

원격검침용 수도미터의 자기장 영향에 관한 실험적 연구

오창현*[†] · 고승현* · 조정준*

An Experimental Study about Effect of Magnetic Field to Water Meter for Remote Reading

Chang-hyeon Oh*[†], Seung-hyun Ko*, Jung-jun Cho*

Key Words : Water meter(수도미터), Error(오차), Magnetic field(자기장), Legal metrology(법정계량)

ABSTRACT

Water meters for remote reading are legal metrology equipment and are managed in accordance with Measures act and technical regulation in Korea. In technical regulation, the same as OIML (International Organization for Legal Metrology) R 49-1, -2, -3, anisotropic ferrite magnets are applied to test measurement errors caused by magnetic fields. Recently, neodymium magnets have been used for industrial purposes and become widespread. Therefore, this study suggests an alternative to improve the shielding reliability of water meters for remote reading through analysis of magnetic field test by different magnet material, type, size and shape.

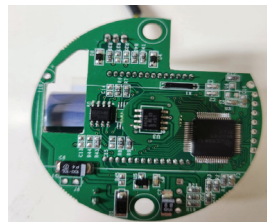
1. 서론

국내에서 상거래용으로 사용되는 13종의 계량기는 “계량에 관한 법률”에 의해 “법정 계량기”로 지정되어 있다. 법정 계량기는 형식승인 제도에 따라 관리되며, 호칭구경 350 mm 이하의 수도미터는 기술기준에 따라 유량부의 형식, 구조, 호칭구경, 환경등급 등에 따라 분류된다.

최근에는 스마트 상수도 관리 체계구축 사업을 위하여 Fig. 1과 같이 MR 센서(Magnetic Resistive sensor)를 적용한 전자식 스마트 수도미터가 보급되고 있다.



(a) Water meter



(b) MR sensor

Fig. 1 Water meter using MR sensor for remote reading

수도미터는 형식승인 시험에서 계량 오차 검증 거치며, 특히, 전자식 수도미터의 경우에는 다양한 외부 설치 환경조건에 따라 서로 다른 계량 오차 특성이 발생할 수 있어 고온, 저온, 습열 조건에서의 내환경 시험, 전자파 시험 및 정적자기장 시험이 추가로 수행되고 있다.

수도미터 정적자기장 시험은 이방성 페라이트 자석에 의해 일시적으로 자기장에 노출되었을 때 발생할 수 있는 측정 오차를 평가하는 것이다. 그러나 현재의 시험 기준을 통과하더라도, 시중에서 쉽게 구할 수 있는 자석을 사용해 수도미터의 계량 오차를 임의로 조작하거나 변조할 수 있는 문제가 있다.

최근에는 모터 등에 사용되는 희토류계 영구자석인 네오디뮴(neodymium)이 개발 및 보급됨에 따라, 이러한 자석에 노출되는 수도미터의 확산이 지속되고 있다. 이로 인해국제 표준에서 제시하고 있는 페라이트 자석을 이용한 정적자기장 시험에 대한 재검토가 필요한 시점이다.

따라서 본 연구에서는 국내 기술기준 및 국제표준에서 제시하고 있는 정적자기장 시험을 검토하고, 자석의 종류, 크기, 모양에 따른 원격검침용 수도미터의 오차에 대한 영향을

* 한국기계전기전자시험연구원(Korea Testing Certification)

[†] 교신저자, E-mail : choh@ktc.re.kr

2024 한국유체기계학회 하계학술대회 발표 논문, 2024년 7월 3일~7월 5일, 평창 알펜시아

The KSFJ Journal of Fluid Machinery: Vol. 27, No. 5, October 2024, pp.53~58(Received 17 Jul. 2024; revised 17 Aug. 2024; 05 Sep 2024; accepted for publication 09 Sep. 2024)

한국유체기계학회 논문집: 제27권, 제5호, pp.53~58, 2024(논문접수일자: 2024.07.17, 논문수정일자: 2024.08.17, 2024.09.05 심사완료일자: 2024.09.09)

비교·분석하여 수도미터 차폐 신뢰성 향상시키기 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 원격검침용 수도미터 현황

2.1 국내 수도미터 개발 현황

국내에서 개발 및 설치되는 수도미터 종류에는 Fig. 2에서 볼 수 있듯이, 접선류 임펠러식, 수직윌트만식, 수평윌트만식, 터빈식, 와류식, 전자기식, 초음파식, 차압식, 로터리 피스톤식, 바이패스식, 플루이딕식 등이 있다. 이 중 원격검침용 수도미터는 주로 임펠러 디지털식 및 수직윌트만 디지털식이 주로 적용되어 사용되고 있다.

