 만나지 못하면 책에도 나오지 않는다.
결정적 지식은 이때까지 모두 본 것이다. 그러나 만나지 못한 것이다. 왜 그동안 만나지 못했는가를 물어야 한다.
공부하면서 자꾸 질문하기 때문에 전체가 보이지 않는다. 질문한다는 것은 내가 알고 싶다는 것이 있다는 것이다. 그래서 랜덤한 장소로 혼자 들어 간다. 그러면 바둑판 구조가 보이지 않는다.

대승기신론(大乘起信論)의 요지는 우리는 길을 잃었다는 것이다. 길을 잃은 이유는 방위에 의지했기 때문이다.
동.서.남.북.상.하라는 개념 때문에 길을 잃는 것이다. 그것이 없으면 잃었다는 개념도 없어 진다.
지도에 의지했기 때문에 길을 잃은 것이다. 지도가 없으면 길을 잃었다는 개념도 없다. 방위를 없애야 한다.
그러면 길을 잃었다는 말이 성립하지 않는다. 그것이 대칭이다. 전체적으로 보아야 한다.

세계적 물리학자도 창가에 서서 하루 종일 1더하기 2 같은 더하기를 한다는 것이다.
숫자도 6,7,8이 아니라 1,2,3 정도라고 한다. 이런 곳에 비밀이 있는 것이다.

앞으로 10분 정도 이야기로 생물학은 끝난다. 그 이외에 생명은 없다. 초기 지구 20억년의 이야기이다.
여러분 스스로 이것을 만나야 한다. 결정적 지식은 여러분이 이미 본 것이다. 내가 10년동안 강의 한 것이다.
항상 옆에 있었는데 못 만난 것이다. 왜 못만났는지를 느껴야 한다.

O₂는 산소 분자이다. 산소는 O 하나로 존재하는 경우는 거의 없다.
O₂+O-→O₃ 경우를 제외하고는 O 하나만 적는 경우는 생화학 책에 거의 나오지 않는다.
지구에는 92개 원소 중 홀 원소로 존재하는 것은 몇 개 되지 않는다.
우리가 말하는 귀금속인 금, 은, 구리는 하나의 원소로 존재한다. 그래서 우리의 선조들은 구리, 은, 금을 분리 추출하여 사용할 수 있었다.

그리고 지구 초기 20억년에 황(S)은 홀 원자로 존재했다.

카시오피아 Ia 초신성이 폭발 할 때 라마찬드라 X선 인공위성이 지구 크기 만한 황과 철 덩어리를 찍은 사진이 발표된 적이 있다..

초기 지구 20억년 에는 기체 산소가 없었다. 그때 황이 지금 산소의 역할을 대신했다.

황(S)과 산소(O)는 대칭이다.

산소(O)와 수소(H)가 만나 물(H₂O)이 되듯이 황(S)이 수소(H)와 만나 황화 수소(H₂S)가 되었다.

H₂O와 H₂S가 대칭이다. 같은 역할을 했다.

황의 시대에 박테리아가 번성하기 시작했고, 산소 시대에 다세포 생물이 번성했다.

산소(O)가 실리콘(Si)을 만나 맨틀과 1500여 종의 광물을 만들었듯이 황(S)도 철(Fe)과도 결합하여 FeS와 FeS₂를 만들었다. SiO₂와 FeS₂도 대칭이다.

산소는 결혼을 잘 해서 위대해 졌다.

수소와 결합하여 물(H₂O)을 만들고, 탄소와 결합하여 이산화 탄소(CO₂)를 만들었다.

산소가 실리콘(Si)과 결합하여 암석을 만들고 철과 결합하여 Fe₂O₃를 만들었다.

물(H₂O)과 이산화탄소(CO₂)의 결합이 생명을 만들었다. 뒤에 질소가 참여하여 아미노산을 만들고, DNA가 아미노산의 서열을 조정하여 단백질을 만들었다. 생명은 물과 이산화 탄소의 결합 이야기이다.

그러나 이 이야기는 기체 산소가 출현한 20억년 이후의 이야기이다.

지구 역사 초기 20억년 동안 산소가 없던 시기에 산소의 역할을 한 것이 황이다.

지구의 전반부는 20억년은 황이, 20억년 이후 후반부는 산소가 주도했다. 나머지는 기타등등이다.

황이 수소를 만나 H₂S가 되었고, 황이 철을 만나 FeS₂가 되었다..

이것이 전부라는 확신이 없기 때문에 매번 헛갈린다. 이 확신이 없기 때문에 계속 갈구한다.

바둑판에서 한 유닛 만 알면 다 안다. 자연이 구조를 갖고 있기 때문이다.

그 자연이 만든 브레인도 구조를 갖는다.

학문을 이해한다는 말은 틀린 말이다. 이해는 하는 것이 아니라 오는 것이다.

이해할 필요가 없다는 확신이 들었을 때 유일하게 할 수 있는 것은 카운트하는 일 밖에 없다.

카운트 할 때 정밀도를 높이기 위해 작게 나누는 것을 미분이라하고, 나누는 것을 더하는 것이 적분이다
미분 적분 따로 공부할 필요가 없다..

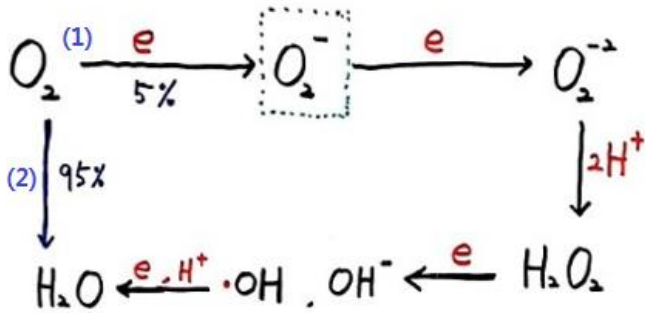
과학이 어려운 것이 아니다. 과학은 우리를 자유롭게 해 준다.

