전파통신

Electromagnetic Wave Communication

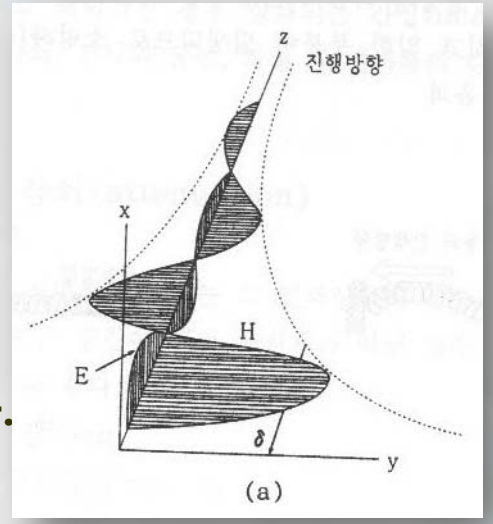
- 전파전파의 기초 -

동서울대학
DONG SEOUL UNIVERSITY

전파의 성질

❖ 전파(電波 : Electromagnetic Wave, Radio Wave)

- 전계나 자계의 진동방향과 직각인 방향으로 진행하는 파
- 전계와 자계가 서로 얽혀 도와가며 진행하는 파



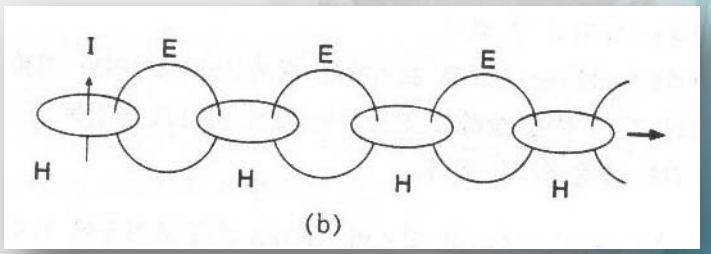
❖ 전파의 성질

- 전파는 횡파(橫波 : Transverse Wave) 이다.
- 투자율이나 유전율이 클수록 속도가 늦어지고 파장이 짧다.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\cdot\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}} = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}} = \frac{C}{n}[m/s]$$

- 위상속도와 군속도의 곱은 광속의 제곱과 같다.

$$v_p v_g = C^2$$



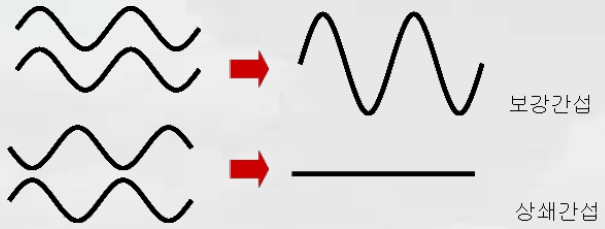
- 빛과 마찬가지로 직진, 반사, 굴절, 회절, 간섭, 감쇠 및 편파 등의 현상을 갖는다.

전파의 현상

동서울대학 DONG SEOUL UNIVERSITY

❖ 전파의 일반적 현상

- 균일한 매질 내를 전파하는 경우 직진하며, 주파수가 높을 수록 직진성이 강하다.
- 동일 주파수에서 두개이상의 파동을 합성하는 경우 간섭을 일으킨다.



❖ 전파의 감쇠

- 전도성 매질내에 침투하는 전파가 그 전파상수의 실수부로 인해 감쇠하는 성질
- 전파가 전파하는 공간이 완전 유전체가 아닌 경우,
  즉, $\sigma \neq 0$ 인 경우 전파상수는

$$k^2 = (\sigma + j\omega\varepsilon)\, j\omega\mu \Rightarrow k = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)} \cong \alpha + j\beta$$

β: Phase Constant

α: Attenuation Constant

- 윗 식의 해를 구하면...

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2}\sqrt{\omega^2\mu^2\left(\sigma^2+\omega^2\varepsilon^2\right)}-\omega^2\mu\varepsilon} \approx \omega\sqrt{\mu\varepsilon}\sqrt{\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2}-1\right)}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2}\sqrt{\omega^2\mu^2\left(\sigma^2+\omega^2\varepsilon^2\right)}-\omega^2\mu\varepsilon} \approx \omega\sqrt{\mu\varepsilon}\sqrt{\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2}-1\right)}$$

- 윗 식에서 $\sigma/\omega\varepsilon$ 은 전류밀도 J_c와 변위전류밀도 J_d의 비로부터 유도할 수 있다.

