

논문 97-6-4-05

## 2중천이검출방식을 이용한 새로운 속도 측정회로

윤 경섭\*, 이 무영\*, 김 우현\*, 권 우현\*\*

## A New Speed Measurement Circuit Using 2 Way Edge Detection Method

Kyung-Sup Yoon\*, Moo-Young Lee\*, Woo-Hyun Kim\*, and Woo-Hyen Kwon\*\*

## 요 약

엔코더를 사용한 모터의 속도 검출은 저속에서 엔코더의 스텝과 스텝사이의 간격이 넓어서 속도와 회전방향을 정확히 검출하기 어렵다. 따라서 저속에서 좀 더 정확한 속도정보를 얻기위한 여러 가지의 속도추정기술들이 발표되었다. 또한 저속에서는 회전방향의 검출이 속도의 측정만큼이나 중요하다. 그러나 기존의 방향판별회로는 엔코더 펄스 1주기에 1번씩만 방향을 검출하므로 시간지연이 크기때문에 정확한 검출이 힘들다.

따라서 본 논문에서는 각각의 엔코더 펄스의 상승과 하강천이시마다 회전방향을 검출해 엔코더 펄스 1주기에 4번씩 검출할 수 있는 2중천이 검출방식을 제안한다. 그러므로 제안된 회로를 사용하면 기존의 회로보다 검출시간을 1/4로 단축시킬 수 있어 보다 정확한 속도와 회전방향의 검출이 가능하다.

그리고 제안된 회로의 성능과 효과를 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하고 기존회로와의 비교를 통해 결과들을 분석한다.

## Abstract

The measure of motor speed using encoder is difficult to detect accurate speed and direction in very low speed because the intervals between an encoder pulse and pulse are long. So various speed estimation techniques were proposed to have the good dynamic performance in low speed. And direction detection is so important as speed measurement in very low speed. But because the conventional direction detection circuit check the direction only 1 time in 1 period of each encoder pulses, so it has long delayed detection time in very low speed, thus accurate detection of direction is difficult.

In this paper, we propose a 2 way edge detection method which can detect at the rising and falling edge of each encoder pulses. So it can check the direction 4 times in 1 period of each encoder pulses. Therefore if we use proposed method, we can reduce the detection time as 1/4 than that of conventional circuit and can detect more accurate speed and direction.

And computer simulation and experiment is performed to verify the performance and effect of proposed circuit and we analyze it's results by comparing with that of conventional circuit.

## 1. 서 론

일반적으로 모터와 같은 회전기의 속도와 위치를 검출하기 위한 센서로 비교적 회로구현이 간단하고 측정

정도가 높은 엔코더가 널리 사용된다. 엔코더의 속도 검출신호는 펄스형태의 출력신호를 가지며, 속도 검출회로는 그 특성상 디지털로 구현된다. 이러한 속도검출회로는 크게 고정된 시간창(time window)내의 엔코더 펄스수를 계수하는 주파수측정방식(M방식)과 엔코더 출력펄스의 주기를 시간창으로하여 주파수가 높은 클럭신호의 수를 계수하는 주기측정방식(T방식)의 두가

\* 경북대학교 전자·전기공학부 (School of Electronic and Electrical engineering, Kyungpook National University)

<접수일자 : 1997년 3월 4일>

지 방식으로 나눌수 있다. 그러나 주파수측정방식은 저속구동시 속도측정의 정도(resolution)가 낮아지는 단점이 있고, 주기측정방식은 고속구동시 정도가 낮아지는 단점이 존재한다. 따라서 이를 보완하고 측정범위와 정도를 향상시키기 위하여 이 두가지 방식을 혼합하여 사용하는 주파수/주기 측정방식(M/T 방식)이 일반적으로 사용되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

그러나 엔코더를 이용한 속도측정은 펄스의 갯수를 계수하는 것에 의해 얻어지므로 엔코더를 이용해서 속도를 측정하고자 할 때 엔코더의 펄스가 많으면 많을수록 정밀한 측정을 기대할 수 있다. 그러나 엔코더의 펄스수를 늘리는데는 기구적인 한계가 있고 비용이 증가되어 엔코더를 이용한 속도측정에는 그 측정정도에 한계가 존재하게 된다. 따라서 엔코더의 출력 펄스수를 늘리는 것보다는 이러한 엔코더의 특성을 감안해 낮은 펄스수를 가진 엔코더를 이용해 좀 더 정확한 속도를 검출하기 위한 방법들이 개발되었다.<sup>[3]</sup>

그중에 엔코더의 출력을 이용해서 더 많은 출력을 얻어내는 방법으로 4배회로를 이용한다. 이는 엔코더의 출력이 회전방향에 따라 90°의 위상차를 갖는 A상과 B상의 2상펄스임을 이용해 이를 논리회로를 이용해서 엔코더출력펄스수의 4배에 해당하는 펄스수를 얻어내는 방법이다.<sup>[4]</sup>

그러나 저속구동에서는 4배된 펄스를 사용한다 하더라도 엔코더의 펄스와 펄스사이가 길어지므로 그 사이에서는 속도의 검출이 불가능하다. 따라서 저속에서의 속도제어를 위해서 관측기(observer)를 이용한 속도 추정 알고리즘들이 많이 개발되고 있다.<sup>[5][6]</sup>

