

# 단축 선형 전동기 구동을 위한 최단시간 이동 방식의 위치 패턴 발생 알고리즘의 구현

金峻奭<sup>†</sup>

## An Implementation of The Position Pattern Generating Algorithm with Minimal Locomotion Time for Single-Axis Linear Machine Drive System

Joohn-Sheok Kim

### 요 약

본 논문에서는 고성능 단축 선형전동기에 적용할 수 있는 최단시간 위치 패턴 알고리즘에 대하여 논한다. 근래 들어 LCD/PDP 및 반도체 산업이 발달함에 따라 대형의 고성능 위치제어 시스템에 대한 요구가 높아지고 있으며 이러한 시스템에서는 공정 주기의 단축을 위하여 시간요소를 최소화시킨 최적 위치 패턴이 반드시 필요하다. 특히 반도체 산업 분야에서는 동작기계 분야와 달리 3차원 입체 위치 패턴 보다는 단축 패턴에 대한 수요가 비교적 많은 편이다. 본 연구에서는 가속도가 사다리형인 위치 패턴을 기본으로 하여 연구를 진행하였으며 위치 및 시간을 변수로 고려한 패턴 분석을 통하여 최단시간에 목적하는 위치에 도달하기 위한 패턴을 비교적 간단히 구현할 수 있음을 보이고 이를 시뮬레이션 및 간이 실험으로 구현 가능성을 입증하였다.

### ABSTRACT

In this paper, a simple but effective position profile generation algorithm for single axis high dynamic linear machine drive system is presented. In the recent industrial application fields like as LCD/PDP and semiconductor factory, requirements for the high performance positioning system with optimal position profile generator are highly increased to reduce the overall processing time. There might be various solutions for position profile generating algorithm according to the application type. A square-wave impact quantity(Jerk) based algorithm with minimal locomotion time is argued in this paper to minimize the total time of one movement under some specific constrains such as maximum speed limit and maximum acceleration limit. In order to reduce the calculation efforts and satisfy the minimal locomotion time condition, the time variants representing each profile sector and a simple condition comparison algorithm are adopted. Also, the actual implementation method for profile generation algorithm and it's real performance results are presented through commercial linear machine drive system.

**Key words** : position profile generation, position pattern generation, positioning system, linear machine drive system

### 1. 서 론

근래들어 반도체와 LCD(Liquid Crystal Display)/PDP(Plasma Display Panel) 산업의 발달과 더불어 초 정밀 이송공정에 대한 수요가 급증하고 있으며 이에 따라 1 $\mu$ m이하의 고정밀도를 갖는 선형전동기 및 고성능 제어장치에 대한 요구가 매우 높아지고 있다. 선형전동

<sup>†</sup>교신저자 : 정희원, 인천대 전기공학과 교수

E-mail : jskim@incheon.ac.kr

접수일자 : 2007. 4. 24      1차 심사 : 2007. 5. 9

심사완료 : 2007. 5. 14

기는 널리 알려진 바와 같이 매우 높은 정밀도와 빠른 운전특성을 장점으로 하고 있다. 이러한 선형전동기를 산업 현장에 적용하기 위해서는 위치 결정형 제어기와 최적 운전 상태를 고려한 위치 패턴 알고리즘이 필요하게 된다[1-4]. 그러나, 패턴 발생기능을 내장한 상용 위치제어기는 그 가격이 매우 높을 뿐만 아니라 일반적으로 4축 이상의 위치 패턴 발생 알고리즘을 실장하고 있기 때문에 산업용 수요의 많은 부분을 차지하는 단축 선형 전동기 제어에 적용하기에는 여러 가지 부담이 따른다. 이에 본 연구에서는 일반적인 상용 서보 드라이버에 효과적으로 적용할 수 있는 단축 위치 패턴 발생 알고리즘에 대하여 논하고자 한다.

4축 이상의 위치 패턴을 발생하는 알고리즘의 경우 각 축 상호간의 위치에 따른 보정을 위하여 일반적으로 선형보간법(linear interpolation method)[1-4]을 사용하기 때문에 연산에 많은 시간이 소비되며 매우 빠른 고급 프로세서를 필요로 한다. 반면, 단축 위치제어 운전의 경우, 고려해야 하는 사항이 전동기의 최대 허용 속도에 따른 제한 및 최대 가속도에 따른 제한에 한정되므로 비교적 쉽게 알고리즘을 구현할 수 있다.

단축 위치제어에서 패턴을 발생시켜서 목적 위치까지 이송물을 이동시키는 방법은 속도 패턴을 기본으로 제어하는 방법과 위치 패턴을 기본으로 제어하는 방식 두가지로 나눌 수 있다. 속도 패턴을 기본으로 제어하는 방식의 대표적인 사례로 엘리베이터 시스템을 들 수 있다. 이 분야에서는 통상적으로 긴 거리를 주행하게 되고 케이블의 장력에 따른 위치 오차가 수반되므로 속도 패턴에 의지하여 제어를 수행하고 목적 위치 근처에서 속도 패턴을 조작하여 목적위치에 도달하는 기법 [5][6]을 사용하고 있다. 이 방식의 경우 항상 특정 제한 속도로 긴 거리를 주행하기 때문에 불특정 위치에 대한 최단 시간 이동의 개념을 도입하기 어렵다. 본 논문에서는 일반적인 산업용 위치제어 시스템에 적용할 수 있는 위치패턴 결정형 패턴알고리즘에 대한 연구를 진행하였다.

단축 위치 패턴을 발생하는 방법은 가속도를 어떤 형태로 구성하느냐에 따라 약간씩 다르게 전개된다. 일반적으로 사용하는 가속도의 형태는 크게 정현파, 구형파, 사다리형 파형 등이 있으며, 가속도의 형태에 따라 장단점이 있다. 본 연구에서는 연산량이 비교적 적으면서도 효과적으로 구현할 수 있는 사다리형 가속도 패턴

을 사용하는 방식을 기준으로 최단 시간 이동이 가능한 위치 결정형 패턴 발생 기법에 대하여 기술한다. 가속도 패턴이 사다리형인 경우에 사다리형의 기울기를 일정하게 유지시키면 가속도의 미분, 즉 가가속도 값이 일정하게 작용하므로 이송물의 허용 충격량 내에서 이송물을 안전하게 이송시킬 수 있는 장점이 있다. 반면에 공정상 주어지는 이동 거리를 정확하게 이동하기 위해서 이동 속도(Speed) 및 가속도(Accel), 가가속도(Jerk)에 대한 3가지의 자유도가 발생하므로 이 자유도를 적절하게 사용해서 최적의 패턴을 발생시켜야 하는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 가가속도를 주어진 특정 값으로 일정하게 유지시키면서 허용된 속도 및 가속도의 제한 하에서 최단 시간 내에 목적 거리를 이동하는 알고리즘을 제안한다. 가가속도를 일정하게 유지시키는 이유는 전술한 바와 같이 충격량을 일정하게 유지하여 이송물의 안전을 보장함과 동시에 자유도 하나를 제거하여 연산량이 보다 적은 알고리즘을 구현할 수 있기 때문이다. 제안된 알고리즘에서는 특정 가가속도와 특정 가속도를 갖는 패턴이 발생할 경우 목적 위치에 도달하기까지의 속도 패턴이 좌우 대칭을 이룬다는 점을 이용하여 매우 효율적으로 이송거리 대비 최단 시간을 갖는 위치 패턴을 구성할 수 있음을 보인다. 아울러, 마이크로프로세서를 이용하여 실제 패턴을 실시간으로 생성하는 기법을 정리하여 기술하였으며 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션과 32Bit급 DSP를 이용한 실험 결과를 제시하여 그 성능을 입증하였다.

## 2. 위치 패턴 발생 방식의 종류

위치 패턴을 발생시키는 방식은 속도 패턴의 좌우 대칭 여부에 따라 크게 두가지로 나눌 수 있다. 속도 패턴이 좌우 대칭이 아닌 경우는 가속시와 감속시의 가속도 형태가 다른 경우를 의미하며 주로 속도가 0으로 완전히 감속하지 않은 상태에서 다른 위치로의 이동을 위하여 다시 가속하는 연속 이동 동작에서 주로 사용되며 2축 이상의 선형 전동기의 조합을 통하여 2차원 혹은 3차원 상에서 선형보간(linear interpolation)기법이 사용될 때 나타난다. 본 연구의 목적이 단일 이동 동작에서 보다 간단하게 목적 위치에 도달하는 기법에 한정하므로 선형보간에 대한 서술은 더 이상 언급하지 않으며 속도 패턴이 대칭인 경우에 한정하여 논의를 진행한다.