즉, $\dfrac{J_c}{J_d} = \dfrac{E\sigma}{E\omega\varepsilon} = \dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon}$

$\dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon} < 0.01$ ⇒ 유전체

$\dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon} > 0.01$ ⇒ 도체

$0.01 < \dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon} < 100$ ⇒ 준도체

$\left(\dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2 \gg 1$ 인 경우, $\alpha \cong \beta \cong \sqrt{\dfrac{\omega\mu\sigma}{2}}$

※ 평면파는 고체상태의 도체에서 감쇠가 크다

전파의 현상

동서울대학 DONG SEOUL UNIVERSITY

- **표피효과(Skin Effect)**
  - 도체내에서 전계강도가 급격히 감소하는 현상
  - 완전도체 $(\sigma \to \infty)$ 인 경우, α가 무한대
  - 도체의 감쇠정수는

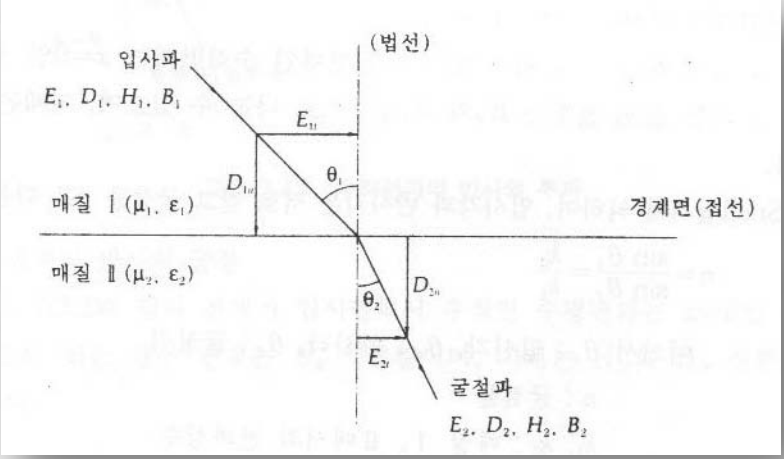
$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} = \frac{1}{\delta}$$

여기서, δ : Skin Depth

  - δ가 얇은 것은 표면으로부터의 급격한 감쇠를 의미
  - δ가 두꺼운 것은 완만한 감쇠를 의미
  - ω가 크면 δ가 작아지므로 고주파일수록 경계면에서의 감쇠가 심해짐

❖ 전파의 반사(Reflection)와 굴절(Refraction)

- 굴절 : 전파가 서로 다른 매질의 경계면을 지날 때 입사각과 다른 각도로 투과되는 현상 (광학에서의 Snell's Law 적용)



① 전계 및 전속밀도의 경계조건

- 유전율이 서로 다른 두 매질의 경계면 양쪽에서 전계의 접선성분(tangential component) 및 전속밀도의 법선성분(normal component)은 서로 같다.

$$E_{1t} = E_{2t} \Longrightarrow E_1 \sin\theta_1 = E_2 \sin\theta_2$$

$$D_{1n} = D_{2n} \Longrightarrow D_1 \cos\theta_1 = D_2 \cos\theta_2$$

여기서, $D_1 = \varepsilon_1 E_1$, $D_2 = \varepsilon_2 E_2$

② 자계 및 자속밀도의 경계조건

- 투자율이 서로 다른 두 매질의 경계면 양쪽에서 자계의 접선성분 및 자속밀도의 법선성분은 서로 같다.

$$H_{1t} = H_{2t} \Longrightarrow H_1 \sin\theta_1 = H_2 \sin\theta_2$$

$$B_{1n} = B_{2n} \Longrightarrow B_1 \cos\theta_1 = B_2 \cos\theta_2$$

여기서, $B_1 = \mu_1 H_1$, $B_2 = \mu_2 H_2$

③ 굴절의 법칙

- 위 ①~②의 경계조건으로부터 전계 및 자계에 대한 굴절의 법칙은

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$$

④ 수직편파의 반사와 굴절[투과]

$$n = \frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_t} = \frac{k_2}{k_1}$$

