

# 이중 증분 엔코더에 기초한 초정밀 회전각도 변위 검출 알고리즘 개발

이세한<sup>#</sup>

## Development of an Algorithm for Detecting Angular Displacement with High Accuracy Based on the Dual-Encoder

Se-Han Lee<sup>#</sup>

### ABSTRACT

An optical rotary encoder is easy to implement for automation system applications. In particular, the output of the encoder has a digital form pulse, which is also easy to be connected to a popular digital controller. By using an incremental encoder and a counting device, it is easy to measure angular displacement, as the number of the output pulses is proportional to the rotational displacement. This method can only detect the angular placement once a pulse signal comes out of the encoder. The angular displacement detection period is strongly subject to the change of the angular displacement in case of ultimate low velocity range. They have ultimate long detection period or cannot even detect angular displacement at near zero velocity. This paper proposes an algorithm for detecting angular displacement by using a dual encoder system with two encoders of normal resolution. The angular displacement detecting algorithm is able to keep detection period moderately at near zero velocity and even detect constant angular displacement within nominal period. It is useful for motion control applications in case of changing rotational direction at which there occurs zero velocity. In this paper, various experimental results are shown for the angular displacement detection algorithm.

**Key Words:** Angular displacement detection (각도 변위 검출), Dual encoder(이중 엔코더), Control period (제어주기), Zero velocity (영속도)

### 1. 서론

서보 모터를 채용한 기계 시스템의 정밀도는 고성능 드라이브 회로와 더불어 고급 제어 기술의 발달로 개선되어 왔다. 특히, 광학식 증분 엔코더는 높은 해상도와 디지털 제어기와 연결이 용이한 특성 때문에 시스템의 구동장치로 사용되는 서보

모터의 위치 및 속도 검출 용도에 폭 넓게 사용되고 있다.

광학식 증분 엔코더를 이용한 회전각도 검출은 엔코더에서 출력되는 펄스를 단순히 계수함으로써 용이하게 달성될 수 있다. 광학식 증분 엔코더는 구조상 회전각도를 불연속적인 구간으로 구분하여 검출 대상 회전각도가 각 구간 영역에 해

☞ 접수일: 2008 년 1 월 9 일; 게재승인일: 2008 년 5 월 7 일

# 교신저자: 경남대학교 기계자동화공학부

E-mail: leesehan@kyungnam.ac.kr Tel. (055) 249-2149

당할 때, 양자화된 대표 회전각도를 출력하게 된다. 즉, 1 회전에 대하여 360 개의 구간이 설치되어 있는 엔코더의 경우  $15^\circ \leq \theta < 16^\circ$  에 대해서 그 대표 값인  $15^\circ$  만을 출력하게 된다. 즉, 엔코더가 매우 느리게 회전하면서 장시간 동안  $15^\circ \leq \theta < 16^\circ$  구간을 진행하였다면 엔코더의 출력은 장시간 동안 고정된  $15^\circ$  을 출력함으로써 연결된 제어기는 정지된 상태로 인식하게 되는 곤란한 상태가 발생하게 된다.

광학식 증분 엔코더의 회전각도 검출 성능을 향상 시키려는 노력은 광학식 증분 엔코더의 분해능을 단순히 광 슬릿의 개수를 늘리거나 모아레 무늬(Moire Fringes)<sup>1</sup> 같이 물리적 혹은 광학적으로 향상시키는 분야로 한정되었다. 일부 엔코더에서 출력되는 A 상 신호 및 B 상 신호를 논리소자 등을 사용하여 분해능을 4 배 개선하는 4 체배 회로(Quadrature circuit)<sup>2</sup>도 연구되었다. 절대형 엔코더의 경우, 회전각도 분해능을 향상 시키려는 연구로 Shashank Wekhande<sup>3</sup>의 결과가 있다. 이 연구는 버니어캘리퍼스에 적용된 이론을 응용하여 분해능을 개선하고 있지만 추가된 여러 개의 센서 부착 정밀도가 분해능 개선에 민감하게 작용하는 특징이 있다. 뿐만 아니라 고분해능 절대형 엔코더에 적용하기 위해서는 협소한 공간에 여러 개의 센서를 부착해야 하는 어려움이 있다.

