

# 천연가스용 터빈 유량계의 스피타임 시험 조건 영향

이승준, 정종태, 이강진, 송승훈, 동재현

한국가스공사 연구개발원

## Effects of Test Conditions

### on Natural Gas Turbine Flowmeters' Spin-Time Test

Seung-Jun Lee, Jong-Tae Chung, Kang-Jin Lee, Seung-Hoon Song, Jae-Hyun Dong

KOGAS R&D Division

#### 1. 서론

천연가스의 유량측정에는 다양한 종류의 유량계들이 사용된다. 터빈 유량계는 오리피스 유량계, 초음파 유량계 등과 함께 천연가스 산업 분야에서 널리 사용되는 대표적인 유량계이며, 이러한 유량계들은 서로 상호보완적인 특징을 가지고 용도에 따라 적절하게 사용되고 있다.

터빈 유량계는 최초 설치 사용 전, 그리고 이후 사용 중에 적정한 주기의 교정을 통해 성능을 입증하여야 한다. 또한, 교정 이외에 현장에서 유량계의 이상 유무를 수시로 확인하는 작업이 필요하다. 유량계의 성능을 점검하는 방법 중 각종 국제규격에 그 개념이 수록되어 있고, 비교적 간단한 방법으로 활용할 수 있는 것이 스피타임 시험(spin time test)으로, 낮은 유량 통과 후 유량계의 동작이 완전히 멈출 때까지의 시간을 측정함으로써 유량계의 기계적 마찰 특성을 점검하는 절차이다.

이러한 시험의 방법 및 판정의 기준은 각 유량계 제작사에서 제공하는 것이 일반적인 현황이다. 국제적으로 유수의 유량계 제작사에서 제시하는 절차들을 각각 살펴보면, 그 시험 조건 등의 내용이 모두 다르며, 따라서 주의를 기울이지 않을 경우 잘못된 방법의 적용으로 인해 잘못된 결과를 얻게 되어 소기의 시험 목적을 달성하지 못할 우려가 크다. 이러한 오류의 방지를 위해서는 스피타임 시험 전반에 대한 정리를 통해 시험 방법 및 판정 기준을 정립하는 것이 반드시 필요하다고 하겠다.

KOGAS에서는 위와 같은 배경에 의하여 스피타임 시험 전반에 대한 검토 작업을 실시하였다. 진행된 내용은 크게 두 가지로, 첫째, 먼저 스피타임 시험과 관련된 국제 규격, 제작사 자료 등의 기술 자료를 검토 정리하고, 이를 바탕으로 사내표준을 정립하고자 하였다.

두 번째 작업은 위에서 언급한 사내 표준을 정립함에 있어, 스피타임 시험에 영향을 미치는 여러 가지 영향인자들에 대한 실험을 진행하고 그 영향의 정도를 규명하여, 이를 토대로 시험 절차를 수립하고자 하는 작업이었다.

이러한 작업의 내용으로 회전 부가 방법, 유량계 경사도, 시험 공간, 시험 온도, 이물질, 윤활유 등의 인자가 검토되었는데, 본 고에서는 이러한 여러 인자들 중 가장 주요한 것으로 판단되는 회전 부가 방법이 스피타임 시험결과에 미치는 영향에 대하여 실험된 결과를 소개하고자 한다.

## 2. 스피타임 시험

스핀타임 시험이란 유량계에 일정한 수준의 회전을 부가하고 회전이 멈출 때까지의 시간을 측정하는 것을 말하며, 이 때 회전이 멈출 때까지 걸린 시간을 해당 유량계의 스피타임이라고 정의한다. 유량계가 정상적인 상태일 때의 스피타임을 기준으로 시험 결과로 얻은 스피타임을 비교함으로써 유량계의 성능 및 이상 유무를 점검할 수 있다. 따라서 정상적인 상태에서의 스피타임은 시험을 통하여 미리 결정하여 놓거나, 제작사에서 제시하는 기준값을 참고로 하여야 한다.