그리고 저속구동에서는 회전속도의 검출만큼 회전방향의 검출 또한 중요한 요소가 된다. 일반적인 회전방향 검출회로는 엔코더 펄스와 펄스사이의 신호위상각으로 방향을 감지하며, 이를 검출하는 시간은 최대로는 엔코더출력펄스의 1주기까지 걸릴 수 있어 실제의 회전속도와 검출되는 회전속도사이에 위상 지연이 발생하므로 저속에서의 운전시 회전방향의 검출이 문제된다.<sup>[4]</sup>

본 논문은 엔코더를 이용한 구동장치에서 회전방향 검출을 2중천이검출방식을 사용하여 엔코더 펄스의 1/4주기로 방향검출이 되도록 하므로써 저속에서 회전기의 속도제어시 발생하는 오차를 저감할 수 있는 회로를 제안한다. 제안된 회로를 이용하면 기존의 엔코더 펄스 1주기 단위의 회전방향검출이 엔코더 펄스 1/4주기에 어떤 방향의 검출이 가능하므로 검출시간을

단축시킬 수 있어 저속에서의 속도제어특성을 향상시킬수 있다.

그리고 제안된 검출방법을 속도제어계에 적용하여 속도검출오차와 각도검출오차등을 기존검출회로와 모의실험으로 비교하여 제안된 회로의 효과를 확인한다.

## II. 속도검출원리

### (1) 속도검출회로

그림 1은 엔코더출력을 이용한 속도 검출회로의 블록도이다. 이는 모터와 증가식엔코더, 4배회로, 방향 판별회로, 계수기, 마이크로프로세서등으로 구성된다. 모터가 회전하면, 엔코더에서 서로 90°위상차를 가지는 A, B상의 펄스열이 발생하며, 이들 펄스를 계수하거나 위상차를 판별하여 속도와 회전방향을 검출한다.

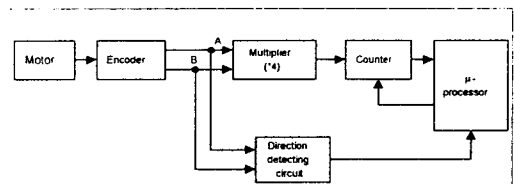


그림 1. 속도측정회로의 블록도

Fig 1. Block diagram of speed measurement circuit

그림 2는 보다 정확한 속도검출을 위하여 엔코더의 A상과 B상의 출력을 이용해 입력 주파수의 4배 주파수를 가지는 펄스신호를 만들어내는 펄스 4배 회로이다.

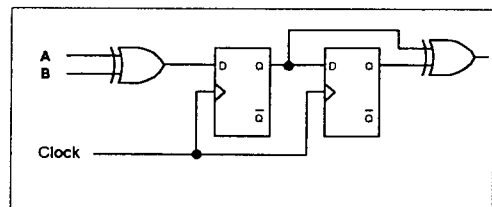


그림 2. 펄스 4배 회로

Fig 2. pulse multiplier(x4) circuit

### (2) M/T방식

M/T방식의 일반적인 타이밍도는 그림 3과 같다. 그림 3에서 회전각도변위는 엔코더로부터 발생하는 펄스

의 수,  $m_1$ 을 계수하면 되고, 검출시간  $T_d$ 는 샘플링 주기후의 첫 엔코더 출력펄스에 동기시키면 결정된다. 따라서 회전각도변위를 검출시간으로 나누면 회전속도를 얻을 수 있다.

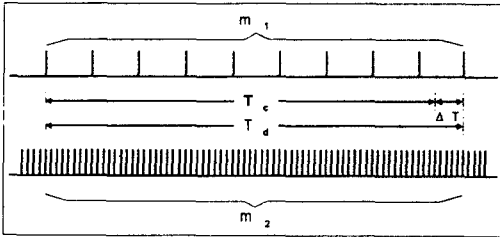


그림 3. M/T방식의 타이밍 도  
Fig 3. Timing diagram of M/T method

따라서 각도변위  $X$ 는  $T_d$ 동안의 출력 펄스  $m_1$ 이 1 회전당 출력펄스  $P$ 로 나누면 식 (1)과 같이 얻어진다.

$$X = \frac{2\pi m_1}{P} \quad (1)$$

또한 검출시간  $T_d$ 는 샘플링주기  $T_c$ 가 지난후 첫 출력펄스까지의 시간으로 정의된다. 따라서 검출시간  $T_d = T_c + \Delta T$ 는 주파수가  $f_c$  Hz인 클럭펄스로 나눈다면 식(2)와 같이 얻어진다. 여기서  $m_2$ 는  $T_d$ 동안의 클럭펄스의 수이다.

$$T_d = \frac{m_2}{f_c} \quad (2)$$

속도측정값  $N_f$  rpm은  $T_d$ 동안의 각도변위  $X$ 의 비이며, 이를 수식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$N_f = \frac{60X}{2\pi T_d} = \frac{60X}{2\pi(T_c + \Delta T)} \quad (3)$$

(1)과 (2)를 (3)에 대입하면 속도측정값  $N_f$  rpm은 (4)식으로 표현된다.

$$N_f = \frac{60f_c m_1}{P m_2} \quad (4)$$

즉, 계수기를 이용해  $m_1, m_2$ 를 계수하여 식 (4)를 이용하여 속도를 얻어낼 수 있다. 이러한 방식을 M/T 방식이라 부르며 Ohmae에 의해 제안되었다.<sup>[1]</sup>

그러나 M/T방식은 회전속력을 검출하는 알고리즘이므로 회전속도를 알기위해서는 별도의 회전방향검출회로가 필요하다.

