

Valve Leakage Class

Control Globe Valve**Control Butterfly Valve****Control Ball Valve**

ANSI / FCI70-2-2013 및 전세계 주요 생산업체 자료를 바탕으로 하였으며, 플랜트에 중사하는 많은 엔지니어에게 도움을 주고자 정리한 것입니다.

August, 2016

박시우 대표(Stanley Park)

기계기술사 (President, P.E.)

S&T International Co.

Mobile : +82(0)10-3840-0721

Tel/ Fax : +82(0)2-400-8039

E-mail : stanley.park@daum.net

Valve Leakage Class - ANSI / FCI 70-2

■ 서 언

제어 밸브는 유량을 조절하도록 설계되었으며, 완전 폐쇄 시 100% 완벽한 누출 차단을 이룰 수는 없습니다.

차단 능력은 밸브 유형과 관계가 있습니다. Double Seated Control 밸브는 차단 능력이 매우 낮습니다.

또한 Guide, Seat Material, Actuator Thrust, 압력 강하 및 유체 타입은 모두 특정 Control 밸브가 얼마나 잘 작동하는지에 영향을 미칩니다. 아래 언급된 표준은 사용 중 밸브의 누설 성능에 대한 요구 사항을 설정하지 않습니다.

장기 누설에 대한 성능은 밸브 및 응용 분야에 따라 달라지며 보장할 수 없습니다.

● Seat Leakage 등급

실제로 ANSI / FCI 70-2 2006 (유럽 상용 표준 IEC 60534-4)에 의해 정의된 6 가지 Seat Leakage 등급이 있습니다.

가장 일반적으로 사용되는 Class는,

- Class IV
- Class VI

Class IV는 Metal to Metal로도 알려져 있습니다.

Metal Plug와 Metal Seat가 있는 밸브에서 Leakage Rate를 기대할 수 있습니다.

등급 VI은 Soft Seat Class로 알려져 있다. Soft Seat 밸브는 Plug 또는 Seat 또는 두가지 모두가 Polytetrafluorethylene (PTFE) 또는 이와 유사한 재료와 같은 일종의 구성 재료로 만들어진 것입니다.

● Valve Leakage Classification

Class I - Valve Leakage Classification

구조 및 설계 의도로는 Class II, III 및 IV와 동일하지만, 실제 Shop 테스트는 이루어지지 않습니다.

Class I은 Dust Tight로도 알려져 있으며 Metal 또는 Resilient Seated 밸브로 알려져 있습니다.

Class II - Valve Leakage Classification

Metal Piston Ring Seal과 Metal to Metal 시트가 있는 Double Port 또는 Balanced Single Port 밸브 용입니다.

- 운전 dP 또는 50 psid (3.4 bar 차압) 중, 50°F와 125°F (10°C ~ 51.7°C) 사이에서 더 낮은 조건
- 시험 유체는 45psig와 60psig (3.2barg ~ 4.2barg) 사이에서의 공기입니다

전형적인 구조 :

- Balanced, Single Port, Single Graphite Piston Ring, Metal Seat, Low Seat Load
- Balanced, Single Port, Single Graphite Piston Ring, Metal Seat, Low Seat Load

Class III - Valve Leakage Classification

Class II 에서와 동일한 유형의 밸브를 대상으로 합니다.

- 완전 개방 밸브 용량의 0.1 % Leakage
- 운전 dP 또는 50 psid (3.4 bar 차압) 중, 50°F 와 125°F (10°C ~ 51.7°C) 사이에서 더 낮은 조건
- 시험 유체는 45psig 와 60psig (3.2barg ~ 4.2barg) 사이에서의 공기입니다

일반적인 구조 :

- Balanced, Double Port, Soft Seat, Low Seat Load
- Balanced, Single Port, Single Graphite Piston Ring, Lapped Metal Seat, Medium Seat Load

Class IV - Valve Leakage Classification

아주 Tight 한 피스톤 Seal 과 Metal to Metal Seat 가있는 Single Port 및 Balanced Single Port 밸브 용입니다.