더 이상 알아야 할 것이 없다는 것을 알면 자유롭게 된다. 126쪽 그림 3-17 참조,

초기 지구에는 기체 산소가 없으므로 오존 층도 없었다. 그래서 자외선이 문제였다.

황, 철, 태양, 자외선의 세계였다.

산소가 생기고 난 20억년 이후의 이야기이다.



(115 쪽 그림 3-13 참조)

산소분자가 전자 하나를 획득하여 superoxide radical이 되었다. 그래서 모든 생물은 죽게 되었다.

활성 산소의 일종이다. 전자를 하나 더 받으면 peroxide가 된다.

이 peroxide가 양성자 2개를 받으면 hydrogen peroxide가 된다. 과산화수소이다.

지구 초기 빗물에는 10% 정도가 과산화수소였다고 한다. 살균제이며, 유독물질이다.

수소원자와 양성자를 확실히 구분해야 한다. 수소원자는 양성자와 전자를 합한 것이다.

과산화수소에 다시 전자가 하나 더해지면 수산화 이온(hydroxyl ion)과 hydroxyl radical이 생긴다.

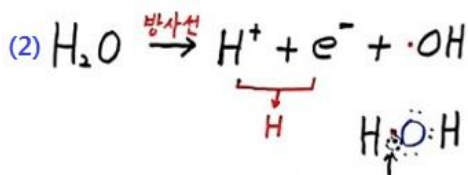
이 hydroxyl radical이 모든 생명체를 죽게 만든다. 반면에 수소 이온은 생명이다.

여기에 전자1개, 양성자 1개가 오면 다시 물이 된다. 산소가 물로 환원된 것이다.

생명은 산소가 물로 환원되는 것이다.

우리 인체의 세포 속에서 95%의 시간에는 산소가 곧장 물이 되지만(2), 5% 정도의 시간은 활성산소가 생긴다(1).

스트레스가 많거나 나이가 들면 10% 까지도 활성 산소가 생긴다.



물이 쪼개지는 방식은 2가지 이다.

첫 번째는 물이 양성자와 수산화 이온으로 쪼개 진다. 생명이다.

두 번째는 물이 양성자와 전자 그리고 hydroxyl radical로 쪼개진다.

첫 번째는 햇빛에 의해 쪼개지는 것이고, 두 번째는 방사선에 의해 쪼개지는 것이다.

수산화 이온과 hydroxyl radical은 하늘과 땅 차이다. 수산화 이온은 생명이고 hydroxyl radical은 죽음이다.

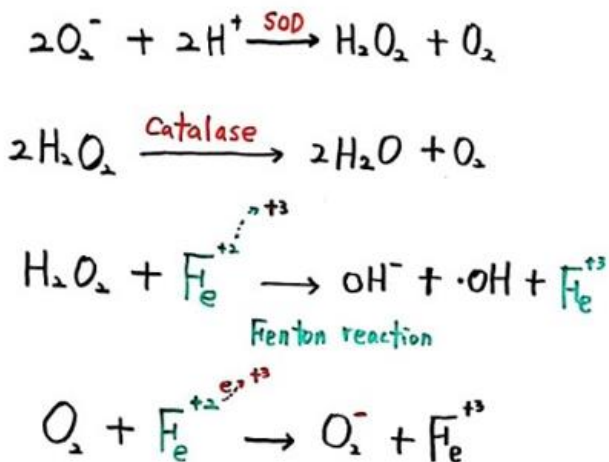
radical은 쌍을 이루지 못한 홀 전자를 가진 물질을 radical이라 한다.

원자폭탄으로 하루 만에 20만 명이 죽었다. (2)번이 원자 폭탄에 의해 물이 쪼개지는 방식이다.
 우리 몸 속에는 70%가 물이다. 이 몸 속의 물이 원자 폭탄에 의해 쪼개 지면 hydroxyl radical이 나온다.
 이 hydroxyl radical은 수명은 10억분의 1초밖에 안되지만 퍼지기 강도 같아서 주로 DNA에서 전자를 뺏어 온다.
 DNA는 전자 덩어리인데 DNA에서 전자를 빼오면 DNA가 파괴되고 곧장 암에 걸려 죽게 된다.

모든 사건의 주범은 산소 분자가 전자를 획득하여 O_2^- (superoxide radical)가 되는데 있다.
 죽음의 출발은 여기서 시작된다.

생명은 이 활성 산소를 해결하는 메커니즘을 개발하였다.

광합성보다 호흡이 먼저 출현했다는 주장도 많다, 호흡이 먼저 출현하려면 전제 조건이 있다.
 우선적으로 자외선 문제를 해결해야 한다. 자외선으로 생기는 활성 산소를 처리하는 시스템이 있어야 한다.
 동물은 피할 수 있으나 식물은 피할 수 없어 비타민(C, D, E)을 만들어 해결했다.



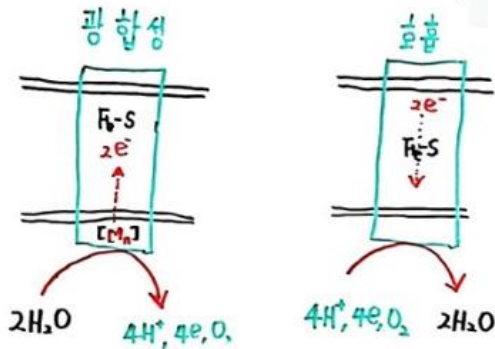
자외선에 의해 superoxide radical이 생기면 SOD(superoxide dismutase)가 과산화수소와 물로 바꿔준다.
 과산화수소도 위험하다. 즉각 처리해 주어야 한다. 카탈라제가 과산화수소를 물과 산소로 바꿔 준다.
 카탈라제를 분비하는 세포 내 전담 소 기관이 퍼옥시좀이다. 문제를 완벽하게 해결했다.