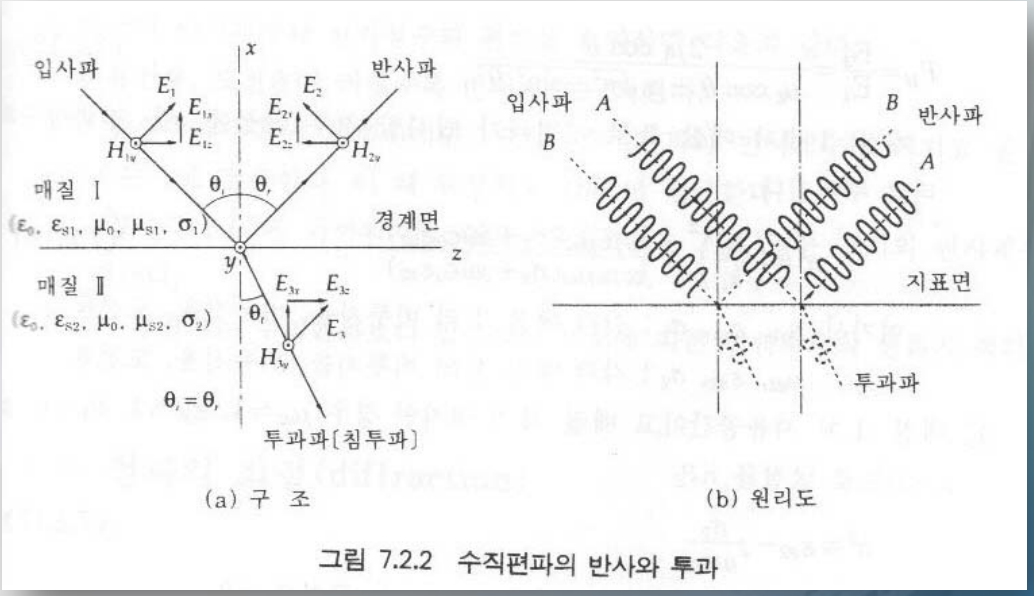


그림 7.2.2 수직편파의 반사와 투과

⑤ 수평편파의 반사와 굴절

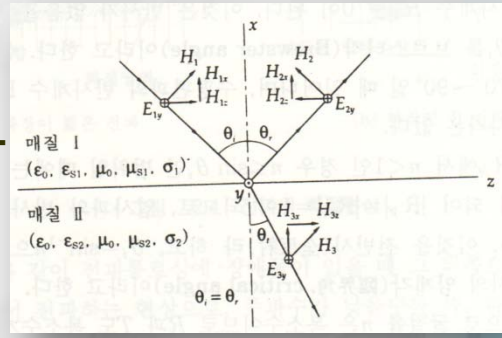
- 매질 Ⅰ 에서 매질 Ⅱ 로 평면파가 입사할 경우 굴절률 n은

$$n^2 = \left(\frac{k_2}{k_1}\right)^2 = \frac{j\omega\mu_0\mu_{s2}(\sigma_2 + j\omega\varepsilon_0\varepsilon_{s2})}{j\omega\mu_0\mu_{s1}(\sigma_1 + j\omega\varepsilon_0\varepsilon_{s1})}$$