### III. 회전방향 검출회로

#### (1) 일반적인 회전방향 검출회로

그림 4는 기존 방향검출회로와 그 타이밍도를 나타낸다. 엔코더 출력신호는 A상과 B상이 90°의 위상차이를 가지므로 A상이 B상보다 90° 빠르면 정방향, 90° 느리면 역방향으로 판단할 수 있다. 따라서 회전방향의 검출회로는 그림 4 (a)와 같으며 회전방향이 바뀌에 따라 A, B가 나타나는 상차에 따라 그림 4 (b)와 같이 Dir을 출력하며, Dir이 1이면 시계방향(CW), Dir이 0이면 반시계방향(CCW)으로 판단한다.

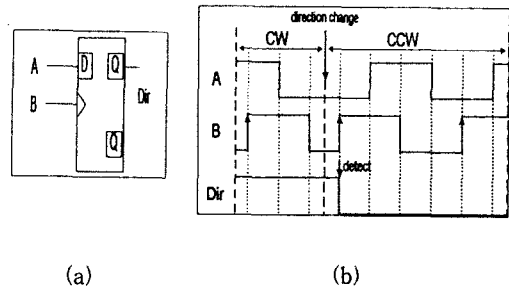


그림 4. 기존 방향 검출회로  
Fig 4. Conventional direction detection circuit

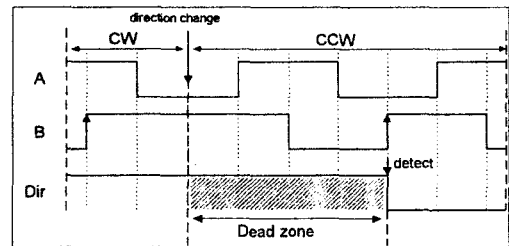


그림 5. 기존 회로의 타이밍도  
Fig 5. Timing diagram of Conventional circuit

그러나 기존 방향 검출회로는 A를 D플립플롭의 입력에 B를 D플립플롭의 클럭으로 사용하므로 B의 상승천이시에만 방향의 검출이 이루어진다. 따라서 임의의 위치에서 회전방향이 바뀌었다하더라도 모두 B의 상승

천이시에 이르러서야 방향이 바뀌었음을 검출할 수 있으므로 최악의 경우 그림 5와 같이 최대 엔코더 펄스의 1주기동안만큼의 무응답영역(Dead zone)이 발생하게 되고 이동안은 실제 모터의 회전방향과 반대로 방향검출이 이루어진다. 이는 저속에서의 제어특성을 떨어뜨리는 결과를 초래한다.

(2) 제안된 회전방향검출회로

그림 6은 엔코더 출력 A, B와 A⊕B 그리고 A와 B의 검출된 천이그림이다. 그림에서보면 회전방향이 시계방향(CW)일 때 A⊕B의 상태가 1천이시는 1, B천이시는 0이고, 반시계방향(CCW)일때는 A천이시는 0, B천이시는 1이 됨을 알 수 있다. 따라서 엔코더 출력 A, B의 매 천이시마다 A⊕B의 상태를 관찰하면 회전방향을 검출할 수 있다.

따라서 이를 검출하는 회로의 블록도는 그림 7과 같고, 외부클럭(clock)은 A, B 신호의 최대치보다 10배이

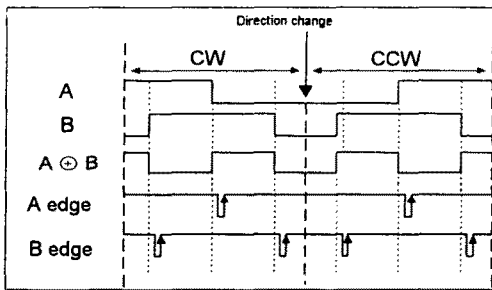


그림 6. 엔코더의 각 천이시 타이밍도  
Fig 6. Timing diagram of encoder at edges

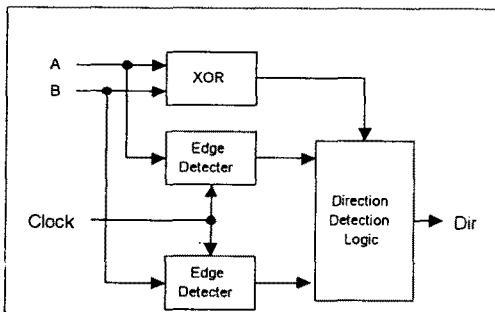


그림 7. 2중천이검출방식의 블록도  
Fig 7. Block diagram of 2 way edge detection method

상 높은 주파수를 선택하는 것이 좋다.

그리고 방향검출블록은 표 1에 나타낸 것과 같은 논리로 동작된다. 여기서 A edge는 그림 6에 나타낸 것과 같이 A신호의 상승 및 하강천이를 검출한 신호를 의미하며, B edge역시 마찬가지로의 의미를 지닌다. 따라서 D 플립플롭의 입력을 A⊕B로 주고 검출된 천이가 A신호의 천이인지, B 신호의 천이인지에 따라 방향을 판단하는 논리는 표 1과 같다.