그러나 과산화 수소가 조금이라도 있으면, 2가 철(Fe^{+2})이 과산화수소에게 전자 하나를 내어 주어,
 죽음의 독침 hydroxyl radical과 hydroxyl ion을 만들고 철은 3가 철(Fe^{+3})이 된다.
 이것을 역으로 이용한 것이 하수처리 시스템이다. Hydroxyl radical이 박테리아를 모두 죽여 버린다.
 물에 원자폭탄을 터뜨린 것이다. 상수도가 깨끗하게 되었다.
 이 반응을 Fenton reaction이라 한다. 수도 물이 안전하다. 오히려 산 속의 샘물이 위험하다.

태초의 바다에는 산소가 없는 환경에서 2가 철이 바다에 많이 녹아 있었다. 3가 철은 물에 녹지 않는다.
 지금도 햇빛이 침투하지 못하는 수심 200m 이하의 흑해에는 산소가 없으므로 2가 철이 많이 녹아 있다.
 그래서 흑해가 검은 바다가 되었다. 2가 철이 지구 역사 20억년을 담당했고, 3가 철이 나머지 20억년을 담당했다.
 지구 표면을 붉은 색으로 뒤 덮은 것은 3가 철이다. 그랜드 캐년이 대표적이고, 화성도 그렇다.
 2가 철에서 전자 1개를 내 보내면 3가 철이 된다. 생명이 죽음으로 간다.

태초의 바다에는 2가 철이 항상 있었으므로, 산소가 있으면 superoxide radical이 생길 수 밖에 없다.
 생명은 죽을 운명을 타고 난 것이다.
 카시오피아 초 신성 폭발 때 지구 크기의 황, 철, 실리콘 덩어리를 찍어 보여 주었다.
 지구의 가장 많은 원소가 철이다 철이 있기 때문에 생명이 왔고, 철이 있기 때문에 죽을 수 밖에 없다.
 생명과 죽음은 분리될 수 없다

광합성과 호흡의 초기 버전이다. 글자도 가능한 한 디지털로 적으면 느낌이 다르다.

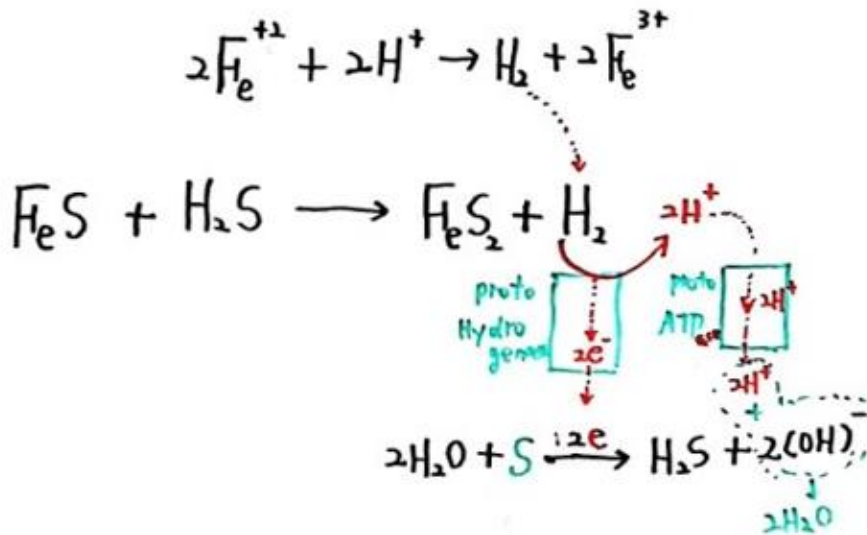


광합성의 처음과 호흡의 마지막이다. 생명은 광합성과 호흡 밖에 없다.
 광합성은 물 2분자가 양성자 2개, 전자 4개, 산소 1분자가 된다.
 호흡은 양성자 4개, 전자 4개, 산소 1분자가 합쳐져 물 1분자가 되는 것이다.
 물에서 물로 간다. 생물학 끝이다. 물이 분해되는 것이 광합성이고, 물이 합성 되는 것이 호흡이다.
 나머지 부분은 물을 분해하여 나오는 전자 2개를 이동시키는 과정이다. 제어된 전자 이동이 생명이다.

여기에 질소는 없다. 오로지 C, H, O의 세계이다. 질소는 나중에 들어온다. 질소가 들어오고 아미노산이 출현하고
 아미노산의 구슬을 연결하여 단백질이 생겼다. 아미노산의 서열을 정해주는 존재가 DNA이다.
 여기까지의 이야기는 순수한 확률이야기 이다. 자연에 확률적 충돌이 일어난 것이다.
 그 충돌을 나중에 DNA라는 지휘자가 교향곡을 만들기 시작했다.

교향곡 이전에는 확률과 통계가 지배하는 자연 그 자체이다. 금지되지 않는 모든 것은 일어난다.
 이것이 과학이다. 과학은 확률과 통계를 바탕으로 한 수 체계이다. 하나도 과장이 아니다.
 광합성과 호흡은 분리될 수 없다. 쌍으로 있다. 쌍으로 있는 것이 대칭이다.
 철-황 복합체가 광합성과 호흡 시스템 안으로 들어와 있다.

아래 그림은 태초의 세포가 에너지를 획득하는 과정을 보여주는 도표이다.
 기체 산소도 없고 단백질도 왕성하게 출현하지 않았던 상태에서도 생명은 있었다.
 그래도 반드시 에너지를 만들어야 한다.