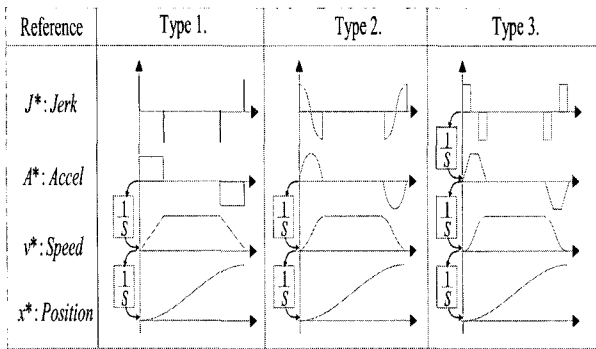


그림 1 좌우 대칭형 속도 패턴을 갖는 위치 결정 패턴 발생 방법  
 Fig. 1 The position pattern generation method with symmetry speed pattern

속도 패턴 구조의 위치 패턴이 갖는 일반적인 형태를 그림 1에 도시하였다. 그림1의 첫 번째에는 가속도가 구형과 형태를 갖는 가장 단순한 패턴 발생 방법이 도시되어 있다. 이 방식은 구현이 간단하다는 장점이 있지만 가속도의 미분에 해당하는가가속도, 즉 충격량이 임펄스 형태로 나타나는 문제가 있기 때문에 유리 등과 같은 깨어지기 쉬운 물질로 이루어진 이송물을 운반하는 방식으로는 적합하지가 않다.

두 번째 파형은 가속도가 정현파 형태를 갖는 경우이다. 이 경우는가가속도가 일정 값 이하로 제한되며가가속도 역시 정현파의 형태를 갖게 되므로 보다 부드러운 움직임이 가능하다는 장점이 있다. 그러나, 속도 및 가속도에 대한 자유도를 모두 고려할 경우 비선형 방정식을 풀어야 하는 문제가 발생하므로 안정성이 우선시되는 산업용 서보에 실시간으로 적용하기 어렵다. 엘리베이터 시스템과 같이 비교적 긴 이동거리가 보장되는 시스템에서는 항상 일정 주행 속도가 나타나므로

이에 대한 자유도를 제거하여 보다 쉬운 연산이 가능하기 때문에 고급형 엘리베이터 시스템 등에 적용할 수 있다. 세 번째에는 대칭 속도 패턴을 갖는 전형적인 S 커브 형태의 위치 패턴 발생 방식이 도시되어 있다. 이 방식은가가속도가 일정하게 주어지므로 이송물에 항상 일정한 충격량이 전달되어 피이송물을 안전하게 보호할 수 있으며 비교적 적은 연산량으로 패턴을 구현할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 세 번째 도시되어 있는 패턴을 기본으로 하여 미리 주어진 특정가가속도 및 가속도, 속도의 제한 하에서 최단 시간 내에 목적 위치로 이송 동작이 가능한 최적 위치 패턴 발생 방식에 대하여 논한다.

### 3. 대칭형 속도 파형의 위치 패턴 종류

위치 패턴을 구성하기 위해서는 일단 목적 거리 ( $X_{DIST}$ ), 최대 속도 ( $S_{MAX}$ ), 최대 가속도 ( $A_{MAX}$ ), 최대가가속도 ( $J_{MAX}$ )를 미리 설정할 필요가 있다. 최대속도 및 최대 가속도는 일반적으로 공정상의 필요성이나 전동기 허용속도 및 인버터의 용량에 따라 특정값으로 주어진다. 예를 들어 LCD 패널을 운반하는 선형전동기에서는 대체적으로 0.5 - 2m/s의 최대 허용속도를 갖게되며 모터의 최대 속도 및 공정상의 허용속도 등을 고려하여 특정 최대속도값을 사용하게 된다. 최대 가속도의 경우에도 마찬가지로 모터의 정격 추력(혹은 최대 추력)과 이동자의 질량 등을 고려하여 특정값을 사용하며 예를 들어 100N이 최대 추력인 선형 전동기에서 이동자 질량이 5kg일때  $20m/s^2 (F=ma)$ 의 최대 가속도를 사용할 수 있다(물론 이 값은 공정상의 허용한계를 고려하

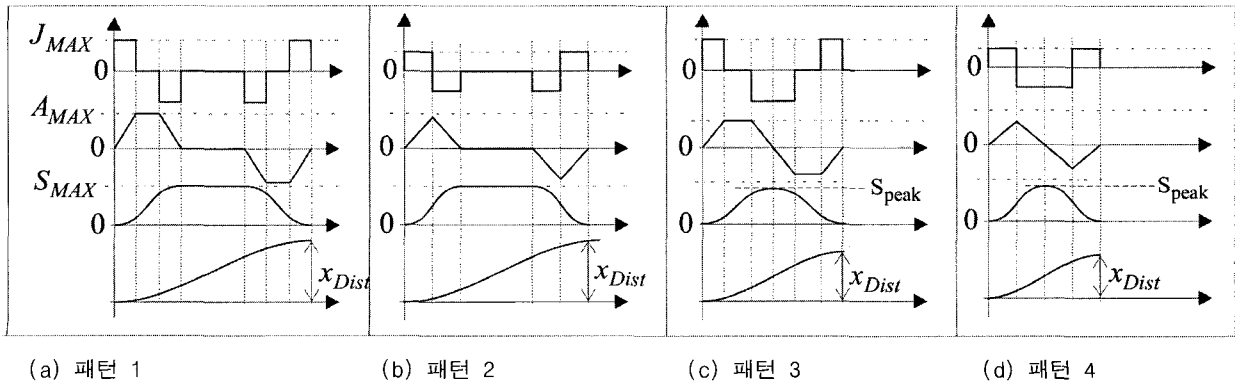


그림 2 운전 조건에 따른 위치 패턴 형태  
 Fig. 2 The type of position patterns according to the operating condition

여 제조정될 수 있다). 한편, 최대 가가속도의 경우에는 이송체에 인가되는 충격량을 결정하므로 보다 신중할 필요가 있으며 이송체의 종류(공구 혹은 유리 등등) 및 공정처리 속도 등을 고려하여 적절한 값이 사용되며 500 - 3000m/s<sup>3</sup> 정도의 값이 사용된다. LCD패널과 같이 손상되기 쉬운 물질이 이송체에 탑재되어 있는 경우에는 충격량을 최소화하기 위하여 1000 이내의 값이 적절하다. 이 값은 가속도가 증가하는 비율로서 큰 값일 수록 가속도가 빠르게 증가하고 아울러 속도 역시 빠르게 증가하므로 전체 이송 공정의 시간을 결정하는데 있어서 매우 중요한 요소로 작용한다. 극단적으로 가속도가 구형과 형태인 경우에는 가가속도가 임펄스형태로 무한대의 값을 갖게되므로 보다 빠른 이송이 가능할 수는 있으나 이송체에는 큰 충격이 가해지므로 고성능 운전 패턴으로는 적합하지가 않다. 간혹 저급 엘리베이터에서 구형과형태의 가속도를 갖는 속도 패턴이 사용되는 경우가 있으며 이 경우에는 출발 혹은 정지시에 큰 충격 및 어지러움 등을 느낄 수 있다.