표 1. 검출블록의 논리

Table 1. Logic of detection block

CK=A edge			CK=B edge		
D	Q	$\bar{Q}$	D	Q	$\bar{Q}$
A⊕B	CW	CCW	A⊕B	CCW	CW

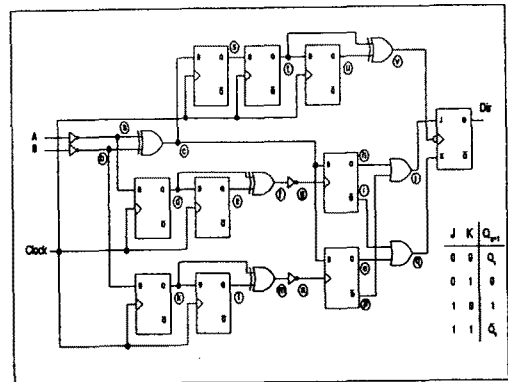


그림 8. 2중천이검출방식의 회로도  
Fig 8. Circuit of 2 way edge detection method

그러므로 제안된 2중천이검출방식의 구체적인 회로는 그림 9와 같으며 각상의 모든천이에서 방향의 검출이 이루어지므로 B신호의 상승천이와 관계없이 모든천이에서 방향이 판단된다.

위의 결과들을 그림 9으로서 정리할 수 있는데 이는 모터의 방향이 바뀌었을 때, 이것을 엔코더의 출력을 이용해서 방향이 바뀌었음을 검출할 때까지의 각도변화를 그림으로 나타낸 것이다. 그림 9 (a)는 일반적인 방향검출회로에서의 정회전과 역회전의 방향검출이 이루어지는 최대 히스테리시스대역이고 (b)는 제안된 방

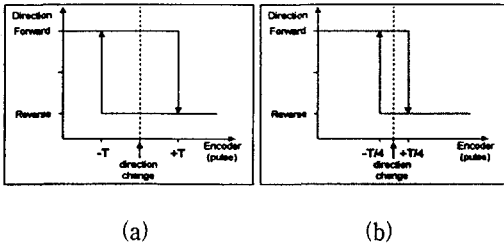


그림 9. 방향검출회로의 히스테리시스 대역  
 Fig 9. Hysteresis band of direction detection circuit

향검출회로에서의 최대대역이다. 즉 일반적인 검출회로가 1주기 이내에 검출되는데 비하여 제안된 회로는 엔코더 출력의 1/4주기내에 검출됨을 볼 수 있다.

IV. 모의실험 및 실험

본 모의실험에서는 2중천이검출방법의 성능을 확인하기 위해 엔코더에 의해 검출된 속도와 기준속도를 비교하는 속도제어루프를 만들고, 이 속도제어의 정도를 확인하기 위하여, 속도의 적분치, 즉 위치를 이용해서 위치제어에 적용시켜 보았다. 모의실험에서 사용된 위치제어루프는 그림 10과 같다.

표 2. 모터와 엔코더 사양  
 Table 2. Specification of motor and encoder

Motor		
R	7	$\Omega$
L	$120 \times 10^{-3}$	mH
Kt	0.0141	N · m/A
J	$1.06 \times 10^{-6}$	Kg · m <sup>2</sup>
B	$6.04 \times 10^{-6}$	N · m · s
Encoder		
Resolution	540	Pulse/rev.

그리고 모의실험과 실험에서 사용된 모터와 엔코더의 사양은 표 2와 같다.

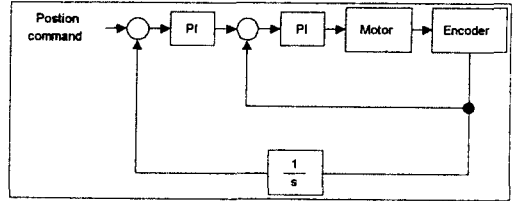
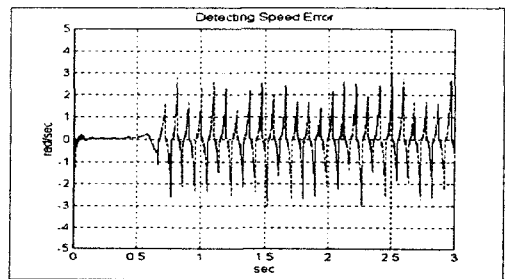


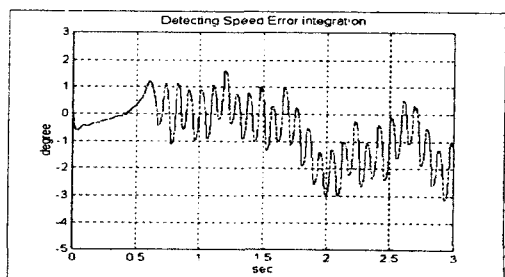
그림 10. 모의실험 블록도  
 Fig 10. Block diagram of simulation

(1) 기존 속도 및 방향검출회로

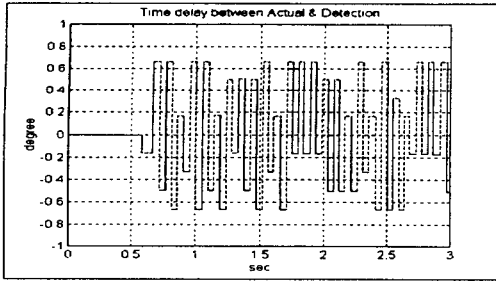
엔코더에 의해 검출된 속도값으로 임의의 각도에서 원점(0°)으로 위치제어를 할 경우, 고속영역에서는 오차가 적게 발생하지만 원점근처의 저속영역에서는 방향검출에 위상지연이 발생하므로 속도검출에 오차가 커진다. 그림 11 (a)는 실제속도와 검출속도사이의 오차를 나타낸 것인데, 저속에서 방향이 바뀌는 경우에는 큰 오차가 발생함을 알 수 있다. 또한 그림 11 (b)는 속도오차의 적분으로 각도오차를 의미하며 그림 11 (c)의 각도지연에 의해 속도오차가 누적됨에 따라 그 영향이 각도오차로 나타나게 되고 실제로 그림 11 (d)와 같이 실제각도와 검출각도사이의 오차(약 4°)를 발생하게 된다.