엔코더의 정밀도를 향상 시키기 위한 다른 방법으로 엔코더 펄스의 원시 신호에 해당하는 정현파 신호의 진폭을 A/D 변환하는 연구<sup>4</sup>들이 있다. 이 방법은 이상적인 정현파를 얻기 곤란하여 보상과정<sup>5</sup>이 필요할 뿐만 아니라 A/D 변환을 통하여 아날로그 위치 정보를 복원함으로써 광학식 증분 엔코더의 최대 장점인 디지털 신호를 포기하는 결과를 초래한다. 뿐만 아니라 정현파 처리 과정에서 아날로그 잡음의 혼입으로 분해능 개선에 한계가 발생할 수 있다. 또한, 검출대상의 동역학적 특성을 이용하여 펄스가 출력되지 않는 구간에서 회전각도를 추정하는 추정기에 관한 연구<sup>6</sup>가 있는데, 이것은 성능이 양호한 반면에 검출대상의 동역학적 계수를 요구하는 제한이 있다.

본 연구에서는 2 개의 단순 광학식 증분 엔코더를 연결하여 고속 검출 주기를 유지한 상태에서 초저속 영역과 정지 상태에서 초정밀 회전각도 검출이 가능한 완전 디지털 방식의 알고리즘을 제시한다. 초저속 영역과 정지 상태에서 회전각도 검출

가능한 특징은 마찰력의 영향력이 극대화되는 초저속 영역에서 고성능 모션 제어를 가능하게 한다.

본 연구의 2 장은 이중 엔코더를 이용한 완전 디지털 회전각도 검출 방법과 특징을 개략적으로 설명하고 본 연구의 아이디어를 제시한다. 3 장에서는 본 연구의 아이디어를 구체적으로 구현하는 과정과 실질적인 문제를 설명한다. 4 장에서는 구성된 실험장치를 통한 결과를 기초로 본 연구의 유효성을 보이고 마지막으로 5 장에서는 본 연구의 결론을 서술하도록 한다.

## 2. 엔코더를 이용한 회전각도 검출 및 특성

광학식 증분 엔코더는 입수가 용이하고 잡음에 강한 디지털 펄스 신호를 출력하는 등 디지털 제어기와 연결이 용이한 특성 때문에 메카트로닉스 응용 분야의 구동장치로서 주로 사용되는 서보 모터의 회전각도 검출에 주로 사용된다.

Fig. 1 은 광학식 증분 엔코더의 기본 구조를 나타내고 있다. 엔코더의 회전축이 회전함에 따라서 광 슬릿(Optic slit)이 형성된 회전판(Rotational disk)이 회전하면서 발광부(Emitter)와 수광부(Receiver) 사이의 광 흐름은 통과 혹은 차단된다. 최종적으로 파형정형(Wave shaping)을 통하여 디지털 형태의 펄스 신호가 출력된다.

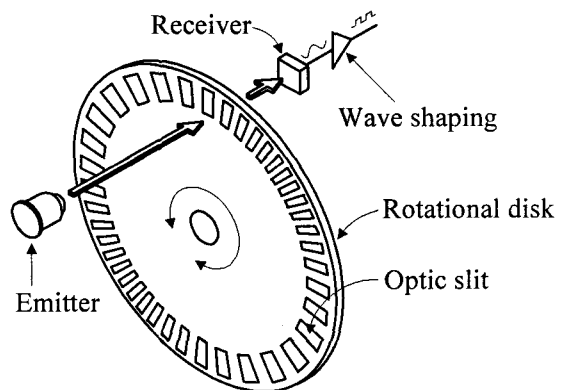


Fig. 1 An optical incremental encoder

엔코더의 회전축이 회전함에 따라서 회전각도에 비례하는 개수만큼의 펄스 신호가 출력되게 된다. 즉, 디지털 제어기가 엔코더에서 출력되는 펄스 신호의 출력 횟수를 계수하면 회전축의 회전각

도는 정확하게 검출될 수 있다.

### 2.1 일반적인 회전각도 검출법

광학식 증분 엔코더의 펄스 출력을 이용하여 회전각도를 검출하는 방법은 Fig. 2 와 같이 엔코더에서 출력되는 펄스를 계수하는 것으로 매우 쉽게 달성될 수 있다.

광학식 증분 엔코더를 이용한 회전각도 검출방법은 매우 직관적이며 적용하기 쉽고 출력되는 신호는 잡음이 매우 적은 디지털 펄스 신호라는 장점을 갖고 있는 반면에 Fig. 2 에 표시한 것처럼 실제의 회전각도 변위의 변화가 없는 정지구간(Stop section) 혹은 엔코더의 단위 분해능  $\Delta\theta$  미만의 움직임에 대해서는 어떠한 정보의 갱신도 얻을 수 없다는 단점이 있다.