수도미터는 Table 1과 같이 연평균 200건 이상의 신규 형식승인이 이루어지고 있다. 2020년 이전에 신규 형식승인을 취득한 수도미터는 대부분 기계식 접선류 임펠러식이었다. 그러나 2020년 이후, 원격검침용 수도미터 보급 사업과 연

계하여 디지털식 접선류 임펠러 방식의 신규 형식승인 취득이 전체 수도미터 형식승인의 약 50 %를 차지하게 되었다. 원격검침 사업이 완료된 2022년 이후에는 신규 형식승인 건수가 감소하고 있다.

연간 임펠러 방식 수도미터는 Table 2에서 볼 수 있듯이, 전체 검정 대수의 약 99 %를 차지하고 있다. 원격검침용 수도미터가 보급되기 이전인 2017년도에는 임펠러 기계식 수도미터 비중이 약 71 %, 임펠러 디지털식 수도미터는 약 27 % 수준이었다. 그러나 2021년도부터 임펠러 기계식 수도미터가 약 45 %로 감소하고, 임펠러 디지털식 수도미터가 약 51 %로 증가하며 보급 추이가 전환되었다.

Table 1 The number of type approvals for new water meters

	'17yr	'18 yr	'19 yr	'20 yr	'21 yr	'22 yr
Impeller Type (Analogue)	75	45	45	96	21	45
	54 %	22 %	43 %	25 %	14 %	23 %
Impeller Type (Digital)	39	95	13	191	45	83
	28 %	47 %	12 %	50 %	31 %	43 %
Woltman type (Analogue)	13	18	12	17	15	0
	9 %	9 %	11 %	5 %	10 %	0 %
Woltman type (Digital)	5	21	15	42	43	35
	4 %	10 %	14 %	11 %	30 %	18 %
Magnetic flow type	6	15	1	13	1	15
	4 %	7 %	1 %	3 %	1 %	8 %
Ultra sonic type	0	10	17	14	16	13
	0 %	5 %	16 %	4 %	11 %	6 %
Rotary piston type	2	0	0	6	4	4
	1 %	0 %	0 %	2 %	3 %	2 %
By pass type	0	0	3	0	0	0
	0 %	0 %	3 %	0 %	0 %	0 %



(a) Impeller Type (Analogue)



(b) Impeller Type (Digital)



(c) Woltman type (Analogue)



(d) Woltman type (Digital)



(e) Magnetic flow type



(f) Ultra sonic type



(g) Rotary piston type



(h) By pass type

Fig. 2 Flow type of water meter for type approval

Table 2 The number of verification water meters

	'17yr	'18 yr	'19 yr	'20 yr	'21 yr	'22 yr
Impeller Type (Analogue)	1,544,410	1,863,043	1,561,300	1,527,300	1,210,895	1,049,832
	72 %	71 %	69 %	63 %	45 %	45 %
Impeller Type (Digital)	576,133	697,664	657,947	877,197	1,367,812	1,174,560
	26 %	27 %	29 %	36 %	51 %	51 %
Woltman type (Analogue)	15,160	15,933	17,547	14,305	10,591	10,600
	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %
Woltman type (Digital)	1,454	3,087	2,690	6,395	19,046	11,760
	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %
Magnetic flow type	1,922	7,570	7,389	10,984	52,252	48,743
	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %	2 %
Ultra sonic type	533	1,681	1,224	1,212	3,670	11,510
	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %
Rotary piston type	14,050	13,340	17,200	2,610	7,140	5,720
	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %
By pass type	279	364	487	452	627	613
	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