(생명은 어떻게 작동하는가 102쪽 그림 3-5 참조)

황이 철하고 결합하고, 황이 수소하고 결합한 것이 지구 태초 20억년 이야기이다..

자류철석(FeS : pyrrhotite)과 황화수소(H_2S)가 결합하여 황화철(FeS_2)과 수소분자(H_2)가 나온다.

수소분자는 양성자 2개, 전자 2개이다. 이 수소 분자를 proto hydrogenase가 양성자 2개와 전자 2개로 쪼갬다.

먼저 전자 2개를 이동시킨다. 이 2개의 전자가 2분자의 물($2\text{H}_2\text{O}$)과 황 원자(S)를 결합시켜, 황화 수소(H_2S)와 수산화 이온(OH^-) 2개를 만든다. 황화 수소는 다시 촉매로 사용된다.

양성자 2개는 proto ATPase를 통과해서 2개의 수산화 이온(OH^-)을 만나 물 2분자를 만든다. 물에서 물이 된다.

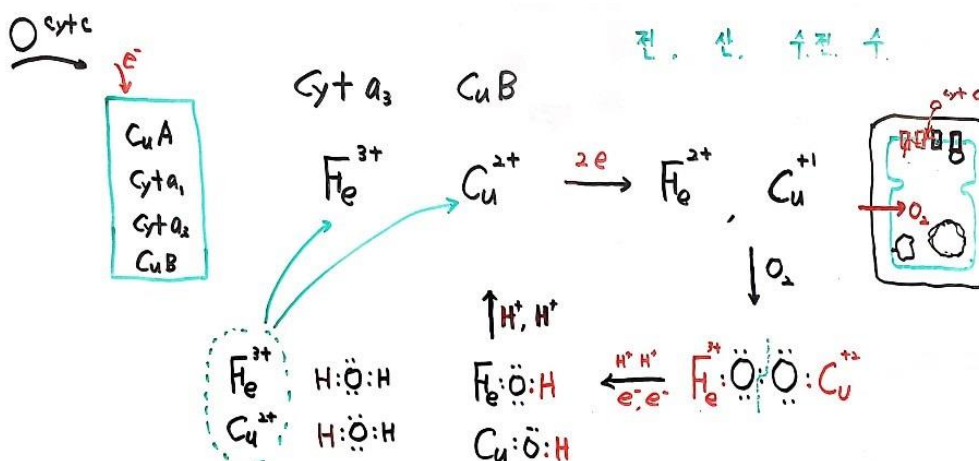
수소 공급을 원활하게 하기 위한 시스템도 준비되어 있다.

2개의 2가 철(Fe^{+2})이 양성자(H^+) 2개를 만나면 2개의 3가 철(Fe^{+3})과 수소 분자(H_2)가 된다.

이 수소 분자가 계속 공급된다.

여기 까지는 O_2 가 없다. 생명은 제어된 전자의 흐름이다.

20억년 이후 생명은 Fe, S에서 산소(O)로 이동했다.



호흡의 마지막 부분을 다시 보자. 미토콘드리아에서 일어나는 일이다.

Cyt c는 전자를 1개씩 운반한다. 시토크롬 산화효소 안에 있는 단백질은 Cu A, Cyt a1, Cyt a3, Cu B이다.

Cyt a3에는 3가 철이 있다. Cu B에는 2가 구리가 있다. 이것이 기본 상태이다.

여기에 전자 2개가 오면 환원되어 2가 철과 1가 구리가 된다. 환원된 철과 구리가 된다.

다시 산소 분자가 오면 Fe-O-O-Cu 형태가 된다. 이 시점에서 철은 3가가 되고 구리는 2가가 된다.

여기에 양성자 2개와 전자 2개가 온다. 그러면 Fe-O-O-Cu는 분리되어 Fe-O-H, Cu-O-H 형태가 된다.

다시 양성자 2개가 오면 철과 구리가 분리되어 나오고, 물 2분자가 형성된다.

즉 Fe^{+3} , Cu^{+2} , H-O-H, H-O-H 형태가 된다.

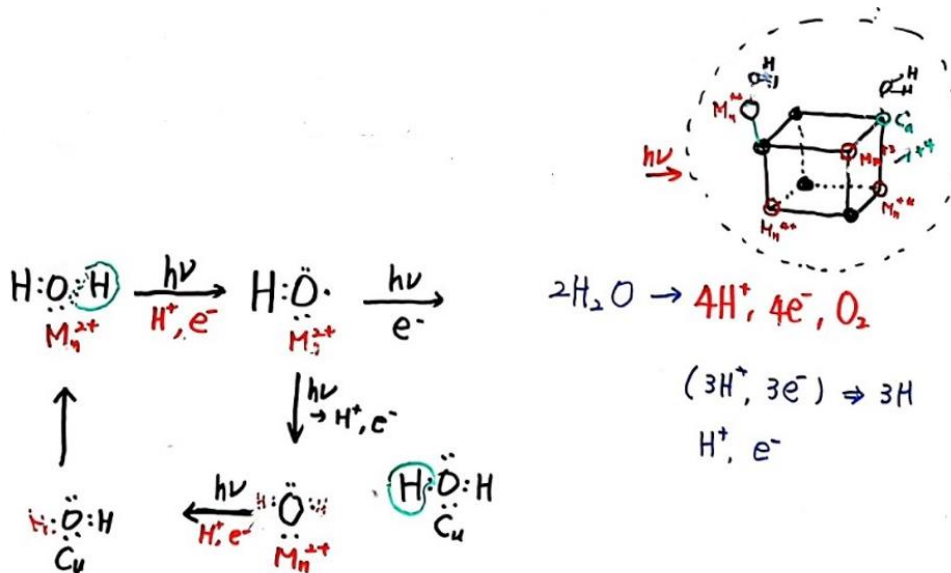
이 것이 산소분자가 전자 4개를 받아 물 2분자가 형성되는 호흡 과정이다. 철과 구리는 원래 자리로 돌아 간다.