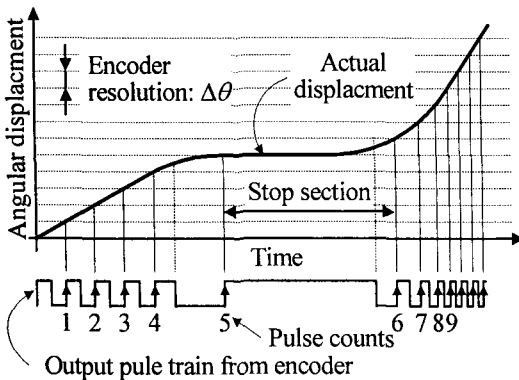


Fig. 2 Detecting angular displacement by counting pulses from the encoder

일반적으로 디지털 제어기 성능은 센서의 정밀도뿐만 아니라 센서에서 정보를 얻을 수 있는 검출 빈도수에 의존하는 것으로 알려져 있으며, 가능한 범위에서 샘플링 주파수는 높은 것이 유리하다.

### 2.2 회전속도와 회전각도 검출의 관계

광학식 증분 엔코더의 회전각도 정보는 펄스가 출력되는 시점에만 검출되는 특징이 있다. 예를 들면, 회전속도가 극단적으로 초저속 상태 혹은 정지 상태가 되면 엔코더 펄스의 출력 주기는 극단적으로 길어지게 되어 제어기는 어떠한 보상 동작도 취할 수 없게 된다. 즉, 광학식 증분 엔코더를 이용한 회전각도 검출은 회전속도에 민감하게 의존

한다.

Fig. 3 은 엔코더의 단위 분해능( $\Delta\theta$ )을 기준으로 약 15 배( $15\Delta\theta$ ) 분량 구간에 대하여 1.0 초 동안 정속 회전하는 상태를 이론적으로 도시하고 있다. 그 구간 동안에 엔코더 펄스는 15 개가 출력되므로 구분할 수 있는 정보의 종류는 15 개에 해당하며, 약 0.067 초( $1s/15 \approx 0.067s$ )가 경과될 때마다 새로운 정보를 관측할 수 있으며, 그 사이에는 일정한 정보만이 관측되게 된다. 뿐만 아니라 관측할 수 있는 정보의 분해능 역시 최소  $\Delta\theta$  가 된다. 그러므로 엔코더의 정밀도가 1000 PPR(Pulse Per Revolution)을 갖고 이상과 같은 조건에서 변위를 측정한다면 측정 최소 분해능은  $0.36^\circ$  가 되고 측정 빈도는 15Hz 에 불과하게 된다.

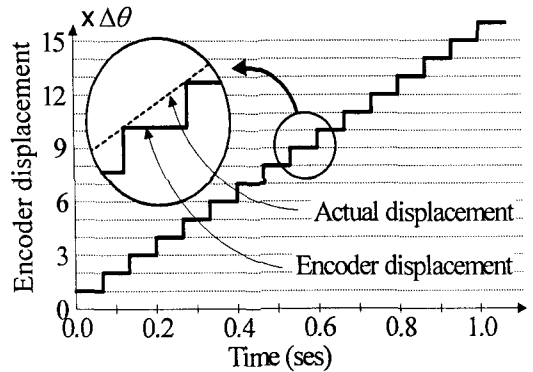


Fig. 3 Angular displacement measuring by using an encoder

### 2.3 이중 엔코더 신호 누적 아이디어

광학식 증분 엔코더 2 개를 사용하여 그 중에서, 엔코더 #1 의 하우징은 보조축, 회전축은 주축에 각각 부착되어 있고 엔코더 #2 의 하우징은 기준면, 회전축은 보조축에 각각 연결되어 있다. 이때, 엔코더 #1 은 주축과 보조축 각각의 회전각도 편차에 해당하는 펄스 신호를 출력하는 반면에 엔코더 #2 는 고정된 기준면에 대한 보조축의 회전각도에 해당하는 펄스 신호를 출력한다.

만일, 보조축이 정지하고 있다면 즉, 보조축이 기준면에 대해서 고정되어 있으며 보조축에 고정된 엔코더 #1 의 하우징은 역시 기준면에 대하여 고정되게 된다. 이것은 기존의 단일 엔코더를 사용한 회전각도 검출장치와 동일하다.

