수동변속기용 비접촉식 변속단 감지센서 개발

한 창 규*

대성전기공업(주) 연구개발실 SA개발그룹

Development of the Non-contacted Gear Detection Sensor for a Manual Transmission

Chang-Kyu Han*

SA(Sensor Application) Development Group, Daesung Electric Co., Ltd., F5 LS Mtron Hightech Center, 555-16
Hogye-dong, Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi 431-831, Korea

(Received 2 June 2011 / Revised 6 October 2012 / Accepted 7 February 2013)

Abstract : The present paper relates to a development of the Gear Detection Sensor for automotive manual transmission. To detect air gap from control finger to detecting zone of sensor based on non-contacted method, permanent magnet and linear type Hall IC are mounted in this sensor. Control finger is machined to 3 step heights to detect 3 gear stages such as In-Gear, Normal and Rear. After conducting actual experimentation based on exclusive Jig and FEM, it is described to consider possibility for automotive application of Gear Detection Sensor.

Key words : Gear detection(변속단 감지), Hall IC(홀 소자), Permanent magnet(영구자석), Magnetic saturation(자기포화), Gear shift stage(변속단)

Nomenclature

V : voltage [V] or [mV]
B : magnetic flux density [T] or [mT]

1. 서 론

수동변속기에 장착되는 차량용 변속단 감지센서는 접촉식(Mechanically contacted type)이 주류를 이루고 있으나 응답성 향상, 수명 증대, 친환경 부품제조 등의 이유 및 하이브리드 자동차(HEV), 전기자동차(EV)의 보급으로 인하여 홀 소자(Hall IC) 기반 비접촉식 변속단 감지센서(Non-contacted gear detection sensor)가 자동차에 도입되고 있다.

또한 크랭크 샤프트(Crank shaft), 캠 샤프트(Cam shaft)의 회전위치를 비접촉 방식으로 측정하기 위

하여 홀 소자(Hall IC) 기반 회전위치 감지센서 및 이를 기반으로 한 전자제어 시스템을 개발하려는 움직임을 보이고 있다.¹⁾

변속기(특히 수동변속기) 내부에 설치된 컨트롤 핑거(Control finger)는 변속레버(Gear shift lever)와 연결되어 있으며, 운전자에 의해 구동 시, 컨트롤 샤프트(Control shaft)를 중심으로 회전을 하며, 내부에 접촉식 변속단 감지센서가 설치된 경우에는, 회전된 컨트롤 핑거가 센서의 접촉단자를 가압하면, 센서 내에서 전기적 변속신호를 생성 및 전송하는 역할을 한다.

반면, 홀 소자 기반 비접촉식 변속단 감지센서가 장착된 경우에는, 회전하는 컨트롤 핑거와 센서 사이의 공극(Air gap) 차이에 의해 생성되는 홀 전압(Hall voltage)을 이용하여 전기적 변속신호를 생성 및 전송시키는 역할을 수행한다.

본 연구에서는 컨트롤 핑거의 회전운동에 따른

*Corresponding author, E-mail: hcg05@dsec.co.kr

홀 소자 기반 비접촉식 변속단 감지센서와 컨트롤 핑거 사이의 공극변화에 의해 생성된 홀 전압의 변화량을 기반으로 하여 변속신호로 이용할 수 있는 변속기용 비접촉식 변속단 감지센서의 성능분석을 통한 차량적용 가능성에 대해 고찰하고자 한다.

2. 본 론

2.1 비접촉식 변속단 감지센서의 장착 구성

비접촉식 변속단 감지센서는 컨트롤 샤프트를 중심으로 회전하는 컨트롤 핑거와 일정량의 공극을 유지한 상태로 변속기를 관통하여 장착되며, 상제한 장착부 형상을 Fig. 1에 도시하였다.

(a) Mounting position for gear detection sensor

(b) Exploded view for transmission and gear detection sensor
Fig. 1 Mounting position view for gear detection sensor

2.2 비접촉식 변속단 감지센서 구성

접촉식 변속단 감지센서는 Fig. 2와 같이 가압로드(Push rod)가 컨트롤 핑거에 의해 가압되면 접촉식 변속단 감지센서 내부에 장착된 가동접점(Moving

Fig. 2 Gear detection sensor based on contacted type

Fig. 3 Gear detection sensor based on non-contacted type

contactor)이 변속신호를 생성하기 위한 단자(Terminal)에 기계적 접촉을 하여 해당 변속신호를 TCU(Transmission Control Unit)로 송출하는 구조로 되어있으며, 마찰을 기반으로 한 물리적 접촉 동작을 하기 때문에, 상대적으로 비접촉식 보다 수명이 짧은 단점이 있다.

