

## 특정 레벨을 검출하기 위한 2단 Magnetic Float 타입 레벨 게이지의 최적 설계에 관한 연구

김동석<sup>†</sup> · 한재만 · 박관수

### Optimal design of dual magnetic float type level gauge to detect a specific level

Dong Sok Kim<sup>†</sup>, Jae Man Han, and Gwan Soo Park

#### Abstract

For the measurement of liquid level in ship's cargo tank, ballast tank, fuel oil tank and fresh water tank, several types of gauge meter are used such as tubular type, magnetic float type, reflex type transparent type and welding pad type. Among them, magnetic float type gauge meter is environmental friendly device because it is free of power source and maintenance. The main obstacle of the device is relatively large error bound. In this paper, finite element method is used to design and analysis of the magnetic float type gauge meter. The operation of reed switch according to the magnetic field has been successfully described and agreed well with experimental measurement. The optimum geometry with combination of permanent magnet and reed switches are designed to achieve 98 % accuracy of fluid level.

**Key Words :** magnetic float type level gauge, permanent magnet, reed switch

#### 1. 서 론

최근 선박사고의 증가로 인해 경제적 문제뿐만 아니라 환경 문제가 크게 대두되고 있다. 선박 사고의 유형으로는 여러 가지가 있지만, 그 중 유조선의 탱크 내부 유위의 부정확한 측정으로 인한 폭발 사고는 그 피해가 매우 크며, 사전에 예방 가능하다. 그러므로 유조선 탱크 내부에서 폭발위험 위치에서의 정확한 높이 측정의 필요성이 대두되고 있으며 이러한 계측기를 폭발위험지역에 설치하여 화학, 가스, 정유 등을 싣고 있는 선박에서의 폭발로 인한 해양오염 및 대형사고로 이어질 수 있는 위험을 배제 시켜야 하며, 그러기 위해서는 탱크에 설치되는 계측기의 안전성 및 정확성이 크게 요구되어진다.

레벨 게이지는 tubular 타입, reflex 타입, transparent 타입, welding pad 타입 등 여러 종류가 있다<sup>[1,2]</sup>. 그 중

에서 magnetic float 타입 레벨 게이지는 친환경적인 계기로 외부 전원이 필요치 않고 유지비용이 들지 않는 장점을 가지며 선박의 화물 탱크, ballast 탱크, 연료유 탱크, 담수 탱크 등 수많은 종류의 탱크에 사용된다<sup>[3]</sup>. magnetic float 타입 레벨 게이지는 특정 자기장(동작점) 이상이 되면 on이 되고 그렇지 않은 경우에는 off가 되는 리드 스위치(자기 반응 스위치)와 영구자석에 의하여 자기장을 발생하는 공기부력장치인 magnetic float으로 이루어져 있다<sup>[4]</sup>. 일반적인 magnetic float 타입 레벨 게이지는 탱크 내부의 내용물 높이 변화에 따라 magnetic float에 의한 리드 스위치 동작으로 위치를 검출하여 내용물의 양을 측정한다<sup>[5]</sup>. 그러나 이보다 더 중요한 부분이 탱크의 한계 용량에 대한 특정 위치 검출이다. 탱크 내부의 위험 레벨은 95%, 98%의 이며, 이 두 위치를 측정하기 위하여 2개의 magnetic float가 사용된다<sup>[6]</sup>. 하지만 두 위치에 있는 magnetic float은 자기적 상호 간섭을 하게 되고 이로 인하여 레벨 게이지의 위치 검출에 있어 오작동을 하게 된다. 이에 본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 magnetic float 타입 레벨 게이지의 자기장 분포를 해석하고, 이를 적용

부산대학교 전자전기공학과(Department of Electronic and Electrical Engineering, Pusan National University)

<sup>†</sup>Corresponding author: kdongsok@pusan.ac.kr  
(Received : May 6, 2008, Revised : June 3, 2008  
Accepted : June 16, 2008)

하여 탱크 전체의 95%, 98%의 위치에 있는 두 레벨 게이지의 자기장 분포를 해석하였으며, 이를 통해 리드 스위치의 오동작을 없앨 수 있는 자속밀도의 분포를 파악하여 계측의 오동작을 막을 수 있는 레벨 게이지의 위치와 상태를 찾아보고자 한다.

## 2. Magnetic float 타입 레벨 게이지 구조와 동작

### 2.1. Magnetic float 타입 레벨 게이지의 구조

Magnetic float 타입 레벨 게이지 시스템의 구조는 크게 자기장을 발생하고 부력에 의하여 이동한 magnetic float 부분과 자기장에 반응하여 on/off 스위칭 되는 리드 스위치 부로 구성되어 있다. magnetic float는 그림 1, 2와 같이 여러 개의 둥근 막대형 영구자석(alnico 5)과 이를 고정하면서, 리드 스위치가 배치된 고정관이 관통할 수 있는 관형 스테인리스강으로 이루어져 있다. 그리고 스위칭 회로부에는 일정 자속밀도 이상에서는 on상태를 유지하고, 이하에서는 off상태를 유지하는 리드 스위치 2개로 이루어져 있다.

