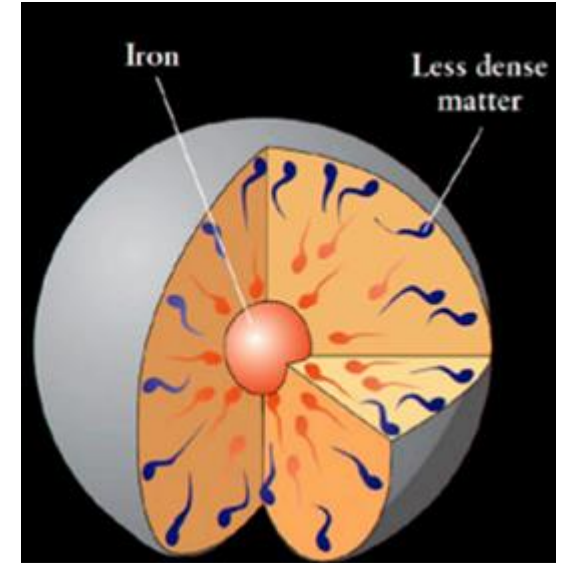


# 지구의 구조

- 지구 (地球, Earth)

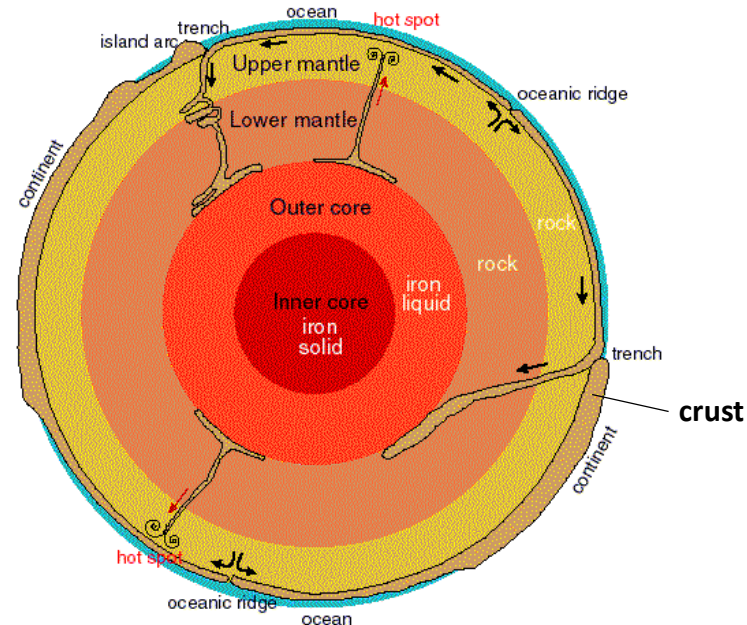
- 지구 형성

- 45억년 전 지구는 “뜨거운 암석 구(球, sphere)”
      - 방사선 붕괴와 지구 형성에 의한 열에 의해 점점 더 뜨거워짐
    - 40억년 전 지구의 온도는 철이 녹는 온도인 1538°C까지 오름
      - 이를 **철의 대변혁**(鐵의 大變革, iron catastrophe)라 부름
      - 밀도가 높은 철(Fe)과 니켈(Ni)는 지구의 중심으로 가라앉음
      - 가벼운 물질(규산염(硅酸鹽, silicate) magma 등)은 지구 외피로 이동



- 구조

- 지각(地殼, crust)
    - 맨틀(mantle)
    - 핵(核, core)
      - 외핵(外核, outer core)
      - 내핵(內核, inner core)



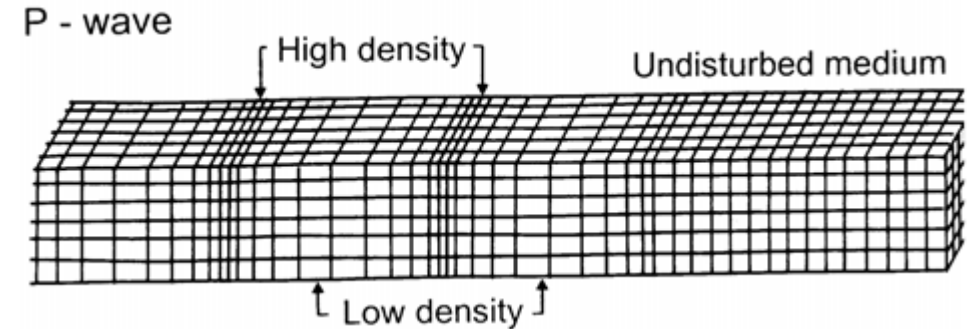
- 지진파(地震波, seismic waves)

- 지진(地震, earthquake)은 지각(crust) 내에 저장되어 있던 변형력이 급격히 방출되는 현상
- 종류

- P파 (P waves)