산소는 혈관 속에서 확산되어 미토콘드리아로 들어 간다.

이 산소를 전자 4개가 와서 물이 될 때까지 가두어 두는 기능을 하는 것이 철과 구리이다.

산소가 중간에 나오는 것이 활성산소이다. 노화와 죽음으로 이끈다.

모두 양성자와 전자의 이야기이다.



(125 쪽 그림 3-16 참조)

물이 공짜로 분해되지 않는다. 물을 분해 하기 위해서는 2000도 이상 가열해야 한다.

그런데 철이 1500도면 녹는다. 불을 분해하기 전에 솔이 먼저 녹는다.

그런데 시아노 박테리아는 그것을 해 냈다.

태양에너지를 이용하여 물 분자를 쪼갠 사건에서 우리가 존재하게 되었다.

엽록체 Photo system II 속에 있는 망간 복합체에서 물을 분해한다.

결론은 물 2분자가 햇빛에 의해 분해 되어 양성자 4개, 전자 4개, 그리고 산소 분자 1개가 나온다.

그 과정에서 망간복합체는 전자가 하나씩 분리되어 나갈 때, 그 나간 전자를 보충해 주고 마지막에 물에서 전자를 회수 한다. 물에서 분해된 양성자 1개는 흡수 되지 않고 세포 속에 남게 된다.

결국 이 양성자도 처리해 주어야 한다. 생명활동을 하는 순간 죽음의 씨앗이 자라고 있다.
생명과 죽음은 분리되어 있지 않고 함께 있다.

(관련 동영상: 제 8회 137억년 우주의 진화 9강 광합성을 참고하시기 바랍니다)

(2교시)

호흡과정에서 superoxide anion이 생기므로 그 것을 막기 위하여 산소 분자를 가두어 두어야 한다.
전자가 4개 올 때까지 가두어 두어야 한다. 전자 4개 양성자 4개가 오면 산소분자가 안전한 물이 된다.
호흡은 산소가 물로 바뀌는 과정이다. 산소가 물로 환원된다. 반대로 물이 산화되면 산소가 된다.

전체 이야기는 산소와 물 이야기 밖에 없다.

겉으로 드러난 것은 산소와 물 이야기이고, 산소와 물이 바뀌는 과정은 양성자와 전자의 이야기이다.
생물학 끝이다. 그것 밖에 없다는 것을 10년동안 강조했다.

태양계에서는 대부분의 물은 고체 상태로 있다. 얼음으로 있다.

기체, 액체, 고체 상태의 물이 모두 있는 곳은 지구 밖에 없다. 결정적 지식이다.

모든 생명 현상은 산화. 환원이다.

전자를 잃어버리는 것이 산화이고, 전자를 획득하면 환원이다. 전자는 아교풀이다.

전자를 얻어 환원되면 덩어리가 커 진다. 붙는 것을 동화작용이라 한다.

전자를 얻으면 동시에 양성자를 얻는다. 산화는 전자를 잃어 쪼개진다 양성자를 얻는 것도 환원이다.

질문을 하지 마라. 질문을 한다는 것은 자기 식으로 생각한다는 것이다.

물이 분해 되어 산소가 생기는 현상은 어렵다. 교과서에도 잘 설명이 되어 있지 않다.

그러나 반드시 알아야 할 내용이다.

시아노 박테리아가 물을 어떻게 분해 했는가를 보여 주는 내용이다.

지구 상에 산소가 생기는 과정이다. 산소가 없으면 지구 상 모든 동물은 5 분 이내로 죽는다.

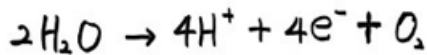
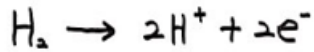
망간과 칼슘에 붙어 있던 물이 분해되어 산소가 나온다. 햇빛이 망간에 붙은 물 1 분자를 분해하여 양성자 2 개와 전자 2 개를 빼간다. 칼슘에서도 양성자 1 개와 전자 1 개를 빼 간다.

망간과 칼슘에 붙은 물을 분해하여 양성자와 전자를 빼가면, 그 빠진 전자를 망간과 칼슘이 보충해 준다.

다시 물 2 분자가 와서 망간에는 물 1 분자, 칼슘에는 양성자 하나와 전자 1 개를 보충해 준다.

전자 1 개는 다른 코너에 있던 망간에 보충해 주고, 양성자 1 개는 세포 속에 남게 된다.

그래서 생명활동을 계속하면 산성화 된다. 이 과정이 반복된다 그것이 늙는다는 것이다.



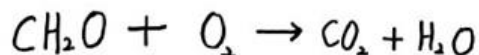
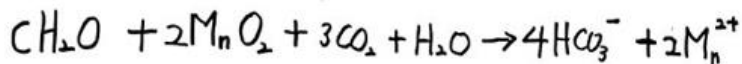
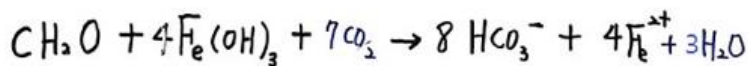
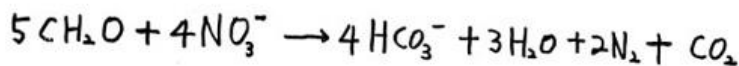
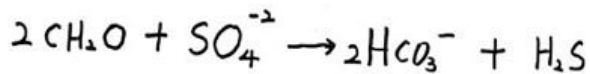
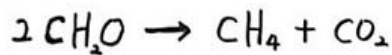
수소분자가 쪼개 지면 2 개의 양성자와 2 개의 전자가 된다.

물 2 분자가 쪼개지면 4 개의 양성자, 4 개의 전자, 그리고 산소 분자가 나온다.