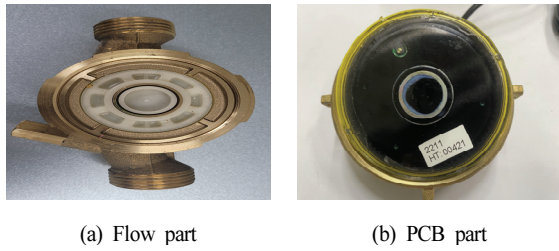


Fig. 3 Structure of water meter for shielding magnetic field

2.2 수도미터의 차폐 구조

수도미터는 외부 자기장에 노출되었을 때 오차에 영향을 받을 수 있기 때문에, 유량 측정부에 차폐 구조가 적용되어 있다. 단갑 수도미터는 1차식 차폐 구조 형식이 적용되었다. Fig. 3(a)와 같이 원통형으로 생긴 차폐 구조물이 격판에 삽입되는 형태를 갖추고 있다. 복갑 수도미터의 차폐 구조는 원통형, 구형이 있으며, 측정 센서가 자기장에 영향을 받지 않도록 격판 위에 2겹의 구조물을 설치하여 차폐하는 방식이 있다. 또한, Fig. 3(b)와 같이 외부 자기장에 취약한 PCB(Printed Circuit Board)의 MR센서 주위를 차폐하는 2차식 차폐 구조 형식도 존재한다.

3. 자석의 자기장 시험

3.1 수도미터의 자기장 시험

OIML R 49와 수도미터 기술기준에서는 센서부가 외부 자기장에 미치는 영향을 평가하기 위해 Table 3에 제시된 정적 자기장 시험을 규정하고 있다. 정적자기장 시험에서는 정격 작동 조건에서 수도미터의 표면(윗면, 아랫면, 옆면)에 자석을 놓았을 때, 모든 기능이 정상적으로 작동해야 하며, 최대 유량(Q₃)에서 최대허용오차를 초과해서는 안 된다. 또한, 2차 지시부가 있는 경우, 1차 지시부 표면에 자석을 놓았을 때도 정상적으로 작동해야 한다. 이에 본 연구에서는 자석으로 인한 원격검침용 수도미터의 자기장 영향을 확인하기 위해, 자석별 자기장 특성에 대해서 실험하였다.

3.2 자석별 자기장 시험

본 연구의 실험에 사용된 영구자석(Permanent magnet)은 Table 4에 나와 있는 5종류로, 국제표준에서 정적자기장 시험에 적용되는 이방성 페라이트 자석과 산업용으로 많이 사용되고 있는 희토류계(Nd-Fe-B, 이하 네오디뮴) 자석으로 선정하였다.

자기장의 강도 영향을 확인하기 위해 5종류의 자석에 대해서 3가지 시험을 진행하였다. 첫째, 자석 표면의 자기력선

Table 3 Static magnetic field test condition under OIML R 49

Influence factor	influence of a static magnetic field
Type of magnet	ring magnet
External diameter	70 ± 2 mm
Internal diameter	32 ± 2 mm
Thickness	15 mm
Material	anisotropic ferrite
Magnetization method	axial (1 north and 1 south)
Retentivity	385 mT to 400 mT
Coercive force	100 kA/m to 140 kA/m
Intensity of magnetic field	Less than 1 mm from the surface : 90 kA/m to 100 kA/m At 20 mm from the surface: 20 kA/m

Table 4 Types of magnets for magnetic flux density test

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Material	Anisotropic ferrite	Anisotropic ferrite	Rare earth (neodymium)	Rare earth (neodymium)	Rare earth (neodymium)
Type	Ring	Ring	Circle	Circle	Rectangle
Size (mm)	D70xd32x15T	D90xd50x15T	D40x5T	D25x20T	50x50x25T
Picture					

Table 5 Maximum surface magnetic flux density at edge

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Magnetic flux density	131 mT	134 mT	287 mT	506 mT	607 mT

속밀도(이하 자속밀도)를 측정하였다. 자속밀도는 자석의 표면에서 균일하게 분포하고 있지 않으며, 면과 면이 만나는 모서리 부분에서 가장 큰 값의 자속밀도가 Table 5에 제시된 바와 같이, 희토류계 자석의 자속밀도는 페라이트 자석보다 2배 이상 높았으며, 동일한 재질의 자석에서는 크기가 클수록 자속밀도 값이 더 크게 측정되었다.

