

다층불균일매질에서 반대방향의 전자기파들이 통과할 때 그 세기에 대한 연구

정원철, 리영명

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《새 세기 산업혁명은 본질에 있어서 과학기술혁명이며 첨단돌파에 경제강국건설의 지름길이 있습니다.》

공간에서 전자기파의 전파특성을 정확히 밝히는것은 무선통신과 무선측정의 정확성과 믿음성을 높이는데서 중요한 의의를 가진다.

지난 시기 공간에서 전자기파에 의하여 대상물의 위치와 크기를 결정할 때 그것을 점목표로 보거나 대상물의 매질상태가 고르롭다고 보고 신호처리를 하였다.[1, 2] 그러나 대상물이 일정한 크기를 가지고있고 그것의 내부상태가 불균일한 경우와 구름과 같이 공간매질상태가 고르롭지 못한 경우를 고려하여 전자기파의 전파특성을 밝히지 못하였다.

론문에서는 불균일매질에서 서로 마주오는 2개의 파가 통과할 때 파의 세기변화에 대하여 서술하였다.

1. 다층불균일매질에서 전자기파의 모형화

파장이 같은 두 전자기파가 마주오면서 다층불균일매질을 통과하는 과정을 그림 1에 보여주었다.

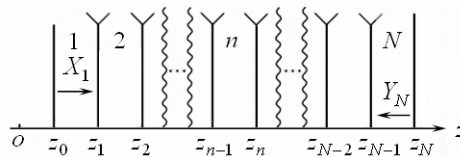


그림 1. 다층불균일매질에서 파들의 전파과정

그림 1에서 보는바와 같이 매질은 N 개의 층으로 이루어져있으며 n 은 층의 번호이다. 그리고 정의 방향 oz 축으로 전파하는 파들의 진폭들은 X_n , 부의 방향으로 전파하는 파들은 Y_n 으로 표시하고 전파상수를 k_n 으로 정하였다. 또한 z_0 과 z_N 에서의 반사는 없다고 본다.

이때 매질에 입사하는 파들은 X_1 과 Y_N 으로서 다음과 같이 표시할수 있다.[1, 3]

$$X_1 = X_0$$

$$Y_N = Y_0 \cdot \exp(i\varphi)$$

여기서 φ 는 X_1 파에 대한 Y_N 파의 위상차이다.

그러면 매 층에서의 마당세기는 다음과 같다.

$$V_n = X_n \cdot \exp[-ik_n(z - z_{n-1})] + Y_n \cdot \exp[ik_n(z - z_{n-1})] \quad (1)$$

이것들을 파동함수와 그것의 미분함수들의 경계조건에 대입하면 $X_2, \dots, X_N, Y_1, \dots, Y_{N-1}$ 에 관한 $2N-2$ 개의 선형대수방정식계로 넘어가며 이 방정식계를 풀면 매 층에서의 진폭들을 얻게 된다.

2. 다층불균일매질에서 출구파들의 진폭

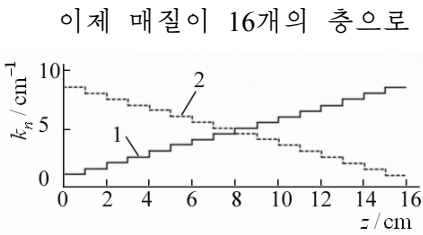


그림 2. 자리표에 따르는 파수관계
1-파수가 자리표축을 따라 선형적으로 증가하는 경우, 2-파수가 자리표축을 따라 선형적으로 감소하는 경우

한 자리표 z 에 따르는 파수는 다음과 같다고 하자.(그림 2)

$$k_n = 1 + 0.5(z_n - 1) \quad (2)$$

$$k_n = 8.5 - 0.5(z_n - 1) \quad (3)$$

곡선 1은 식 (2)에 따라 파수가 증가하는것을 보여 주고 곡선 2는 식 (3)에 따라 파수가 감소하는것을 보여 준다.

매질 1로부터는 정방향으로 진폭이 X_0 인 파가 입사하고 매질 16으로부터는 반대방향으로 진폭이 Y_0 인 파가 입사한다. 한편 매질 1로부터는 진폭이 Y_1 인 역방향파가, 매질 16으로부터는 진폭이 X_{16} 인 정방향파가 공간으로 복사된다.

간단히 하기 위하여 모든 진폭들은 X_0 으로 규격화하고 $X_0 = 1$ 로 설정하자.

역방향입사파의 진폭 Y_0 을 변화시킬 때 매질로부터 두 방향으로 벗어나는 파들의 진폭 Y_1 과 X_{16} 을 식 (1)에 의하여 얻어진 선형방정식계로부터 구하면 그림 3과 같은 특성곡선을 얻을수 있다.

그림 3에서 곡선 1과 2는 파수의 증가에 해당되고 곡선 3과 4는 감소에 해당된다. 그리고 곡선 1과 3은 진폭 Y_1 을, 곡선 2와 4는 진폭 X_{16} 을 보여준다.