Magnetic float는 그림 1과 2와 같이 영구자석의 개

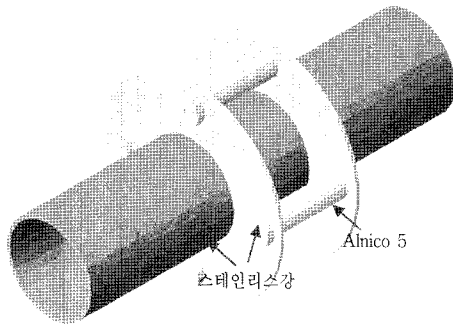


그림 1. 타입 I magnetic float(4극)  
Fig. 1. Type I magnetic float(4 magnets).

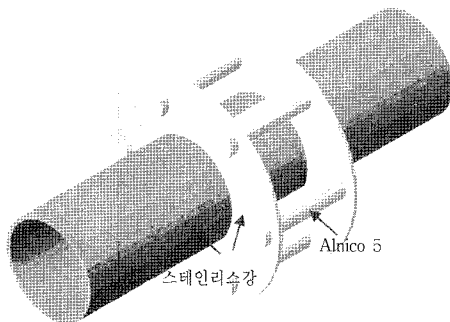
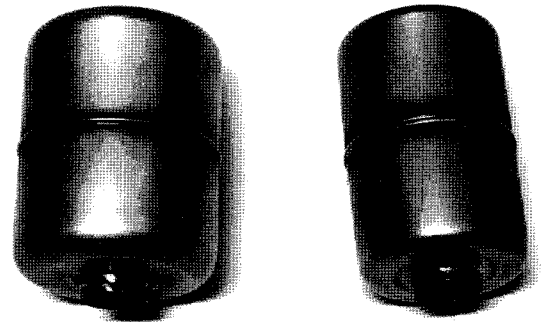


그림 2. 타입 II magnetic float(6극)  
Fig. 2. Type II magnetic float(6 magnets).

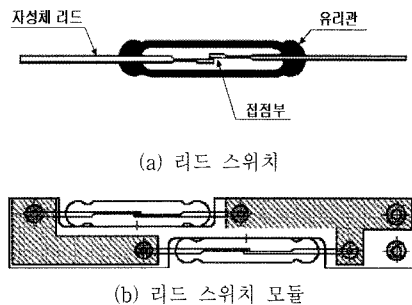
수에 따라 다시 구분할 수 있다. 그림 1은 4개의 영구자석으로 이루어져 있고, 그림 2는 6개의 영구자석으로 이루어져 있다. 영구자석의 재질은 보자력과 잔류자속밀도가 높으면서 높은 온도에 대한 내성을 가진 alnico 5 영구자석을 사용하였으며, 영구자석을 고정하기 위한 두 개의 링형 금속판과 관형 금속관은 자기장에 영향이 없는 공기와 유사한 비투자율 특성을 가지는 비자성체 스테인레스강 재질로 이루어져 있다. 그리고 이들을 외부로부터 보호하면서 부력을 가지도록 공기가 들어 있는 밀폐형 통으로 구성된다. 그림 3은 magnetic float 실 모델의 사진이다.

검출부의 핵심 구성인 리드 스위치는 그림 4의 (a)와 같이 2개의 가늘고 긴 자성체 리드와 유리관으로 구성되어 있다. 리드 스위치 주위에 자석을 접근시키면 자기장은 자성체 리드에 집중되게 되고, 접점에서 한쪽은 N극, 다른 쪽은 S극이 형성되고 접점은 서로 흡입력이 발생되어 서로 접촉하게 된다. 즉 자기장의 세기 및 방향에 따라 on/off가 결정된다. 그림 4의 (b)는 리



(a) 타입 I (4극)      (b) 타입 II (6극)

그림 3. 영구자석이 들어있는 magnetic float의 외형  
Fig. 3. External shape of magnetic float with permanent magnet.



(a) 리드 스위치

(b) 리드 스위치 모듈

그림 4. 리드 스위치의 구조  
Fig. 4. Structure of reed switch.

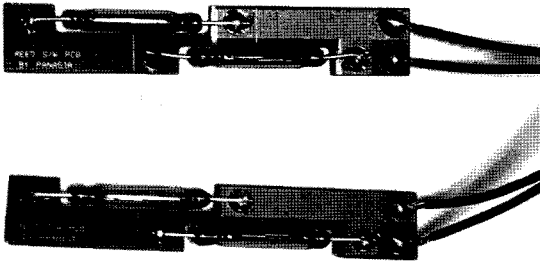


그림 5. 리드 스위치 모듈의 실제 사진  
Fig. 5. Reality photograph of reed switch module.

드 스위치 2개를 사용하여 센서 모듈을 설계한 그림이다. 그림 5는 이 리드 스위치 2개로 이루어진 실제 리드 스위치 모듈의 사진이다. 두 개의 리드 스위치를 모듈로 구성함으로써, magnetic float에 의해 형성된 내부 자기장을 이용하여 원하는 동작을 할 수 있도록 할 것이다. 이 내용은 자기장 해석 결과를 통해 더욱 자세히 설명하도록 하겠다. 이 모듈이 탱크 전체 중 95%와 98%에 위치시켜서 유위를 측정할 수 있게 하였다.