- p는 primary 혹은 pressure의 p
    - 속력 7~8 km/s로 비교적 빠름
    - 고체, 액체, 기체를 모두 통과

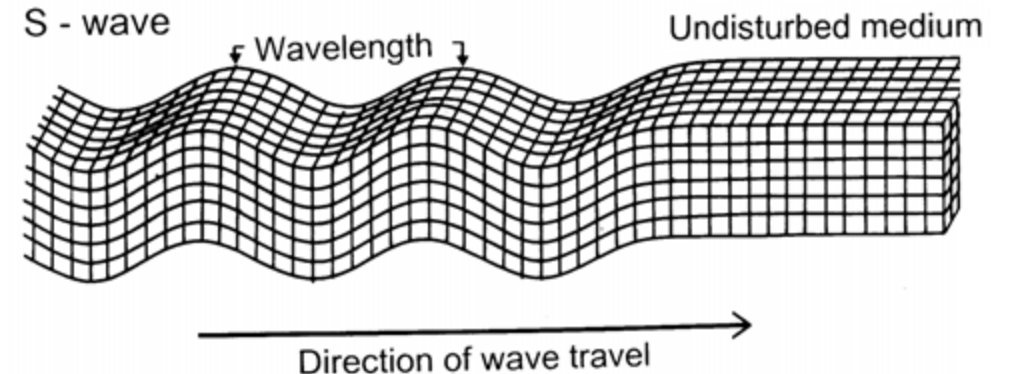
- Youtube 동영상 : [https://www.youtube.com/watch?v=2rYjIVPU9U4&feature=emb\\_rel\\_end](https://www.youtube.com/watch?v=2rYjIVPU9U4&feature=emb_rel_end)



- S파 (S waves)

- s는 secondary 혹은 shear의 s
    - 속력 3~4 km/s로 비교적 느림
    - 진폭이 커 p파에 비해 피해가 큼
    - 고체 상태의 매질만 통과

- Youtube 동영상 : [https://www.youtube.com/watch?v=t7wJu0Kts7w&feature=emb\\_rel\\_end](https://www.youtube.com/watch?v=t7wJu0Kts7w&feature=emb_rel_end)



## • 지진파

- 진원 (震源, hypocenter) : 지진이 발생한 지점 (그림1)
- 진앙 (震央, epicenter) : 진원의 바로 위 지표 상의 지점 (그림1)
- 지진파를 관측하여 지구의 내부 구조에 대한 정보 얻음 (그림2)
- 국가 지진관측소 분포 (그림3)
- 지진 측정 결과 (그림4)

그림1

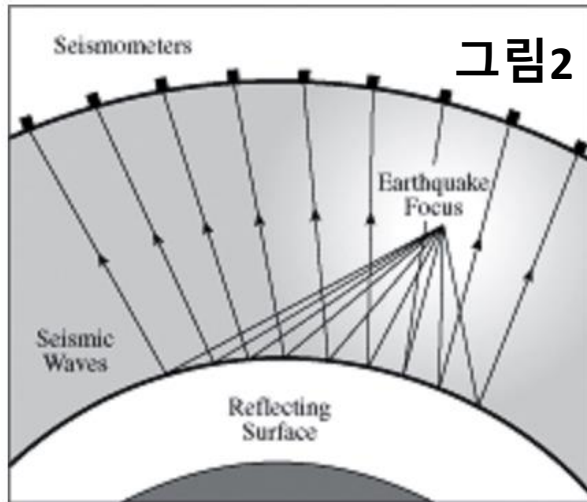
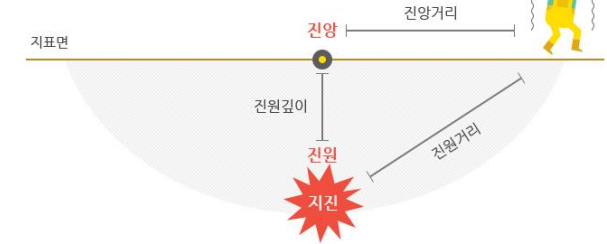
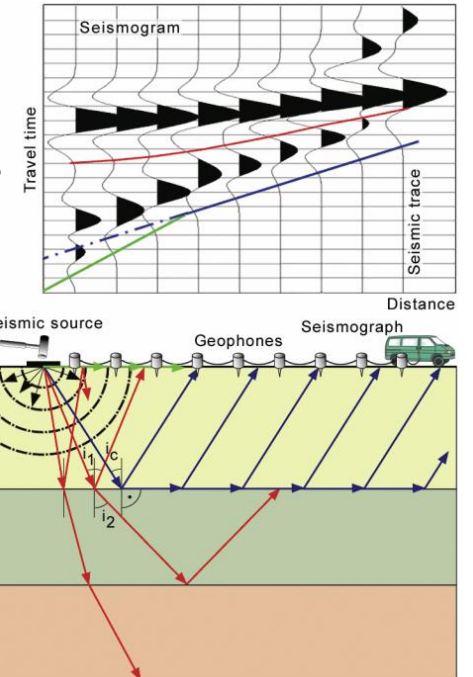