비접촉식 변속단 감지센서는 Fig. 3과 같이 크게 영구자석(Permanent magnet: NdFeB)과 이를 고정하기 위한 홀더, 홀 소자(Hall IC)가 장착된 PCB 및 이를 보호하기 위한 커버(Front/Rear cover)로 구성되어 있으며, 영구자석은 오조립 방지를 위해 사다리꼴 형상으로 제작되었다.

변속단 감지센서 내부에 장착된 홀 소자는 Linear type Hall IC이며, 영구자석 혹은 자성체의 이동량

Fig. 4 Output signal graph for linear type Hall IC

및 공극변화에 비례하여 선형출력(홀 전압)을 생성시키는 역할을 한다(Fig. 4).

이를 기반으로 한 변속단 감지센서는 컨트롤 핑거의 회전에 따른 공극의 변화에 대한 홀 전압의 변화량을 이용하여 변속단을 감지하는 역할을 한다.

2.3 비접촉식 변속단 감지센서 개발가능성 검토를 위한 목표설정 및 모델링

컨트롤 핑거 회전 시, 센서의 앞부분(Front cover)과 컨트롤 핑거 사이의 공극을 3단계로 구분할 수 있도록 하기 위해, 각 공극별로 3단계의 변속단(중립(N - 공극: 0.7 [mm]), 인기어(IN GEAR - 공극: 1.7 [mm]), 후진(R - 공극: 3.4 [mm]))을 감지 할 수 있도록 Fig. 5(a)와 같이 컨트롤 핑거에 3개의 단차(Step height)를 형성하였다. 또한 각 변속단별 컨트롤 핑거의 회전량은 20 [Deg]이며, 컨트롤 핑거가 회전 시, 공극이 변하는 구조로 구성되어 있다.

목표성능은 Table 1과 같이 동작전압을 0.5 ~ 4.5 [V]의 범위로 인가할 때, 인기어: 3[V], 중립: 4.5[V], 후진: 1[V]의 홀 전압이 발생하도록 설정하였다.

목표성능 구현을 위해 컨트롤 핑거의 형상은 Fig. 5(b)와 같이 최대한 단순화 시켰으며, 홀 소자와 영구자석은 Back bias configuration으로 구성하고, 이

(a) Air gap configuration from front cover to control finger

(b) Air gap configuration from Hall IC to magnet

Fig. 5 Modeling for gear detection sensor

들 둘 사이(홀 소자와 영구자석 사이의 공극)에 생성된 공극의 유무에 따른 성능을 분석하기 위하여 4개의 경우(Case 1 ~ 4)로 나누어 모델링을 수행 후, Fig. 5(b)에 도시하였다.

2.4 비접촉식 변속단 감지센서 개발가능성 검토/성능평가를 위한 FEM analysis 수행

비접촉식 변속단 감지센서의 개발가능성을 검토하기 위하여 Fig. 5(b)에 도시된 모델링 데이터를 기반으로 Ansoft社의 Maxwell을 이용하여 정자장 기반 FEM 해석(Magnetostatic FEM analysis)을 수행하였다(Fig. 6).

컨트롤 핑거만 회전하며 나머지 형상은 모두 고정된 상태에서 컨트롤 핑거의 회전운동에 의해 공

Table 1 Target performance for gear detection sensor

Item	Gear Shift Stage		
	IN GEAR	N	R
Target voltage	3 [V]	4.5 [V]	1 [V]
Operating voltage range	0.5 ~ 4.5 [V]		
Air gap (from Cover to Finger)	1.7 [mm]	0.7 [mm]	3.4 [mm]
Air gap (from Magnet to Hall IC)	0, 1.5, 3, 4.5 [mm]

Fig. 6 Computed B-field view for gear detection sensor

극이 변할 때, 홀 소자(Hall IC)의 검출면을 통과하는 자속밀도(Magnetic flux density)의 양을 FEM을 이용하여 계산하였다.

상온(20 [°C]), Stable 상태를 기준으로 영구자석의 재질은 NdFeB, 컨트럴 핑거의 재질은 주철(Cast iron), 컨트럴 샤프트는 탄소강(Carbon steel)으로 선정하였으며, 영구자석은 N극이 윗부분에 위치되도록 조립되고, 컨트럴 핑거는 컨트럴 샤프트를 중심으로 -20 ~ 20 [Deg] 회전구간 안에서 회전운동을 하며, 5 [Deg] 스텝으로 회전운동 구간을 나누고, 나머지 형상은 모두 고정되어 있는 상태로 구속조건을 설정하였다.