최단 시간 내에 특정 거리를 이동하기 위해서는 주어진 속도의 제한( $S_{MAX}$ ) 하에서 가장 높은 속도로 이동해야 하며 가장 빠르게 속도를 증가시키려면 가속도 역시 최대 가속도( $A_{MAX}$ )를 유지해야 한다. 그러나, 경우에 따라서는 최대 속도 혹은 최대 가속도에 도달하기 전에 목적 위치로 이동되는 경우가 발생할 수 있으며

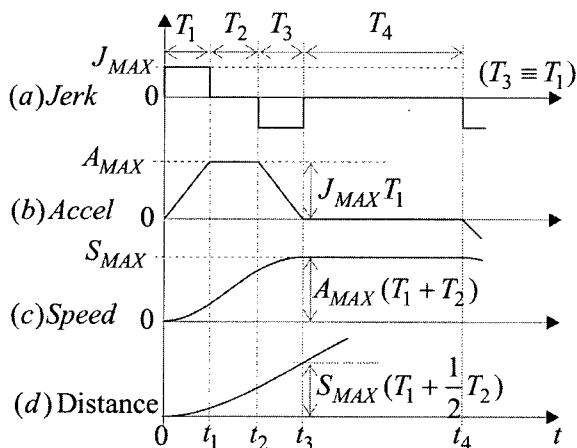


그림 3 최대 속도, 가속도 운전시의 패턴. (패턴1)  
 Fig. 3 The pattern type 1 with speed and acceleration limit  
 (a) 가가속도 [ $m/s^3$ ] (b) 가속도 [ $m/s^2$ ]  
 (c) 속도 [ $m/s$ ] (d) 이동 거리 [m]

이 경우에는 최대 속도 혹은 최대 가속도를 유지할 수 없는 별도의 패턴이 사용되어야 한다. 목적위치에 도달하기까지 전동기는 가속구간 과 감속구간을 갖게 되며 속도 패턴이 좌우 대칭인 경우에는 가속구간 동안 이동한 거리와 감속구간동안 이동한 거리가 같게 된다. 따라서, 패턴 구성에서 일차적으로 고려해야할 사항은 목적거리의 1/2 이내로 가속구간을 제한해야한다는 것이다. 가속구간이 제한되면 이 구간에서 최대속도 혹은 최대 가속도를 모두 사용할 수 없는 패턴이 발생할 수 있다.

이러한 사항을 모두 고려하면 최대 가가속도, 최대 가속도, 최대 속도가 일정하게 주어질 때 목적 거리에 따른 위치 패턴의 형태가 그림 2와 같이 네 가지 경우로 나누어진다. 그림에서 1점 쇄선의 가로선으로 표시되는 부분이 주어진 최대 가가속도, 가속도, 속도를 의미한다. 그림2.(a)는 주어진 최대 가속도, 최대 속도를 모두 사용하여 목적위치에 도달하는 ‘패턴1’의 경우이며 먼 거리를 이동 할 때 통상적으로 나타나는 패턴이다. 그림2.(b)는 최대 속도는 유지할 수 있으나 최대 가속도를 모두 사용하지 못하는 ‘패턴2’의 경우이다. 일반적으로 최대 속도가 작게 주어진 경우에 나타난다. 이상의 두 경우는 최대 속도까지 가속하여 속도가 일정하게 유지되는 ‘일정 속도 구간’이 나타나는 패턴이며 가속시의 이동거리가 목적거리의 절반이하인 경우이다. 다음 그림2.(c)는 최대 가속도를 사용할 수 있으나 최대 속도를 사용하지 못하는 ‘패턴3’의 경우이다. 그림2.(d)에는 최대속도 및 최대 가속도를 모두 사용하지 못하는 ‘패턴4’의 경우가 도시되어 있다. ‘패턴3’ 및 ‘패턴4’의 특징은 가속거리가 목적거리의 절반에 해당한다는 것이다. 위의 네 가지 패턴 이외에 가가속도를 허용된 최대 가가속도 이하로 설정하여 패턴을 발생시키는 경우가 있으나 이때에는 최단 시간에 목적거리를 이동하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 다루지 않는다.

이상의 네 가지 형태는 주어진 최대 가가속도, 가속도, 속도가 어떤 값을 갖느냐에 따라 결정된다. 따라서, 각 조건에 따라 어떤 형태를 갖느냐를 결정하는 것이 패턴 발생의 시작점이 된다. 최단 시간 내에 목적거리를 이동한다는 기본 목적을 만족시키기 위해서는 가능하면 최대 속도로 이동해야하며 이에 따라 최대속도가 나타나는 ‘패턴1’ 혹은 ‘패턴2’의 경우가 최적 패턴으로서 가장 바람직한 형태라고 할 수 있다. 본 연구에서

개발된 알고리즘은 연산의 단순화를 위하여 일단 ‘패턴1’ 혹은 ‘패턴2’의 경우로 패턴이 발생할 수 있다고 가정하여 연산을 진행하며 가속구간 동안 이동한 거리가 목적거리의 1/2 보다 큰 경우에는 ‘패턴3’ 혹은 ‘패턴4’의 연산을 진행하도록 구성하였다.

#### 4. 최단시간 이동 위치 패턴 구현

##### 4.1 최대 속도 및 최대가속도를 사용하는 경우의 패턴(패턴 1)

‘패턴1’이 성립될 경우에 파형 및 유지시간을 그림 3에 도시하였다. 그림에서  $T_1$ 은 일정가가속도가 유지되는 시간이며  $T_2$ 는 일정 가속도가 유지되는 시간이다. 또한, 시간축 상의  $t_1$ 은 ‘패턴1’에서 시작지점부터 일정 가속도 구간까지 도달하는 시간,  $t_3$ 는 일정속도에 도달하는 시간을 의미한다. 이때가가속도(Jerk) 및 가속도(Acc), 속도(Speed), 이동거리(Dist)의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Acc &= \int Jerk \cdot dt \\ Speed &= \int Acc \cdot dt \\ Dist &= \int Speed \cdot dt \end{aligned} \quad (1)$$

따라서, ‘패턴1’의 경우 그림 3에 도시된 관계로부터 다음의 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} Acc &= \int Jerk \cdot dt \\ \therefore A_{MAX} &= J_{MAX} \cdot T_1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Speed &= \int Acc \cdot dt \\ \therefore S_{MAX} &= A_{MAX} \cdot (T_1 + T_2) \end{aligned} \quad (3)$$

이때, 그림 3.(b)에서 가속도 패턴에 최대 가속도 구간이 존재하기 위한 조건은  $T_2 > 0$  이며 이를 식(2),(3)의 관계식을 이용하여 풀어보면 다음과 같다.

$$T_2 > 0 \quad \Leftrightarrow T_2 = \frac{S_{MAX}}{A_{MAX}} - T_1 \quad (4)$$

$$\frac{S_{MAX}}{A_{MAX}} - T_1 > 0 \quad \Leftrightarrow T_1 = \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}}$$

$$\therefore S_{MAX} > \frac{(A_{MAX})^2}{J_{MAX}}$$

이와 같이 패턴에 최대 가속도 구간이 존재하기 위해서는  $S_{MAX} > (A_{MAX})^2/J_{MAX}$ 의 조건을 만족해야 한다. 따라서 식(4)가 성립하는 경우에는 일단 ‘패턴1’에 해당한다고 가정할 수 있으며 식(4)가 성립하지 않는 경우에는 일정 가속도 구간이 없는 경우(‘패턴2’)에 해당한다. 최대 가속도 구간이 존재하는 경우에는 최대속도에 도달하는 시간  $t_3$ 는 다음식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} t_1 &= T_1 = \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}} \\ t_2 &= T_1 + T_2 = \frac{S_{MAX}}{A_{MAX}} \\ t_3 &= T_1 + T_2 + T_3 \quad \Leftarrow (T_3 \equiv T_1) \\ &= t_1 + t_2 \\ &= \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}} + \frac{S_{MAX}}{A_{MAX}} \end{aligned} \quad (5)$$

또한,  $t_3$ 시간 동안 이동하는 거리  $x_3$ 는 0- $t_3$ 까지의 속도파형이 속도의 중간점을 기준으로 점대칭인 사실에 주목하여 간단하게 구할 수 있다. 즉 그림 4에서와 같이 가속구간의 속도가 점대칭인 경우 일일이 구간적분하지 않고 전체 구간의 사각형 크기에서 절반값만을 취하여 이동거리를 구한다.

$$\begin{aligned} x_3 &= \int_0^{t_3} Speed \cdot dt \\ &= \frac{1}{2} (S_{MAX} t_3) \\ &= \frac{1}{2} S_{MAX} \left( \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}} + \frac{S_{MAX}}{A_{MAX}} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