2.2. Sensor의 위치와 동작

그림 6은 magnetic float 타입 레벨 게이지와 센서 모듈을 모두 나타낸 도면이다. magnetic float 타입 레벨 게이지는 두 개가 위(탱크 용량의 98%), 아래(탱크 용량의 96%)에 위치하며 각각 100 mm씩 움직인다. 센서 모듈은 그림 6의 확대 그림과 같이 초기에는 각각의 magnetic float 타입 레벨 게이지 아래에 위치해 있다. 탱크 내부 유체의 높이가 점점 올라감에 따라 magnetic float는 부력에 의해 상승하게 되고, 이때 리드 스위치에 작용하던 자기장이 약해짐으로 센서 모듈은 close상태에서 open상태로 변화며, open상태가 될 때 경보음을 내어 위치를 검출하게 된다.

여기서 일정 자속밀도이상이 되면 크기가 동작하여 on 상태를 유지하다가 검출 범위가이하가 되었을 때 off가 되는 리드 스위치 특성상 스위치 동작점(본 모델의 스위치 동작점: 25 G)이상의 자속 밀도가 발생하였다는 것은 스위치의 동작 범위가 넓어졌음을 의미하고 이는 결국 레벨 게이지 검출 정밀도를 낮추게 된다. 따라서 magnetic float의 정확한 위치와 내용물의 정확한 위치와 양(95%, 98%)을 측정하지 못하게 된다. 그리고 2개의 magnetic float을 사용하는 상황에서 두 magnetic float의 거리가 근접해지면 서로간의 상호 간섭이 발생하여 리드 스위치가 오작동을 하게 된다. 따라서 magnetic float의 자기분포 현상과 상호 영향성 정밀해석하고 이를 분석한 후 적절한 구조와 배치 등의 최적

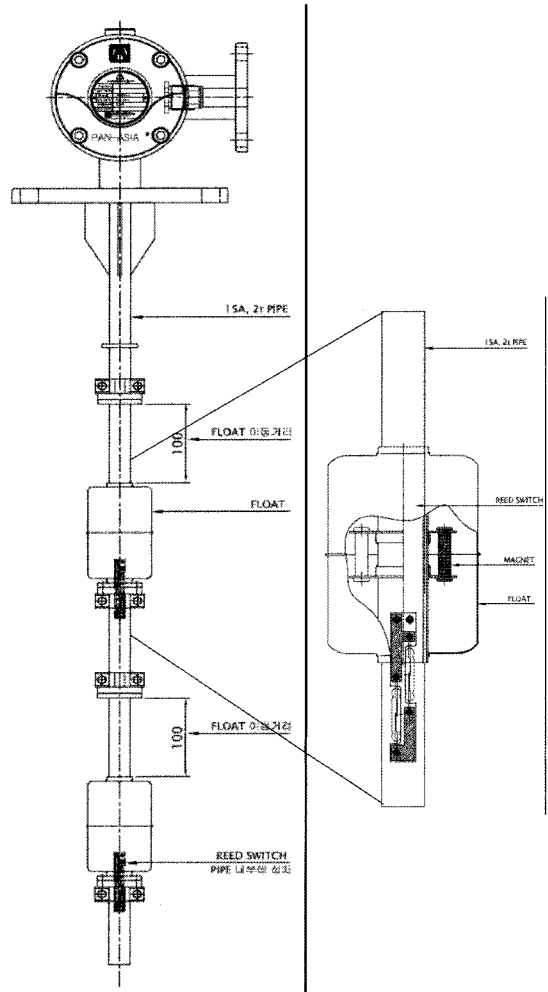


그림 6. Magnetic float 타입 레벨 게이지의 구조와 센서의 위치  
Fig. 6. Structure of magnetic float type level gauge and position of sensor module.

설계가 요구된다. 이에 본 연구에서는 3차원 전자기 유한요소법을 이용하여 정밀해석을 하였으며, 결과로부터 최적의 설계 조건을 제시하였다.

3. Magnetic float의 해석

3.1. 지배방정식

변위전류와 유도전류를 무시할 수 있는 정자계에서 성립하는 맥스웰 방정식과 그 보조방정식은 아래와 같다.

$$\nabla \times H = J \tag{1}$$

$$B = \mu_0(H + M) \tag{2}$$

$$B = \nabla \times A \quad (3)$$

여기서  $\mu_0$ 는 진공에서의 투자율(permeability), A는 자기 벡터 포텐셜이다. 비선형 현상이 없는 문제에서 자화량은 자화율 X로서

$$M = \chi H \quad (4)$$

와 같이 표현되지만 해석 영역 내에 비선형 특성을 갖는 매질이 포함되어 있는 경우의 자화량은 자계의 세기나 자속밀도에 관한 단순한 식으로 표현되지 않으므로 미지수로 남겨두어야 한다. 일반적으로 자화량 M'은 외부의 자계가 제거되면 사라지는 가역항(reversible component:  $\chi H$ )과 외부의 자계가 제거되어도 사라지지 않고 자발자화 특성을 갖는 비가역항(irreversible component: M)의 합으로 나타낼 수 있다.