여기서, $\mu_{s1}, \varepsilon_{s1}, \sigma_1$: 매질 Ⅰ의 비투자율, 비유전율, 도전율

$\mu_{s2}, \varepsilon_{s2}, \sigma_2$: 매질Ⅱ의 비투자율, 비유전율, 도전율

- 전반사 : 입사파 = 반사파
- 임계각(Critical Angle) : 전파사가 일어날 때의 입사각



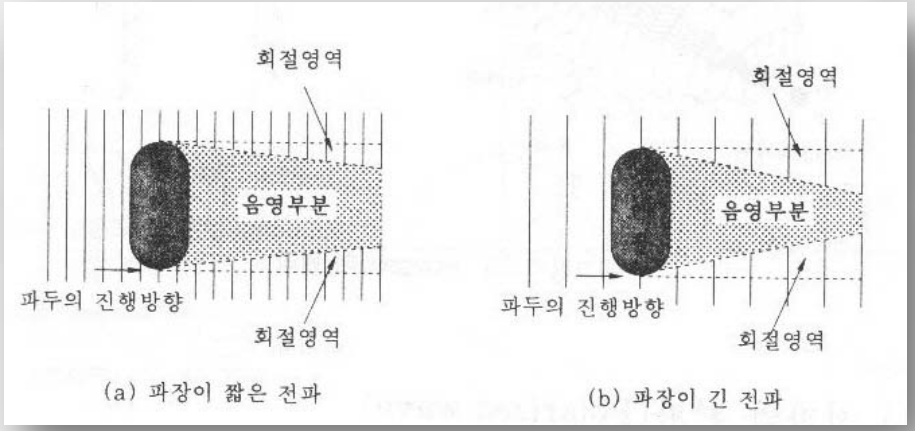
⑥ 이상의 반사계수와 전기정수의 관계

- 유전율, 도전율이 클수록 반사계수가 크다
- 입사각이 90°에 가까워지면, 수직 수평편파의 반사계수는 커지고 반사계 수는 1에 접근한다. 이 때 위상차도 180°에 접근한다.
- 입사각이 0°에 가까워지면 수직, 수평편파는 거의 같은 크기의 반사계수를 갖는다.
- 수평편파는 수직편파보다 입사각의 변화에 따른 반사계수의 변화가 적다.

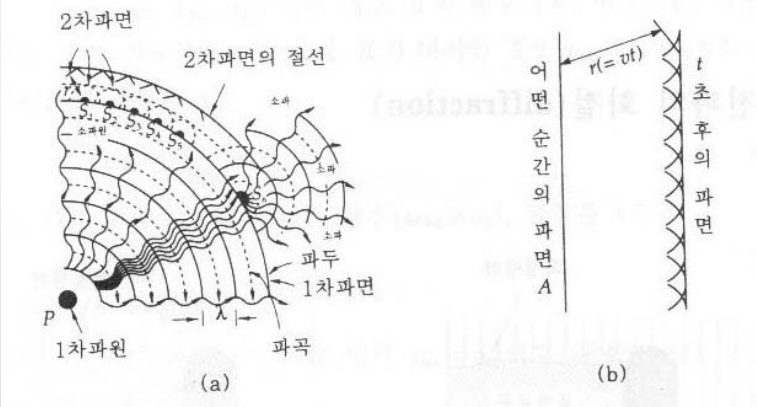
전파의 현상

❖ 전파의 회절 (Diffraction)

- 전파통로상에 장애물이 있을 경우, 그 뒤쪽으로 전자파의 일부가 휘어져 전파하는 현상
- 주파수가 낮을수록(파장이 길 수록) 회절현상이 심하게 나타남



- Huygens(호이겐스)의 원리



❖ 전파의 편파(Polarized Wave)