터빈 유량계를 사용한 천연가스 유량측정에 적용되는 규격은 국제 표준인 ISO 9951 과 미국가스협회 규격인 AGA Report No. 7 의 두 가지가 대표적이다. 이 두 규격은 모두 스피타임 시험 에 대한 내용을 포함하고 있는데 그 내용은 크게 다르지 않다.

유량계 회전축의 마모 등 여러 가지 원인으로 발생 될 수 있는 기계적 마찰의 증가를 감지할 수 있는 방법으로 소개하고 있으며, 이러한 기계적 마찰이 저속 회전시 유량측정의 정확성에 영향을 줄 수 있음을 명시하고 있다.

시험 결과에 영향을 줄 수 있는 인자들 역시 규격에 제시되어 있는데, 시험공간의 공기 흐름, 윤활유 주입상태, 주위 온도, 회전에 연관된 부속품의 설치 등에 의하여 시험결과에 영향이 있을 수 있다고 되어 있다.

Table 1 에 각 규격에 나타나 있는 내용을 비교 정리하였다.

Table 1 규격별 스피타임 시험

ISO 5167	AGA Report No.9
- 유량계내 기계적 마찰의 상대적 정도 판명	- 유량계내 기계적 마찰의 상대적 정도 판명
- 기계적 마찰 증가시 저속에서 정확도 감소	- 기계적 마찰 증가시 저속에서 정확도 감소
- 대표적인 스피타임 : 제작사 제공	- 분해 점검시 분해 단계별로 시험 실시하여 이상 지점 확인 가능
- 바람이 없는 장소에서 실시	- 스피타임 : 제작사 제공
- 적절한 속도로 회전 (최대유량의 1/20 이상)	- 바람이 없는 장소에서 실시
- 초기 회전부터 정지시까지 시간 측정	- 초기 회전부터 정지시까지 시간 측정
- 최소 3회 측정 (평균값 적용)	- 최소 3회 측정 (평균값 적용)
- 영향 인자 : 시험공간의 공기 흐름	- 영향 인자 : 시험공간의 공기 흐름
: 윤활유 주입상태	: 윤활유 주입상태
: 주위 온도	: 주위 온도
: 회전에 연관된 부속품의 설치	: 회전에 연관된 부속품의 설치
- 다른 시험 방법의 사용도 가능	- 윤활유 주입 후 수 분간 운전하여 과량의 오일을 제거한 후 시험할 것

Table 2 제작사별 스피타임 시험 방법 비교

규격 및 제작사	국제 규격	A 사	B 사	C 사	D 사
회전 부가 방법	구체적 언급 없음	압축공기 (0.7 MPa, 60 s)	손가락	압축공기	구체적 언급 없음
주위 온도	"낮은 주위 온도" 방지	구체적 언급 없음	구체적 언급 없음	15 °C ~ 30 °C	20 °C ~ 30 °C
시험 유량	최대 유량에 상응하는 정격 속도의 최소 1/20	최대 유량의 10 % 또는 그 이상 (In Situ 조건)	구체적 언급 없음	최대 유량의 20 %	최대 유량의 30 % ~ 50 %
관련 규격	· ISO 9951 · AGA Report No. 7	AGA Report No. 7	-	-	· ISO 9951
스핀 타임 결정	최소 3번 반복 실시 후 평균시간 채택	최소 3번 반복 실시 후 평균시간 채택	구체적 언급 없음	구체적 언급 없음	최소 3번 반복 실시 후 평균시간 채택
특기 사항		In-Situ 시험 절차 별도 제시	내부 메커니즘을 별도 분리하여 스피타임 시험	-	-

이러한 규격에 따라 각 유량계 제작사에서는 유량계 모델 및 크기별로 독자적인 스피타임 시험 방법과 기준이 되는 스피타임 값을 제시하고 있다. Table 2에는 KOGAS에서 사용되고 있는 터빈 유량계의 5개 제작사 중 4개에 대하여, 각 제작사에서 제시하는 시험 절차를 정리하였는데, 보인 바와 같이 상세한 정도나 구체적인 방법에 있어서 모두 다르기 때문에 일반적인 기준은 존재하지 않는다. (이하 실험은 5개 사 유량계에 대하여 진행된 내용이며, 각각 A, B, C, D, E 로 구분 표기하였다.)