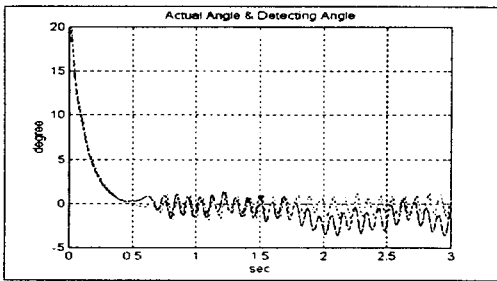
(a)속도오차



(b)각도오차



(c)지연각도



(d)실제각도와 검출각도

그림 11. 기존 회로를 이용한 위치제어(초기각도 20°)  
Fig 11. Position control using conventional circuit (initial angle 20°)

따라서 실제위치와 검출위치를 그림 12와 같이 그려 보면 명령위치(원점)를 중심으로 단위원(limit cycle)이 발생하는 것이 이상적이나 저속의 방향검출에서 각도 지연때문에 중심이 원점에 있지 못하고 움직이는 것을 볼 수 있다.

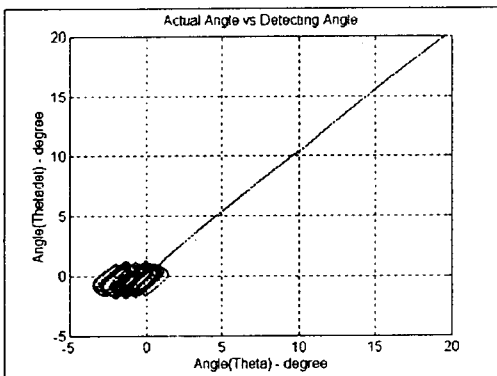


그림 12. 실제각도 대 검출각도  
Fig 12. Actual angle versus detecting angle

그림 13은 실제회전속도가 반전된 후 엔코더에서 방향반전을 검출하기까지의 각도변화를 나타낸 것이다. 이를 보면 그림 11 (b)와 잘 일치함을 알 수 있으며 기존 방향판단회로를 사용할 경우 최대 엔코더 펄스 1주기에 해당하는  $\pm 0.67^\circ$ 의 큰 히스테리시스폭을 가지고 방향판단이 됨을 알 수 있다.

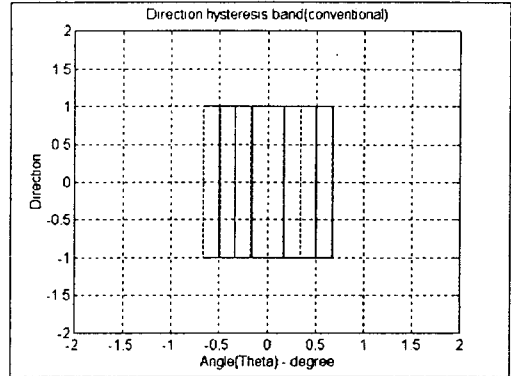
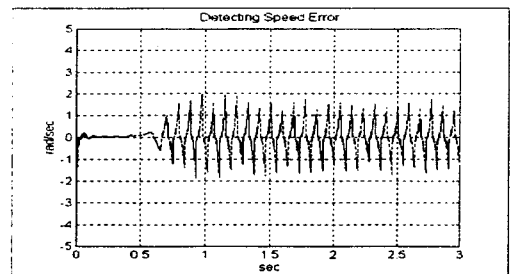


그림 13. 실제 각도 대 방향검출  
Fig 13. Actual angle versus direction

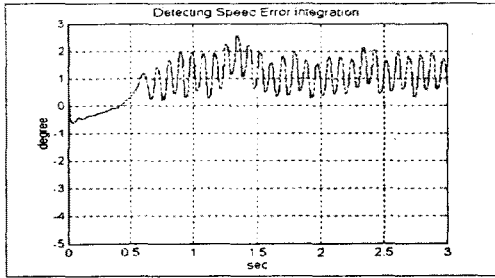
(2) 제안된 속도 및 방향 검출회로

제안된 회로를 이용하면 속도오차가 그림 14 (a)와 같이 나타나고 그에따른 각도오차는 그림 14 (b)와 같이 나타나 그림 12에 비해 상대적으로 그 오차가 줄어들음을 알 수 있다. 이는 그림 14 (c)에서 보는 바와 같이 각도지연이 줄어들어 속도오차가 줄었기 때문이며 그 오차의 누적도 줄어들어 엔코더를 이용한 위치검출은 그림 14 (d)와 같이 실제위치에 가깝게 나타난다.