* 선형 편파(線形 偏波 : linear polarized wave) : 전계가 어느 한 평면 위에 있는 편파

  수직편파(垂直偏波) : 전계가 지면에 수직인 편파

  수평편파(水平偏波) : 전계가 지면에 수평인 편파

* 원형 편파(圓形 偏波 : circular polarized wave) : $E_x = E_y$

* 타원형 편파(楕圓形 偏波 : elliptical polarized wave) : $E_x \neq E_y$

- **선형편파의 전계**

$$E_y = E_2 \sin(\omega t - \beta_z)$$

- **원형편파의 전계**

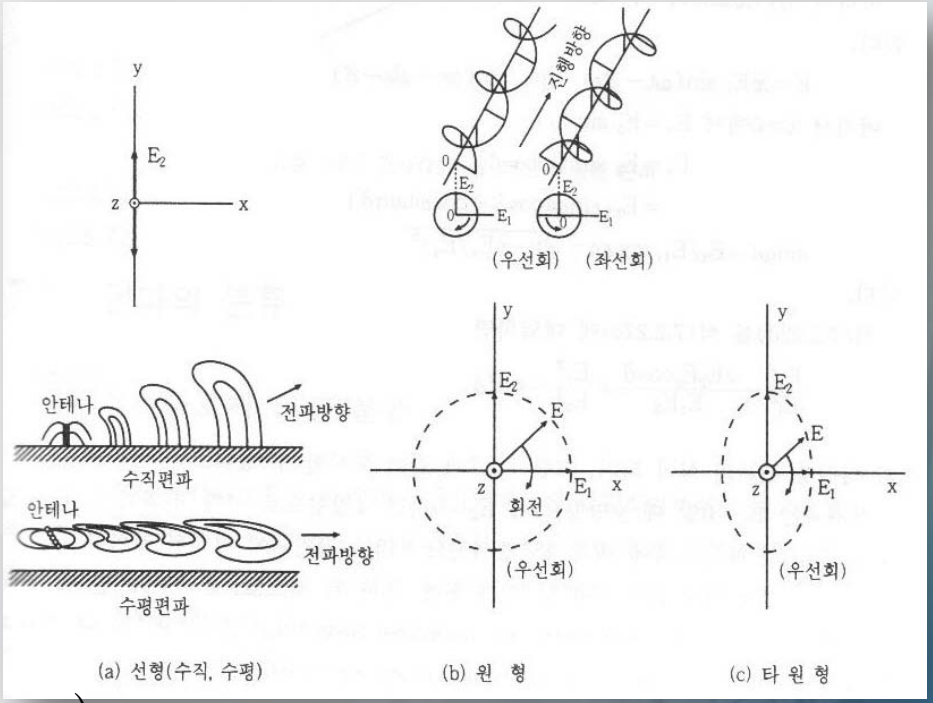
$$E_x = E_1 \sin(\omega t - \beta_z)$$

$$E_y = E_2 \sin(\omega t - \beta_z + \delta)$$

$$\therefore \delta = +90^\circ \Longrightarrow \text{LHCP}$$

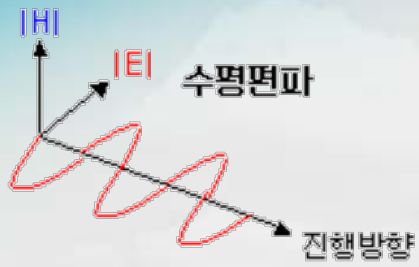
$$\therefore \delta = -90^\circ \Longrightarrow \text{RHCP}$$

$$E = \hat{x}E_1 \sin(\omega t - \beta_z) + \hat{y}E_2 \sin(\omega t - \beta_z + \delta)$$

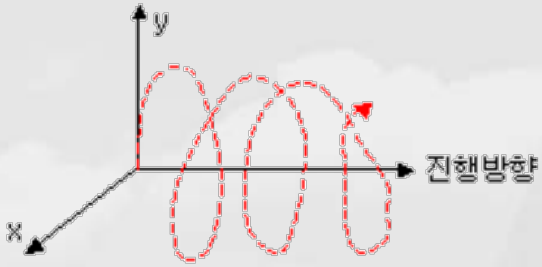


전파의 현상

❖ 참고 - Polarization

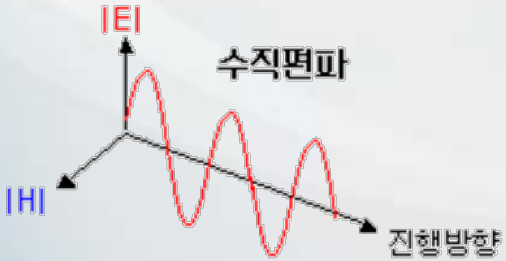


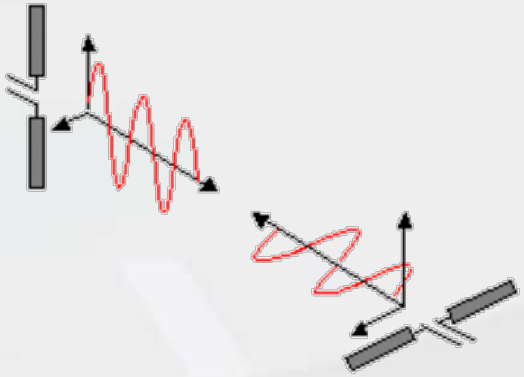
(a) 편파방향이 일치한 경우
: 전자파의 에너지교류가 원활함



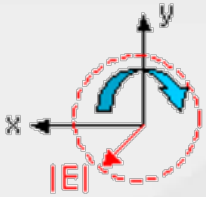
진행방향을 축으로 전계가
회전하면서 전파된다.