본 연구에서는 Fig. 4 와 같이 엔코더 #2 를 일정한 속도로 회전 시키는 아이디어<sup>7</sup> 를 채용하여 주축이 정지하고 있더라도 엔코더 #1 과 #2 의 펄스가 출력되도록 설정하였다.

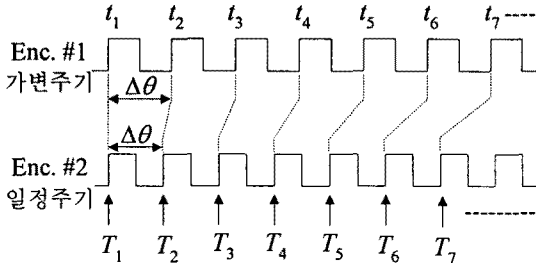


Fig. 4 Concept of the infinitesimal angular displacement measurement

엔코더 #2 가 일정한 속도로 회전하고 있다. 한편, 엔코더 #1 의 회전축에 연결된 주축은 검출 대상에 연결되어 회전하고 있다. Fig. 4 는 엔코더 #1 의 회전축이 엔코더 #2 와 동일한 방향으로 초저속 상태로 회전하고 있음을 나타내고 있다. 엔코더 #1 의 펄스가 입력되는 때 순간 각  $t_i$  사이의 간격은 엔코더 #2 의 펄스가 입력되는 각  $T_i$  사이의 간격보다 길어지며 시간이 경과함에 따라서  $t_i$  와  $T_i$  사이의 간격은 누적되어 증가됨을 알 수 있다. 이 때, 펄스 입력 순간 사이에 해당하는 각 엔코더의 각 변위  $\Delta\theta$  는 서로 동일하다. 단지, 그 출력 시점이 늦어질 뿐이다. 만일, 엔코더 #1 이 정지하면 그때부터  $t_i$  사이의 간격은 엔코더 #2 의 펄스가 입력되는  $T_i$  와 동일하게 될 것이다.

Fig. 5 는 그래프 종축을 엔코더 각도 변위로 설정한 내용을 표시하고 있다. 설명을 용이하게 하기 위해서  $t_1$  과  $T_1$  을 일치 시킨다. 시간이 경과해서 동일한 각 변위  $\Delta\theta$  를 주파하는 시점  $t_2$  가 검출되는 시점은  $T_2$  보다 약간 늦어진다. 그 이유는 엔코더 #1 의 회전축에 연결된 검출 대상 축이 미세하게 회전하고 있기 때문이다. 계속 시간이 경과하면  $t_7$  이 되는 시점에서 엔코더 #1 의 펄스 개수는 6 개가 되는 반면에 엔코더 #2 의 펄스 개수는 7 개가 된다. 이것은  $t_7$  시점에 이르러 드디어 펄스의 개수 차이가 완전하게 1 이 되는 것이다. 그러므로  $t_7$  이전에는 각 엔코더의 출력 펄스 개수 차이를 검출할 수 없음을 의미한다.

이상과 같은 단점을 보완하기 위해서 본 연구에서는 각 엔코더 펄스가 출력되는 시점에서 얻을 수 있는 각속도 정보를 적극적으로 이용하도록 한다. 먼저, 엔코더 #1 의 펄스가 입력될 때마다 다음과 같이 각속도  $\omega_i$  를 계산한다.

$$\omega_i = \frac{\Delta\theta}{\Delta t_i} \quad (1)$$

이 때,  $\Delta t_i$  는 엔코더 #1 의 펄스 주기를 나타낸다. 구해진  $\omega_i$  에  $\Delta t_i$  를 곱하면 당연히  $\Delta\theta$  가 된다.

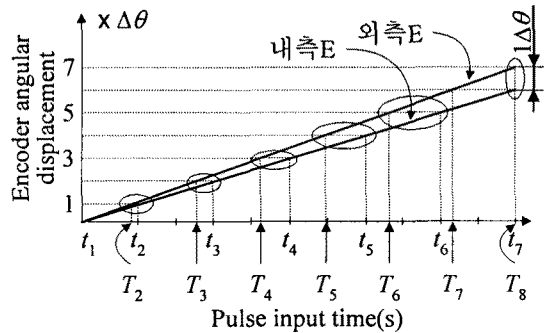


Fig. 5 Both angular displacements at each encoder pulse output instant

한편, 엔코더 #2 의 각속도  $\omega_o$  는 다음과 같다.