다음으로 측정 높이 변화에 따른 자기장 강도를 측정하였다. 이를 위해 Fig. 4의 높이 측정기(Height Gauge)를 사용하였다. 높이 변화에 따른 자석의 자속밀도 측정 결과, 높이가 상승할수록 모든 자석에서 자속밀도가 선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 5개 자석의 표면에서 25 mm까지 높이가 상승하는 동안 자속밀도는 평균적으로 -8.9 mT/mm 감소하였으며, 모든 높이에서 희토류계 자석의 자속밀도가 페라이트 자석보다 더 크게 측정되었다. 5번 자석의 측정 결과, 자석의 표면에서의 자속밀도는 395 mT로 4번 자석 측정값보다 작았지만, Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 표면으로부터

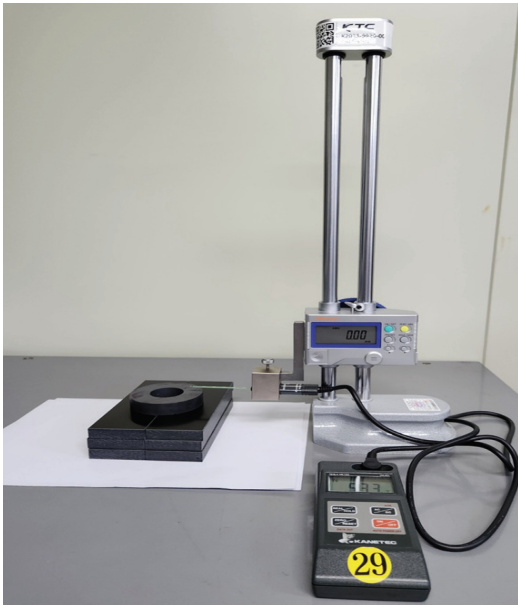


Fig. 4 Measurement of magnetic flux density by height gauge

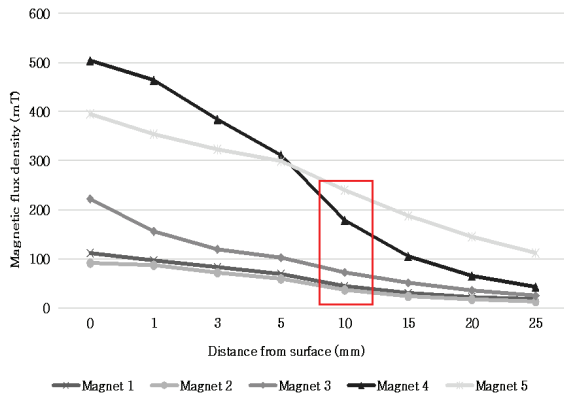


Fig. 5 Measuring magnetic flux density variation at the different height from surface

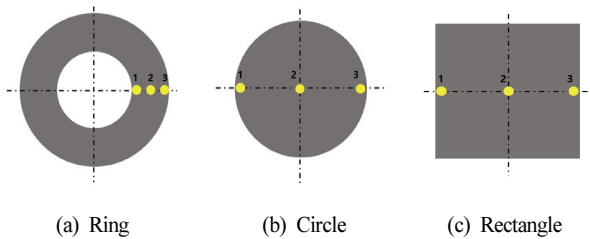
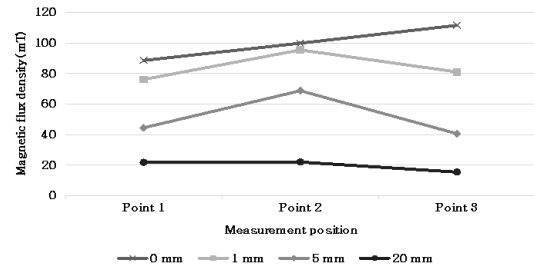


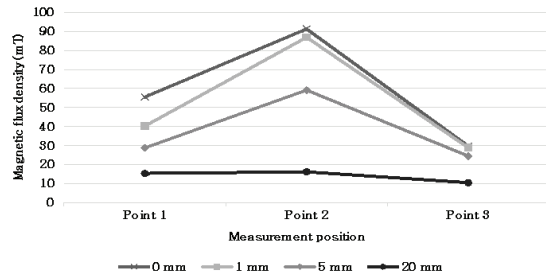
Fig. 6 Measurement positions on different magnetic type

터 10 mm 이상 떨어진 후로는 가장 강한 자속밀도 값을 나타내었다.