입사파의 진폭 Y_0 은 -2 부터 $+2$ 까지 변화되는데 여기서 $+부호$ 는 Y_0 과 X_0 이 위상이 일치하다는 것, $-부호$ 는 반대위상이라는것을 보여준다.

그림 3으로부터 출구파의 진폭은 $Y_0 = 0$ 근방에서 최소점을 가진 V형특성을 가지며 Y_0 의 절대값이 클 때에는 선형적으로 증가한다는것을 알수 있다.

곡선 1의 최소값은 $Y_0 = 0.001$ 에, 곡선 2의 최소값은 $Y_0 = -0.004$ 에, 곡선 3과 4의 최소값은 각각 $Y_0 = -0.007$, $Y_0 = -0.034$ 에 있다.

이처럼 그림 3에 보여준 곡선들은 수직축에 대하여 완전한 대칭이 아니다.

그것의 비대칭성정도를 보여주기 위하여 다음의 표에 매질로부터 역방향으로 벗어나는 파의 진폭 $Y_1^{(\pm)}$ 와 정방향으로 벗어나는 파의 진폭 $X_{16}^{(\pm)}$ 의 수값들을 제시하였다.

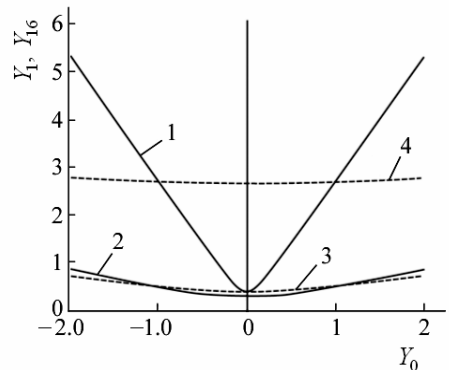


그림 3. 역방향입사파진폭에 따르는 매질로부터 벗어나는 2개의 파들의 진폭관계

표에서 우의 첨수 +는 자리표 z 가 증가함에 따라 매질밀도가 증가하는데 해당된 것이고 첨수 -는 매질밀도가 감소하는데 해당된 것이다. 그리고 모든 진폭들은 X_0 으로 규격화되었다.

표로부터 서로 반대로 마주오는 입사파의 위상이 일치할 때와 반대일 때 즉 $Y_0 = -1, -2$ 와 $Y_0 = +1, +2$ 일 때 출구파들의 진폭들은 0.5%정도 차이 나는데 이것은 비록 그 크기가 크지 않다고 하여도 그림 4에 보여준 곡선들이 비대칭성을 가지게 한다.

최소점들이 존재하고 Y_0 의 절대값이 충분히 클 때 Y_1 과 X_{16} 이 선형증가하는것은 어느 한 입사파진폭이 다른것보다 훨씬 크면 그 진폭과 두 출구파의 진폭들이 비례하기때문이다.

곡선들의 최소점들이 수평선을 따라 서로 차이 나는것은 정, 역방향파에 에너지 흐름들 사이의 위상관계에 의한것이다.

표. Y_0 에 따르는 $Y_1^{(\pm)}$ 와 $X_{16}^{(\pm)}$ 의 관계

Y_0	$Y_1^{(+)}$	$Y_1^{(-)}$	$X_{16}^{(+)}$	$X_{16}^{(-)}$
-2	5.353	2 0.744	4 0.863	9 2.791
-1	2.700	3 0.509	7 0.509	7 2.700
0	0.403	2 0.403	2 0.313	9 2.668
1	2.696	2 0.512	2 0.512	2 2.696
2	5.349	1 0.747	8 0.866	8 2.783

맺 는 말

정방향으로 입사하는 파의 진폭이 일정할 때 매질로부터 벗어나는 파들의 진폭과 역방향으로 입사하는 파의 진폭사이에는 V형관계가 있다. 이때 매질로부터 벗어나는 파의 진폭은 역방향입사파의 진폭이 령인 근방에서 최소이고 입사파의 진폭에 따라 선형적으로 증가한다.

참 고 문 헌

- [1] Mattias Thorsell et al.; IEEE Transactions on MTT, 60, 1, 149, 2012.
- [2] Saverio Trotta et al.; IEEE Transactions on MTT, 60, 3, 778, 2012.
- [3] D. A. Leatherwood et al.; IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 49, 12, 1843, 2001.

주체107(2018)년 2월 5일 원고접수

Study on the Opposite Electro-Magnetic Wave's Strength Crossing in Multi-Layer Uneven Medium

Jong Won Chol, Ri Yong Myong

The paper showed the passing characteristics of two opposite electro-magnetic wave in uneven medium of which number of vibration linearly changes. In case of constant amplitude of incidence wave in forward direction, there is the V type relation between the wave that turns out from medium and the incidence wave in reverse direction.

Key words: incidence wave, number of vibration, medium