$$\omega_o = \frac{\Delta\theta}{\Delta T_o} \quad (2)$$

이 때,  $\Delta T_o$  는 일정 각속도로 회전하도록 제어되는 엔코더 #2 의 출력 펄스의 주기에 해당한다. 만일, 엔코더 #1 이 엔코더 #2 와 동일한 방향으로 초저속으로 회전하고 있다면,  $\Delta t_i > \Delta T_o$  관계가 있을 것이다.  $t_i$  가 산출되는 시점에는 이미  $T_o$  가 출력되었을 것이다. 그렇다면  $t_i$  가 출력되는 시점까지 엔코더 #2 는 다음의 분량  $\Delta\theta_o$  만큼 회전할 것이다.

$$\Delta\theta_o = \omega_o \cdot \Delta t_i \neq \Delta\theta \quad (3)$$

왜냐하면 엔코더 #2 는  $\Delta T_o$  동안에는  $\Delta\theta$  만큼 회전 하는 반면에  $\Delta t_i$  ( $\Delta t_i > \Delta T_o$ ) 동안에는  $\Delta\theta_o$  만큼 회전하기 때문이다. 그렇지만 엔코더 #1 은 여전히  $\Delta\theta$  분량만 회전하게 된다. 그렇다면  $\Delta t_i$  동안 주축에 연결된 검출대상의 순수한 회전각도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{\text{external}} &= \Delta\theta_o - \Delta\theta = \omega_o \cdot \Delta t_i - \omega_i \cdot \Delta t_i \\ &= (\omega_o - \omega_i)\Delta t_i = \Delta\omega \cdot \Delta t_i \end{aligned} \quad (4)$$

본 연구의 아이디어의 핵심은 엔코더 #2 를 미리 알려진 각속도로 회전 시켜서 엔코더 펄스가 출력될 때마다 엔코더의 단위 분해능  $\Delta\theta$  보다 작은 분량의 회전각도 변위를 검출 및 계산하고 계속해서 다음과 같이 누적 시켜서 최종적으로 미소한 회전각도 변위를 검출하는 것이다.

$$\theta_{\text{external}} = \sum \Delta\theta_{\text{external}} = \sum \Delta\omega \cdot \Delta t_i \quad (5)$$

### 3. 이중 엔코더 시스템 구현

Fig. 4 는 서로 자유롭게 회전할 수 있는 주축과 종축의 회전각도 차이에 해당하는 펄스와 종축의 절대 회전각도에 해당하는 펄스를 나타내고 있다. 주축과 종축 사이와 종축과 기준 사이에 각각 동일한 사양의 광학식 증분 엔코더를 설치할 필요가 있다. 뿐만 아니라 각각의 엔코더에서 출력되는 펄스의 개수와 주기를 구체적으로 측정할 필요가 있다.

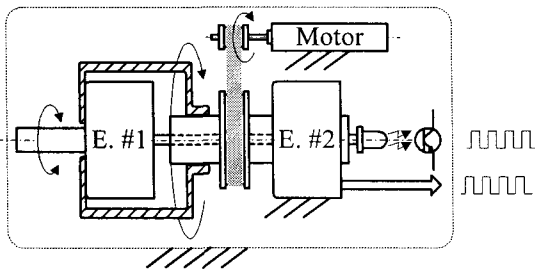


Fig. 6 Dual encoders connection concept

주축과 종축에 연결된 엔코더의 펄스 차이 검

출을 기반으로 회전 변위를 측정하는 알고리즘 구현이 본 연구의 핵심이다. 즉, 구체적으로 엔코더 #1 의 하우징을 소정의 일정한 속도로 회전 시키는 것이다. 각각의 엔코더 (1000PPR)를 결합한 이중 엔코더를 Fig. 6 과 같이 구성하였다.<sup>7</sup> 2 개의 엔코더 표기로 엔코더 #1 은 E. #1 로 엔코더 #2 는 E. #2 로 기재되어 있다. 기구적으로 엔코더 #1 의 하우징은 엔코더 #2 의 회전축에 연결되어 있다. 이때, 증분엔코더 #2 의 하우징은 실험장치 기준면에 고정되어 있으며, 엔코더 #2 의 회전축은 외부 구동모터에 의해서 일정한 속도로 회전제어 되고 있다.