우선 구체적인 스피타임 시험 절차에 있어서 대부분의 내용이 상이하고, 같은 크기의 유량계라 하더라도 각 제작사 및 모델별로 유량계의 상태 판정에 기준이 되는 스피타임 수치들이 모두 다르다. 따라서 몇몇 제작사의 시험방법만을 알고 적절하지 않게 적용하거나, 모델이 다른 유량계인데도 같은 크기의 다른 모델에 해당하는 기준을 적용하는 오류를 범할 가능성이 항상 존재하며, 이의 방지를 위해서는 스피타임 시험 전반에 대한 정리를 통해 시험 방법 및 판정 기준에 대한 이해를 확립하는 것이 반드시 필요하다.

### 3. 회전 부가 방법의 영향

회전 부가 방법에 따라 회전 주파수가 올라가면 회전이 지속되는 시간도 늘어나리라는 것은 누구나 예상할 수 있다. 스피타임 시험은 회전시간이 최종 결과로 나타나는 시험이므로 이러한 회전 부가 방법은 다른 모든 요인들에 앞서 신중하게 검토되어야 할 항목이다.

E 사의 10B 유량계와 A 사 16B 유량계, B 사 6B 유량계에 대하여 진행된 실험 결과는

다음과 같다.

(1) E 사 10B 유량계

Table 3 E 사 10B 유량계 시험 결과

- 회전 부가 방법 (압축질소 사용) : 토출압력 0.7 MPa, 0.8 MPa, 2 MPa						
- 2 MPa 의 경우 1회, 나머지는 경우별로 각 3회 실험						
토출 압력	초기 평균 주파수 (Hz)	최대유량 주파수(Hz)	주파수 비율 (%)	spin time (s)	주파수 표준편차 (Hz)	스핀타임 표준편차 (s)
0.7 MPa	319.67	1195.667	26.74	343	3.51	7.00
0.8 MPa	342.00		28.60	343	0	1.15
2 MPa	532.00		44.49	344	-	-

Table 3을 보면 실험에서 회전에 사용한 질소의 압력에 따라서 유량계의 주파수는 일정한 증가 경향을 나타내는 반면 스피нта임은 거의 증가 없이 균등한 값을 나타낸다.

이러한 결과는 터빈 유량계에 흐름이 있다가 갑자기 멈출 경우 어느 정도 주파수까지는 매우 빠른 속도로 회전수가 감소하며, 그 이후부터는 감소 속도가 줄어드는 특성을 보이는 데서 그 원인을 찾을 수 있다.

또한, 이는 스피ن 타임 시험의 정의 자체가 정밀한 기구 및 설치조건하에서 실시되는 정밀 실험이 아니고 현장에서 러프하게 이루어지는 절차로 개발된 것으로 결과의 범위가 어느 정도 넓게 나타날 수밖에 없다는 원인에도 기초한다.

Fig. 1, 2 에 두 가지 질소압력에 대하여, 흐름이 멈춘 후 터빈 유량계의 주파수 감소 경향에 대하여 나타내었으며, 최초 15초 동안의 감소 특성에 대하여 주파수 및 유량범위 수치를 Table 4 에 정리하였다.

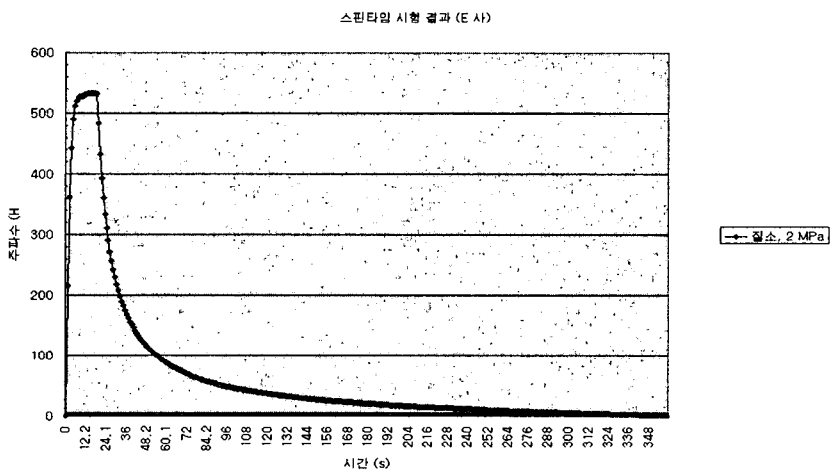


Fig. 1 스피нта임 시험 결과 (E 사, 질소 2 MPa)

