

MATLAB을 이용한 진행파 계산 및 분석에 관한 연구

한용희, 여상민, 김철환
성균관대학교

A Study on Analysis of Traveling Waves using MATLAB

Yong-Hee Han, Sang-Min Yeo, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 전력 수요가 증가하고 사용자가 더 나은 서비스와 안정성을 요구함에 따라 전력 계통에서의 과도현상에 많은 관심이 모아지고 있다. 본 논문은 Bewley의 격자도와 진행파 이론을 사용하여 전송선에서 전압이나 전류의 인가 시 발생하는 진행파를 분석하였다. 또한 MATLAB을 이용하여 격자도나 진행파 이론 보다 더 쉽게 과도현상을 분석하는 방법을 모색해보고 시각적으로 표현하고자 한다. 진행파는 전송선로의 고장이나 외란에 의해서도 큰 영향을 받으므로 계통의 안정성을 높이기 위해서는 전자기적 과도현상을 이해하는 것이 중요하다. MATLAB을 이용하여 진행파를 분석하는 프로그램을 작성해 보고 하나의 사례를 들어 과도현상을 시각적으로 나타내었다. 이것은 과도현상을 이해하는데 도움이 될 것이다.

$$\Gamma_{\alpha} = \frac{Z_B(s) - Z_1}{Z_B(s) + Z_1}, \quad \Gamma_{\beta} = \frac{2Z_B(s)}{Z_B(s) + Z_1}$$

진행파를 해석하는 데는 복잡한 수학적 계산을 필요로 한다. 분기점에서 나누어진 진행파는 각각 분기한 진행파마다 투과파와 반사파를 갖는다. 이 각각의 투과파와 반사파는 또 다시 나뉘기 때문에 복잡하고 많은 계산과정의 반복을 요한다. 이것을 좀 더 보기 쉽고 계산하기 편하게 돕는 것이 다음에 소개할 격자도이다.

1. 서 론

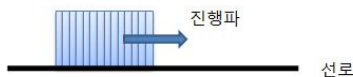
전송선로에서 전압이나 전류의 진행은 하나의 파의 형태로 나타나게 된다. 이를 진행파라 하며, 이 진행파는 과도현상을 거쳐 정상상태를 갖게 되는데 전송선로의 고장이나 외란에 의해 큰 영향을 받으므로 전자기적 과도현상의 분석은 이러한 비정상적 상태를 해석하는데 매우 중요하다. 진행파를 해석하는데 있어 가장 기본적인 방식은 복잡한 방정식을 이용하는 것이다. 하지만 수식이 매우 복잡하고 외란의 발생 위치, 전원, 선로특성과 같은 다양한 변인이 존재하기 때문에 계산으로 해를 얻는 것은 어려운 일이다. 그러므로 직접 전압과 전류의 파형을 쫓아 계산하기 보다는 다른 방법으로의 계산 방법이 필요하게 되었다. L. V. Bewley는 격자도를 제안하였는데, 이것은 시간에 따른 파형의 크기변화를 시각적으로 보여주며, 전송선에서의 입사파에 대한 반사파와 투과파를 좀 더 쉽게 계산할 수 있게 하였다.

본 논문에서는 MATLAB을 이용하여 진행파 분석 프로그램을 작성하여 보았다. 먼저 진행파를 이해하고, Bewley의 격자도를 사용하여 과도상태가 정상상태가 되어가는 과정을 그래프로 살펴볼 것이다.

2. 진행 파

2.1 진행파란?

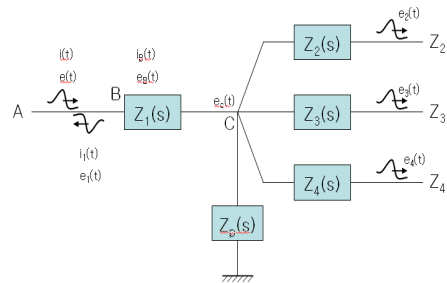
직격뢰 등으로 인하여 전송선로상에 갑자기 자유전하가 분포되면 그 전하는 양분되어 선로 좌우로 이동하는데, 이것은 전위 및 전류분포의 이동을 의미한다. 이와 같이 전하, 전위 및 전류의 파가 그림 1과 같이 선로 상을 이동하는 것을 진행파(traveling wave)라고 하며, 이상전압의 이동도 진행파의 전파로 생각할 수 있다[1].