$$M = \chi H + M \quad (5)$$

식 (5)를 식 (2)에 대입하면

$$H = \nu B - M \quad (6)$$

와 같은 식을 얻는다. 여기서  $\nu = 1/\mu$ ,  $\mu = \mu_0 \mu_r$ ,  $\mu_r = 1 + \chi$ 이다. 이것을 식 (1), (3)을 이용하여 식 (6)의 관계로부터

$$\nabla \times (\nu \nabla \times A) = J + \nabla \times M \quad (7)$$

회전에 의한 벡터 관계식과 coulomb 게이지로부터 식 (8)과 같은 지배방정식을 얻는다.

$$-(\nabla \cdot \nu \nabla) A = J + \nabla \times M \quad (8)$$

### 3.2. 유한요소 정식화

해석영역을 경계조건에 따라 다르게 해석하게 되며, 경계면에서의 자계의 성분을 고려하여 경계조건을 만족시키면 한번 미분 가능한 가중함수 W를 식 (8)에 곱한 후 전체 영역에서 적분하면 아래와 같은 식을 얻는다.

$$\int_{\Omega} W \{ (\nabla \cdot \nu \nabla) A + J + \nabla \times M \} d\Omega = 0 \quad (9)$$

Green 정리와 경계조건으로부터

$$\int_{\Omega} \{ -\nu \nabla W \nabla \cdot A + W J - \nabla W \times M \} d\Omega = 0 \quad (10)$$

를 얻는다. 해석영역을 그림 7과 같이 유한개의 요소로 나누고 요소내의 자기 벡터 포텐셜을 구할 수 있다. 자기포텐셜을 이용한 magnetic float는 자기포화 곡선을 이용하는 비선형 문제이므로 오차가 일정 값이

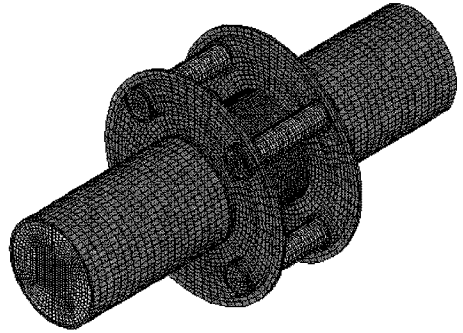


그림 7. Magnetic float의 요소분할  
Fig. 7. Magnetic float meshing.

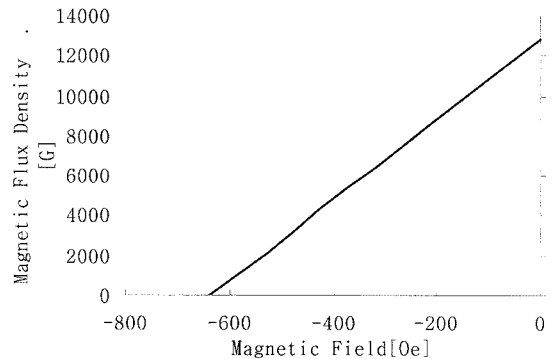


그림 8. 영구 자석(alnico 5)의 감자 곡선  
Fig. 8. Demagnetizing curve of permanent magnet(alnico 5).

하로 될 때까지 식 (10)을 전자기 유한요소법으로 반복 계산하여야 한다. 그림 8은 magnetic float 내에 들어 있는 영구자석(alnico 5)의 감자 곡선이다.

### 3.3. Magnetic float의 자속 밀도 분포 해석결과

타입 I magnetic float의 자속 밀도 분포도는 그림 9(a)와 같다. 붉은 색은 자속 밀도가 높은 곳을 나타내며, 파란색은 낮은 곳을 나타낸다. magnetic float의 전체 모델에서는 자석에서 자속이 집중되어 가장 높게 나타난다. 그리고 센서 모듈이 위치하는 스테인리스 강 내부의 자속밀도 분포는 그림 10의 점선과 같고, 이때 방사 방향을 살펴보면 자석에서 가장 가까운 부분이 자속 밀도가 가장 높게 나타나고 중심으로 갈수록 자속밀도가 낮아진다. 그리고 축 방향으로 보면 중심에서 자속밀도 양 끝 부분은 자속밀도가 낮아짐을 볼 수 있다. 그림 10의 자속 밀도 분포를 살펴보면 중심에서 자속밀도의 값이 음의 값을 갖는데, 이는 자속밀도의 방향이 반대임을 나타낸다.

타입 II magnetic float의 자속 밀도 분포도는 그림

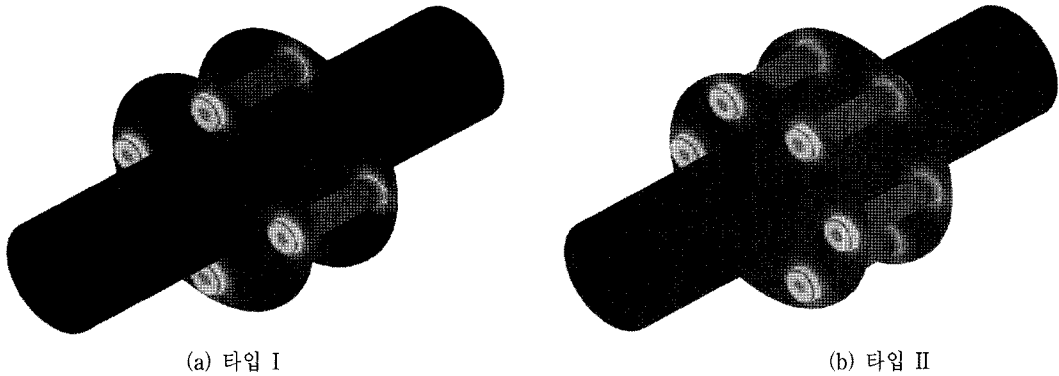


그림 9. Magnetic float의 자속밀도  
Fig. 9. Magnetic flux density of magnetic float.