광합성과 호흡에서 가장 많이 나오는 분자식이다

다음은 생명이 에너지를 만드는 과정이다...

6 개 수식을 암기해야 한다.



탄소가 처음 등장한다. 유기물이다. 우리가 먹는 것은 대부분 C, H, O 이다.

위의 분자식들은 박테리아가 유기물을 분해하여 에너지를 얻는 방식이다.

호흡의 종류이다. 진화의 단계 순이다.

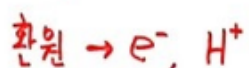
생화학에서 가장 중요한 물질은 중 탄산염(HCO_3^-)이다.

생명의 공통패턴이 보인다.

제일 처음은 메탄생성 고세균이다. 유기물에서 메탄을 만든다. 탄소가 환원된다. 이때 에너지가 생긴다.

두 번째는 황산염 환원세균에 의해 황산염이 황화수소로 환원되었다..

유기물이 산화되었다. 호흡은 산화과정이다

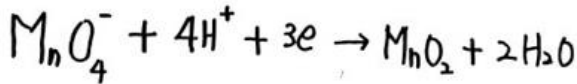
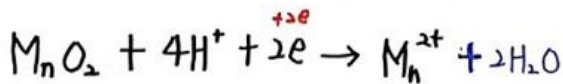
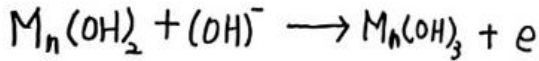


산화는 산소와 결합하든가 전자를 잃는 것이다.

환원은 전자를 얻거나 양성자를 획득하는 것이다.

산화와 환원은 짝 반응이다. 동시에 같이 일어난다.

생물학에 들어가는 망간이 3 종류가 있다.



수산화 망간 $Mn(OH)_2$,

MnO_2 는 건전지에 있다. 망간 전지이다.

건전지는 생명이 쓰는 방식을 공학적으로 만든 것이 건전지이다. 건전지는 산화 환원 반응이다.

전자를 내 놓고 전자를 회수하는 그릇이다. 건전지를 볼 때 "생명이요"라고 해야 한다.

40 억년 동안 생명이 한 것을 인간이 흉내 낸 것이 건전지이다.

2 차전지가 앞으로 인류 문화의 향방을 결정할 것이다.

산소 1 분자, 양성자 4 개, 전자 4 개가 합쳐지면 물 2 분자가 된다. 여기서 패턴을 찾아야 한다.

생명이 물을 분해하고 결합하는데 철 다음으로 망간을 썼다.

산소와 결합하는 원소는 H, C, Si, Fe 이다.

황(S)과 결합하는 원소는 수소(H)와 철(Fe)이다.

수퍼노바에서 나온 지구만한 황, 철, 실리콘, 이것이 결정적 지식이다.

찬드라 세카르는 인도 사람으로 1930 년대 영국으로 유학 가는 여객선에서 양자역학을 이용하여 별이 핵 융합하는 과정을 계산하여 찬드라 세카르 질량한계를 발견했다. 태양질량의 1.4 배.

그 공로로 1983 년 노벨 물리학상을 수상했다. 그의 이름을 기려 NASA 에서 찬드라 세카르 X 선 망원경 인공위성을 발사했다. 블랙홀, 수퍼노바, 중성자 별에서 나오는 x 선을 관측한다.

인류 역사상 수퍼노바는 3 건 기록되어 있다. 초 신성은 1 천억 개 별 중 1 년에 1 개 정도 생긴다.

케플러가 관찰했다는 카시오피아 자리 수퍼노바에서 찬드라세카르 인공위성이 최근 지구 크기의 황, 철, 실리콘을 촬영했다. 황, 철, 실리콘은 우주의 일반적 물질이다. 수퍼노바가 폭발할 때 나온 것이다.

우리는 수퍼노바의 자식들이다. 철-황 복합체에서 온 몸으로 확인하고 있는 것이다.

그 때 나온 철과 황이 40 억년 전부터 여기에 박혀 있는 것이다.

실리콘이 지구의 맨틀을 만들었고 철과 황이 결합하여 지구 초기의 생명에 알알이 박혀 있는 것이다.

그것을 호흡이라 하고, 광합성이라 한다. 그 전체 이야기도 한 단계 넘어가면 양성자, 전자의 이야기이다.

과학은 어려운 것이 아니다. 단지 우리가 그런 식으로 사고를 하지 않았다.

수식과 도표를 사용하지 않으면 수 개념이 없어 진다.

돼지를 야생으로 돌려 보내면 몇 년 지나지 않아 멧늑이 다시 나온다.

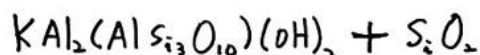
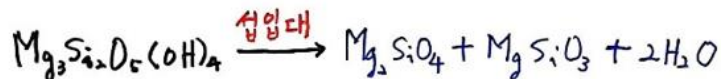
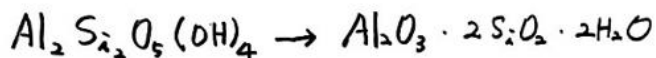
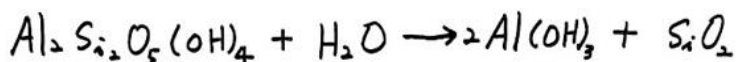
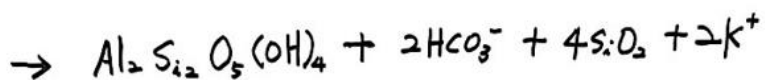
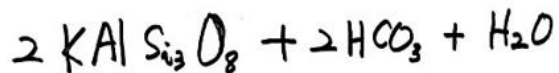
우리의 수 개념은 가장 최근에 살짝 진화한 능력이다. 불면 날아간다. 우리가 능숙한 숫자는 1,2,3 정도이다. 숫자를 사용하지 않는 순간 구 석기 시대로 떨어질 수 있다. 인간이 위대한 이유는 숫자를 카운트하기 때문이다. 진화적으로 최근에 발달한 능력이 먼저 사라진다. 숫자 개념이 희미하면 늙어가는 증거이다. 평생 훈련해야 할 것은 딱 하나뿐이다. 숫자감각이다. 그것이 자연과학의 본질이다.