그림3



그림4



## • 지구의 밀도

- 평균 지구의 밀도  $5.25 \text{ g/cm}^3$
- 지표면에서 발견되는 암석의 밀도  $2.5 \sim 3 \text{ g/cm}^3$
- '무거운 성분'을 포함한 핵이 존재

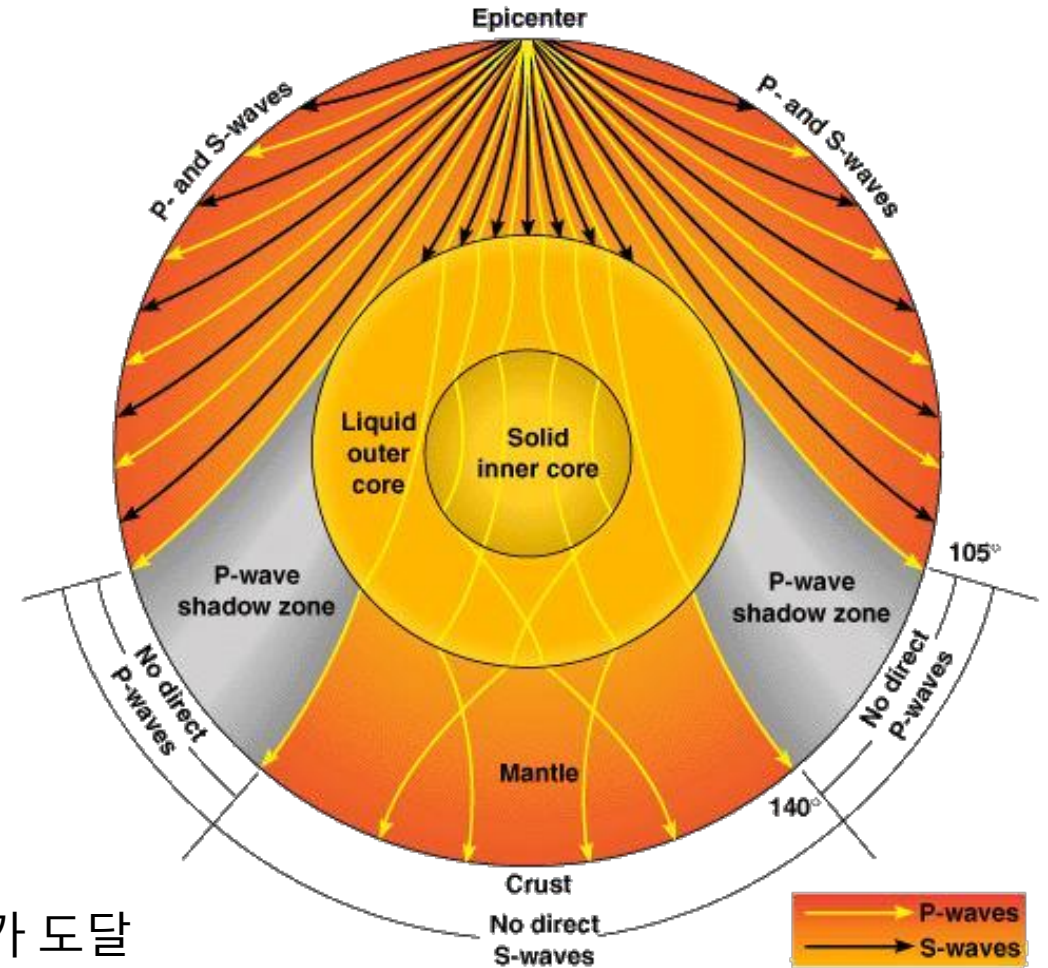
## • 지진파

### • S 파

- 고체만 통과
- 지구 반대편에서 측정 안됨
- $105^\circ$  이내에서만 관측

### • P 파

- 고체, 액체, 기체 모두 통과
- 액체 핵에 의한 굴절(굴절, refraction)로 인해 P 파가 도달 못하는 영역 존재 :  $105 \sim 140^\circ$
- 지구 반대편에서 관측하면 지진파가 수직 방향으로 굴절  
→ 액체로 된 외핵 속에 고체의 내핵이 존재