### 4. 실험결과 및 토론

본 연구의 유효성을 확인하기 위하여 Fig. 7 과 같은 실험장치를 구성하였다. 본 연구의 핵심은 엔코더 펄스 신호 처리 알고리즘이므로 전용 DSP 로 TI(Texas Instrument)의 TMS320F2812 DSP 를 채용하였다. 엔코더 #2 를 일정 속도로 구동하기 위하여 외부 구동모터와 엔코더 회전축은 타이밍 벨트로 연결되어 있다. 한편, 엔코더 #1 의 하우징은 엔코더 신호 출력에 필요한 전자회로를 포함하며 엔코더#2 의 회전축과 연결되어 회전하고 있으므로 엔코더 #1 의 신호는 광변조를 이용하여 비접촉식으로 외부 출력된다.

먼저, Fig. 8 은 엔코더 #1 의 회전축에 연결된 검출 대상 축을 약 1.2rpm 정도의 저속으로 회전시킨 상태에서 회전 방향을 전환하는 신호를 가했을 때, 해당하는 엔코더 #1 의 펄스 신호와 방향 전환 펄스를 나타내고 있다. 실험에 사용한 디지털 오실로스코프(TDS3048B)의 신호 저장 기능을 이용한 실측 데이터를 이용하여 Fig. 8 을 작성하였다.

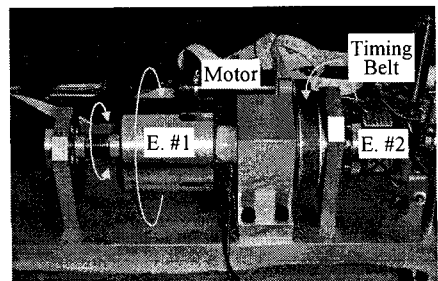


Fig. 7 Experimental setup

Fig. 8 의 전반부의 엔코더 펄스 신호는 약 1.2rpm 의 회전속도(1000PPR 기준)를 나타내고 있는데, 이것은 약 50ms 주기 마다 회전각도 변위를 검출할 수 있음을 의미하며, 회전 방향 전환 펄스가 가해지면 역회전과 동시에 펄스의 폭이 130ms 가 되어 그 주기는 약 2.6 배 정도 증가하게 된다. 이것은 검출 대상은 순간적으로 정지하면서 약 130ms 동안에 어떠한 회전각도 변위 정보도 출력하지 않음을 의미한다. 이러한 특징은 마찰력 외란 영향이 극대화 되는 순간 정지 구간에서 치명적인 단점이 된다.

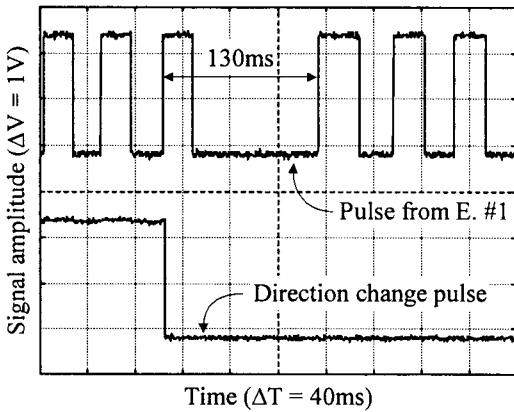


Fig. 8 Rotational direction change command pulse and its corresponding pulse wave from the encoder #1 in an oscilloscope screen

검출 대상이 초저속 상태로 회전할 때, 본 연구의 회전각도 검출 성능을 확인하기 위해서 별도의 외부 모터와 감속기(246:1)를 사용하여 검출 대상을 초저속 회전시켰다. 외부 모터에 장착된 자체의 엔코더와 감속기 정보를 이용하면 초저속으로 회전하는 검출 대상의 실제 회전각도 변위는 이미 알려진 값으로 가정할 수 있다. Fig. 9는 검출 대상을 약 0.8rpm 에 해당하는 초저속으로 회전 시켰을 때, 실제 회전각도 변위와 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 검출한 변위를 나타내고 있다.

Fig. 9 의 결과에 의하면 검출 대상은 1 초 동안에 약 5 도 분량 만큼 회전한 것을 알 수 있다. 이것은 평균적으로 약 0.8rpm 에 해당된다. 뿐만 아니라 측정 구간인 1 초 동안에 약 1000 개의 회전각도 변위 정보를 얻을 수 있으므로 이것은 약 1ms

샘플링 주기에 해당된다. 각속도 0.8rpm 을 종래 방식으로 측정하면 샘플링 주기는 75.0ms(1000PPR 기준)에 해당하므로 Fig. 9는 샘플링 성능을 약 75 배 개선한 결과를 간접적으로 나타내고 있다.