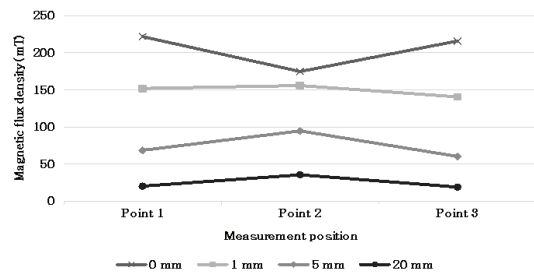
끝으로 자석 형태별로 위치를 Fig. 6과 같이 지정하여 각 지점의 높이 변화에 대해서 자기장의 강도를 측정하였다. 표 면에서 측정한 결과, 2번 지점에서 자속밀도가 가장 크게 측



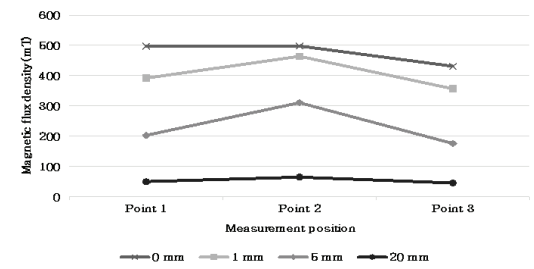
(a) No. 1 magnet



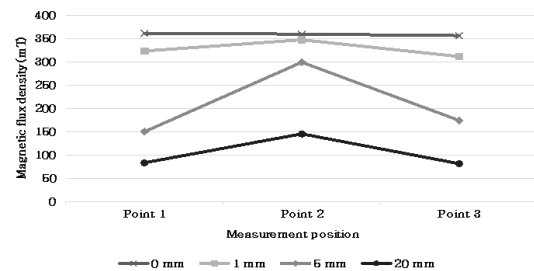
(b) No. 2 magnet



(c) No. 3 magnet



(d) No. 4 magnet



(e) No. 5 magnet

Fig. 7 Measuring magnetic flux density variation at the different height and position

정되지 않는 경우가 있다. 일부 자석의 표면이 고르지 않아 1번 지점에서 자속밀도가 크게 측정되기도 했다. 하지만, Fig. 7에서 모든 자석의 표면에서 1 mm 이상 떨어진 위치에서는 2번 지점에서 가장 강한 자기장의 강도가 측정됐다. 특히, 5번 자석의 경우 표면에서의 자속밀도와 5 mm 높이에서 측정한 결과를 비교했을 때, 2번 지점의 자속밀도는 299 mT로 1번 지점에서 측정된 199 %, 3번 지점보다 172 % 높았다. 또한, 자석의 두께가 얇을수록 자석의 강도 변화가 크게 나타났다. 두께가 5 mm인 3번 자석의 경우, 표면에서 측정한 자속밀도와 1 mm에서의 위치별 변화율이 평균 -26 %였으며, 5 mm 높이에서는 측정 위치별 평균 변화율이 -50 %로 가장 높았다. 반면, 두께가 25 mm로 가장 두꺼운 5번 자석의 자속밀도 2번 지점에서의 측정결과, 높이에 따른 변화율이 1 mm에서 -3 %, 5 mm에서 -17 %, 20 mm에서 -60 %로 가장 적었다.

4. 원격검침용 수도미터 자기장 영향 시험

4.1 자석의 재질에 따른 자기장 영향 시험

본 연구에서는 국내의 30개 형식의 원격검침용 수도미터를 대상으로 자기장 영향 시험을 하였다. 자석별 자기장 영향을 확인하기 위해 5종류의 자석을 사용하여 수도미터의 옆면(2곳), 윗면, 아랫면에 위치시켜 자기장의 영향을 받기 전과 받은 후의 변화량을 측정하였으며, 이 결과를 Table 6에 제시된 4가지 그룹으로 구분하였다. 첫 번째 그룹은 현행 기술기준의 정적자기장 시험에서 적용하는 최대허용오차(변화량 2 % 이내)를 만족한다. 두 번째 그룹은 계량에 관한 법률 시행령 별표 17의 수도미터의 사용오차(변화량 4 % 이내)를 만족한다. 세 번째 그룹은 사용자가 고장으로 판단하기 전 단계로, 변화량 4~30 %이내인 경우를 포함한다. 마지막 그룹은 수도미터 사용자가 수도미터가 이상을 인지할 수 있는 정도를 나타내며, 변화량이 30 %를 초과하는 경우이다.