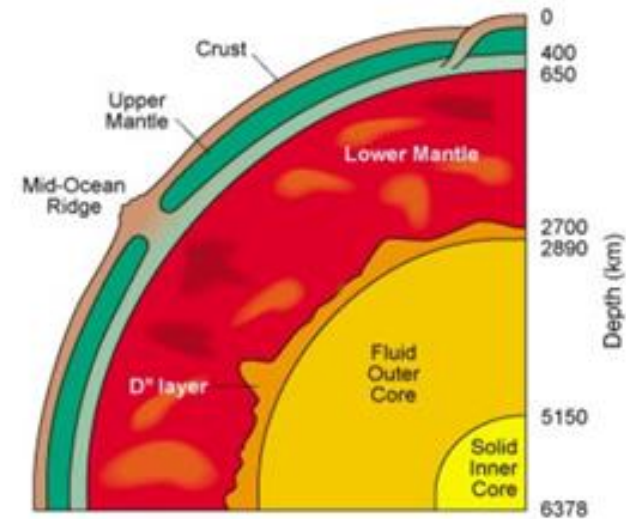
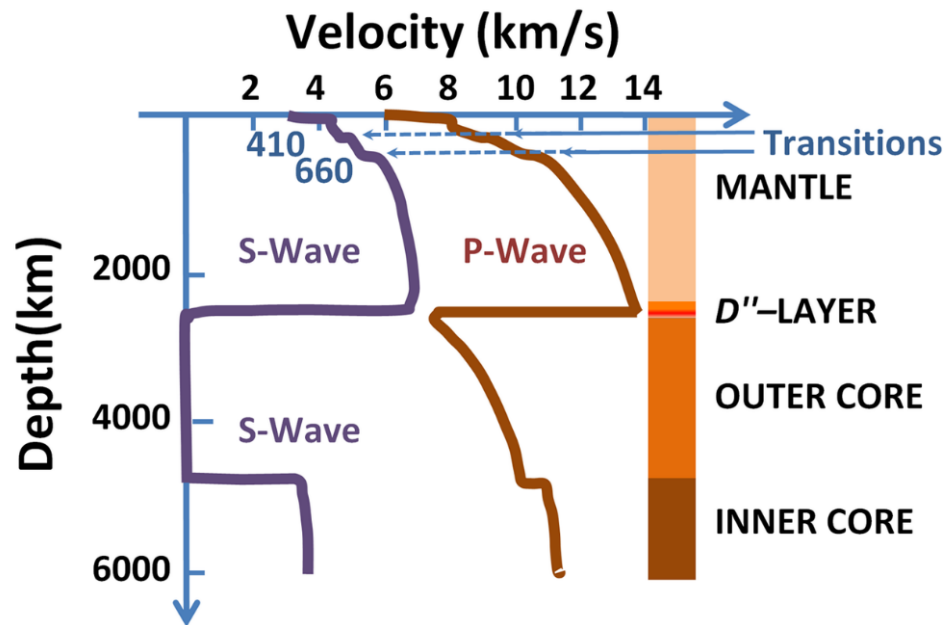




## • 지진파 결과

- 지구의 반지름은 ~6,378 km
- s 파가 급격히 감소하는 영역 그리고 p 파가 급속히 속도 변화하는 깊이 : ~2,890 km
- p파가 급속히 속도 변화하는 깊이 : ~5,150 km

- 외핵의 반지름 : 3,480 km
- 내핵의 반지름 : 1,220 km (참고 : 달의 반지름 1,737.1 km)



- 핵의 물질상태

- 외핵

- 내핵근처에서는 5500°C, 외핵 외곽에서는 4500°C
    - Ni이 20%, 나머지는 Fe → 액체 FeNi 합금의 대류(對流, convection) → 전류 → 전자석 → 지구자기 (地球磁氣, geomagnetisim)

- 내핵

- 360만 압력에서 5200°C는 FeNi 합금을 녹일 수 없어 고체 상태
    - 내핵의 온도가 큐리온도보다 높으므로 고체 FeNi 합금이 외핵에 의해 자화될 수 없음

성질	외핵 outer core	내핵 inner core
압력	?	360만 기압 → 고체 합금
온도	4500~5500°C	5200°C → 자화될 수 없음
물질 상태	액체 FeNi 합금	고체 FeNi 합금
반지름(두께)	3,480 km (2,260 km)	1,220 km (1,220 km)

- 내핵이 외핵보다 약간 빨리 자전

- 1,000년에 내핵이 외핵보다 한 바퀴 더 자전

- 다이나모 이론(dynamo theory)

- 지구자기장이 발생 원리를 설명하기 위해 제안된 이론

- 외핵의 액체 FeNi합금의 대류가 지구의 자전운동(Coriolis Motion)과 결합하여 나선형운동(螺旋形運動, spiral motion)을 함

- Ni이 20% 있으므로 대류가 일어남

- 이 운동을 따라 전류가 흐름

- 이 전류가 자기장을 형성

- 그림1에서는 파란색의 자기력선이 형성

- 그림2에서는 흰색의 자기력선이 형성

- 지구의 북극과 남극에는 각기 S극과 N극인 자석이 존재(그림3)