- 완전 개방 밸브 용량의 0.01 % Leakage
- 운전 dP 또는 50 psid (3.4 bar 차압) 중, 50°F 와 125°F (10°C ~ 51.7°C) 사이에서 더 낮은 조건
- 시험 유체는 45psig 와 60psig (3.2barg ~ 4.2barg) 사이에서의 공기입니다

일반적인 구조 :

- Balanced, Single Port, Polytetrafluorethylene (PTFE) Piston Ring, Lapped Metal Seat, Medium Seat Load
- Balanced, Single Port, Multiple Graphite Piston Ring, Lapped Metal Seat
- Unbalanced, Single Port, Lapped Metal Seat, Medium Seat Load
- Class IV는 Metal to Metal 로도 알려져 있습니다.

Class V - Valve Leakage Classification

Class IV 와 동일한 유형의 밸브 용

- 시험 유체는 100 psig (7.0barg) 또는 작동 압력에서의 물입니다
- 허용 Leakages 는 psi 차압 당 오리피스 지름 인치 당 분(分)당 5×10^{-4} ml 로 제한됩니다
- 50°F 와 125°F (10°C ~ 51.7°C) 사이에서 사용

일반적인 구조 :

- Unbalanced, Single Port, Lapped Metal Seat, High Seat Load
- Balanced, Single Port, Polytetrafluorethylene (PTFE) Piston Ring, Lapped Metal Seat, Low Seat Load
- Unbalanced, Single Port, Soft Metal Seat, High Seat Load
- 일반적인 구조 :
- Unbalanced, Single Port, Lapped Metal Seat, High Seat Load
- Balanced, Single Port, Polytetrafluorethylene (PTFE) Piston Ring, Lapped Metal Seat, Low Seat Load
- Unbalanced, Single Port, Soft Metal Seat, High Seat Load

Class VI - Valve Leakage Classification

Class VI 은 Soft Seat 분류로 알려져 있습니다. Soft Seat 밸브는 Seat 또는 Shut-off Disc 또는 두가지 모두 Polytetrafluoroethylene (PTFE)와 같은 어떤 종류의 탄성 소재로 만들어집니다.

Resilient Seat 밸브 용 등급.

- 시험 유체는 공기 또는 질소입니다
- 압력은 50 psig (3.5barg) 또는 작동 압력 중 작은 값입니다
- Leakage 한도는 1 ~ 8 인치의 경우 분당 0.15 ~ 6.75 ml 로 밸브 크기와 범위에 따라 다릅니다

Control Valve Leakage Classification - Overview

누설 등급	최대 누설 허용 범위	시험 유체	시험 압력	등급 설정을 위한 시험 절차
I	X	X	X	사용자 및 공급자 동의 시 시험이 필요치 않음
II	Rated Capacity 의 0.5%	50 - 125°F(10 - 52°C) 에서 공기 혹은 물	45 - 60psig(3.2 - 4.2barg) 혹은 최대 운전 차압으로 적은 값을 적용	유출부를 대기 또는 작은 수두 손실 측정 장치에 연결시키고 밸브 유입 측에 압력을 가한다. 정상적인 Closing Thrust는 Actuator에 제공된다.
III	Rated Capacity 의 0.1%	50 - 125°F(10 - 52°C) 에서 공기 혹은 물	45 - 60psig(3.2 - 4.2barg) 혹은 최대 운전 차압으로 적은 값을 적용	유출부를 대기 또는 작은 수두 손실 측정 장치에 연결시키고 밸브 유입 측에 압력을 가한다. 정상적인 Closing Thrust는 Actuator에 제공된다.
IV	Rated Capacity 의 0.01%	50 - 125°F(10 - 52°C) 에서 공기 혹은 물	45 - 60psig(3.2 - 4.2barg) 혹은 최대 운전 차압으로 적은 값을 적용	유출부를 대기 또는 작은 수두 손실 측정 장치에 연결시키고 밸브 유입 측에 압력을 가한다. 정상적인 Closing Thrust는 Actuator에 제공된다.
V	psi 차압당 Port 지름 인치 당 분(分)당 물의 0.0005ml	50 - 125°F(10 - 52°C) 에서 물	45 - 60psig(3.2 - 4.2barg) 혹은 최대 운전 차압으로 적은 값을 적용	유출부를 대기 또는 작은 수두 손실 측정 장치에 연결시키고 밸브 유입 측에 압력을 가한다. 정상적인 Closing Thrust는 Actuator에 제공된다.
VI	아래 Table에 있는 양을 초과하지 말 것	50 - 125°F(10 - 52°C) 에서 공기 혹은 질소	50psig(3.5barg) 혹은 밸브 Plug 를 통과하는 최대 Rated 차압 으로 적은 값을 적용	밸브 Plug Seat에 작용하는 Rated Closing Thrust로 명시된 운전 조건에 작동기를 조정하여야 한다. Leak량이 안정화되도록 시간을 고려하고 측정 장비를 사용한다.