스핀타임 시험 결과 (E 사)

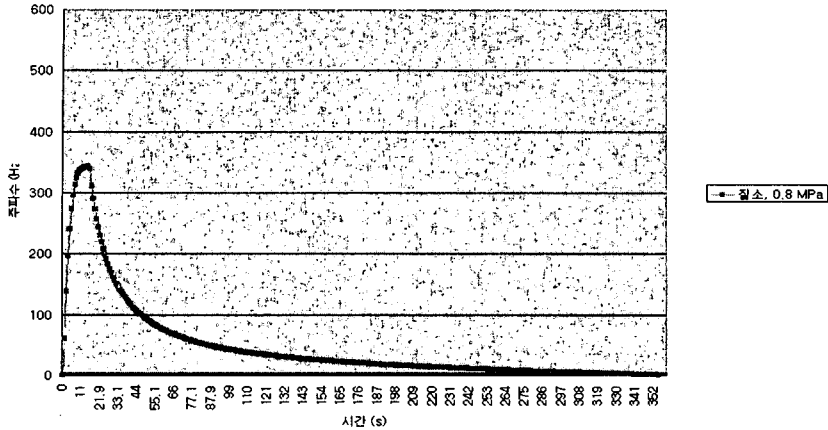


Fig. 2 스핀타임 시험 결과 (E 사, 질소 0.8 MPa)

Table 4 시험 압력별 주파수 감소 경향 대비

시간 (s)		주파수(Hz)		Q <sub>max</sub> 대비 유량비율(%)		감소 주파수(Hz)	
2 MPa	0.8 MPa	2 MPa	0.8 MPa	2 MPa	0.8 MPa	2 MPa	0.8 MPa
0.00		531.49		44.45			
0.98		483.96		40.48		47.53	
1.97		431.94		36.13		52.02	
3.13		393.21		32.89		38.73	
4.12		361.28		30.22		31.94	
5.10	0.00	333.81	338.49	27.92	28.31	27.47	
6.09	0.93	310.29	310.62	25.95	25.98	23.51	27.87
7.03	1.98	290.23	290.02	24.27	24.26	20.06	20.60
8.02	2.97	272.22	272.67	22.77	22.80	18.01	17.36
9.00	3.95	256.44	257.09	21.45	21.50	15.78	15.58
9.94	4.89	242.16	242.96	20.25	20.32	14.29	14.13
11.15	5.82	229.43	230.15	19.19	19.25	12.73	12.81
12.13	6.81	218.00	218.69	18.23	18.29	11.42	11.45
13.12	7.80	207.73	208.33	17.37	17.42	10.27	10.37
14.06	9.01	198.40	198.98	16.59	16.64	9.34	9.35

실험 결과로부터 회전에 사용되는 질소압력이 일정 수준 이상일 경우 초기의 주파수 감소가 급격히 일어나므로 초기 주파수에 어느 정도 차이가 있더라도 전체 스핀타임에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. Table 4 에 의하면 초기 회전수가 최대 유량의 약 16% 일 때 초당 주파수 감소량은 약 9 Hz 정도임을 볼 수 있으며, Table에는 나타나지 않았으나 초기 회전수가 최대 유량의 약 12% 이상인 경우 주파수 감소량이 초당 5 Hz 이상으로 관찰되어 상대적으로 높음을 알 수 있었다. 따라서 초기 회전수를 이 이상으로만 부가하면 큰 무리 없이 스핀타임 시험을 통해 유량계의 이상 유무를 판정할 수 있을 것으로 보인다.

## (2) A사 16B 유량계

제작사 자체 시험 방법으로 0.7 MPa 의 압축 공기를 사용하도록 제시하고 있는 A 사 16B 유량계의 실험 결과를 Table 5에 정리하였다.