위의 조건을 유지한 상태에서, 컨트럴 핑거만 회전하며 영구자석과 홀 소자 사이의 공극을 변화시키며, 컨트럴 핑거의 회전운동에 의해 센서 앞부분과 컨트럴 핑거 사이의 공극이 변할 때, 홀 소자의 검출면을 통과하는 자속밀도(Magnetic flux density)의 변화량을 FEM을 이용하여 계산하였다.

2.5 비접촉식 변속단 감지센서 개발가능성 검토/성능평가를 위한 Jig 기반 실측정수행

FEM data가 얼마나 신뢰성 있는 데이터인지 비교하기 위해 성능테스트용 지그(Jig: Fig. 7)를 제작하여 Fig. 5(b)와 같은 4가지 경우의 조건을 지그에도 동일한 상태로 적용하여 실측정을 수행하였다.

2.4절과 동일한 조건을 유지한 상태에서 컨트럴 핑거만 회전하며 영구자석과 홀 소자의 공극을 변화시키며, 또한 컨트럴 핑거의 회전운동에 의해 센서 앞부분과 컨트럴 핑거 사이의 공극이 변할 때, 홀

Fig. 7 Jig for performance analysis

소자의 검출면을 통과하는 자속밀도의 변화량을 기반으로 출력된 홀 전압(Hall voltage)의 변화량을 지그 및 인터페이스 장비와 연동된 오실로스코프(Oscilloscope)로 측정하였다.

2.6 FEM data와 실측치의 분석

Fig. 8은 Fig. 5(b)의 조건에서 FEM을 기반으로 계산된 홀 소자(Hall IC)의 검출면을 통과하는 자속밀도 변화량에 대한 그래프이다.

Case 1 (자석과 홀 소자 사이의 공극: 0 [mm])의 경우에는 인기어(IN-GEAR (-20 [Deg])): 0.37 [T], 중립(N (0 [Deg])): 0.4 [T], 후진(R (20 [Deg])): 0.35 [T]로 계산되었다.

Case 2 (자석과 홀 소자 사이의 공극: 1.5 [mm])의 경우에는 인기어(IN-GEAR (-20 [Deg])): 0.20 [T], 중립(N (0 [Deg])): 0.225 [T], 후진(R (20 [Deg])): 0.19 [T]로 계산되었다.

Case 3 (자석과 홀 소자 사이의 공극: 3 [mm])의 경우에는 인기어(IN-GEAR (-20 [Deg])): 0.12 [T], 중립(N (0 [Deg])): 0.135 [T], 후진(R (20 [Deg])): 0.11 [T]로 계산되었다.

Case 4 (자석과 홀 소자 사이의 공극: 4.5 [mm])의 경우에는 인기어(IN-GEAR (-20 [Deg])): 0.076 [T], 중립(N (0 [Deg])): 0.086 [T], 후진(R (20 [Deg])): 0.07 [T]로 계산되었다.

식 (1)은 자속밀도(B)와 홀 전압(V) 사이의 관계를 나타낸다. 여기서 단위 자속밀도당 출력되는 홀 전압의 비율을 민감도(S: Sensitivity)라고 정의하며, 홀 소자의 온도보정계수 설정에 대한 주요 선정 기준이 된다.

일반적으로 범용 홀 소자가 측정할 수 있는 자속밀도의 한계치는 약 0.2 [T] (200 [mT]) 정도이며, 최

대 민감도는 300 [mV/mT] 인 것으로 알려져 있다.

또한 식 (1) 및 Fig. 4를 기준으로, 중립단(N) 자속 밀도 구간(4.5 [V])으로부터, 후진단(R) 자속밀도 구간(0.5[V])까지의 선형출력전압(홀 전압)을 구성하기 위한 최소 자기장 범위(Magnetic field range)는 13.3 [mT] (= 4500-500 [mV] / 300 [mV/mT])로 계산된다.