9(b)와 같고, 자속밀도 분포는 그림 10의 실선과 같이 타입 I magnetic float와 패턴은 같고, 전체적인 자속밀도가 큰 값을 가짐을 알 수 있다.

센서 모듈의 리드 스위치는 자속밀도의 방향에는 상관없이 동작하므로 해석 결과를 그림 11, 12와 같이 절대값으로 나타내었다. 리드 스위치의 초기 위치는 리드 스위치 on/off동작에 따라 결정된다. 리드 스위치는 모델에 따라 on되는 최소 자속밀도 값이 다르고, 작은 것은 10~20 G에서 큰 것은 30~50 G에서 on이 된다. 본 논문에서는 20 G에서 on/off되는 리드 스위치를 사용하였다. 리드 스위치가 on상태에서는 센서 모듈도 on상태이고, magnetic float가 상승하게 될 경우 리드 스위치는 off상태가 되고 센서 모듈도 off상태가 된다. 이때, 전체 레벨 게이지 시스템은 경보음을 발생시키고, 위치를 검출하게 된다. 한편 리드 스위치 2개를 이용하여 센서 모듈을 구성하는 이유는 자속 분포가 그림 11,

12와 같이 3번의 변화가 일어나기 때문이다. 하나의 리드 스위치로 구성 할 경우, 최대의 자속밀도 이외에도 그에 대칭으로 두 개의 상승 구간으로 이동하는 동안에 리드 스위치가 on 상태로 변화하는 구간이 존재하고, 이를 없애기 위해 두 개의 리드 스위치를 병렬로 구성하여 센서 모듈로 구성하였다.

타입 I 모델은 4개의 자석을 사용하므로 6개의 자석을 사용하는 타입 II 모델에 비해 전체적인 자속 밀도 값이 작으므로 센서의 동작범위가 줄어들어 센서 모듈의 위치를 magnetic float의 중심에 더 가깝게 위치시켜야 한다.

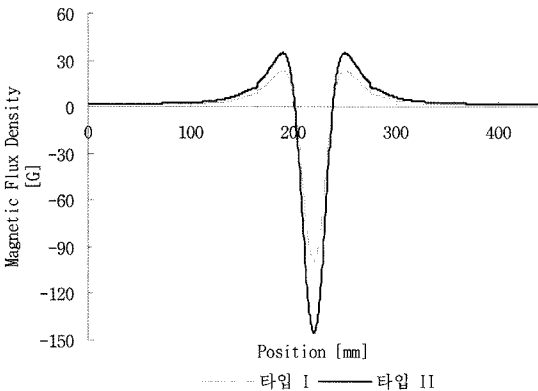


그림 10. Magnetic float 중심의 자속밀도 분포 해석  
Fig. 10. Magnetic flux density distribution of magnetic float center.

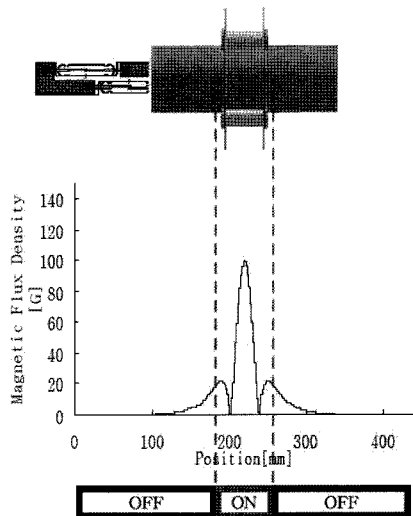


그림 11. 타입 I magnetic float에서 센서 모듈의 위치에 따른 동작  
Fig. 11. Detection by sensor module at type I magnetic float.

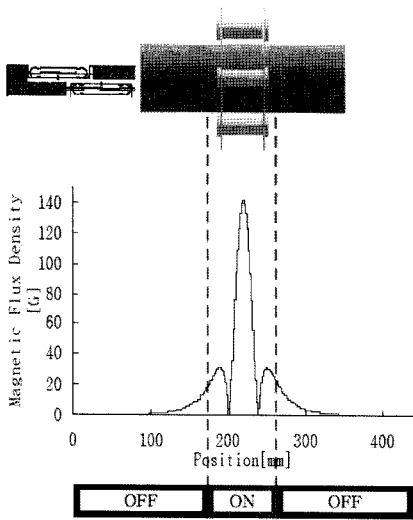


그림 12. 타입 II magnetic float에서 센서 모듈의 위치에 따른 동작  
 Fig. 12. Detection by sensor module at type II magnetic float.