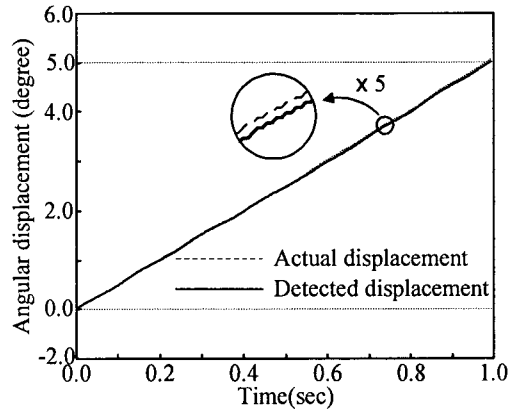


Fig. 9 An actual angular displacement and the detected displacement at a constant angular velocity

결과적으로 Fig. 9 에 표시된 실험결과 전반에 걸쳐서 검출된 회전각도 변위(Detected displacement)는 실제 변위(Actual displacement)에 매우 근접함을 알 수 있다.

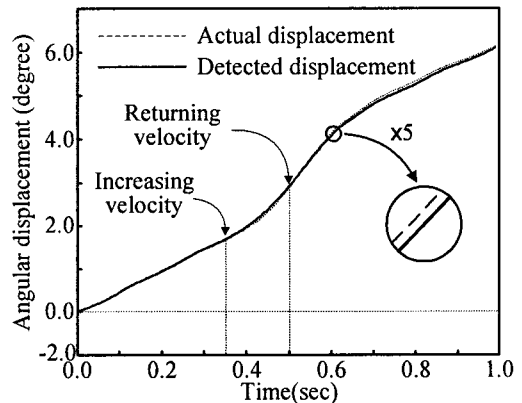


Fig. 10 An actual angular displacement and the detected displacement at various angular velocity

Fig. 10 은 검출 대상 회전속도가 증가(Increasing velocity)했다가 다시 복귀(Returning velocity)하는 등 속도 변화가 존재할 경우에 대하여

본 연구의 알고리즘 유효성을 나타내기 위해서 실제 회전각도 변위와 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 검출한 변위 결과를 표시하고 있다.

실험 결과는 Fig. 9의 일정 속도 경우와 유사하게 실제 회전각도 변위와 검출 변위가 매우 근접함을 나타내고 있다. 뿐만 아니라 가변 회전속도 경우 역시 약 1ms 주기로 회전각도 변위가 측정되어 샘플링 주기 성능이 개선되었음을 알 수 있다.

Fig. 11은 회전 방향이 반복적으로 전환될 때, 즉, 정지 속도 구간이 존재할 때의 성능을 확인하기 위해서 검출 대상을 임의의 다양한 회전속도와 임의의 방향으로 회전 시켰을 때, 실제 회전각도 변위와 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 검출한 변위를 표시하고 있다.

일반적으로 광학식 증분 엔코더는 회전 방향이 전환될 때, 회전 대상물은 일시적으로 엔코더의 회전 정지에 해당하는 0 속도 영역을 지나게 된다. 엔코더의 회전이 일시적으로 정지하게 되면 펄스 신호 출력이 중단되어 펄스 검출이 불가능하게 되는 경우가 발생하므로 초저속과 더불어 0 속도 영역에서 엔코더의 변위 검출 능력은 중요한 성능 지표가 될 수 있다. Fig. 11의 결과는 회전 방향이 전환됨에도 불구하고 실험결과 전반에 걸쳐서 검출된 회전각도 변위는 실제 변위에 매우 근접함을 알 수 있다.

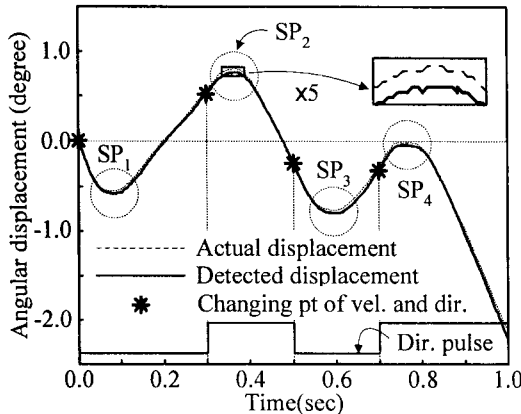


Fig. 11 An actual angular displacement and the detected displacement at various angular velocities with both directions