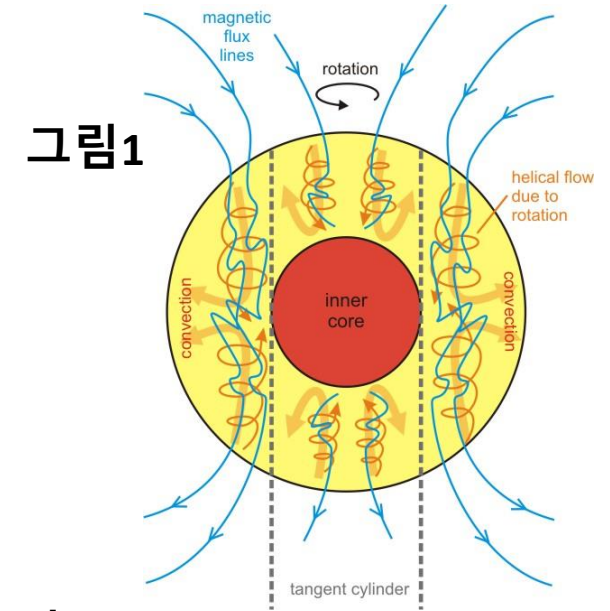


그림2

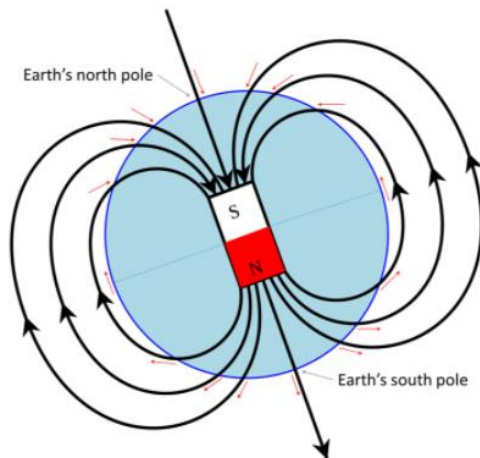
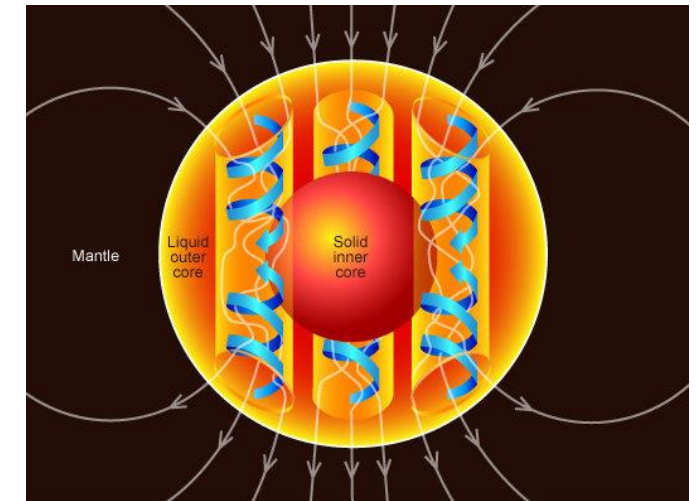