Circular Polarization

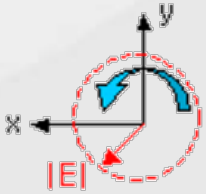




(b) 편파방향이 수직하는 경우
: 전자파가 직교해서 에너지교류가 안됨



RHCP
(Right Hand Circular Polarization)



LHCP
(Left Hand Circular Polarization)

진행방향 정면에서 보면 왼쪽 혹은
오른쪽으로 전계벡터가 회전한다.

전파의 분류

❖ 전파통로에 의한 분류

- 전파통로 : 지상파 (Ground Wave) / 공중파 (Sky Wave)
- 지상파

① 직접파(Direct Wave)

➔ 송신점에서 전리층을 거치지 않고 수신점에 직접 도달하는 전파

② 대지 반사파(Ground Reflected Wave)

➔ 대지, 건물, 산악, 반사판 등에서 반사한 후 수신점에 도달하는 전파

③ 지표파(Surface Wave)

➔ 전도성의 지표면을 따라 수신점에 도달하는 전파

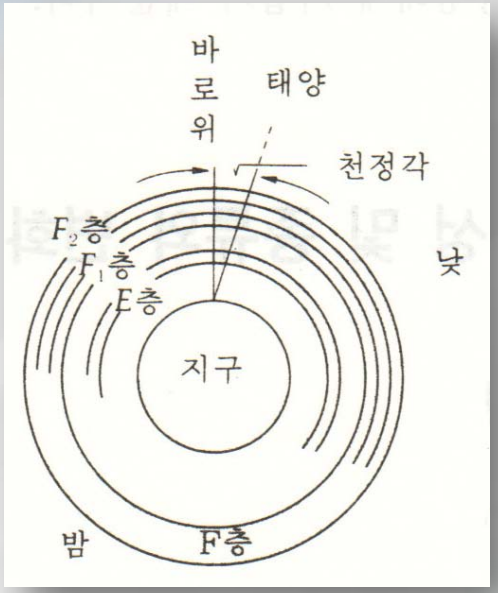
④ 회절파(Diffracted Wave)

➔ 지상의 장애물을 넘어서 또는 돌아서 수신점에 도달하는 전파

* 공간파(空間波 : space wave)란?

- 직접파와 대지반사파를 통합한 명칭으로 일명 시계파(視界波)라고도 함
- 직접파, 대지반사파, 대류권파로 분류하기도 함

전파의 분류



❖ 전파통로에 의한 분류

- 공중파(또는 상공파)

① 대류권파(Tropospheric Wave)

㉠ 대류권 굴절파(tropospheric refraction wave)
➔초굴절 현상(대기의 굴절률차)에 의해 전파

㉡ 대류권 반사파(tropospheric reflection wave)

㉢ 대류권 산란파(tropospheric scattering wave)
➔ 대기와류에 의한 유전율의 급격한 변동에 따른 산란현상에 의한 전파

② 전리층파(ionospheric wave)