Class VI Seat Leakage Allowable

Port Diameter		Bubble per minute	ml per minute
inches	mm		
1	25	1**	0.15
1 1/2	38	2	0.30
2	51	3	0.45
2 1/2	64	4	0.60
3	76	6	0.90
4	102	11	1.70
6	152	27	4.00
8	203	45	6.75
10	254	63	11.50
12	305	-	16.40
14	356	-	20.40
16	406	-	27.00

* 표에 있는 분당 버블은 1/8-inch에서 1/4-inch 깊이의 물에 잠기게
해서 ¼-inch O.D. x 0.032-inch 두께 튜브와 같이 적절히 보정된
측정 장치를 바탕으로 쉽게 측정할 수 있는 대안입니다.
튜브 끝단은 모서리 깎기 또는 burr가없는 사각형으로 부드럽게
잘리야 하며, 튜브 측은 물 표면에 수직이 되어야한다.

** 다른 장치로 구성할 수 있으며 1 분당 ml 단위의 유량을 정확히
나타내는 한, 분당 버블 수는 이들 수치와 다를 수 있습니다.
밸브 시트 직경이 나열된 값 중 하나에서 2mm (0.08 인치) 이상
차이가 나는 경우, 누설량은 시트 직경의 제곱에 따라 변하는
것으로 가정하여 보간법을 통해 얻을 수 있습니다.

Comparison of Leakage Rate using Air / Nitrogen

	Maximum Acceptable Leakage (ml/min)						
	ANSI / FCI70-2-2013		ISO 5208 3rd Edition				API-598 9th Edition
Test Pressure (psig)	50		73 to 102				60 to 100
Valve Size (inch)*	Class V	Class VI	Rate A	Rate B	Rate C	Rate D	Low Pressure Test
1	4.7	0.2	0	0.5	4.5	45	0
1.5	7.1	0.3	0	0.7	7.2	72	0
2	9.4	0.5	0	0.9	9.0	90	0
2.5	11.8	0.6	0	1.2	11.7	117	10
3	14.1	0.9	0	1.4	14.4	144	12
4	18.8	1.7	0	1.8	18	180	16
6	28.2	4.0	0	2.7	27	270	24
8	37.6	6.8	0	3.6	36	360	32
10	47.0	11.1	0	4.5	45	450	40
12	56.4	16.0	0	5.4	54	540	48
14	65.8	21.6	0	6.3	63	630	56
16	75.2	28.4	0	7.2	72	720	64

Comparison of Leakage Rate using Water (Pressure based on ASME class 300 carbon steel body rating 740 psig per ASME B16.34)

	Maximum Acceptable Leakage (ml/min)					
	ANSI / FCI70-2-2013	ISO 5208 3rd Edition				API-598 9th Edition
Test Pressure (psig)	740	814				814
Valve Size (inch)*	Class V	Rate A	Rate B	Rate C	Rate D	High Pressure Test
1	0.37	0	0.015	0.045	0.15	0
1.5	0.56	0	0.024	0.072	0.24	0
2	0.74	0	0.030	0.090	0.3	0
2.5	0.93	0	0.039	0.117	0.39	10
3	1.11	0	0.048	0.144	0.48	12
4	1.48	0	0.06	0.18	0.6	16
6	2.22	0	0.09	0.27	0.9	24
8	2.96	0	0.12	0.36	1.2	32
10	3.70	0	0.15	0.45	1.5	40
12	4.44	0	0.18	0.54	1.8	48
14	5.18	0	0.21	0.63	2.1	56
16	5.92	0	0.24	0.72	2.4	64