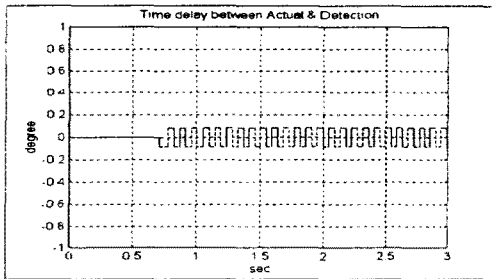
또한 실제위치와 검출위치를 그림 15와 같이 그려보면 단위원이 비교적 명령위치(원점)를 중심으로 발생하는 것을 볼 수 있다. 따라서 속도오차 그림 15 (b)와



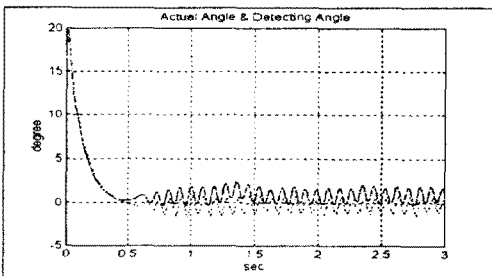
(a) 속도오차



(b) 각도오차



(c) 지연각도



(d) 실제각도 대 검출각도

그림 14. 제안된 회로를 이용한 위치제어(초기각도 20°)

Fig 14. Position control using proposed circuit (initial angle 20°)

같이 2° 이므로 일반적인 회로를 사용할 때의 1/2로 줄어 위치정확도가 2배정도 좋아졌음을 알 수 있다.

그림 16은 실제회전속도가 반전된 후 엔코더에서 방향반전을 검출하기까지의 각도변화대역을 나타낸 것이다. 이를 보면 그림 14(b)와 잘 일치함을 알 수 있으며 제안된 방향판단회로를 사용할 경우 각도변화대역폭이 항상 엔코더 펄스 1/4주기에 해당하는  $\pm 0.17^\circ$  이내로 그림 13의  $\pm 0.67^\circ$ 에 비해 1/4로 감소함을 알 수 있다.

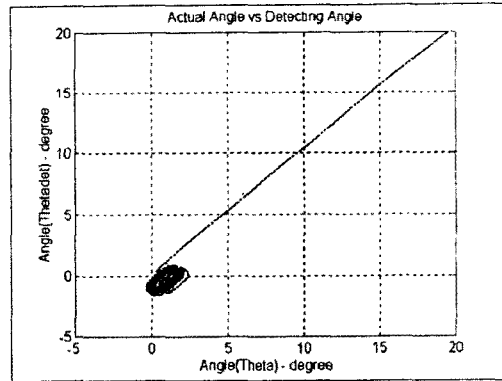


그림 15. 실제각도 대 검출각도

Fig 15. Actual angle versus detecting angle

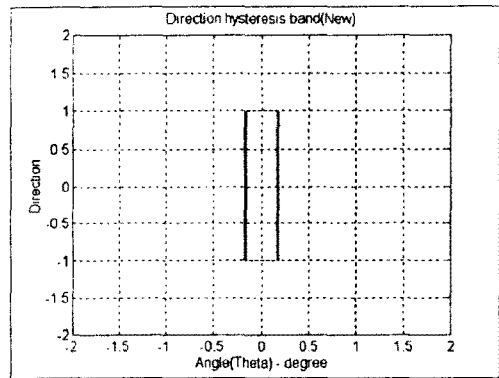


그림 16. 실제 각도 대 방향검출

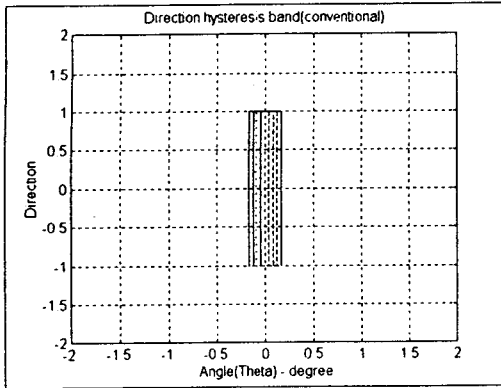
Fig 16. Actual angle versus direction

(3) 해상도가 높은 경우

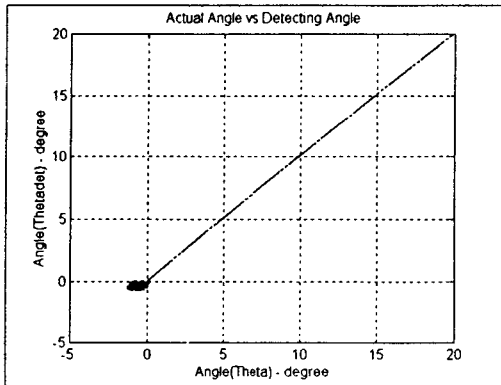
일반적으로 해상도가 높은 엔코더를 사용하면 정도가 높은 정보를 얻을 수 있어 정도가 높은 제어가 가능하게 된다. 그러나 본 논문에서 제안한 회로를 사용하여 속도정보를 얻을 경우 저속에서는 해상도를 높이는 것보다 나은 정도를 얻는 것이 가능하다. 그림 17과 18은 그것을 잘 보여주고 있다.

이제까지의 모의실험에서는 엔코더의 해상도가 540 (펄스/회전)의 경우에 대해서만 논했으나 제안된 회로의 유용성을 판단하기 위해 해상도가 높은 경우(2160 펄스/회전)에 대해서도 응답을 살펴보자.