Table 5 A 사 16B 유량계 시험 결과

- 회전 부가 방법 (압축공기 사용) : 토출압력 0.5 MPa, 0.7 MPa, 0.9 MPa						
- 경우별로 각 3회 실험						
공기 압력	시작시점 평균펄스 (Hz)	최대유량 펄스(Hz)	펄스비율 (%)	스핀타임 (s)	주파수 표준편차 (Hz)	스핀타임 표준편차 (s)
0.5 MPa	97.33	871.103	11.17	333	0.58	7.21
0.7 MPa	119.19	871.103	13.68	341	2.87	6.35
0.9 MPa	131.33	871.103	15.08	341	8.50	6.56

실험 결과를 보면 압축공기 압력에 따라 주파수는 일정한 경향을 보이나, 스펀타임의 경우 0.5 MPa 일 때 약 8초 정도 작게 관찰되었을 뿐 나머지 경우에는 공기 압력과 무관하게 일정한 결과를 얻었다. 이는 E 사 유량계의 경우에서 얻었던 결론에 부합하는 것으로 제작사에서 권고하고 있는 0.7 MPa 이상의 압축공기를 사용하여 회전을 부가할 경우, 초기 회전수에 어느 정도 오차가 있더라도 시험 결과에는 거의 영향을 미치지 않음을 확인 할 수 있었다. 또한 일정 수준 이상으로 낮은 초기 회전수의 사용은 주의하여야 함을 확인하였다.

### (3) B 사 6B 유량계

Table 6 B 사 6B 유량계 시험 결과

- 회전 부가 방법 (인력, 압축공기 사용): 손가락 사용, 0.8 MPa						
- 손가락을 사용한 경우 3회씩 3번, 압축기를 사용한 경우 4회씩 2회 실험						
회전방법	시작시점 평균펄스 (Hz)	최대유량 펄스(Hz)	펄스비율 (%)	스핀타임 (s)	주파수 표준편차 (Hz)	스핀타임 표준편차 (s)
손가락	-	280.977	-	166	-	7.00
손가락	-	280.977	-	163	-	7.01
손가락	-	280.977	-	161	-	10.58
0.8 MPa	169.25	273.679	61.84	176	6.90	2.71
0.8 MPa	162.25	273.679	59.29	176	8.92	1.26

B 사의 유량계는 I/M(Internal Mechanism)의 분리가 가능한 형태의 유량계로, 제작사에서 권고하고 있는 회전부가 방법은 손가락을 사용하여 순간적으로 최대의 회전수를 발생시키는 것이다. 압축 기체를 사용하여 회전을 부가하는 여타 제작사의 유량계와 통일된 방법의 적용 가능성을 검토하기 위하여 제작사가 제시하는 방법과 압축공기를 사용하는 방법의 결과를 비교하였다.

손가락 회전 부가 방법을 사용한 경우와 압축 공기를 사용한 경우의 결과를 보면, 두 가지 방법의 시험결과 비교는 9~15 s 정도의 차이를 보인다.

압축공기의 압력을 적절히 조절하여 두 방법을 호환 적용하는 것이 불가능하지는 않겠지만 제작사의 기준 스피타임과 연계성을 가지기 위해서는 별도의 근거 데이터 구축 작업이 요구되는 등 직접적인 호환은 무리가 있는 것으로 보인다. 단 유량계를 도입 설치하기 이전에 스피타임 시험을 1회 실시하여 이 때 얻은 스피타임을 기준값으로 유지 관리한다면 적절한 방법을 찾는 것이 가능하다.