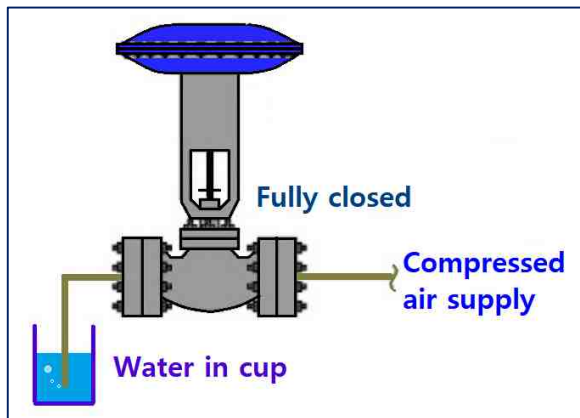
*Assumed full seat diameter for
ANSI / FCI70-2-2013

● Bubble Test

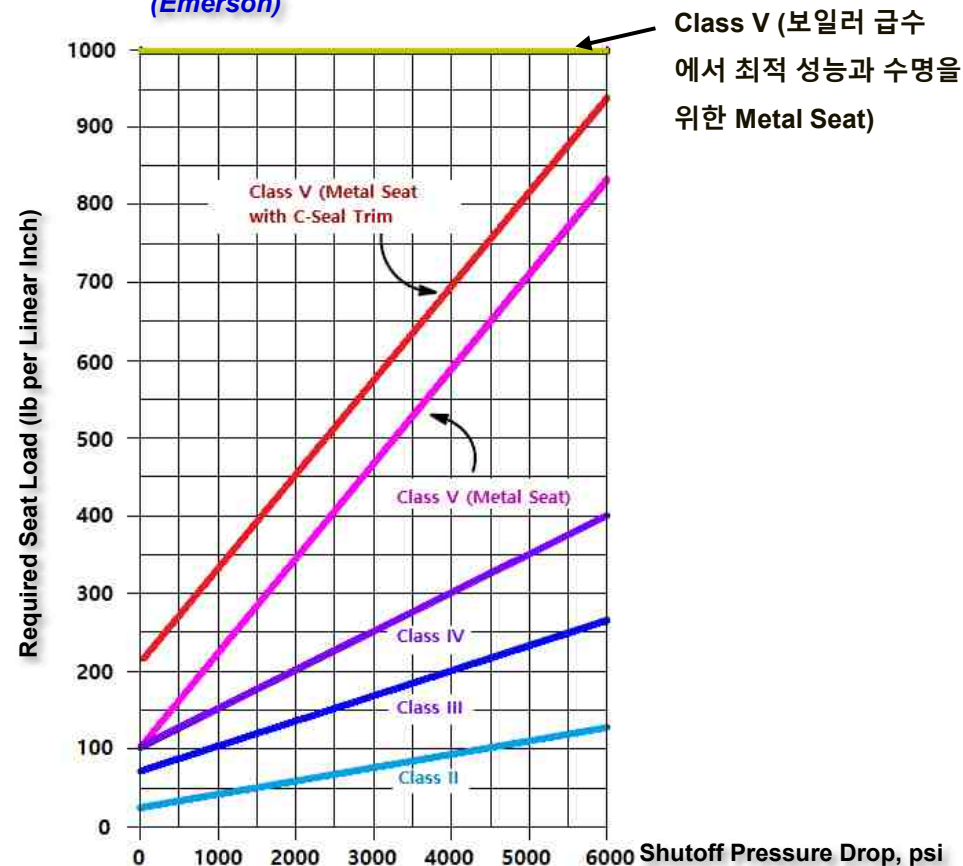
Class VI 시트 누설에 사용되는 "Bubble Test"는 물속에 Bubble 튜브에서 빠져 나가는 가스 Bubble 량을 세어서 측정하는 것으로, 닫힌 밸브 시트를 통과하는 공기 또는 질소 가스의 누설 량을 기반으로 합니다. 6 인치 밸브의 경우 이 최대 Bubble 량은 분당 27 Bubble (또는 2 초마다 약 1 Bubble)입니다.

이 누출 테스트 절차에서 Bubble-Tight Shut-off라는 용어가 유래한 것입니다. Class VI Shut-off는 종종 밸브 플러그와 시트 사이의 단단한 Metal-to-Metal 접촉보다는 Teflon과 같은 "Soft"시트 재료의 사용을 통해서만 가능합니다. 물론 Bubble-Tight Shut-off를 실현시키는 이 방법은 제한된 작동 온도 범위의 가격으로 제공되고, 핵 방사능 누출에 무력합니다.