분자식으로 보면 생명과 광물이 다르지 않다. 들어가는 요소는 다르지만 패턴이 비슷하다. 광물은 무기물이므로, 생명의 요소에서 탄소가 빠지고 실리콘과 알칼리 금속이 들어온다.

분자와 결정은 다르다.

결정은 무한대이다. 결정은 분리되지 않는다. 동일한 것이 무한대로 반복된다. 결정은 카운트하지 않는다. 결정분자라고 하지 않는다. 결정이라고만 한다. 분자식이 아니고 결정식이다. 암석은 결정이다.

반면 분자는 독립적 존재이다. 분자는 카운트한다.



실리콘은 동물의 몸에는 없다. 그러나 뼈와 식물에는 많다.

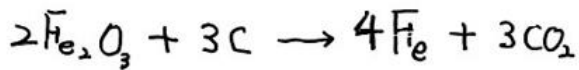
장석이 빗물에 풍화되면 고령토가 된다. 고령토는 2,2,5,4 로 암기한다. $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ 이다.

고령토가 열대 지방에서 비를 맞으면 라테라이트($\text{Al}(\text{OH})_3$)와 모래(SiO_2)가 된다.

장석은 강옥(Al_2O_3)과 모래(SiO_2) 그리고 물(H_2O)로 인수분해 된다.

석면(serpentine)은 섭입대의 고온 고압 환경에서 감람석(olivine)과 휘석(pyroxene) 그리고 물이 된다.

백운모가 마그마를 만나면 홍주석(AlSiO_5)과 K 장석 그리고 물이 된다.

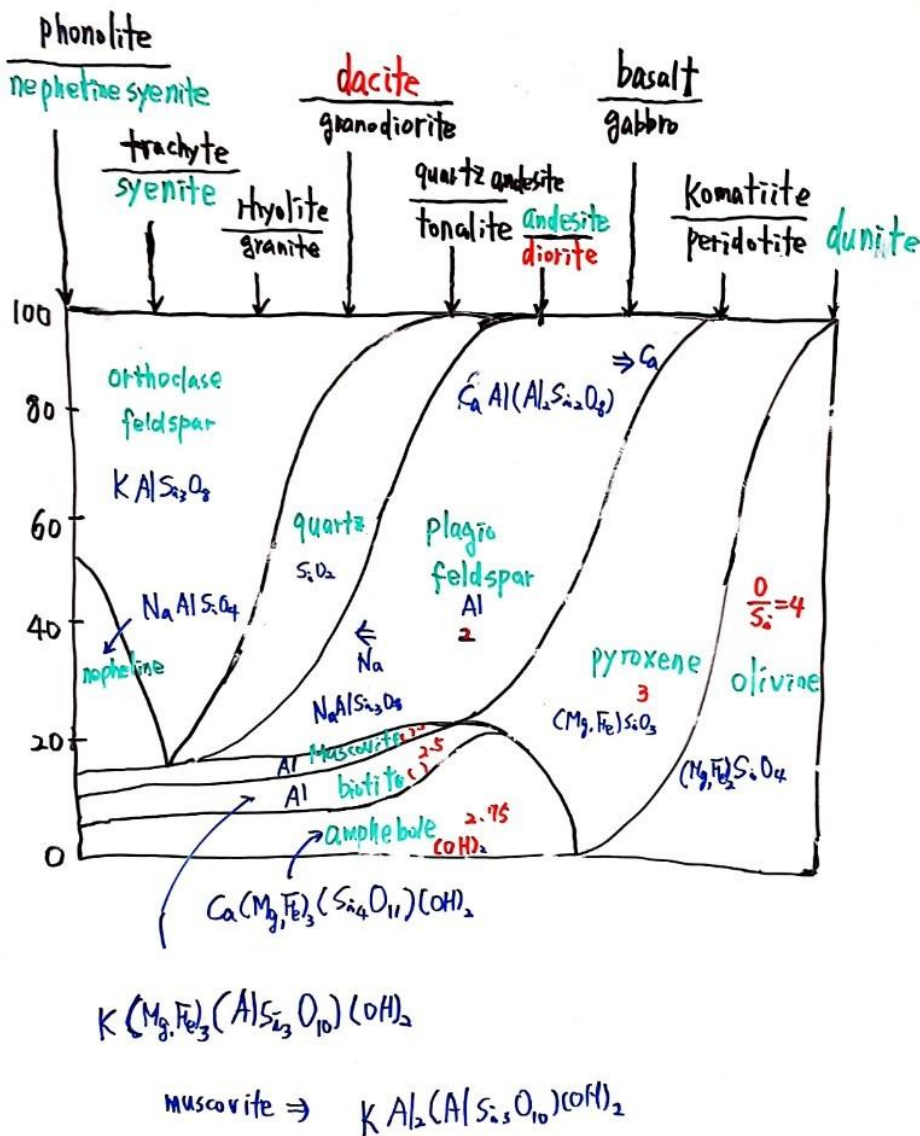


다음은 철-황 시스템을 보아야 한다.

숫자는 1,2,3 과 무한대 2 가지 밖에 없다. 3 이란 숫자는 특별한 무엇이 있다.

암기할 때는 3 가지로 끊어서 해야 한다. 브레인 친화적이다.

제철 산업을 보여주는 분자식이다. 산화 철을 탄소와 함께 가열하면 철 원소와 이산화탄소가 나온다.