그림3

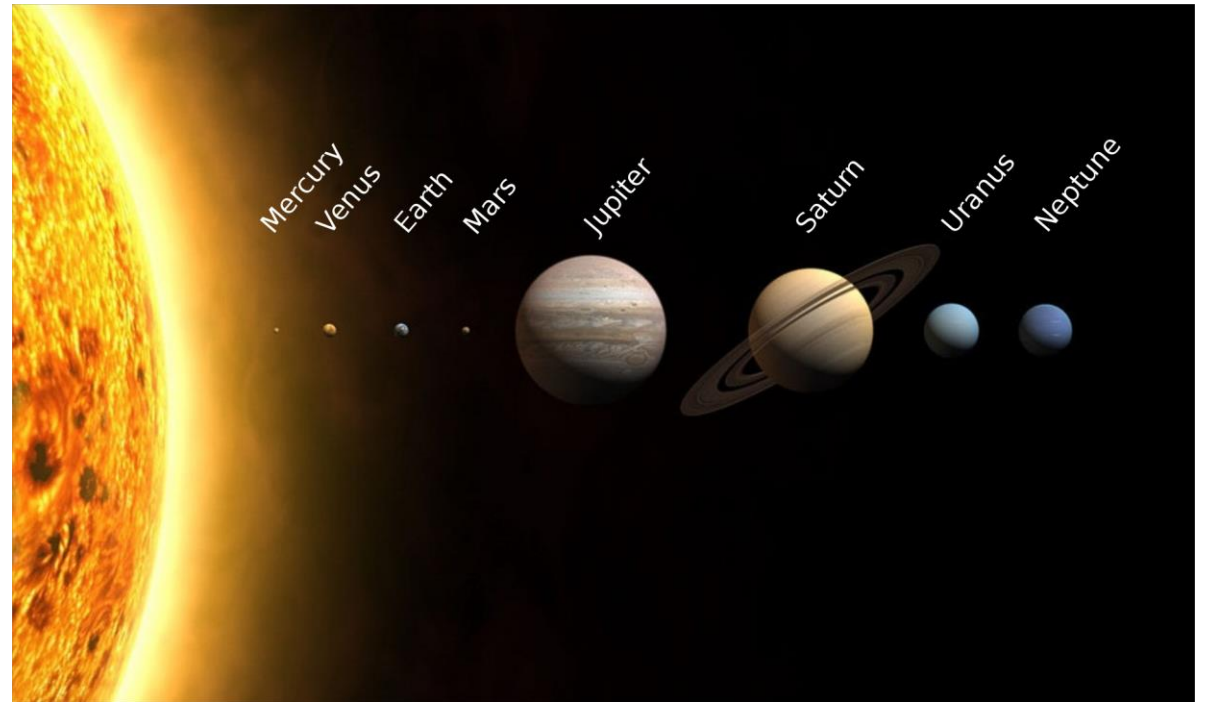


- 다이나모 이론

- 행성은 회전해야 함
- 내부에 액체 매질이 존재해야 함
- 이 액체 매질은 전기를 통해야 함
- 액체 매질의 대류를 유도할 내부에너지 공급이 있어야 함

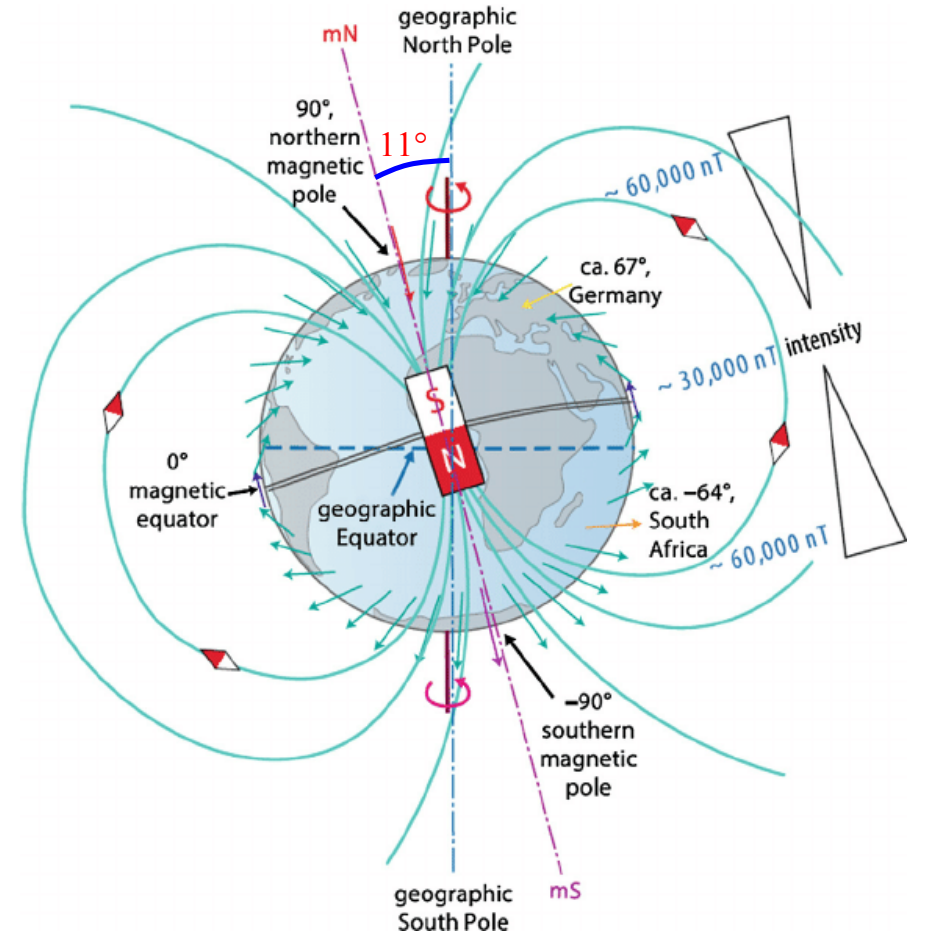
- 태양계 행성에 다이나모 이론 적용

- 금성 (金星, Venus)
  - 액체 핵
  - 느린 자전 속도 → 약한 자기장
- 화성 (火星, Mars)
  - 고체 핵 → 약한 자기장
- 목성 (木星, Jupiter)
  - 액체 핵
  - 빠른 자전속도 → 자기장
- 토성 (토성, Saturn)
  - 액체 상태의 금속성 수소