<그림 1> 진행파

2.2 진행파의 반사와 투과

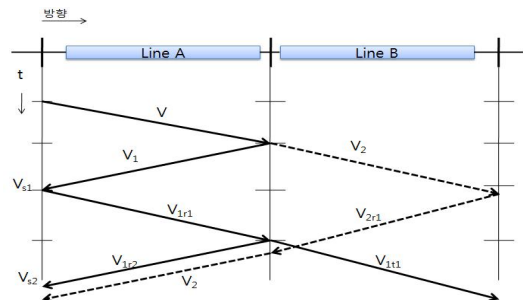
선로상을 전파하는 진행파는 파동 임피던스가 다른 선로의 접속점에 도달하면 그 일부는 반사되고 나머지는 투과한다. 그림 2와 같은 경우를 보면, 점 A로부터 진행해 온 입사파 전압 $e(t)$, 입사파 전류 $i(t)$ 는 점 B에서 일부 반사되고 나머지는 투과하여, $Z_1(s)$ 를 통하여 점 C에서 각 선로로 분류된다. 접속점에서 분류되는 파의 값은 반사계수와 투과계수에 의해서 결정된다. 반사계수 Γ_{α} 와 투과계수 Γ_{β} 는 다음의 식으로 구할 수 있다.



<그림 2> 진행파의 반사와 투과

2.3 격자도 해석

격자도는 전자기적 과도현상을 그림으로 해석하는 방법이다[2]. 광범위하게 연결된 네트워크에서 하나의 진행파는 각각의 말단을 지나면서 쪼개고 나누어진다. 이 나누어진 진행파들이 반사가 되어 돌아오면서 다시 나누어지게 되는데, 이런 과정의 반복으로 하나의 입사된 진행파는 많은 수의 파를 생성하게 된다. 복잡하게 나누어진 파는 처음에 입사된 진행파와 결국에는 같은 준위의 에너지를 갖게 된다. 진행파의 이동에 의해서 시간에 따른 에너지 준위의 변화가 생기게 되고 이를 쉽게 계산하기 위해서 L. V. Bewley에 의해 격자도가 고안되었다.



<그림 3> Lattice Diagram

3. MATLAB을 이용한 진행파 분석

3.1 MATLAB 소개

MATLAB은 MATrix LABoratory의 약자로 공학적이고 과학적인 계산을 수행하는데 활용되는 특수한 목적의 컴퓨터 프로그램이다. 처음엔 행렬을 계산하기 위해 고안된 프로그램이었지만, 최근에는 어떤 기술적 문제도 풀 수 있는 프로그램으로 발전하였다[3].

3.2 개념도



〈그림 4〉 Flow Chart

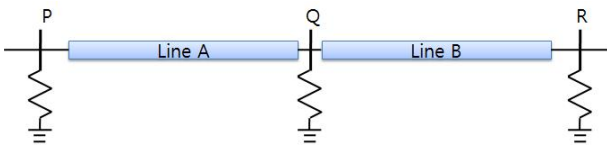
먼저 임의의 선로에 대한 임피던스와 선로 특성에 대한 값을 입력받는다. 이 때 필요한 값은 두 가지 종류의 선로가 연결되었다고 가정하면 각각의 선로가 갖는 임피던스와 파의 진행 속도, 선로의 길이 등을 입력받아야 한다. 이 입력받은 값을 사용하여 반사계수를 구한다.

다음으로 진행파는 매질이 바뀌는 지점에서 투과하는 파와 반사하는 파로 나뉘게 되므로 반사계수를 사용하여 값을 계산한다. 각각의 방향에 따라 진행파를 나누고 그 값은 선로의 송전단과 수신단에서 다시 되돌아 올 것이므로 함께 계산하기로 한다. 이러한 과정을 여러 번 반복하여 진행파가 갖는 에너지 준위를 살펴본다.

시간이 지나면서 진행파는 변화량이 줄게 되고 점점 일정한 값을 향해 수렴해간다. 이 값을 시간에 대해 누적함으로써 과도상태에서 정상상태로 진행되는 모습을 관측할 수 있다.

3.3 분석 사례

처음 전압 인가 시 전송선로의 과도현상을 분석하기 위하여 다음 그림과 같은 선로를 구성한다.