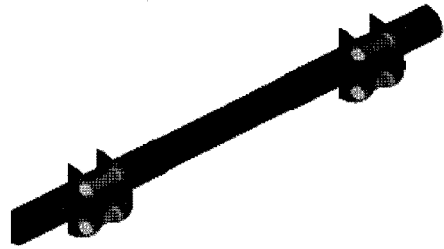
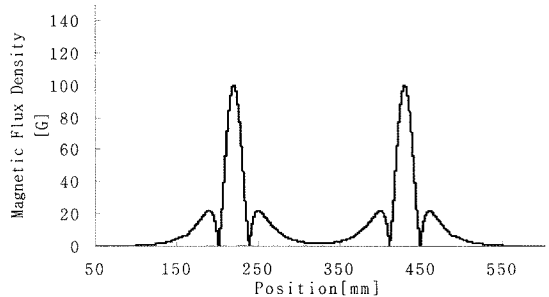
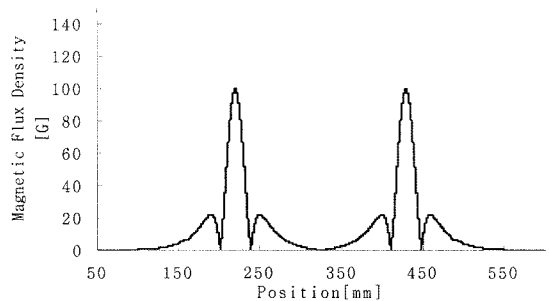


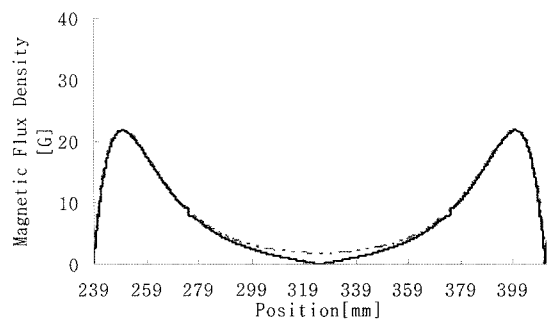
그림 13. 타입 I의 상호 자속 간섭  
 Fig. 13. Interference of magnetic flux at type I.



(i) 자석이 NSNS 순으로 배열될 때



(ii) 자석이 SNNS 순으로 배열될 때



(iii) 두 가지 경우 비교

그림 14. 타입 I의 내부중심의 축 방향 자속밀도 분포  
 Fig. 14. Magnetic flux density distribution of type I magnetic float' center.

#### 4. Dual magnetic float 타입 레벨 게이지의 상호 영향성 분석

Magnetic float 타입 레벨 게이지는 탱크 내부 전체의 95%, 98%의 위치에 2개가 위치한다. 타입 I 모델의 상호 자속밀도는 그림 13과 같고, 스테인레스 내부 중심에서 축 방향 자속밀도 분포는 그림 14와 같다. 그림 13에서의 왼쪽은 실제 모델에서는 아래쪽을 나타내고 오른쪽은 위쪽을 나타낸다. 그림 14-(i)는 자석의 자화방향이 왼쪽부터 N극S극(95% 위치의 magnetic float)-N극S극(98% 위치의 magnetic float) 순으로 배치되어 있을 때의 축 방향 자속밀도의 분포이고, 그림 14-(ii)는 자석의 자화방향이 왼쪽부터 S극N극-N극S극 순으로 배치되어 있을 때 축 방향 자속밀도의 분포이다. 이 때, 그림 14-(iii)은 두 magnetic float 사이의 중간 지점에서 자석방향 NSNS, SNNS 두 가지를 함께 나타낸 그림이다. NSNS일 때의 자속밀도 분포에 비해 SNNS일 때 자속밀도 분포가 중심에서 값이 더 작고 두 magnetic float 사이 범위에서 모두 작은 값을 가진다. 한편 98%에 위치해야 하는 리드 스위치 모듈은 그림 6, 13에서와 같이 두 float 사이의 오른쪽(그림 13에서)에 가까이 위치한다. 즉 그림 11의 상위 그림과 같이 리드 스위치 모듈이 배치되어 있다. 그러므로 이 때 왼쪽에 있는 magnetic float의 자기장이 오른쪽 magnetic float의 움직임을 검출하는 센서 모듈에 영향

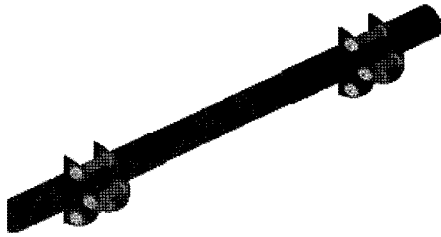


그림 15. 타입 II의 상호 자속 간섭  
Fig. 15. Interference of magnetic flux at type II.