㉠ 전리층 반사파(ionospheric reflection wave)
➔ D층, E층, E 층 및 F층 반사파

㉡ 전리층 산란파(ionospheric scattering wave)
➔ 전리층(E층 하부)의 전자밀도 불균일에 의한 산란현상에 의한 전파

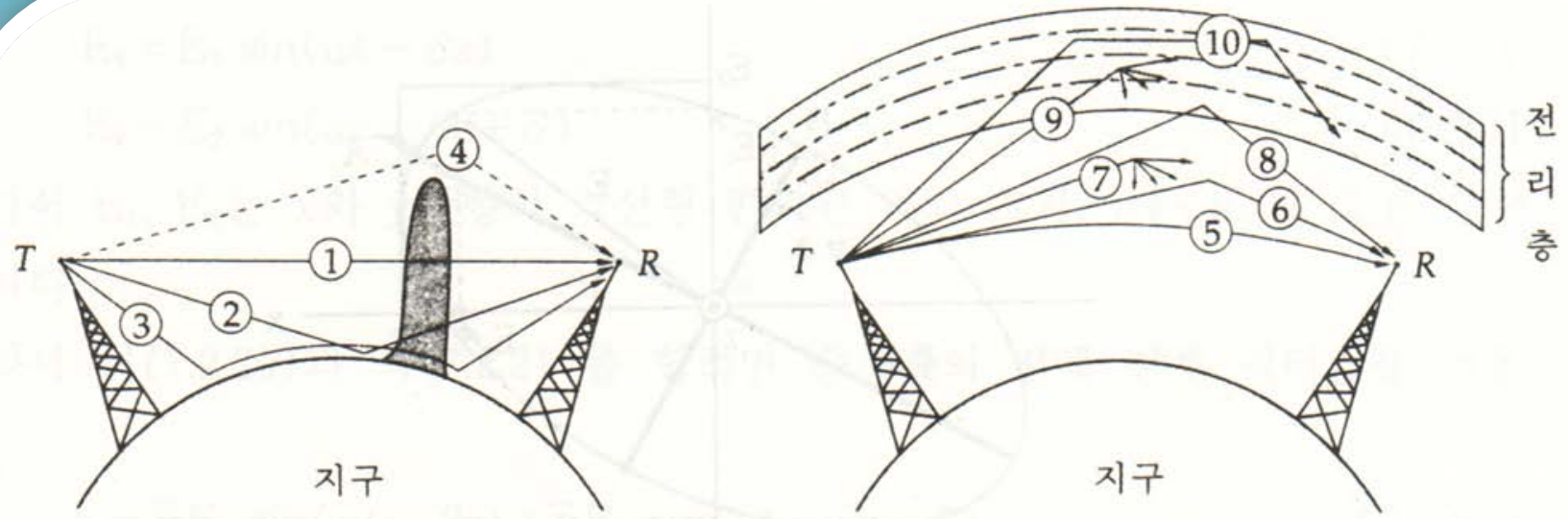
㉢ 전리층 활행파 : 전리층을 따라서 수신점에 도달하는 전파

* 실제 통신에 이용되는 전파통로는 단독으로 존재하지 않고 2종 이상의 통로 가 동시에 존재한다.

전파의 분류

동서울대학
DONG SEOUL UNIVERSITY

❖ 전파통로에 의한 분류



① 직접파 ② 대지반사파 ③ 지표파 ④ 회절파 ⑤ 대류권굴절파
⑥ 대류권반사파 ⑦ 대류권 산란파 ⑧ 전리층 반사파 ⑨ 전리층 산란파
⑩ 전리층 활행파

* 지상파 : ①~④, 공중파 : ⑤~⑩

그림 7.3.1 전파의 전파통로(傳播通路)

전파의 분류

동서울대학 DONG SEOUL UNIVERSITY

❖ 주파수에 의한 분류

▪ 주파수와 거리에 따른 전파통로

전파거리(Km)	100 이내			100 ~ 800		800 ~ 4,000		4,000 이상	
주파수	지표파	직접파	대지반 사파	주	야	주	야	주	야
장 파	○			○	○				
중 파	○			○	○				
중 단 파	○	○			○	○	○	○	○
단 파		○			○	○	○	○	○
초 단 파			○		○	○	○		
극초단 파					○		○		

▪ 주파수에 따른 주요 전파양식

주 파 수 대	주요 전파양식
장 파 . 중 파 대	지 표 파
단 파 대	전 리 층 파
초 단 파 대	직 접 파 와 반 사 파
마 이 크 로 파 대	직 접 파

전파의 분류

❖ 전송형식에 의한 분류

- **전송형식 표현방법 ➔ [①] [②] [③]**

형식 또는 특성	기호	의 미
변 조 형 식 ①	A	진폭 변조
	F	주파수 변조
	P	펄스 변조
전 송 형 식 ②	0	변조되지 않은 반송파
	1	단속되는 C.W(반송파)전신, 변조용 가청주파수를 사용치 않는 전신
	2	1 또는 2개 이상의 변조용 가청주파수를 사용하는 전건조작
	3	전화
	4	사진 및 모사전송(facsimile)
	5	텔레비젼
	9	복합된 전송 및 위의 각 항에 해당하지 않는 것
보 조 적 특 성 ③	무	전반송파의 양측파대
	a	저감반송파의 단측파대
	b	저감반송파의 2독립측파대
	c	저감반송파의 기타의 발사
	d	진폭변조된 펄스
	e	폭변조된 펄스
	f	위상(또는 위치)변조된 펄스
예 외	B	