## • 북극

- 지리적 북극 (geographic North Pole)
  - 지구의 자전축과 지구표면이 만나는 북쪽 지점
  - 지리적 북극과 지리적 남극을 이으면 지구 자전축
- 자기북극 (magnetic North Pole)
  - 파란색으로 그린 자기력선이 지표면에 수직으로 들어가는 지점
- 다이나모 이론에 의해 만들어진 지구 자기장
  - 맨틀(mantle)과 지각(crust)의 움직임에 의해 자기장이 왜곡되어 지표면에 나타남
  - 자기북극이 매년 평균 40 km 이동
  - 과거 150년간 685 km 이동
- 현재 지리적 북극과 자기북극
  - 11° 차이



- 극전환 (極轉換, pole switching)

- 자기북극과 자기남극이 뒤 바뀌는 극전환은 78만년 전에 일어남 (Brunhes-Matuyama reversal)
- 3억3천만년 동안 약 400번의 극전환이 발생했음
- 해저바닥에 있는 자철광이 가리키는 지구자기장의 기록으로부터 알아냄
- 극전환은 불규칙적으로 반복
  - 가장 짧은 극전환 사이 시간 간격 : 수 천년
  - 가장 긴 극전환 사이 시간 간격 : 5천만년

- 그림1

- 검은 색 : 현재와 같은 방향에 자기북극과 자기남극이 위치
- 흰색 : 현재의 자기북극과 자기북극의 방향이 정반대 위치

그림2

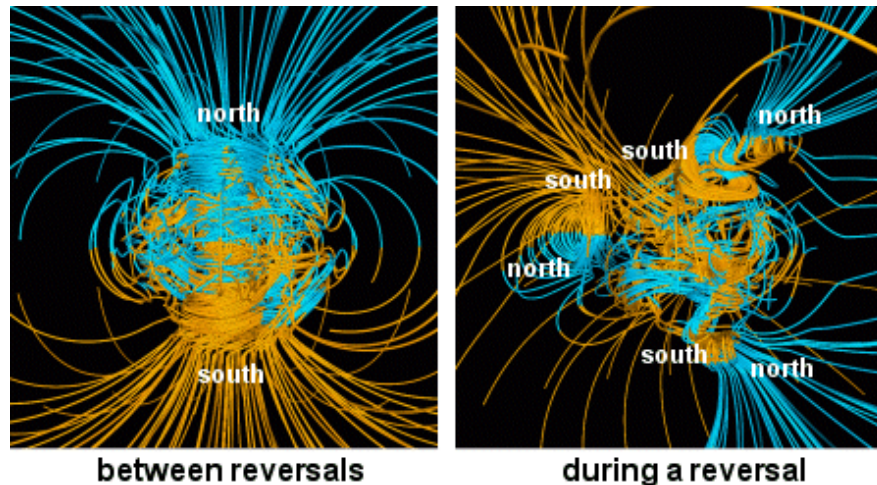
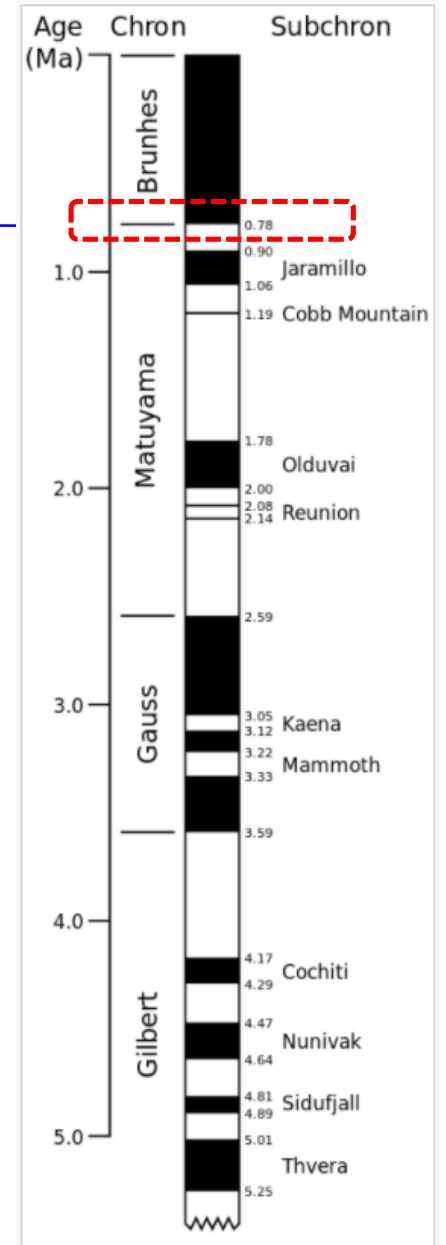