자석의 재질별 영향을 분석하기 위해 2가지 제한된 조건에서 결과를 평가하였다. 첫 번째로, 유량을 수도미터마다 지정된 최대유량(Q₃)으로 설정하였다. 두 번째로, 자석의 위치를 수도미터의 왼쪽 면으로 설정하였다. 자석 재질별 자기장 영향 시험 결과는 Table 7에서 보듯이, 페라이트 재질보다 희토류계(네오디뮴) 자석에서 비정상 작동 수도미터 수가 증가하였다. 특히, 희토류계(네오디뮴) 재질의 5번 자석에서 비정상 작동 수도미터의 수는 페라이트 재질의 1번 자석보다 1300 % 증가했으며, 허용오차 안에 들어오는 수도미터는 약 62 % 감소했다. 반면, 원격검침용 수도미터에 최대유량(Q₃)이 흐를 경우, 페라이트 재질 자석에는 영향을 받지 않았다. 바깥지름과 안지름이 다른 2개의 페라이트 재질 자석에서는 고장 단계로 분류된 수도미터의 수는 1개에 불과했다.

Table 6 Classification of failure for change rate of Maximum permission error

Group	Change rate of Maximum permission error (x)	Description
1	0 % ≤ x ≤ 2 %	Allowable error as defined in technical standards
2	2 % < x ≤ 4 %	Usage error as regulated by law
3	4 % < x ≤ 30 %	Pre-failure stage
4	x > 30 %	Failure stage

Table 7 Classification of failure by magnetic field test with magnet material

Group	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
1	29	28	27	22	11
2	0	0	2	5	3
3	0	1	0	1	2
4	1	1	1	2	14

Table 8 Classification of failure by magnetic field test with flow part type

Group	Flow part type	
	Ultrasonic	MR sensor
1	4	1
	66 %	7 %
2	1	0
	17 %	0 %
3	1	1
	17 %	7 %
4	0	13
	0 %	86 %

4.2 유량부 형식에 따른 자기장 영향 시험

자기장 영향 시험에 활용된 총 30개의 원격검침용 수도미터 중, 유량 측정에 사용하는 센서를 확인할 수 있는 수도미터는 총 28개였다. 이 중 절반 이상인 18개의 수도미터는 MR 센서를 사용하였으며, 초음파 센서를 사용하는 수도미터가 6개였다. LC 센서, 전자기 센서가 각각 2개씩 사용됐다. Table 8은 초음파식 센서와 MR 센서를 장착한 21개의 수도미터에 대한 결과를 보여준다. 국내에서 가장 많이 사용되는 임펠러식 MR 센서 수도미터 15개는 최대유량(Q₃)에서 5번 자석이 왼쪽 면에 있을 때 큰 영향을 받았다. 이들 임펠러식 MR 센서 수도미터는 자기장 영향을 받아 86 %가 그룹 4에 포함되었다. 반면, 초음파 센서를 사용한 수도미터는 그룹 4에 속하는 사례가 없었다.

4.3 유량에 따른 자기장 영향 시험

수도미터가 유량에 따른 자기장 영향을 확인하기 위해, 이방성 페라이트 재질의 두께 15 mm, 바깥지름 70 mm, 안지름 32 mm인 고리형 자석을 사용하였다. 30개의 수도미터 왼쪽 면에 자석 1번을 부착한 상태에서 자기장 영향을 평가하였으며, 결과는 Table 9와 같다. 사용 유량이 줄어들수록 고장 수준으로 판단되는 수도미터의 수가 늘어났다. 최대유량(Q_{max})에서는 단 1개의 수도미터만 그룹 4에 속했고, 나머지 29개의 수도미터는 허용오차 이내에 들어왔다. 전이유량(Q_{tr})에서는 그룹 1에 속하는 수도미터가 최대유량(Q_{max})에서보다 45 % 감소하여 16개로 줄어들었다. 또한, 최대유량(Q_{max})에서 최소유량(Q_{min})으로 변할 때, 정상 작동하지 못하는 수도미터가 400 % 증가하였다.