위식의  $x_3$ 는 전동기가 가속하는 구간 동안의 이동거리를 의미한다. 따라서 일단 식(4)가 성립함을 확인하고 다시 식(6)에 따른 이동거리를 구하여 이 이동거리가 목적거리( $X_{DIST}$ )의 1/2보다 작은 경우에는 ‘패턴1’이 성

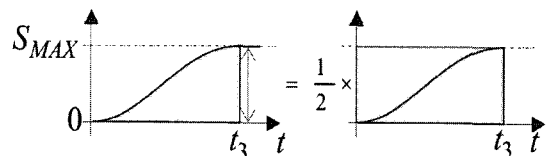


그림 4 점대칭 속도의 적분

Fig. 4 Integral of the speed with point symmetry

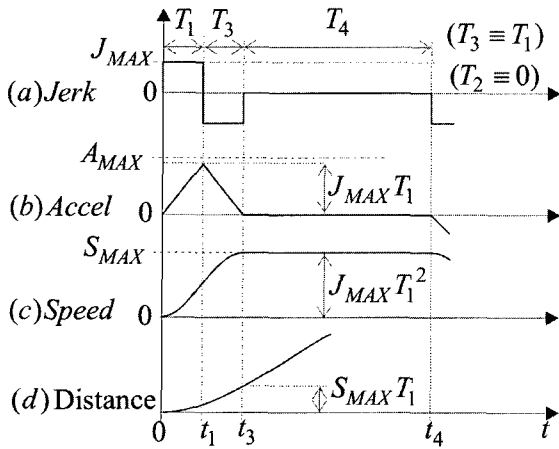


그림 5 최대 속도만을 사용하는 운전 패턴(패턴2)  
 Fig. 5 The pattern type2 with maximum speed  
 (a)가속도[m/s<sup>3</sup>] (b)가속도 [m/s<sup>2</sup>]  
 (c) 속도 [m/s] (d) 이동 거리 [m]

립함을 의미하므로 전체 루프를 빠져나간다. 만일 이동 거리가 목적거리의 1/2보다 큰 경우에는 ‘패턴1’이 성립하지 않으므로 4.3절의 ‘패턴3’ 혹은 ‘패턴4’에 해당되어 관련 알고리즘을 다시 연산한다. 이를 정리하면 다음과 같다.

$$\text{if } x_3 \leq (X_{DIST}/2) \text{ then} \quad (7)$$

$$\text{‘패턴 1’} \begin{cases} T_1 = \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}} \\ T_2 = \frac{S_{MAX}}{A_{MAX}} - T_1 \end{cases}$$

**4.2 최대 속도만을 사용하는 경우의 패턴(패턴 2)**

한편, 식(4)가 성립하지 않는 경우에는 최대속도를 사용하지만 일정 가속도 구간인 T<sub>2</sub>가 0인 ‘패턴2’가 최단시간 패턴으로 적합하다고 가정할 수 있으며 이때의 파형 일부가 그림 5에 도시되어 있다. ‘패턴2’에서 t<sub>1</sub> 시간에서의 가속도를 Acc라고 하면 Acc = T<sub>1</sub>J<sub>MAX</sub> 로 주어지므로 최대 속도에 도달하는 시간 t<sub>3</sub>를 구하면 다음과 같다.

$$S_{MAX} = T_1 Acc \iff (Acc = T_1 J_{MAX}) \quad (8)$$

$$= T_1^2 J_{MAX}$$

$$\therefore T_1 = \sqrt{(S_{MAX}/J_{MAX})}$$

$$t_3 = 2T_1 = 2\sqrt{(S_{MAX}/J_{MAX})}$$

또한, t<sub>3</sub>시간에 이동된 거리를 구하면 다음과 같다.

$$x_3 = \frac{1}{2}(S_{MAX}t_3) \quad (9)$$

$$= S_{MAX} \sqrt{\frac{S_{MAX}}{J_{MAX}}}$$

‘패턴1’의 경우에서와 마찬가지로 가속구간의 이동거리 x<sub>3</sub>가 목적거리(X<sub>DIST</sub>)의 절반보다 작은 경우에는 ‘패턴2’가 성립하므로 다음 식을 연산한 후에 패턴 결정 알고리즘을 종료한다.

$$\text{if } x_3 \leq (X_{DIST}/2) \text{ then} \quad (10)$$

$$\text{‘패턴 2’} \begin{cases} T_1 = \sqrt{(S_{MAX}/J_{MAX})} \\ T_2 = 0 \end{cases}$$

만일 목적거리의 1/2보다 크면 ‘패턴3’ ‘패턴4’ 관련 알고리즘을 수행한다.

한편, ‘패턴1’ 혹은 ‘패턴2’ 이 성립할 때 최대속도로 이동하는 일정속도 구간에 필요한 시간 T<sub>4</sub>는 속도 파형이 대칭이라는 점을 이용하여 목적위치(X<sub>DIST</sub>)까지 속도를 적분함으로써 간단하게 구할 수 있다.

$$X_{DIST} = \int_0^t \text{Speed} \cdot dt \quad (11)$$

$$= 2\left(\frac{1}{2}S_{MAX}(T_1 + T_2 + T_3)\right) + S_{MAX}T_4$$

$$= S_{MAX}(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$$

$$\therefore T_4 = \frac{X_{DIST}}{S_{MAX}} - (T_1 + T_2 + T_3)$$

일정 속도구간 시간 값 T<sub>4</sub>는 실시간으로 위치 패턴을 발생시킬 때 사용한다.

**4.3 최대 속도를 사용하지 못하는 경우의 패턴(패턴 3, 4)**

위의 연산과정에서 ‘패턴1’혹은 ‘패턴2’가 성립되지 않는 경우에는 ‘패턴3’ 혹은 ‘패턴4’ 관련 연산을 수행해야 한다. 이때에는 위에서 같이 시간만 결정하는 상황과는 다르게, 이동 시간뿐만 아니라 최대속도(S<sub>MAX</sub>) 보다 작은 미지의 속도가 변수에 포함되므로 시간에 대한 이동 속도 S(t) 와 시간 t 를 변수로 하여 새로운 운전 조건을 구해야 한다.

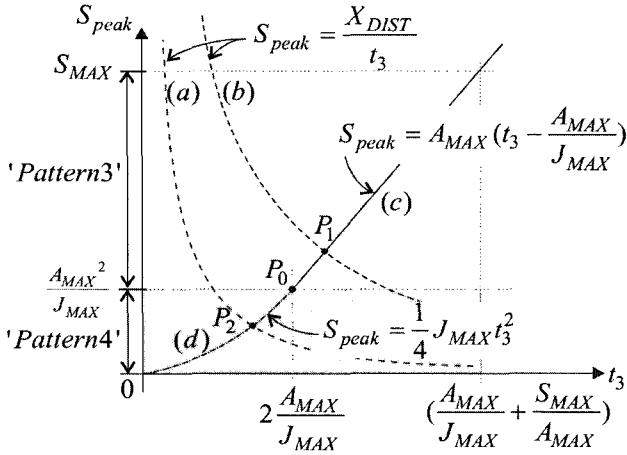


그림 6 패턴3, 패턴4 에서의 속도 및 시간 함수 파형  
 Fig. 6 The relation between time and speed in case of Pattern3 or Pattern4  
 (a)(b) 이동 거리에 따른 속도 와 시간 관계 파형 (c) 패턴3 파형 (d) 패턴4 파형

‘패턴3’과 ‘패턴4’의 공통된 특징은 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 최대 속도( $S_{MAX}$ ) 이하의 속도를 사용하고 일정 속도 구간이 존재하지 않는다는 것이다. 이때  $S_{MAX}$ 이하로 운전되는 속도의 최대값을  $S_{peak}$ 라고 하면  $S_{peak}$ 와 목적거리( $X_{DIST}$ )사이의 관계를 그림 4를 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$X_{DIST} = 2 \int_0^{t_3} s(t) dt \quad (12)$$

$$= 2 \left( \frac{1}{2} S_{peak} t_3 \right) = S_{peak} t_3$$

식에서  $S_{peak}$ 는  $S_{MAX}$ 를 넘지 않는 첨두 속도를 의미하며  $t_3$ 는 가속에 사용된 시간 즉, 목적거리의 절반에 이를 때까지의 이동시간을 의미한다.  $S_{peak}$ 와  $t_3$ 는 모두 결정되지 않은 변수이며 두 변수 사이의 관계식을 그림 6에 도시하였다. 그림 6에서 목적거리가 주어졌을때 선분(a)혹은 (b)와 같이 반비례로 표시되는 선분이 식(12)를 표시한다.