Class VI Seat Leakage Test



금속 시트 밸브의 최소 시트 하중 (Emerson)



● **Case Study on Anti-surge Valve** for Saudi Aramco Shaybah Gas Plant Project (EPC: Samsung E&C from 2013 to 2015)

다음은 본인이 Aramco Shaybah Gas Plant 를 수행하면서 겪은 경험을 토대로 한 기술 내용입니다.

사업주인 Aramco 사양과 Gas Compressor 제작업체인 GE 사양에 다소 충돌이 생길 경우에는 Compressor 업체의 사양을 우선해서 적용해야 한다. 그 이유는 GE 가 Dynamic Simulation 에 의거해 최적의 Compressor 운전을 고려한 맞춤 사양이고 사업주 Aramco 사양은 Compressor 제작업체의 별도 요구 사양이 없을 경우에 적용하는 범용 사양서이기 때문이다.

문제의 발단은 다음 항목에 대해 사업주 요구 사양을 만족시키면서 GE Spec.에서 요구하는 11 가지 Parameter 를 동시에 만족시키는 Test 이었다(Parameter #1 Valve Full Opening Speed, #2 Opening Speed : to 80%, #3 Closing Speed, #4 Opening Dead Time, #5 Overshoot, #6 Stiction Test, #7 Response to A 0.5% Signal Step at 10%/50%/90%, #8 Response to A 1% Signal Step Input at Close Position, #9 & #10 Frequency Response tests: Phase/Gain, #11 Solenoid Valve operation). 그 중에서 3 가지 항목의 사업주 사양이 너무 엄격하여 이 항목들을 GE 요구 사양으로 완화시켜 전체 Test 를 통과시키는 것이었다. 그 중에서 Seat Leakage Class 에 대해서 소개하고자 한다.

Seat Leakage Class (Globe Type, 20" X 600#, 30" X 600#)

사업주 사양은 통상 Metal to Metal Seat 에 Class V 를 요구하지만, 이는 밸브의 delta P 가 커 Erosion 때문에 유체와 접촉하는 Plug 와 Seat 부위에 높은 Hardness 를 위해 Stellite 처리를 해야 한다. 이들 Stellite 부위에 Class V 의 강력한 Actuator Thrust Force 로 Plug 와 Seat Ring 이 부딪혀 접촉면의 Edge 부위에 손상이 가해져 Leakage Class V 가 사실상 달성하기가 쉽지않게 된다. 따라서, 굳이 Tight Shut-off 를 원할 경우, 밸브의 Leakage Class V 를 실현하기 위해서는 Soft Seat 를 적용해야 한다.

Class V 대신 Compressor 업체 추천의 Class IV 로 적용할 경우에는; Class IV (허용 누설 양 : Cv 의 0.01%)와 Class V (허용 누설 양 : Water 0.0005 ml /min./ psi./ port diameter inch)의 Leak 양 차이만큼 (대략 Cv 의 0.008%)의 유체가 Compressor Suction 으로 Recycle 되며 그 추가된 유량을 위해 그에 상응하는 Load 가 Compressor Driver 에 가해지게 된다.

Driver 가 Gas Turbine 일 경우 극히 미량의 추가 Fuel gas 가 소모되고, Electric Motor 일 경우 극히 미미한 양의 추가 전기가 추가로 소모된다. 그러나 완화된 GE spec. 의 Leakage class IV 사양으로 적용한다 해도 Compressor 운전에서 어떠한 다른 문제를 일으키지는 않는다. 하지만 Aramco 가 구매 사양서를 고집해서 결국은 Severn Glocon 영국 공장에서는 Seat Ring(diameter: 16", 24")

제작에 3- 4 개월의 시행 착오를 감수해야 했다.

1. Seat Ring 의 Hard-facing 을 위해서는 Plasma Welding 으로 Stellite 를 한다. 이때 발생하는 고열로 인해 Seat Ring 에 변형이 일어나 이를 평평하게 다듬어줘야 하고 Class V 를 달성하기 위해서는 CNC 에서 정밀 가공을 해야 한다. 그런 다음 Lapping 공정을 거쳐 유리면처럼 매끄럽게 만들어야 한다.
2. 설형 이렇게 해서 자체 1 차 시험에서 Class V 를 달성하였다 하더라도, Actuator 의 Thrust Force 가 아주 크기 때문에 사업주 검사관 입회 하에 다시 시험을 하였을 때 Class V 요구 조건을 만족치 못했다.
3. 따라서 대형 30" Valve 는 결국 Aramco 가 Class IV 로 완화시켜 주었는데, 상업 운전시 발생할 수 있는 인명 피해 및 경제적 손실이 예상되지 않기 때문이었습니다.