#### 4. 결론

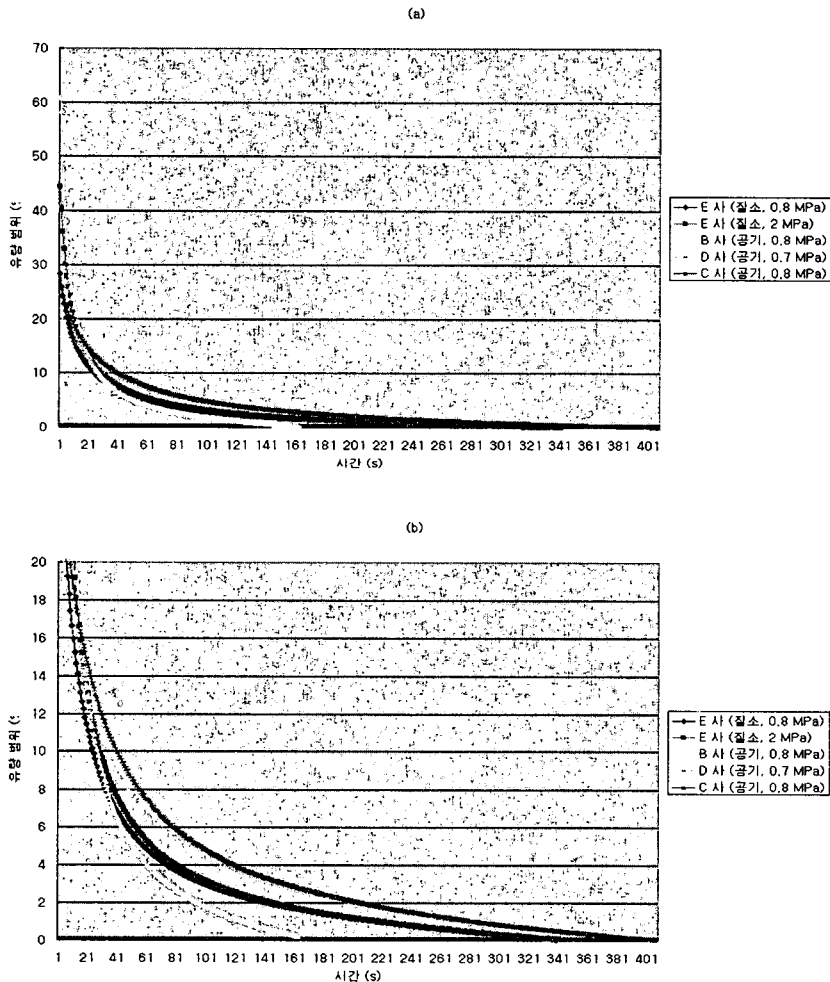


Fig. 3 제작사별 스피 타임 시험 결과

Fig. 3 에 각 제작사별 스피 타임 시험 결과를 정리하였다. 현재 설치된 유량계의 자체적인 초기 스피타임 결과가 없고, 이상 유무를 판정하는 기준으로 제작사가 제시하는 수치를

사용할 수밖에 없는 상황에서 스피타임 시험 방법은 제작사가 제시하는 절차에 부합되게 실시하여야 한다.

Fig.에서 볼 수 있듯이 유량계의 제작사 및 모델마다 스피 타임이 상이하고, 주파수 감소 특성도 고유하다는 것을 알 수 있으며 따라서 제작사에서 제시하는 스피타임 시험 절차를 반드시 확보하여 검토하고 이에 부합되게 시험을 실시하여야 한다. 단, 대부분 제작사의 시험 방법이 유사하므로 이러한 경우 절차 검토를 통한 통일된 방법을 찾는 것은 가능하다. 이는 스피타임 시험이 기준을 넘는지 못 넘는지를 확인하는 작업이라는 점을 주목하여, 시험방법이 스피타임을 과다하게 나타내지 않도록 통일함으로써 가능하며, 위 실험의 결과들로부터 이러한 통일된 절차를 수립하는 작업이 진행되었다.

또한, B 사의 실험 결과에서 언급한 바와 같이 유량계를 도입 설치하기 이전에 스피타임 시험을 1회 실시하여 이 때 얻은 스피타임을 기준값으로 유지 관리한다면 역시 적절한 방법을 찾는 것이 가능하다.

현장에서 작업절차의 통일 및 간소화를 통한 작업효율 증대 및 적절한 설비 관리는 매우 중요한 사항이므로, 모든 유량계에 적용되는 통일된 스피타임 시험 절차 수립 및 초기 스피타임 시험 도입은 무시되어서는 안 되는 주요안전이라 하겠다.