4.4 자석 위치 변화 따른 자기장 영향 시험

자석 위치 변화에 따른 자기장 영향을 분석하기 위해, Table 10에서 나타난 바와 같이 30개의 수도미터 중 15개의 결과를 비교하였다. 이 15개의 수도미터는 임펠러식이며 MR 센서가 탑재된 형식들이다. 수도미터에 최대유량(Q_{max})이 흐르는 상태에서, 5번 자석을 왼쪽 면, 오른쪽 면, 윗면, 아랫면 4면에 부착하여 오차를 측정하였다. 15개의 수도미터는 5번 자석에 의해 모든 면에서 비정상 작동하는 경우가 있었다. 5번 자석을 수도미터의 윗면에 부착했을 때 정상 작동하는 수도미터는 60 %를 차지했지만, 옆면에 부착했을 경우는 13 %

Table 9 Classification of failure by magnetic field test with different flow rate

Group	Maximum flow rate	Transitional flow rate	Minimum flow rate
1	29	16	12
2	0	5	6
3	0	5	7
4	1	4	5

Table 10 Classification of failure by magnetic field test with different side

Group	Left side	Right side	Top side	Bottom side
1	2	2	9	10
	13 %	13 %	60 %	66 %
2	0	0	0	0
	0 %	0 %	0 %	0 %
3	1	0	1	1
	7 %	0 %	7 %	7 %
4	12	13	5	4
	80 %	87 %	33 %	27 %

의 수도미터만 정상 작동하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 5종류 자석의 자기장 특성을 분석하고, 30개의 원격검침용 수도미터를 대상으로 자기장 영향도를 평가하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 자석의 표면 자속밀도는 자석의 재질에 가장 큰 영향을 받으며, 다음으로는 높이에 영향을 받았다. 자석 표면의 모서리 부분에서 자속밀도가 가장 크게 측정되며, 중앙 부분에서는 상대적으로 낮다. 따라서, 자속밀도는 자석의 중앙에서 표면으로부터 거리에 따라 측정해야 한다. 자석 표면으로부터 10 mm 떨어진 지점에서 자속밀도가 240 mT 이상 측정될 경우, 임펠러식 MR 센서 수도미터 87 %가 비정상 작동하게 된다.
- 2) 원격검침용 수도미터 자기장 영향도는 자석의 재질에 따라 가장 크게 나타났다. 자석이 페라이트에서 희토류계로 변경되면 오작동 수도미터의 수는 1300 % 증가하였고, 사용 유량 변동에 의한 비정상 작동 수도미터의 수는 400 % 증가하였다. 자석의 위치에 따라서 수도미터의 성능 차이가 확인되었으며, 옆면에 자석을 부착했을 때 아랫면에 비해 고장 수준의 수도미터의 수는 225 % 늘어났다. 수도미터의 유량부 형식이 달라졌을 때, 임펠러식 MR 센서 수도미터가 초음파식 수도미터에 비해 정상 작동 수도미터 수가 75 % 감소하였다.
- 3) 국내에서 판매되는 원격검침용 수도미터 50 % 이상을 차지하는 임펠러식 MR 센서 수도미터의 자기장 영향을 감쇄하기 위해서는 차폐링의 구조의 개선이 필요하다. 유량 측정부 차폐링을 격판 위에 2개 조립하는 2중 차폐 구조를 도입할 경우, 표면에서 600 mT이상의 자속밀도가 측정되는 자석의 자기장 영향이 최대유량(Q_{max})에서 98 % 이상 개선되었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 스마트 계량 측정 기술 기반 조성 사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- (1) OIML, 2013, "OIML R 49 Part 1,2 Water meters for cold potable water and hot water"
- (2) 산업통상자원부 고시 제2022-167호, 2022, 수도미터 기술기준
- (3) K-water, https://www.kwater.or.kr/busi/water02/smartWater01Page.do?_mid=1864