Fig. 11에서 회전방향 전환 신호는 별표로 표시

된 위치에서 작용한다. 이 때, 모터는 관성에 의해서 잠시 지연된 다음 역회전을 개시하여 변위는 반대 방향으로 진행되는 것으로 관찰된다. Fig. 11에서 점선원으로 표시된 4 개의 SP<sub>i</sub>;(Stop Points)영역들은 모터가 순간적으로 영(Zero)속도를 갖는 정지 위치를 표시한다. 정지구간에서의 변위 검출 성능을 확인하기 위하여 그 중에서 2 번째 정지위치 SP<sub>2</sub> 내부에 표시된 사각형 영역에 대한 0.35~0.39 초 구간의 40ms 분량을 확대하여 Fig. 12에 표시하였다. 앞에서 제시한 Fig. 8에서 관찰된 약 130ms 구간 분량의 고착과는 달리 Fig. 12에서는 0.35~0.385 초 구간 사이의 약 35ms 동안에 약 35 개의 변위가 검출되고 있음을 알 수 있으며, 이것은 약 1kHz 샘플링 주파수에 해당한다.

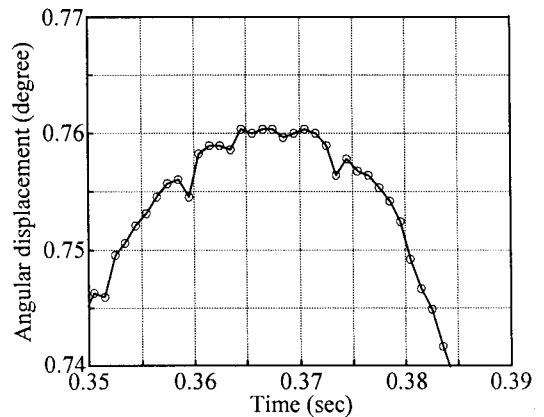


Fig. 12 Magnified profile of the detected angular displacement over the rectangular region inner the circle SP2 in the figure 11

### 5. 결론

본 연구에서는 초정밀 회전각도 변위를 고속 검출 가능한 알고리즘을 제안하고 그 유효성을 보이기 위해서 광학식 증분 엔코더 2 개와 엔코더 펄스 신호 처리용 DSP 제어기를 이용하여 이중 엔코더를 구성하였다.

초저속에서 검출 주기가 극단적으로 늘어나는 기존 엔코더를 이용한 회전각도 변위 검출 알고리즘 특성과는 달리 초저속 혹은 0 속도 영역에서도 이중 엔코더를 사용한 검출 알고리즘은 극단적인 검출 주기 증가 현상이 발생하지 않으면서 정지

속도 및 역회전이 발생하는 순간에도 안정된 회전 각도 변위 검출 결과를 얻을 수 있었다.

초저속에서 고속의 변위 검출 주기를 유지하는 특징은 초저속 모션 제어 분야에 매우 유리한 특징이 될 수 있다. 본 연구의 결과는 제어기에 알고리즘 형태로 포함될 수 있다.

기존의 기타 아날로그적인 신호 보정 과정이 필요한 엔코더 펄스의 원시 정현파 신호를 AD 변환하는 아날로그 방식과는 달리 보정이 필요 없는 완전 디지털 검출 방식이므로 전기적인 잡음에 매우 강하고 주변 환경의 변화에 매우 강한 특징을 갖는다.

## 후 기

본 연구는 2007 학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Kjell, J. G., "Optical Metrology," John Wiley & Sons, pp. 170-190, 2002.
2. David, G. A. and Michael, B. H., "Introduction to Mechatronics and Measurement Systems 3<sup>rd</sup> Ed," McGraw Hill, pp. 322-329, 2006.
3. Shashank, W. and Vivek, A., "High-Resolution Absolute Position Vernier Shaft Encoder Suitable for High-Performance PMSM Servo Drives," IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, Vol. 55, No. 1, pp. 357-364, 2006.
4. Kim, M. H., Kim, J. M. and Kim, C. U., "A Study on Precision Position Measurement Method for Analog Quadrature Encoder," Journal of Korean Institute of Power Electronics, Vol. 9, No. 5, pp. 485-490, 2004.
5. Mayer, J. R. R., "High-Resolution of Rotary Encoder Analog Quadrature Signals," IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, Vol. 43, No. 3, pp. 494-498, 1994.
6. Hori, Y., "Robust and adaptive control of a servomotor using low precision shaft encoder," 19<sup>th</sup> International Conference on IEEE IECON'93, Vol. 1, pp. 73-78, 1993.
7. Lee, S. H., "Development of a High-Resolution Encoder System Using Dual Optical Encoders,"

Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 9, pp. 76-85, 2007.