그림 17에서는 일반적인 방향검출회로와 2160 (펄스/회전)의 엔코더를 사용하여 얻은 회전방향검출대역폭 실제각도 대 검출각도의 그림이다. (a)그림에서 보듯이

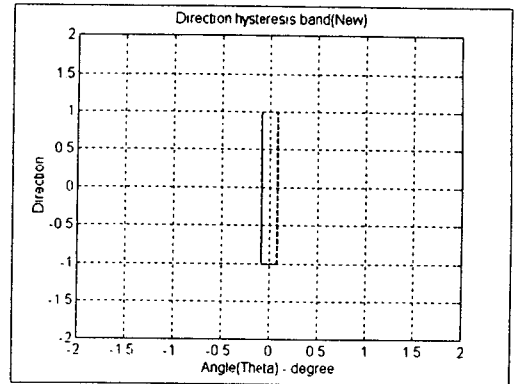


(a)

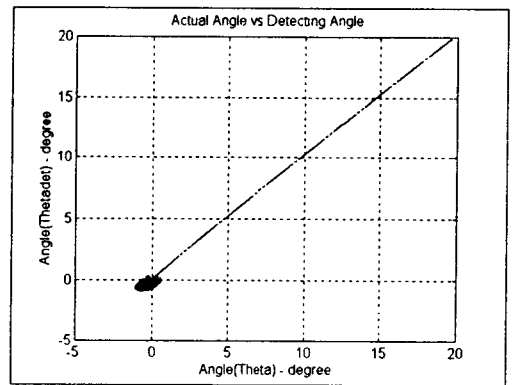


(b)

그림 17. 일반적인 회로(2160 펄스/회전)  
Fig 17. Conventional circuit(2160 pulse/rev.)



(a)



(b)

그림 18. 제안된 회로(1080 펄스/회전)  
Fig 18. Proposed circuit(1080 pulse/rev.)

회전방향의 검출대역은  $\pm 0.17$ 로 해상도가 1/4인 그림 16과 동일하며 (b) 그림 에서도 명령각도인  $0^\circ$  에서 중심을 가지지 못하고 다소의 오차를 가지고 있음을 알 수 있다.

그러나 그림 18에서는 제안된 회로와 1080 (펄스/회전)의 엔코더를 사용하여 모의실험한 결과이다. (a)에서는 그림 17 (a)에 비해 엔코더의 해상도는 1/2로 감소했으나 검출대역은 오히려 절반이 되어 기존의  $\pm 0.17^\circ$  에 비해 1/2인  $\pm 0.085^\circ$  로 나타남을 볼 수 있다. 또한 (b)의 각도검출 그림에서도 그림 17 (b)와는 달리 명령각도인  $0^\circ$  를 중심으로 동심원을 형성하고 있음을 알 수 있다.

앞의 모의실험결과와 실제를 비교 및 확인하기 위해 Intel의 80196KC 마이크로프로세서를 이용해서 실험시스템을 그림 19와 같이 구성하였다. 여기서 D/A변환회로로

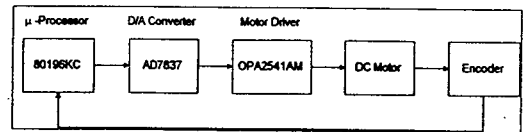


그림 19. 실험장치 구성블록도  
Fig 19. The block diagram of experimental system

Analog Device의 AD7837과, 직류전동기 구동회로로 Burr Brown의 전력용 연산증폭기인 OPA2541AM를 사용하였다.

그림 20과 그림 21은 각각 기존 회로와 제안된 회로를 사용했을 때의 속도제어시의 속도의 적분과 방향을



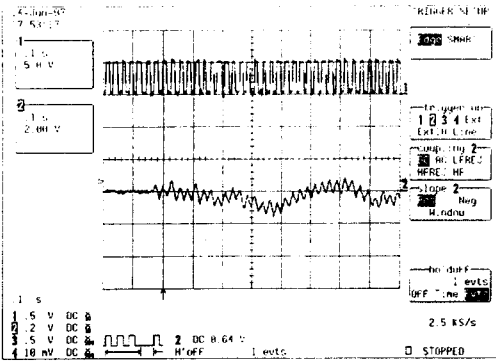


그림 20. 기존회로를 사용한 제어  
Fig 20. The control of conventional circuit

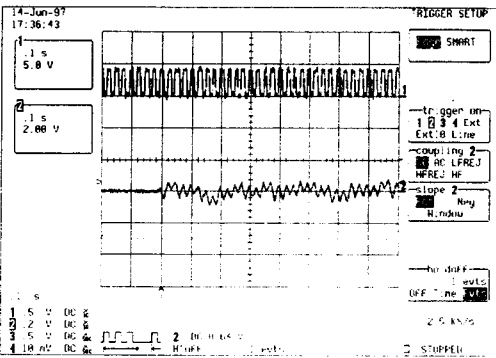


그림 21. 제안된 회로를 이용한 제어  
Fig 21. The control of proposed circuit

검출한 결과이다. 그림 20과 그림 21에서 채널1은 방향검출신호를 채널 2는 속도의 적분, 즉 각도를 나타낸다. 여기서 속도검출동작의 성능측정을 위한 실험은 속도제어루프만을 이용하였으며, 속도명령을 0 rpm으로 제어할 때 전동기는 정·역회전을 반복하면서 속도를 0 rpm으로 제어되며, 그 결과 초기의 위치를 유지하게 된다. 그러나 엔코더로 검출하는 속도는 방향의 반전으로 인해 방향이 검출되기까지 오차를 가지게 된다.