그림 7에는 최대속도는 사용할 수 없으나 일정가속도 구간이 존재하는 ‘패턴3’의 일부분이 도시되어 있다. ‘패턴3’과 ‘패턴4’를 나누는 기준은 가속도가  $A_{MAX}$ 로 일정한 일정 가속도 구간이 존재하는가에 따른다. 최대속도가  $S_{peak}$ 로 주어진 경우에 일정가속도 구간을 표시하는  $T_2$ 시간이 존재하려면 식(4)와 유사하게 다음식이

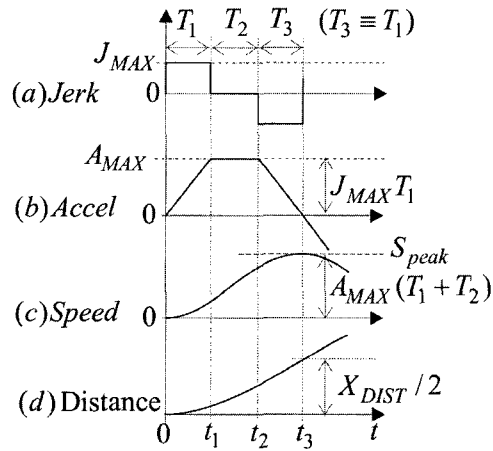


그림 7 최대 가속도를 사용하는 패턴 (패턴3)  
 Fig. 7 The pattern type 3

(a)가속도 [ $m/s^3$ ] (b)가속도 [ $m/s^2$ ]  
 (c) 속도 [ $m/s$ ] (d) 이동 거리 [ $m$ ]

성립해야한다. 식(4)에서  $S_{MAX}$ 를  $S_{peak}$ 로 바꾼 수식이다.

$$T_2 = \frac{S_{peak}}{A_{MAX}} - T_1 = \frac{S_{peak}}{A_{MAX}} - \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}} > 0 \quad (13)$$

$$\therefore S_{peak} > \frac{A_{MAX}^2}{J_{MAX}}$$

이 조건을 그림으로 표시하면 그림 6에서와 같이  $S_{peak}$ 의 크기를 기준으로  $A_{MAX}^2/J_{MAX}$  보다 큰 영역은 ‘패턴3’, 작은 영역은 ‘패턴4’로 간주할 수 있다. 그림 7에서 같이 ‘패턴3’이 성립하는 경우에는 구간 시간  $T_1, T_2$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_1 = \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}} \quad (\Leftarrow Accel = \int J_{MAX} dt) \quad (14)$$

$$T_2 = t_3 - 2T_1 \quad (\Leftarrow t_3 = 2T_1 + T_2)$$

이때의 속도와 가속도 관계에서 다음식이 성립한다.

$$S_{peak} = A_{MAX}(T_1 + T_2) \quad (\Leftarrow Speed = \int Accel dt)$$

$$= A_{MAX}(t_3 - T_1)$$

$$= A_{MAX}\left(t_3 - \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}}\right) \quad (15)$$

위 식(15)를 그림으로 도시하면 그림 6에서 선분(c)와 같이 나타난다.

한편, '패턴4'의 영역에서는 일정가속도 구간이 없기 때문에 그림 8에 도시되어 있는 바와 같은 패턴이 형성되며 이때의 구간 시간  $T_1, T_2$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$T_1 = \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}} = \frac{t_3}{2} \quad (16)$$

$$T_2 = 0$$

또한 이때의  $S_{peak}$ 와  $t_3$  사이의 관계식은 식(16)을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S_{peak} = A_{peak} T_1 \Leftarrow (A_{peak} = J_{MAX} T_1) \quad (17)$$

$$= J_{MAX} T_1^2 \Leftarrow (t_3 = 2 T_1)$$

$$= J_{MAX} \frac{t_3^2}{4}$$

위의 식(17)을 그림으로 도시하면 그림 6의 (d)선분과 같이 표시할 수 있다. 그림 6에서 선분 (c)와 (d)는 동시에 성립하는 선분이 아니며  $S_{peak}$ 의 크기에 따라 해당 영역에서만 성립하는 선분이다. 이 선분 (c)와(d)는 결국 주어지는 최대조건 중 최대 가속도( $A_{MAX}$ ) 및 최대 가가속도( $J_{MAX}$ )를 만족시키는 선분에 해당한다고 할 수 있다. 또한 선분(a) 혹은 (b)로 나타나는 선분은 목적위치( $X_{DIST}$ )에 따른 조건을 표시한다고 할 수 있다. 그러므로 선분(a)혹은(b)와 선분(c)(d)로 주어지는 조건이 동시에 만족하는 교점인 P1 혹은 P2점이 모든 조건을 만족시키는 지점이라 할 수 있으므로 해당 교점이 '패턴3' 혹은 '패턴4'의 영역에서 나타나는 것만 검사하면 '패턴3'과 '패턴4'의 성립 유무를 알 수 있다.

그림 6에서 선분 (c)와 (d)는 동시에 성립하는 선분이 아니며  $S_{peak}$ 의 크기에 따라 해당 영역에서만 성립하는 선분이다. 이 선분 (c)와(d)는 결국 주어지는 최대조건 중 최대 가속도( $A_{MAX}$ ) 및 최대 가가속도( $J_{MAX}$ )를 만족시키는 선분에 해당한다고 할 수 있다. 또한 선분 (a) 혹은 (b)로 나타나는 선분은 목적위치( $X_{DIST}$ )에 따른 조건을 표시한다고 할 수 있다. 그러므로 선분(a)혹은(b)와 선분(c)(d)로 주어지는 조건이 동시에 만족하는 교점인 P1 혹은 P2점이 모든 조건을 만족시키는 지점이라 할 수 있으므로 해당 교점이 '패턴3' 혹은 '패턴4'의 영역에서 나타나는 것만 검사하면 '패턴3'과 '패턴4'의 성립 유무를 알 수 있다.

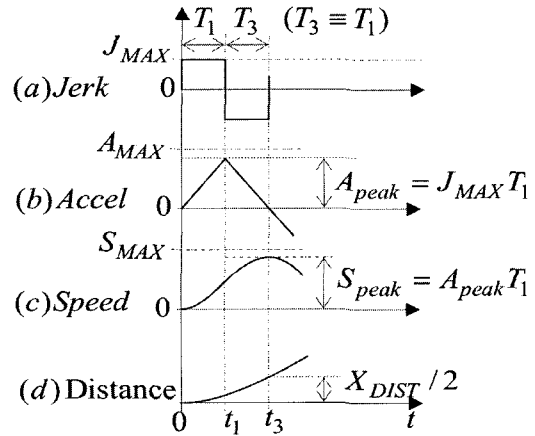


그림 8 최대 가속도를 사용하지 않는 패턴 (패턴4)

Fig. 8 The pattern type 4

- (a)가가속도 [ $m/s^3$ ]
- (b)가속도 [ $m/s^2$ ]
- (c) 속도 [ $m/s$ ] (d) 이동 거리 [m]

그림 6에서 주의해야할 점은 그림 자체가 '패턴3' 혹은 '패턴4'에 대한 각 함수 사이의 관계도 이므로 주어지는 각 지점의 위치가 그림과 같이 고정되어 있지 않고 최대속도, 최대가속도, 최대가가속도의 관계에 따라 변동 될 수 있다는 것이다. 경우에 따라서는  $P_0$  자체가 그림의 유효 부분, 즉 사각형의 음영부분 외부에 위치할 수도 있으며 이 경우에는 항상  $P_2$ 에서 교점이 발생한다. 해당 교점이 어느 영역에서 발생하는지를 검사하는 방법은 여러 가지 있을 수 있으나 보다 간단한 비교 연산을 위하여  $P_0$ 지점의 값을 식(12)에 대입하는 방법을 사용한다.