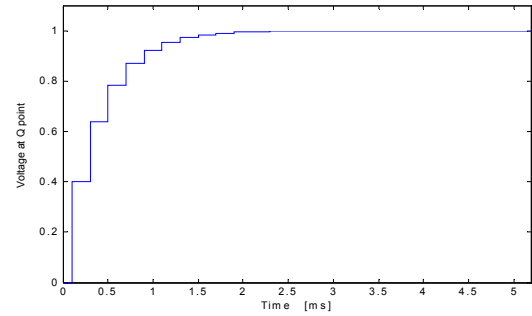
〈그림 5〉 단선도

각각의 선로는 다음과 같은 파라미터를 갖는다고 가정하였고 Case 1 과 Case 2의 두 가지 경우에 대해서 분석하였다. Case 1은 P, Q, R Point에서 접지되지 않고 수신단의 임피던스가 ∞ 인 경우를 나타내고, Case 2인 경우는 선로의 임피던스는 같지만 P, Q, R point에 저항이 존재하는 경우로 모델링하였다.

〈표 1〉 선로의 파라미터

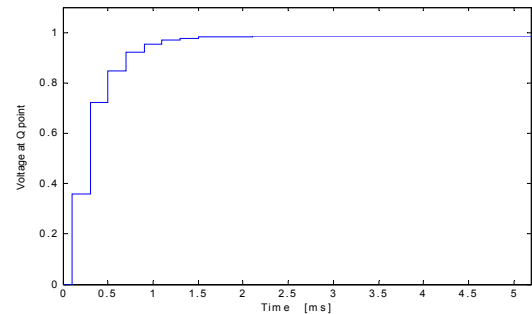
	Z	L	V
Case 1			
Line A	400 Ω	30 km	3×10^8 m/s
Line B	100 Ω	20 km	2×10^8 m/s
Case 2			
Line A	400 Ω	30 km	3×10^8 m/s
Line B	100 Ω	20 km	2×10^8 m/s
Point P	600 Ω		
Point Q	800 Ω		
Point R	800 Ω		

MATLAB을 이용하여 작성한 진행파 분석 프로그램에 표 1과 같은 파라미터를 입력한 후 출력되는 그래프를 관찰하였다. 이때 측정되는 값은 처음 인가된 전압을 기준으로 상대적인 값을 나타내며, 측정은 Q point에서 하였다.



〈그림 6〉 Case 1의 Q point에서 전압의 상대적 변화

위의 그림 6은 표 1에서 Case 1과 같은 파라미터를 사용했을 때 그림 4의 단선도에서 보이는 Q point 부분에서 전압의 상대적 변화를 나타내며, 처음 인가된 전압이 어떠한 과도상태를 거쳐 처음과 같은 준위인 1의 값을 향해 가는지 보여준다. 다음의 그림 7은 표 1에서 Case 2의 파라미터를 적용하였을 때의 과도상태의 모습을 나타내고 있다.



〈그림 7〉 Case 2의 Q point에서 전압의 상대적 변화

비록 그림 상에서 정확한 1의 값을 갖지는 않았지만 이는 프로그램이 ∞ 의 시간을 표현할 수 없으므로 근사 값을 나타내기 때문이다. 관심을 가져야 할 부분은 앞부분의 과도상태이다. 시간이 0.0003 초인 지점까지 Case 1의 경우와 Case 2의 경우의 값이 확연히 다르게 나타남을 볼 수 있다. 이는 같은 선로의 임피던스를 갖는다고 할지라도 송전단이나 수신단의 임피던스, 그리고 선로의 접지상태에 따라서 과도응답이 달라짐을 말해준다. 또한, 파가 선로를 한번 지나가는데 걸리는 시간을 계산해 보면, 전송선 A는 전송속도 $v = 3 \times 10^8$ [m/s]를 갖고 길이가 30 km 이므로 0.0001 초가 된다. 그림 6과 그림 7은 이런 짧은 시간 동안에 과도응답이 어떻게 나타나는지를 시각적으로 보여주고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 MATLAB을 이용하여 진행파 분석 프로그램을 작성하여 보았다. 선로가 갖는 임피던스에 따라 파의 진행이 달라지며, Case 1 과 Case 2로 나누어 각각의 경우에 대해 직접 작성한 프로그램을 사용하여 Simulation 해 보았다. 전압이나 전류를 인가했을 때 선로는 바로 그 값을 갖는 것이 아니라 짧은 시간이지만 과도상태를 거쳐 정상상태가 되는 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이종범, "(최신) 전력전송공학", 淸文閣, 2007
- [2] G. Sarma, "Power System Analysis and Design", PWS Publishing Company, 2nd Edition, 1994
- [3] Stephen J. Chapman, "Essentials of MATLAB[®] Programming", Nelson, 2006