따라서 이때의 속도오차를 적분하면 각도오차를 검출할 수 있으므로 각도오차를 보면, 기존의 회로는 그림 20처럼 방향검출신호의 시간지연으로 인해 속도의 적분치가 0을 유지하지 못하고, 그림 11 (d)의 결과와 같이 4° 정도의 오차가 발생함을 볼 수 있다.

그러나 제안한 회로를 사용하면 그림 21과 같이 방향 검출신호의 시간지연이 적으므로 속도의 적분치가 2°

정도의 오차를 보이고 있으므로 기존회로에 비해 오차가 1/2로 줄어들었음을 알 수 있다. 따라서 제안한 회로를 사용하면 속도가 0부근에서의 속도검출오차를 줄일 수 있어 같은 해상도의 엔코더를 가지고도 기존의 회로에 비해 위치제어시 정밀한 특성을 얻을 수 있다.

## V. 결 론

일반적으로 모터의 속도제어를 위한 센서로서 엔코더를 많이 사용하며, 엔코더는 1회전당 유한한 개수의 펄스밖에 출력할 수 없으므로 기존의 저속구동시의 펄스와 펄스사이에서는 속도와 회전방향에 대한 정보를 얻어낼 수 없는 단점이 있다. 따라서 저속에서의 속도제어를 위해서는 엔코더 펄스와 펄스사이의 속도를 추정하는 기술이 사용된다. 그러나 기존의 회전방향검출회로는 검출시간이 길어서 저속에서의 속도제어에 큰 오차가 발생한다.

따라서 본 논문에서는 엔코더 출력 A, B의 모든 천이시마다 회전방향을 검출할 수 있는 2중천이검출회로를 제안하였으며, 이를 블록도 및 타이밍도를 통해 설명하였다. 또한 저속구동시 회전방향이 바뀌는 경우에 대한 구분을 논리표로 제시하였고, 검출지연각도가 기존회로의 1/4이 됨을 모의실험과 실험을 통해 비교, 확인하므로써 제안된 회로의 효과를 보였다. 또한 엔코더로 검출된 속도와 이를 적분한 위치값을 이용해서 고속과 저속이 모두 포함될 수 있는 위치제어루프를 구성해 모의실험과 실험을 통해 제안된 회로의 각도오차가 2° 정도로 기존회로의 4° 보다 1/2로 감소됨을 보였다.

따라서 제안한 회로를 사용하면 속도가 0부근에서의 속도검출오차를 줄일 수 있어 같은 해상도의 엔코더를 가지고도 기존의 회로에 비해 위치제어시 정밀한 특성을 얻을 수 있다.

## VI. 참고문헌

- [1] T. Ohmae *et al.* "A Microprocessor-Controlled High-Accuracy Wide-Range Speed Regulator for Motor Drives," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. IE-29, no. 3, Aug. pp. 207~211, 1982.
- [2] K. S. Kim, "Position Control of an Induction Motor with Sliding Mode Controller," *Ph. D.*

- dissertation*. Seoul National University, pp. 106~110, 1990.
- [3] S. H. Yoon, S. H. Shim, T. G. Chang, H. D. Ha, "An Electric Vehicle Wheel Speed Measurement Technique Based on Sampled Interval Measurement," *Trans. KIEE*. vol. 45, no. 11. Nov. pp. 1594~1602, 1996.
- [4] M. H. Song, "The Design of Variable Structure Position Controller for Brushless DC Servo Motor using Digital Signal Processor", *Ph. D. dissertation*. Korea University, pp. 46~55, 1990.
- [5] H. W. Kim, S. K. Sul, "A New Motor Speed Estimator Using Kalman Filter in Low-Speed Range," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 43, no. 4, Aug. pp. 498~504, 1996.
- [6] D. S. Hyun, N. J. Kim, "Instaneous Speed and Mechanical Inertia Moment Estimation for the Improvement of the Low Speed Control Characteristics of Induction Machines," *KIPE*. vol 1. no 1. pp. 12~19, 1996
- [7] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, *Electromechanical Motion Device*, McGraw-Hill Book Company, International Edition, pp. 102~106, 1989

---

 著 者 紹 介
 

---



尹 暉 燮

1965년 2월 21일생. 1991년 경북대학교 전자공학과 공학사 학위취득. 1993년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사 학위취득. 1996년 동대학원 전자공학과 박사수료. 1997년 ~ 현재 거창전문대학 전자과 전임강사. 주관심분야 : 서보제어, 전력전자, 센서응용제어



金 宇 鉉

1968년 4월 16일생. 1994년 경북대학교 전자공학과 공학사 학위취득. 1996년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사 학위취득. 1996년 ~ 현재 동대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야 : 서보제어, 전력전자, 센서응용제어



李 武 永

1967년 5월 22일생. 1991년 경북대학교 전자공학과 공학사 학위취득. 1993년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사 학위취득. 1996년 ~ 현재 동대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야 : 서보제어, 전력전자, 센서응용제어

權 宇 鉉

「센서학회지 제2권 제2호」 논문 93-2-2-05, p. 31, 참조. 현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수