Fig. 8 Computed flux density graph for each air gap

Table 2 Computed outputs at each case by FEM

Item	Air gap (from Magnet to Hall IC)	Gear Shift Stage (FEM)			Min. magnetic field range (N - R)
		IN GEAR	N (max)	R (min)	
Calculated magnetic field range (Based on FEM result)	0 [mm] (Case 1)	0.37 [T]	0.4 [T]	0.35 [T]	0.05 [T] (50 [mT])
	1.5 [mm] (Case 2)	0.20 [T]	0.225 [T]	0.19 [T]	0.035 [T] (35 [mT])
	3 [mm] (Case 3)	0.12 [T]	0.135 [T]	0.11 [T]	0.025 [T] (25 [mT])
	4.5 [mm] (Case 4)	0.076 [T]	0.086 [T]	0.07 [T]	0.016 [T] (16 [mT])
Min. magnetic field range (ΔB at Hall IC)	$\Delta B = 0.0133$ [T] (13.3 [mT])				
Magnetic saturation limit (B_{SAT} at Hall IC)	$B_{SAT} \geq 0.2$ [T] (200 [mT])				
Max. sensitivity (S_{MAX} at Hall IC)	$S_{MAX} = 300$ [mV/mT]				
Operating voltage range (ΔV at Hall IC)	$\Delta V = 0.5 \sim 4.5$ [V] (500 ~ 4500 [mV])				

위의 결과를 고려한 상태에서 Table 2와 같이 FEM 결과를 전체적으로 분석해보면, Case 1 및 2의 경우는 선형출력을 구성하기 위한 자기장 범위(중립자속밀도 - 후진자속밀도: (N-R))가 0.05 [T] (50 [mT]) 및 0.035 [T] (35 [mT])로 최소 자기장범위 보다 높게 계산되었지만, 변속단별 자속밀도 범위가 거의 모두 0.2 [T] (200 [mT])를 초과하는 것으로 나타나 FEM 계산결과로만 판단한다면, 홀 소자가 자기포화(Magnetic saturation)가 될 것으로 예상된다.

Case 3의 경우는 선형출력을 구성하기 위한 자기장 범위도 0.025 [T] (25 [mT])로 최소 자기장범위 보다 높게 계산되고, 각 변속단별 자속밀도의 범위가 0.2 [T]를 초과하지 않으므로, FEM 계산결과로만 판단을 한다면, 컨트롤 핑거가 회전 시, 홀 소자에서 각 변속단을 구분할 수 있는 홀 전압을 생성할 수 있을 것으로 예상된다.

Case 4의 경우는, 각 변속단별 자속밀도의 범위가 0.2 [T]를 초과하지 않지만, 선형출력을 구성하기 위한 자기장 범위가 0.016 [T] (16 [mT])로 최소 자기장 범위의 임계점 부근에 있기 때문에, FEM 계산결과로만 판단을 한다면, 컨트롤 핑거가 회전 시, 홀 소자에서 각 변속단을 구분할 수 있는 홀 전압을 생성하기가 어려울 것으로 예상된다.

$$\text{Sensitivity } S = \frac{\Delta V}{\Delta B} \quad (1)$$

Table 3 및 Fig. 9는 Fig. 5(b)의 Case 1 ~ 4와 같은 조건에서 지그를 기반으로 하여 컨트롤 핑거가 회전할 때, 홀 소자에서 출력되는 홀 전압을 인터페이

Table 3 Measured and computed outputs at each case

Case	Air gap (from Hall IC to Magnet)	Gear Shift Stage (Measured voltage)			Gear Shift Stage (Target voltage)		
		IN GEAR	N	R	IN GEAR	N	R
Case 1	0 [mm]	4.5 [V]	4.5 [V]	4.5 [V]			
Case 2	1.5 [mm]	4.5 [V]	4.5 [V]	4.5 [V]	3 [V]	4.5 [V]	1 [V]
Case 3	3 [mm]	2.44 [V]	4.00 [V]	1.18 [V]			
Case 4	4.5 [mm]	0.5 [V]	0.5 [V]	0.5 [V]

(a) Measured hall voltage at IN-GEAR stage

(b) Measured hall voltage at NORNAL stage

(c) Measured hall voltage at REAR stage

Fig. 9 Measured hall voltage at Case 3 for gear detection sensor based on jig

스 장비와 연동된 오실로스코프를 이용하여 실측정한 홀 전압의 변화량에 대한 결과이다.

Case 1 및 2의 경우, FEM 분석결과와 마찬가지로 자기포화현상이 발생하여 전 변속단에서 4.5 [V]의 홀 전압이 출력되었다.

Case 3의 경우는, FEM 분석결과와 동일하게 인기어(IN-GEAR: (-20 [Deg])): 2.44 [V], 중립(N (0 [Deg])): 4 [V], 후진(REAR (20 [Deg])): 1.18 [V]로 출력되었다.

Case 4의 경우도, FEM 분석결과와 같이 Hall IC가 공극변화에 대한 자기장 변화를 인지하지 못하여 전 변속단에서 0.5 [V]의 홀 전압이 출력되었다.