이 도표 하나면 암석학이 끝난다. 이 도표는 마그마의 조성이다. 마그마 조성만 알면 암석은 다 안다.

처음 보는 사람은 30 번 그려보기 바란다.

세로 축은 부피의 백분율이다. 가로축을 6:4 정도로 나눈다. 각섬석과 운모가 20%를 넘지 않도록 한다. 결정적 지식은 길가다가 차이는 돌의 60%가 장석이라는 것이다.

분자식을 알아야 한다.

먼저 Si와 O의 비율이 중요하다

olivine은 O/Si=4이다. SiO_4 는 전기량은 산소가 -2, 실리콘이 +4이므로 SiO_4 는 -4이다.

따라서 전기를 중화 시킬 수 있는 양이온이 와야 한다. 그것이 Mg와 Fe이다.

Mg와 Fe의 전하는 각각+2이므로 Mg 또는 Fe 2개가 오면 된다. 그래서 분자식은 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ 이다.

Mg와 Fe가 여러 조합으로 올 수 있다. 이런 관계를 고용체라 한다.

pyroxene(휘석)은 실리콘과 산소의 비율이 3이다. 그러므로 SiO_3 가 되고 전기량은 -2이다.

그러면 Mg 또는 Fe가 1개만 오면 된다.

그래서 분자식은 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$ 가 된다.

amphibole(각섬석)은 실리콘과 산소의 비율이 2.75이다. 그러면 Si_4O_{11} 이 된다.

그리고 백운모, 흑운모, 각섬석에는 (OH)기가 2개가 들어 간다. $\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{OH})_2$ 의 전기량은 -8이 된다.

그러면 양이온으로 Mg와 Fe가 3개가 오고 +2의 전기량을 가진 Ca이 추가된다.

그래서 분자식이 $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{OH})_2$ 가 된다.

biotite(흑운모)는 실리콘과 산소 비율이 2.5이다. 그러면 $\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 가 된다.

운모는 알루미늄이 들어 있다. 그래서 알루미늄 하나와 실리콘 하나가 치환된다.

알루미늄은 전기량이 +3이다. 그러면 $\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 가 되고 전기량은 -7이 된다.

흑운모는 검다. 검은 색에는 마그네슘과 철이 들어간다. 그래서 Mg, Fe가 3개 들어간다.

그리고 나머지 하나 양이온은 K(칼륨)이 들어가서 분자식은 $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ 가 된다.

muscovite(백운모)도 실리콘과 산소 비율이 2.5이다. 백운모이므로 마그네슘과 철을 쓰지 않는다.

대신 알루미늄을 쓴다. 그래서 백운모 분자식은 $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ 가 된다.

(OH)기가 들어간 것을 수화광물이라고 한다.

과학자들은 지구 내부 맨틀 층에 바다를 포함한 지구전체 표면의 80-100배의 물이 있다고 추정한다.

장석은 실리콘과 산소의 비율이 2이다. 장석에는 물이 없다. 상당히 단단하다. Si_2O_6 이 기본단위이다.

여기서 실리콘 하나를 알루미늄과 치환한다. 그러면 AlSi_3O_8 가 되고 전기량은 -1이다.

전기량이 +1인 양이온은 K와 Na이다. 그래서 칼륨 장석과 나트륨 장석이 된다.

정장석은 분자식이 $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ 이 되는데 가장 중요한 것은 정장석의 색깔이 붉은 색(red)이라는 것이다.

바깥에서 암석을 볼 때 화강암인데 붉은 색을 띠면 정장석이라고 보면 된다.

도표에서 왼쪽은 나트륨이 많다. 오른쪽으로 갈 수록 칼슘이 많다.

나트륨 장석은 $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ 가 된다. albite(조장석)이다.

바닷물 소금의 기원은 나트륨 장석이다.

EBS 세계테마기행 남미 편에서 소금의 기원을 설명하며 장석을 이야기 했다.

EBS 세계테마기행 4년동안 방송된 것을 되풀이 해서 3번만 보면 내가 강의 했던 내용이 다 스며 들어가 있다.

칼슘은 전기량이 +2이므로 전기량이 맞지 않다. 그래서 이 경우에는 알루미늄을 하나 더 치환해야 한다.

그러면 분자식이 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 이 된다. anorthite(사장석)이다. 그래서 사장석은 무르다.

달은 약간 회색이다. 달에는 6,000m 두께의 칼슘 장석(월장석)이 덮혀 있다.

nepheline은 비율이 4이다. 분자식은 NaAlSiO_4 이다.

분자식으로 공부하면 빅뱅에서부터 식물학, 동물학, 암석학, 비료학 모두 연결이 된다. 따로 할 필요가 없다.

이 도표에서 면적 크기가 암석의 양으로 보면 된다. 가장 면적이 넓은 것이 장석이다..

그래서 바깥에서 차고, 만지는 돌의 60%는 장석이라고 하면 된다.

현무암은 거의 60%가 장석이다. 현무암에 박혀 있는 광물은 장석 아니면 휘석이다.

이제 암석의 이름을 알아야 한다. 한꺼번에 20개 암석을 다 이해해 버린다.

도표 상단 10개 화살표에 20개 암석을 표시한다.

이것만 암기하면 암석학 끝이다.

아래 부분이 심성암이고 위 부분이 분출암이다..

심성암/ 분출암

nepheline syenite(네플린 섬장암)/ phonolite

syenite(섬장암)/ trachyte(조면암)

granite(화강암)/ rhyolite(유문암)

granodiorite(화강 섬록암)/ dacite

tonalite/ quartz andesite(석영 안산암)

diorite(섬록암)/ andesite(안산암)

gabbro(반려암)/ basalt(현무암)

peridotite(감람암)/ komatiite

dunite

수고하셨습니다.