을 미치지 않아야 한다. 그러나 그 거리가 가까워지면 결국 영향을 미치게 된다. 이에 극의 배치에 따른 magnetic float 사이 중심에서의 자속밀도를 비교해 보았다. 그림 14-(iii)를 보면 극의 배치가 SNNS일 경우 두 magnetic float 사이의 중심에서 자속밀도 값은 NSNS에 비해 더 작다. 따라서 이 구조에서 오른쪽 magnetic float의 움직임을 검출하기 위한 센서 모듈의 오작동을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

타입 II 모델의 상호 자속밀도는 그림 15와 같고, 스테인레스 내부 중심에서 축 방향 자속밀도 분포는 그림 16과 같다. 타입 II 모델도 타입 I와 같은 패턴의 상호 자속밀도 분포를 가진다. 그리고 NSNS, SNNS 두 가지 극 배치를 비교한 결과 타입 I와 같이 SNNS일 때 더 작은 자속밀도 분포를 가진다. 그러므로 타입 II 역시 SNNS일 때가 오른쪽 magnetic float의 움직임 검출을 위한 센서 모듈의 오작동을 줄일 수 있다.

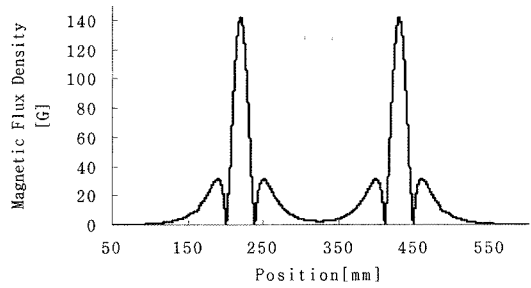
그리고 타입 I과 타입 II는 같은 패턴의 상호 자속밀도를 가지지만, 타입 I의 자속밀도 값이 타입 II보다 작은 값을 가진다. 이것은 타입 I이 타입 II에 비해 더 작은 개수의 자석을 사용하기 때문이다. 그러므로 더 작은 자속밀도 값을 가지게 되고, 리드 스위치 모듈이 On 상태를 유지하는 축 방향 범위가 줄어들게 되어, 왼쪽에 위치하는 magnetic float가 오른쪽 magnetic float의 위치를 검출하기 위한 리드 스위치 모듈의 오작동 영향성을 줄이게 된다.

표 1은 4가지의 경우를 함께 비교한 것이다. 결과적

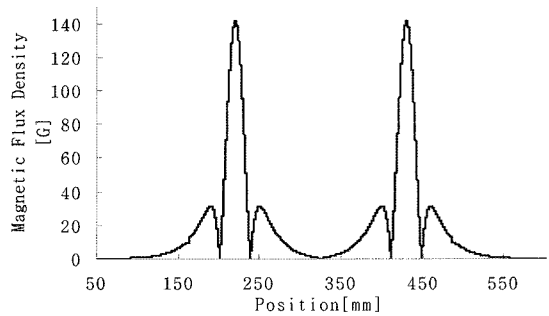
표 1. 자석 개수와 극 배치에 따른 영향 범위

Table 1. Influential Range by the Number of Permanent Magnet and Disposition of Pole

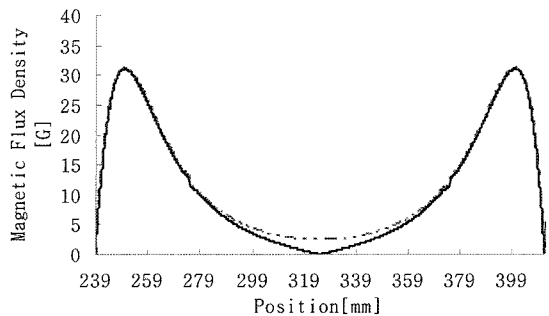
종류	자석 개수	자석의 극 배치 (MF1-MF2)	상호 비 간섭 범위 (Reed Switch of 20 G Range)	두 Magnetic Float 사이에서의 자속밀도
타입 I	4개	N극S극-N극S극	140 mm	5 G
	4개	S극N극-N극S극	140 mm	0 G
타입 II	6개	N극S극-N극S극	86 mm	6.8 G
	6개	S극N극-N극S극	87 mm	0 G



(i) 자석이 NSNS 순으로 배열될 때



(ii) 자석이 SNNS 순으로 배열될 때



(iii) 두 가지 경우 비교

그림 16. 타입 II의 내부중심의 축 방향 자속밀도 분포  
Fig. 16. Magnetic flux density distribution of type I magnetic float' center.

으로 4개의 자석을 사용하고 같은 극을 마주보았을 때, 영향을 미칠 수 있는 거리가 가장 짧았고, 중심에서도 0 G가 나오므로 두 magnetic float를 더 가깝게 위치시키더라도 영향을 미치지 않는다.

## 5. 결 론

선박의 탱크 내 액체류의 수위를 측정하기 위한 레벨 게이지에는 여러 종류가 있는데 이중 외부전원이 필요 없는 반영구적인 센서 시스템인 magnetic float 타입 레벨 게이지는 특정 자기장(동작점) 이상이 되면 on이 되고 그렇지 않은 경우에는 off가 되는 자기 반응 스위치인 리드 스위치와 영구자석에 의하여 자기장을 발생하는 공기부력장치인 magnetic float으로 이루어져 있다. magnetic float 타입 레벨 게이지의 구조에는 단순히 높이 변화만을 측정하는 구조와 특정 위치(위험 위치)를 검출위한 구조가 있다. 이중 특정 위치를 검출위한 구조에는 2개의 magnetic float 타입 레벨 게이지가 사용된다. 본 논문에서는 탱크의 위험 위치인 용량의 95%인 위치와 98%인 위치에 각각의 magnetic float 타입 레벨 게이지 설치되어 있다. 그리고 이들의 위치 변화에 따라 위험 위치를 판단하게 된다.