$P_0$ 지점은 선분(c)와 선분(d)가 나누어지는 지점으로 다음과 같이 표시된다.

$$P_0 = (t_{30}, S_{peak0}) = \left( 2 \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}}, \frac{A_{MAX}^2}{J_{MAX}} \right) \quad (18)$$

$P_0$ 에서의 시간값  $t_{30}$ 를 식(12)에 대입하여 얻은 속도  $S_{peak}$ 를 다시  $P_0$ 에서의 속도값  $S_{peak0}$ 와 비교하면 해당 영역을 쉽게 찾을 수 있다.

$$S_{peak} = X_{DIST} \frac{J_{MAX}}{2A_{MAX}} \quad (at \ t_{30} = 2 \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}}) \quad (19)$$



만일  $S_{peak}$ 가  $S_{peak0}$ 보다 큰 경우에는 ‘패턴3’이 성립하며, 그렇지 않은 경우에는 ‘패턴4’가 성립한다. 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{At Pattern3, } X_{DIST} \frac{J_{MAX}}{2A_{MAX}} > \frac{A_{MAX}^2}{J_{MAX}} \quad (20) \\
 & \therefore \text{if}(X_{DIST} > 2 \frac{A_{MAX}^3}{J_{MAX}^2}) \text{ then } P_1 \text{ (패턴3)} \\
 & \quad \text{else } P_2 \text{ (패턴4)}
 \end{aligned}$$

DSP(Digital Signal Process)와 같이 나눗셈 연산 보다는 곱셈 연산이 수월한 경우에는  $X_{DIST} > 2A_{MAX}^3/J_{MAX}$  와 같은 비교 연산보다는  $X_{DIST}J_{MAX} > 2A_{MAX}^3$ 으로 비교하는 것이 연산시간을 줄일 수 있다.

점  $P_1$ 에서 교점이 생기는 경우에는 ‘패턴3’이 성립하는 경우이며 이때의 가속구간 시간을 구하면 다음 수식으로 나타난다.

$$\begin{aligned}
 \frac{X_{DIST}}{t_3} &= A_{MAX}(t_3 - \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}}) \quad (21) \\
 \therefore t_3 &= \frac{1}{2} \left( \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}} + \sqrt{(\frac{A_{MAX}}{J_{MAX}})^2 + 4 \frac{X_{DIST}}{A_{MAX}}} \right) \\
 & \begin{cases} T_1 = \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}} \\ T_2 = t_3 - 2T_1 \end{cases}
 \end{aligned}$$

또한, 점  $P_2$ 에서 교점이 생기는 경우, 즉 ‘패턴4’가 적용되는 경우의 가속구간 시간을 구하면 다음과 같다.

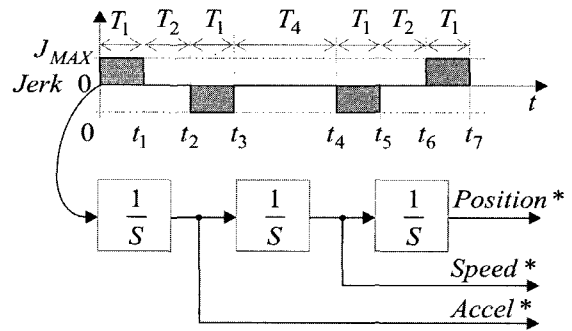


그림 11 실시간 적분형 패턴 발생 기법

Fig. 11 Realtime pattern generation with integration

$$\begin{aligned}
 \frac{X_{DIST}}{t_3} &= \frac{1}{4} J_{MAX} t_3^2 \quad (22) \\
 \therefore t_3 &= \sqrt[3]{\frac{1}{4} \frac{X_{DIST}}{J_{MAX}}} \\
 & \begin{cases} T_1 = \frac{1}{2} t_3 \\ T_2 = 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

‘패턴3’ 혹은 ‘패턴4’가 유효한 경우에는 일정속도구간  $T_4$ 가 존재하지 않는다.

#### 4.4 패턴 결정 흐름도

이상과 같이 주어진 최대속도, 가속도, 가가속도의 제한 하에서 이동하는 경우에는 각 제한 값이 서로 유기적인 관계를 갖고 있기 때문에 매우 많은 조합이 나올 수 있다. 그러나 최단 거리 이동의 목적을 만족시키기 위하여 최대의 속도 및 최대의 가속도를 사용한다는 기준이 정해지면 위에서 살펴본 바와 같이 4개의 패턴중

표 1 각 패턴에 따른 구간별 시간 값  
Table 1 The section time value according to the pattern kinds

	패턴1.	패턴2.	패턴3.	패턴4.
$T_1 (= T_3)$	$\frac{A_{MAX}}{J_{MAX}}$	$\sqrt{\frac{S_{MAX}}{J_{MAX}}}$	$\frac{A_{MAX}}{J_{MAX}}$	$\frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{1}{4} \frac{X_{DIST}}{J_{MAX}}}$
$T_2$	$\frac{S_{MAX}}{A_{MAX}} - \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}}$	0	$\frac{1}{2} \sqrt{(\frac{A_{MAX}}{J_{MAX}})^2 + 4 \frac{X_{DIST}}{A_{MAX}}}$ $- \frac{3}{2} \frac{A_{MAX}}{J_{MAX}}$	0
$T_4$	$\frac{X_{DIST}}{S_{MAX}} - (2T_1 + T_2)$	$\frac{X_{DIST}}{S_{MAX}} - (2T_1)$	0	0

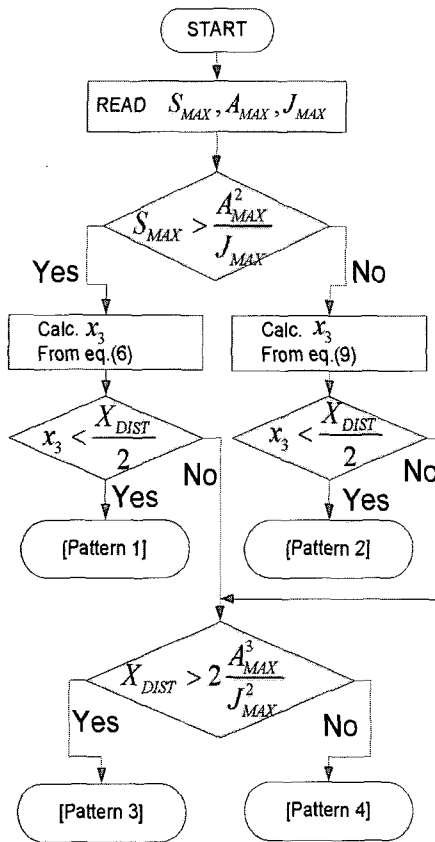


그림 9 패턴 결정 흐름도  
Fig. 9 Flowchart for pattern determination

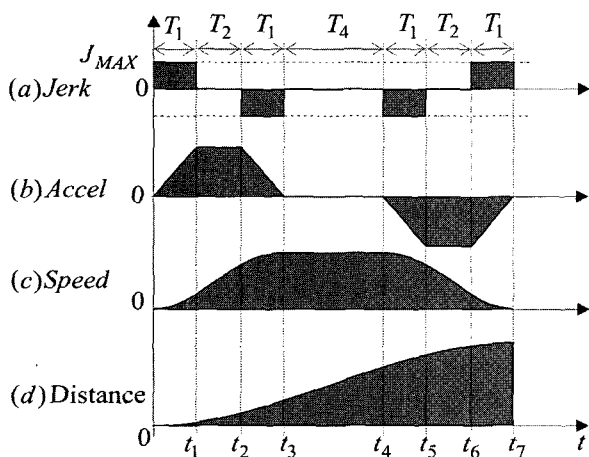


그림 10 각 파형과 시간 관계도  
Fig. 10 The relationship between Position patterns and section times

하나에 속하는 특정한 조합 한 가지만이 가능하다. 각 패턴에 따른 구간 시간 값들을 표1.에 정리하였다. 이들 구간 시간값은 다음 장의 실시간 패턴 발생 부분에서 실시간으로 패턴을 발생시킬 때 조합하여 사용된다.