● Control Valve vs. MOV (or Hydraulic Actuated)

Shutoff Loading Requirements - ISA Guidelines

➤ FCI-70

- CLASS IV : 300 pounds force/linear inch
- CLASS V : 500 pounds force/linear inch
- CLASS VI : 1000 pounds force/linear inch(per MSS-SP-61)

Leakage Class

밸브에서의 Seat 를 통한 유량 누설은 경제적 손실만 아니라 자칫 안전사고로 이어질 수 있다.

특히 안전에 관련해서는 폭발성 가스나 유독성 가스등의 누설은 대형 사고로 이어질 수 있으므로, Seat Leakage Class 의 지정은 이러한 점에 치중해서 선정된다.

Soft Seat 의 경우

Class V 및 VI 달성은 별다른 문제없이 가능하다. 단, 연속 운전일 때에는 ANSI FCI 70-2 에서 명시되어 있듯이 유체 온도가 230deg. C 를 넘지 말아야 한다.

유체 온도가 230 deg. C 가 넘는다고 하더라도 밸브의 개폐가 극히 간헐적이고 Open time 이 30분 이하 일 경우에는 대략 300deg. C 까지는 가능하다고 볼 수 있다. 이는 사업주와 협의해서 결정해야 한다. Metal Seat 의 경우(Actuator Type 별 본인의 별도 Article 을 참조) Plant 운전을 고려치 않고 무작정 Leakage Class 를 높일 경우, Pneumatic Actuator 가 과도하게 커지게 되어 불필요한 추가 제작 비용이 소요될 뿐 아니라 현장 설치시에도 문제가 될 수 있다.

1. **Pneumatic Actuating Control Valve**에서는 공기압으로 구동하기 때문에 Leakage Class VI 를 구현하기 위해서는 Actuator 사이즈가 상당히 커진다. 실질적으로 상업 운전 시에 유체가 Seat 를 통과하면서 생기는 닳음 현상과 밸브를 열고 닫을 때 Metal 과 Metal 이 맞부딪히기 때문에 Actuator 의 과도한 힘으로 인해 Seat 표면이나 Plug 표면에 Scratch 나 휜 현상이 발생하면 사실상 Class VI 상태에서 운전되지 않을 수 있다(High Delta P 의 경우 사실상 Class VI 의 Leakage 는 상실된다).

밸브 사이즈가 대형으로 갈수록 Metal Seat 로 Class VI 달성은 거의 불가능하다고 할 수 있으며, 앞서 얘기했던 안전에 영향을 끼치지 않는다면 굳이 Class VI 로 정할 필요는 없다.

Seat Ring 에 Hard-facing 을 해야 하는데 Diameter 가 커지면 고열로 인해 Seat Ring 에 변형이 가서 물리적으로 불가능해진다.

Actuator 사이즈가 과도하게 커지면 Hydraulic Actuator(or Electro-Hydraulic Actuator)로 사양을 변경해야 하는 데, Actuator 가격이 상당히 높고 Stroke speed 가 아주 느려 특별한 Application 인 경우에 적용한다.

이러한 사양의 적용은 주로 API 10000 Wellhead Choke Valve 및 API10000 Ball Valve, 초대형 및 고압의 Valve 에 간혹 적용한다.

밸브의 역할이 On-off 일 경우에는 MOV 로 지정하는 것이 합당하지만 전기 안전 사양에 적합해야 하며, 특히 방폭 등급에 적절해야 한다.

2. On-Off MOV(Electric Motor Operated Valve)에 있어서는 밸브를 항시 Open 또는 Close 상태로 있다가 긴급 상황이나 Plant Shut-down 시에만 열거나 닫고 또한 Actuator 가 Class VI 를 달성할 수 있는 충분한 Thrust Force 나 Torque Force 를 만들어 내기 때문에 별다른 문제가 되지 않는다.

이 경우 밸브 사이즈나 Pressure rating 에 크게 제한을 받지 않는다.