여기서 일정 자속밀도 이상이 되면 동작하여 on 상태를 유지하는 리드 스위치 특성상 스위치 동작점 이상의 자속밀도가 발생하고 그 범위가 넓으면 스위치의 동작 범위가 넓어져 결국 레벨 게이지의 검출 정밀도를 낮추게 된다. 따라서 magnetic float의 정확한 위치와 내용물의 정확한 양(95%, 98%)을 측정하기 위해서는 중심의 자속밀도 크기가 매우 중요하며 여기에서의 자속밀도를 낮추는 설계가 이루어져야 한다. 그리고 2개의 magnetic float의 거리가 근접해지면 서로간의 상호 간섭이 발생하여 리드 스위치가 오작동을 하게 된다. 따라서 서로 간의 간섭 거리를 줄일 수 있는 설계가 함께 이루어져야 한다.

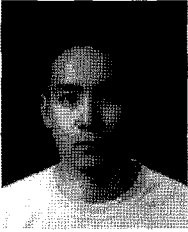
이에 본 연구에서는 magnetic float 타입 레벨 게이지 내의 영구자석의 개수와 2개의 magnetic float의 극 배치구조에 구조에 따른 시스템의 자기특성과 리드 스위치 동작 특성에 관하여 해석함으로써 본 레벨 게이지에 적절한 구조와 위치 등을 설계하여 제안하였다. magnetic float 타입 레벨 게이지의 자속 밀도 분포는 자석 개수에 따라 다르게 나타나는데, 6개의 자석을 사

용할 때 보다 4개의 자석을 사용했을 때, 더 작은 자속 밀도 분포를 가지게 된다. 따라서 4개의 자석을 사용할 때, 두 magnetic float 사이의 영향이 더 작음을 알 수 있다. 또한 전체 탱크에서 98%, 95%의 위치에 있는 두 개의 magnetic float의 상호 작용은 마주보는 극의 상태에 따라 차이를 보임을 알 수 있었는데 그 극의 배치에는 N극S극-N극S극과 S극N극-N극S극의 두 가지 타입이 있다. 마주보는 극이 서로 다른 경우에는 자속 채교에 의해 두 magnetic float 사이의 자속밀도가 커지게 되고, 같은 극이 마주보고 있을 때는 자속 상쇄가 이루어져 중심에서의 자속밀도 크기가 0이 된다. 이러한 특성을 종합하면 결국 자석 개수와 바라보는 극의 상태에 따라 4가지 경우가 발생하는데 이들 4가지 중에서 4개의 자석을 사용하고 서로 마주보는 극일 때, 두 magnetic float 사이에서 상호 간섭 영향이 적고, 정밀도가 가장 높음을 알 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Yaogeng Tang, Song Gao, and Huibin Ouyang, "Development of the intelligent isotope level gauge", *Proc. of Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation*, vol. 5, pp. 3834-3836, 2004.
- [2] Gulden P., Vossiek M., Pichler M., and Stelzer A, "Application of state-space frequency estimation to a 24-GHz FMCW tank level gauging system", *Proc. of IEEE Conf. on European Microwave*, pp. 995-998, 2003.
- [3] Kaichun Ren, "The influence by temperature and product density to accuracy of magnetostrictive level gauge", *Proc. of IEEE Conf. on Information Acquisition*, pp. 410-412, 2004.
- [4] 최범규, 오재근, 김도형, 송광민, "자성유체의 자기적 거동특성을 이용한 광 스위치에 관한 연구", *센서학회지*, 제14권, 제1호, pp. 16-21, 2005.
- [5] 김덕건, 서강, 박관수, "자기 해석을 통한 Magnetic Float Type Level Gauge의 동작 특성 향상", *대한전기학회 부산·경남·울산지회 춘계학술대회 논문집*, pp. 153-155, 부산, 한국, 2007.
- [6] 김영민, 임영철, 김태곤, 김의선, "자계 극배치를 이용한 지능형 차량용 도로 정보의 인식", *센서학회지*, 제14권, 제6호, pp. 409-414, 2005.





김 동 석(金 東 錫)

- 1977년 5월 9일생
- 2001년 한국해양대학교 전기공학과 졸업
- 2003년 한국해양대학교 대학원 졸업(석사)
- 2006년 부산대학교 대학원 수료(박사)



한 재 만(韓 在 萬)

- 1981년 3월 18일생
- 2007년 부산대학교 전자전기통신공학부 졸업
- 2007년~현재 부산대학교 대학원 재학(석사)



박 관 수(朴 寬 秀)

- 1963년 3월 25일생
- 1985년 서울대학교 전기공학과 졸업
- 1987년 서울대학교 대학원 졸업(석사)
- 1992년 동 대학원 졸업(공학박사)
- 1997년~1999년 Carnegie Mellon Univ. Visiting scalar
- 1994년~2003년 한국해양대학교 전기전자공학부 교수
- 2003년~현재 부산대학교 전자전기통신공학부 부교수