다음 그림 9에는 위에서 설명된 패턴 판단 방식을 종합하여 최소 이동시간 위치 패턴 발생방식을 흐름도 형태로 도시하였다. 기본 판단조건에 대한 설명은 짧지 않지만 비교 구문 및 해당 시간 연산은 흐름도 및 표1.과 같이 비교적 간결하게 정리 될 수 있다.

### 5. 실시간 패턴 발생 기법

위에서 계산된 최적 패턴 발생 방식에 따라 각 구간 별로 소요되는 시간정보  $T_1 - T_4$ 를 구하면 이를 이용하여 최단 시간 이동이 가능한 최적 패턴을 실시간으로 발생시킬 수 있다. 그림10에 속도대칭형 패턴에서의 가가속도, 가속도, 속도 및 위치의 파형과 각 시간과의 관계를 '패턴1'을 기준으로 도시하였다.

결정된 패턴을 실시간으로 출력하는 방식은 가가속도의 연속된 적분값을 사용하는 적분법과 계수를 재연산하여 다항식을 사용하는 방법 등 크게 두가지 방식이 있다.

#### 5.1 적분형 패턴 발생 방법

가가속도, 가속도, 속도 및 위치의 파형이 식(1)과 같은 적분관계를 갖는 사실에 근거하여 가가속도(Jerk)를 연속적으로 적분하여 위치 프로파일을 얻는 방법이다. 시작과 동시에 시간축 상에서  $0-t_1$ 시간 까지 가가속도를  $J_{MAX}$ 로 유지하고 나머지 가속도, 속도, 위치 프로파일은 가가속도를 식(1)과 같이 연속적으로 적분하여 얻는다.  $t_1-t_2$ 구간 동안에는 가가속도를 0으로 설정하고 나머지 프로파일은 연속된 적분을 계속 유지하여 발생시킨다. 경우에 따라 '패턴1'이 아닌 경우에는  $T_2=0$ 인 경우가 있으며 이때에는 해당 구간을 연산하지 않고 다음 구간인  $t_2-t_3$ 구간으로 넘어간다.  $t_2-t_3$ 구간에서는  $-J_{MAX}$ 를 가가속도로 설정하여 나머지 프로파일을 적분을 통하여 구한다. 이와 같이 구간마다 가가속도 값만을 변경시키면서 연속된 적분을 연산하여  $t_7$ 의 시간에 이르면 최종적으로 원하는 목적위치까지의 S커브 형태의 위치 프로파일을 실시간으로 발생시킬 수 있다.

만일 이동하는 구간이 음(-)의 값을 갖는 경우에는

가가속도의 파형에 (-)부호를 인가하여 나머지 파형이 음(-)의 값으로 연산되도록 구성한다. 즉 0- $t_1$  시간 동안에는 가가속도를  $-J_{MAX}$ 로 유지하고,  $t_2-t_3$  구간에는  $+J_{MAX}$ 값으로 가가속도 값을 설정한다. 나머지 구간도 이에 준하여 가가속도 값을 설정함으로써 음의 이동 거리 문제를 해결한다.

이 방법은 연속된 3개의 적분기만으로 구성되므로 매우 간단하게 구현할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 디지털 제어기에서 장시간에 걸쳐 적분 동작을 연산할 경우에는 적분 오차가 누적되는 경우가 발생할 수 있기 때문에 매우 신중하게 적분기를 구성할 필요가 있다. 이동거리가 비교적 짧은 시스템에 적용하면 매우 간단하게 위치 프로파일을 발생시킬 수 있다.

5.2 다항식을 이용한 패턴 발생 방법

이 방식은 식(1)의 연속된 적분을 수식으로 풀어서 연산하는 방식이다. 가가속도가 항상 특정 값의 상수로 주어진다. 이 점을 이용하면 식(1)이 다음과 같이 시간에 대한 함수로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 Jerk^* &= J_0 & (23) \\
 Accel^* &= J_0 t + A_0 \\
 Speed^* &= (J_0/2)t^2 + A_0 t + S_0 \\
 Position^* &= (J_0/6)t^3 + (A_0/2)t^2 + S_0 t + X_0
 \end{aligned}$$

위식에서  $J_0, A_0, S_0, X_0$ 는 각 구간이 시작하는 시점에서의 초기값이다. 예를 들어  $t=0$ 일 때에는  $J_0 = J_{MAX}, A_0 = S_0 = X_0 = 0$ 의 값을 갖는다.  $t=t_1$ 일 때에는 다음과 같이 초기값을 설정하면서 시간  $t$ 를 0으로 초기화한다.

$$\begin{aligned}
 J_0 &= 0. & (24) \\
 A_0 &= Accel^* \text{ at } t_{1(n-1)} \\
 S_0 &= Speed^* \text{ at } t_{1(n-1)} \\
 X_0 &= Position^* \text{ at } t_{1(n-1)}
 \end{aligned}$$

위식에서  $t_{1(n-1)}$ 은 디지털 제어기에서  $t_1$  시간에 도착하기 직전 샘플링 시간을 의미한다. 위와 같이 구간이 바뀔 때마다 시간  $t$ 를 0으로 초기화하고 해당 초기값을 연속적으로 설정하면서 식(23)을 이용하여 기대하는

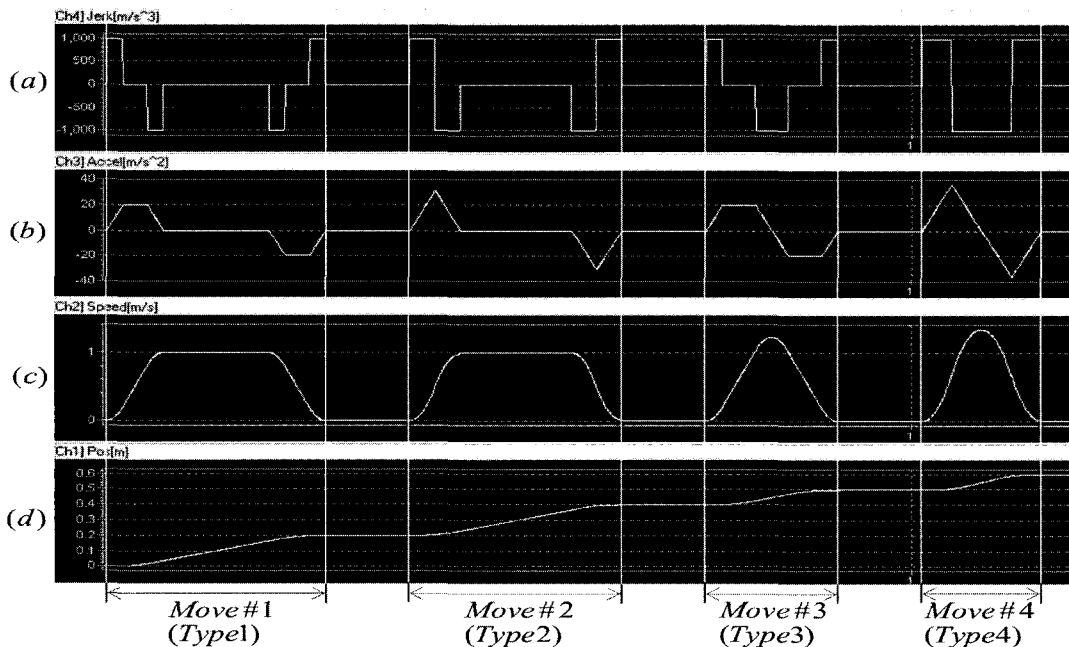


그림 12 패턴 발생 예제(시뮬레이션)

Fig. 12 Simulation waveform for realtime pattern generation

(a) 가가속도 ( $m/s^3$ ) (b) 가속도 ( $m/s^2$ ) (c) 속도 ( $m/s$ ) (d) 위치 (m)

가속도, 속도, 위치 프로파일을 실시간으로 발생시킬 수 있다. 이동하는 거리값이 음(-)인 경우에는 적분법과 마찬가지로 가가속도 패턴에 음(-)의 부호를 인가하는 방법을 사용한다.