Case 3의 측정결과를 기준으로 할 때, 각 변속단 별로 1 [V] 이상의 전압차가 발생하는 것을 확인하였으며, 통상적인 홀 소자의 전압 출력범위인 0.5 ~ 4.5 [V] 이내에서 각 3단계의 변속단을 검출할 수 있는 홀 전압이 생성되어 안정적으로 변속단을 감지할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

2.7 안정적인 성능구현을 위한 천이구간 감지 방지수단 도출

천이구간에서 홀 전압 감지가 되지 않고 안정적인 변속단 감지를 구현하기 위한 방안을 Fig. 10에 나타내었다.

단차가 1 [mm] 이하인 천이구간에서는 설계의도와는 다르게 일정범위를 넘어가는 홀 전압이 감지가 되지 않았으나, 1 [mm] 이상인 경우에는 컨트롤 핑거의 표면조도 및 가공오차에 따라 천이구간에서 일정범위를 넘어가는 홀 전압이 발생하는 현상이 간헐적으로 나타났다.

이를 원천적으로 방지하기 위해 단차가 1 [mm] 이상이 되는 천이구간은 Fig. 10(b)와 같이 테이퍼가공 (30 [Deg])을 하면 홀 소자가 천이구역을 감지하지 못하므로 원천적으로 천이구간 감지를 방지할 수 있다.

또한 컨트롤 핑거에 테이퍼 가공을 하지 않아도 일정시간 이상 변속신호(홀 전압)가 유지되어야만 변속신호로 인식하는 로직(Logic)을 TCU 내부에 구성을 하면 천이구간을 감지하는 오류를 회피할 수 있을 것으로 예상된다.

Fig. 10 Gear detection method at transition area

2.8 실측치 및 FEM data와 결과분석

Back bias configuration 을 기반으로 한 홀 소자와 영구자석 사이의 공극을 변경하면서, FEM analysis 및 실측정을 동시에 수행 후, 홀 소자의 자기포화 조건을 고려하면서 변속단 감지 관련 성능분석 시, FEM data 및 실측치가 거의 동일하게 출력되어 차이가 거의 없으므로, 이를 기반으로 FEM analysis 만으로도 변속단 감지 센서의 성능을 예측할 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

또한 FEM data 대비 실측치 결과를 기반으로 하여, Back bias configuration으로 구성된 홀 소자와 영구자석 사이의 최적화된 공극(Case 3: 3 [mm])을 찾은 후, 각 변속단별로 생성된 홀 전압의 차이를 확인함으로써, 차량 적용에 대한 가능성을 확인하였다. 그러나 현 상태에서는 차량에 장착되지 않는 정적인 상태(Stable state)에서 측정한 결과이므로, 차량의 진동에 의한 Noise 및 온도변화를 감안한다면 변속단 감지 성능이 저하될 것으로 예상된다.

이러한 문제점은 향후, 진동저감을 위한 형상 및 장착부의 최적화와 고온 및 저온에 따른 영구자석의 감자(Demagnetization)에 대한 홀 전압의 보정 작업을 수행한다면, 홀 소자 기반 변속단 감지센서가 가져야 할 기본적인 최소 요구사항에 충족하는 성능을 발휘할 수 있을 것으로 예상된다.

3. 결 론

본 연구에서는 홀 소자를 기반으로 한 비접촉 방식을 적용하여 컨트롤 핑거의 회전에 따른 각 변속단을 감지할 수 있는 변속단 감지센서를 개발하였으며, 이에 대한 성능분석을 통하여, 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 컨트롤 핑거의 회전운동에 따른 홀 소자 기반 비접촉식 변속단 감지센서와 컨트롤 핑거의 단차 사이의 공극 변화에 의해 생성된 홀 전압의 변화량을 기반으로 하여 각 변속단을 감지하기 위한 변속신호로 이용할 수 있는 방법을 도출하였다.
- 2) 홀 소자의 자기포화 조건을 고려하면서 변속단 감지 관련 성능분석 시, FEM data 및 실측치가 거의 동일하게 출력되어, 이를 기반으로 하여 FEM analysis 만으로도 신뢰성이 보장되는 변속단 감지센서의 성능을 예측 할 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다.
- 3) 테스트 샘플군 중에서 실측정 결과기준 0.5 ~ 4.5 [V] 범위 안에서 각 변속단을 정확히 구분할 수 있는 홀 전압을 생성함으로써, 차량 적용에 대한 가능성을 확인하였다.

References

- 1) S. M. Cho, N. M. Kim, S. J. Lee and S. K. Baik, "Optimum Design of CMP Sensor Using Variable Programming Tech. of Hall IC," KSAE Electric, Electronic and ITS Symposium, pp.68-73, 2005.