그림1



## • 극전환의 촉발 요인

- 충격요인(impact events)
  - 소행성(소행성, asteroid) 충돌 (그림1)
- 내부요인(internal events)
  - 지각판이 맨틀 속으로 들어감 (그림2)
  - 맨틀 융기(mantle plume)



그림1

그림2

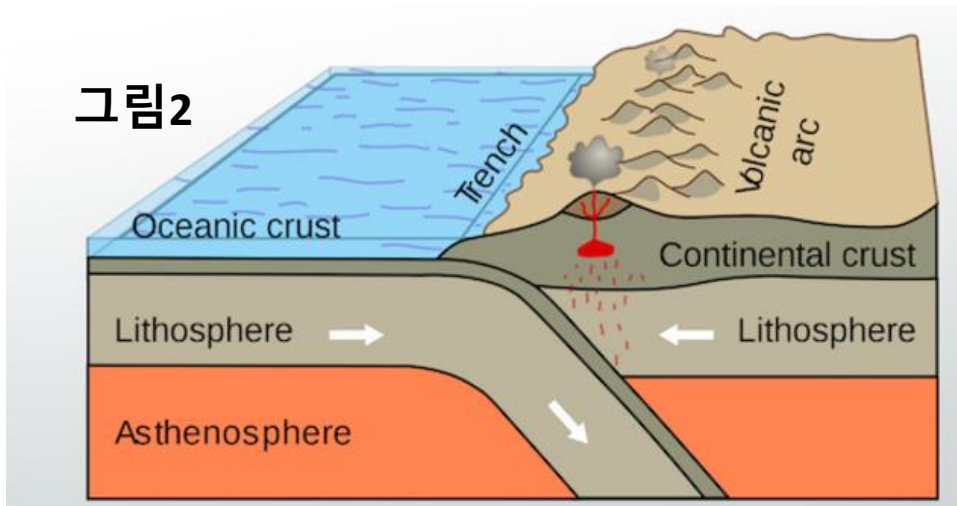
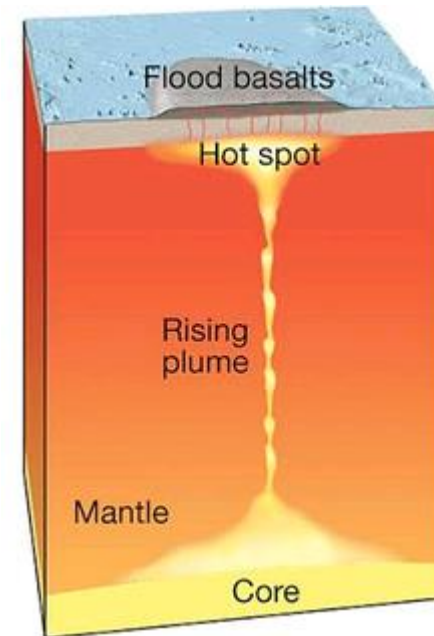


그림3



- 친철원소 (親鐵元素, siderophiles)

- “iron-loving”이라는 뜻. 즉, 친철(親鐵)
- 지구중심부에 모였다고 생각되는 원소들
- 주기율표에서 빨간색으로 칠한 원소들
- 지구 핵 속의 금의 양  $1.6 \times 10^{15}$  kg → 지표면을 덮으면 50 cm 두께

Goldschmidt classification in the <b>periodic table</b>																			
	1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Group →																			
↓ Period																			
1	1 H																	2 He	
2	3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc		22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y		40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57 La	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
				*	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
				**	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

**Goldschmidt classification:**

LithophileSiderophileChalcophileAtmophileSynthetic

Mn 망가늄  
Fe 철  
Co 코발트  
Ni 니켈  
Mo 몰리브덴  
Ru 루테튬  
Rh 로듐  
Pd 팔라듐  
W 텅스텐  
Re 레늄  
Os 오스뮴  
Ir 이리듐  
Pt 백금  
Au 금



- 친철원소 (親鐵元素, siderophiles)

- “iron-loving”이라는 뜻. 즉, 친철(親鐵)
- 지구중심부에 모였다고 생각되는 원소들
- 주기율표에서 빨간색으로 칠한 원소들
- 지구 핵 속의 금의 양  $1.6 \times 10^{15}$  kg → 지표면을 덮으면 50 cm 두께

V · T · E

Mn 망가늄  
Fe 철  
Co 코발트  
Ni 니켈  
Mo 몰리브덴  
Ru 루테튬  
Rh 로듐  
Pd 팔라듐  
W 텅스텐  
Re 레늄  
Os 오스뮴  
Ir 이리듐  
Pt 백금  
Au 금