다항식을 이용하는 방법은 적분방식에 비해 연산이 많아진다는 단점이 있으나 적분방식에서와 같이 적분오차가 누적되는 문제가 없으므로 장시간에 걸쳐 사용하여도 정확한 위치 프로파일을 발생시킬 수 있다.

### 6. 패턴 발생 예제 및 실험 파형

그림 12에는 각 유형에 따른 패턴 발생 예제가 도시되어 있다. 예제는 선형전동기를 구동한다는 가정 하에 m(meter)단위를 사용하고 있으나, 회전기에 적용할 경우 rad(radian)단위로 바꾸어 적용하면 된다. 그림 12의 (a)파형은 가가속도로서 예제에서는 유리로 구성된 평판을 이송시킬 때를 가정하여  $1000[m/s^3]$ 의 값을 일률적으로 사용하였다. 이 값이 크면 대체적으로 이송시간이 줄어드는 효과가 있으나 피이송체에 인가되는 충격이 크게 되므로 이송되는 피이송체의 강성도에 따라 가가속도를 적절한 값으로 결정할 필요가 있다. 그림 12.(b),(c),(d)는 각각 가속도, 속도 위치를 표시하며 패턴 발생 시에 사용한 각 정수 값을 표2에 정리하였다. 표2에서 이동시간은 순수하게 프로파일이 시작되어 끝날 때까지의 시간이며 이 값은 그림 10에서  $T_1, T_2, T_4$ 의 값을 조합하여 계산된 것이다. 제시된 패턴은 다항

식방법을 이용하여 실시간 발생을 가정으로 생성된 것이며, 전송된 패턴 조건을 모두 만족하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 13 및 그림 14에는 본 연구에서 제시한 알고리즘을 이용하여 선형전동기용 서보 드라이버에서 실시간으로 위치 패턴을 발생시킨 파형이다. 그림13에는 가가속도  $1000.m/s^3$ , 가속도  $10.m/s^2$ , 속도  $1.m/s$ 의 조건 하에서 0.2m를 이동하는 위치 패턴을 도시하였으며 그림 14에는 상용 선형전동기에 적용하여 위치제어루프의 제어밴드가 120rad/sec인 위치제어기로 실시간 위치제어를 수행한 실험 파형이 도시되어 있다. 시뮬레이션과 실험에서 모두 다항식 방식의 패턴 발생 기법을 사용하였다. 이상의 결과에서와 같이 제시된 패턴 발생기법을 사용하면 비교적 적은 연산동작만으로 최단 시간 내에 목적위치로 이동할 수 있는 최적 패턴을 실시간으로 구현할 수 있다.

### 7. 결 론

본 논문에서는 사다리형의 가속도 패턴을 갖는 단축 선형전동기 구동용 위치 패턴 발생 알고리즘에 대하여 기술하였다. 제안된 알고리즘에서는 시간 변수를 매개체로 하여 주어진 가가속도 및 가속도, 속도와 목적위치 사이의 관계를 도식화하였으며 이를 바탕으로 최대 가속도 및 최대 속도의 제한 하에서 최단 시간 내에 목적 위치로 이동시킬 수 있는 실시간 위치 패턴 계산 방식을 제시하였다. 제안된 알고리즘은 대칭 속도 패턴을 이용함으로써 비교적 적은 연산량으로 이동 거리에 무관하게 이송물에 일정한 충격량이 인가되는 고급 위치 패턴을 용이하게 발생시킬 수 있는 장점이 있다.

제안된 알고리즘은 선형 전동기를 기준으로 설명하였으나 라디안(rad) 단위 혹은 각도(Degree) 단위의 회전형 전동기에도 쉽게 적용할 수 있으며, 특히 복잡한 선형 보간 기법이 필요없이 특정 위치로 회전하여 정밀 위치제어를 수행하는 단일축 베이스 회전기구나 짧은 거리를 고효율로 빠르게 왕복 이동하는 시스템에 적용할 경우 매우 큰 효과가 있을 것으로 기대된다.

이송동작 도중에 패턴이 바뀌는(On-the-fly) 경우는 속도 패턴이 대칭이 아니므로 제시된 알고리즘을 그대로 적용하기는 어려우나 비슷한 유형으로 연산이 가능하며 추후 연구에서 별도로 다루도록 한다.

표 2 시뮬레이션 예제에 사용한 정수값

Table 2 Parameters for simulation study

정수	이동1	이동2	이동3	이동4
가가속도 ( $m/s^3$ )	1000.	1000.	1000.	1000.
가속도 ( $m/s^2$ )	20 ( $\cong 2G$ )	40 ( $\cong 4G$ )	20 ( $\cong 2G$ )	40 ( $\cong 4G$ )
속도 ( $m/s$ )	1.0	1.0	2.0	2.0
이동거리 (m)	0.2	0.2	0.1	0.1
이동시간 (sec)	0.247	0.267	0.167	0.152

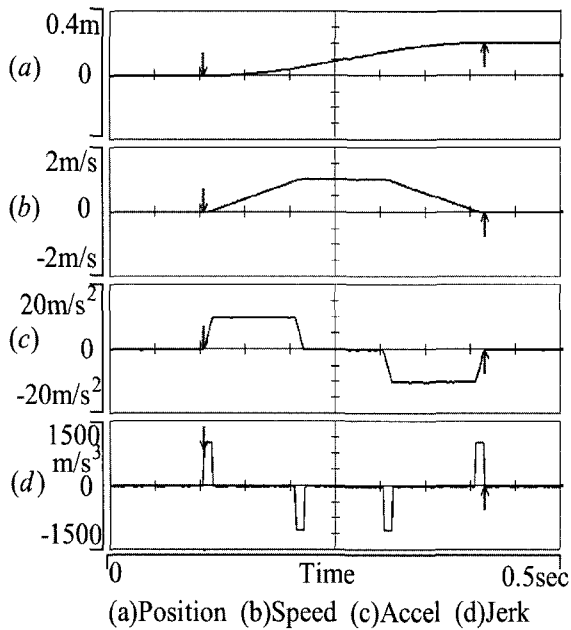


그림 13 패턴 발생 예제(실험 파형)

Fig. 13 Experimental waveform of the proposed pattern generation algorithm

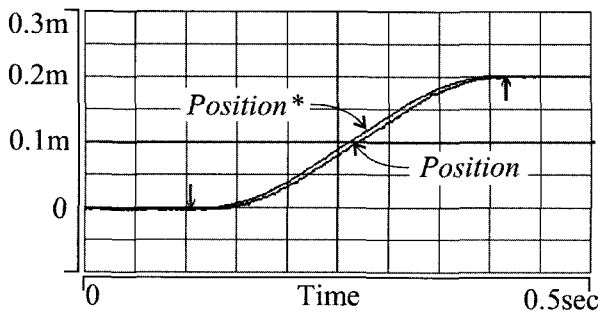


그림 14 위치 명령 패턴 및 실제 위치 실험 파형

Fig. 14 Experimental waveform during actual position control

### 참고 문헌

[1] Koren, Y., "Computer Control of Manufacturing System", McGraw-Hill, New, York, 1983.  
 [2] R.V. Fleisig, A.D. Spence, "A constant feed and reduced angular acceleration interpolation algorithm for multi-axis machining", Computer-Aided Design 33, pp1-15, 2001.  
 [3] Sotiris L. Omirou, "Space curve interpolation for CNC machines", Journal of Materials Processing Technology 141, pp343-350, 2003.

[4] Sung-Ho Nam, Min-Yang Yang, "A study on a generalized parametric interpolator with real-time jerk-limited acceleration", Computer-Aided Design 36, pp27-36, 2004  
 [5] K. S. Kim, C. H. Park, K. H. Kang, and G. S. Han, "Velocity Pattern Generation for the Position Control of Elevator," Trans. of the Korean Institute of Power Electronics, pp.616-623, Vol.4, No.6, December, 1999.  
 [6] Hyung-Min Ryu and Seung-Ki Sul, "Position Control for Direct Landing of Elevator using Time-based Position Pattern Generation", IEEE-IAS annual meeting pp644-649, 2002.

### 저 자 소 개



#### 김준석(金峻奭)

1965년 12월 12일생. 1989년 서울대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 인천대 전기공학과 교수.