

밸브의 종류 및 선정

3) 제어밸브 (계속)

글/민경화 <한국전력기술(주) 원자력사업단 배관기술부>

(3) 제어밸브 선정 자료의 검토

① 제어밸브 선정시 고려사항

(가) 설계 자료

관로 압력

제어 밸브 선정시 가장 중요한 점은 계통의 압력 제어이다.

제어 밸브의 가장 주요한 기능의 하나가 밸브 전후의 압력차를 계통의 설계 의도대로 조절하는 것으로서 관로의 유량 및 압력을 제어하는 것이다. 따라서 관로의 압력은 제어 밸브의 설계에서 가장 중요한 사안이 된다. 통상적으로 관로의 유량과 관로의 제어밸브 전후간의 압력차와의 관계는 압력차의 제곱근에 비례한다. 따라서 밸브 전후간의 설계 요구 압력차가 매우 큰 계통에 제어밸브의 적용은 다음과 같은 유체역학적 현상에 유의하여야 한다. 즉, 계통의 압력은 비교적 낮으나 유체온도가 비교적 높은 급수 가열기 배수 계통의 경우 그 배수는 상대적으로 진공을 유지하고 있는 복수기로 방출됨으로 큰 압력차를 요구하게 된다. 이때의 제어 밸브 적용은 밸브의 급개방 및 급폐쇄에 따르는 Shut off 압력을 계통해석 및 밸브 설계에 우선 적용시켜야 한다. 또한 밸브 개방시 밸브 트림에서의 압력 변화는 그 유체의 포화 증기압이내로 형성됨으로 순간적으로 많은 양의 기포가 발생되면서 (Flashing 발생) 2상 유체상태로 복수기로 방출되는데 이때의 유체 속도는 음속을 초과하는 고속으로 밸

브트림은 물론 토출측 배관에 침식을 야기하게 된다. 이러한 계통의 배관 설계는 특히 밸브 토출측의 배관 두께를 흡입측의 배관 두께보다 두껍게 하는 경우가 일반적이며 밸브 트림의 구조도 내침식성의 재질로서 등비율 특성을 가진 케이지-플러그(Cage-Plug) 형식의 Balance 트림을 사용하고, 소음이 문제시되는 경우에는 저소음의 특수 트림을 선택해야 한다.

보일러 급수 계통의 경우, 계통 특성상 고압의 물을 보일러에 공급하는 것으로 급수 제어밸브와 보일러 수위 제어밸브 및 Mini-flow 밸브로 구성되어 있다. 이 계통의 압력은 60~70kg/cm²로 유지되어야 하며 밸브에서의 압력 손실(압력 조절)은 비교적 적지만 유속은 비교적 빠르므로 밸브 트림에서의 침식 및 소음에 유의하여 밸브를 설계한다. 그리고 이 계통의 유량 제어 밸브는 펌프의 Mini Flow를 재순환시켜야 하는 엄격한 제어 조건을 가지고 있으므로 계통 밸브중 가장 제어 부하가 큰 밸브이다. 따라서 이 Mini-Flow용 제어 밸브는 HUSH 또는 Cavitrol Trim과 같은 다단 Head Loss 또는 Velocity Loss의 특수 설계된 트림이 사용되기도 한다.

결론적으로 제어 밸브의 선정에 있어서 관로 압력은 밸브 크기 및 온도-압력 기준(Temperature-Pressure Rating, Ref. ANSI B16.34)에 등급을 결정하는데 매우 중요한 자료가 되고, 밸브 내부의 유체역학적 관점에서 보면 밸브 운전중의 제반 문제점으로 되고 있는 Cavitating, Flashing 및 Choking 현상을 사전에 예측해 볼 수 있는 관

“제어밸브의 선정에 있어서 관로압력은 밸브크기 및 온도-압력 기준에 등급을 결정하는데 매우 중요한 자료가 되고, 밸브 내부의 유체역학적 관점에서 보면 밸브 운전중의 제반 문제점으로 되고 있는 Cavitating, Flashing 및 Choking 현상을 사전에 예측해 볼 수 있는 관건이 된다.”

건이 된다.

유 량

어떤 계통에 있어서 소요의 유량을 제어한다는 것은 계통의 압력제어와 불가분의 관계를 가진다. 즉 계통의 원활한 운전은 유체의 압력과 유량이 건전하게 유지된다는 것을 뜻한다. 제어 밸브의 선정에 있어서 제어해야 할 유량은 밸브에서 생기는 압력손실과 밸브크기와의 관계로 이뤄짐으로 최대 제어유량의 120~150%의 여유를 가진 밸브를 선정하여 압력 손실량을 계통의 요구 유량에 맞게끔 적절히 제어하면 된다.

따라서 제어 밸브의 선정 설계 자료로서의 유량은 제어 밸브내부의 유량제어 요소의 트림의 크기를 결정하기 위한 것이고, 압력손실량을 제어하는 요소인 트림의 형상 및 특성에는 크게 영향을 주지 않는다고 보아도 좋다. 그러나 유량의 크기를 고려하지 않고 제어밸브를 선정할수는 없다.

밸브간의 차압

밸브간의 차압은 관로의 유체가 밸브를 통과할때 밸브 트림의 형상에 따라 생기는 유체 저항에 의해 생기게 된다. 이러한 유체 저항을 적절히 응용하는 기구가 곧 제어밸브인 것이다. 다시말하면 유체 수송 기기의 사양을 결정하는 경우에 필요한 것으로 미리 밸브에 어느 정도의 유체 저항 즉 압력 손실이 생기는가를 예측하면 펌프등과 같은 유체 소송 기기의 소요 유량을

산출할때 필요한 양정, 구경, 토출압력, 흡입압력 또는 진공도등을 결정하는데 편리하게 된다.

제어밸브에 생기는 압력 손실은 밸브 내부의 유로의 흐름이 좁고 넓음에 의해 저항이 생기고, 트림등과 같은 복잡한 형상을 통과할때 유로 내부의 유로 방향 변화로 인한 유로 저항으로 인한다.

즉 유로 단면적이 좁으면 유체 흐름은 난류로 되기 쉽고 이에 따라 압력 손실은 증가되면서 유량은 그만큼 감소하게 된다. 또한 유체 흐름의 방향이 변하게 되면 유로의 정상적인 흐름외에 이차적인 두개의 서로 다른 방향으로 회전하려고 하는 와류가 생겨 유체의 유동 에너지가 열에너지로 변화하면서 이에 따른 압력 손실이 생기게 되는 것이다. 압력 손실을 해석할때, 해석이 곤란한 요소를 손실계수라 하고, 이 값을 실험으로 구하여 압력 손실의 일반형을 만든다.

$$\text{즉 } h_f = K_c \frac{V^2}{2g}$$

여기서, h_f = 밸브에 있어서 손실 수두 (mAq)

K_c = 밸브의 손실 계수

V = 밸브 전후 단면에 있어서 평균

유속 (m/sec.)

g = 중력 가속도 (9.8m/sec²)

밸브의 손실 계수 K_c 는 밸브의 개도율에 따라 다르게 됨으로 결국 밸브의 압력 손실은 밸브 개도에 따라 다르게 된다.

따라서 밸브 선정을 위한 설계 자료로서 차압은 계

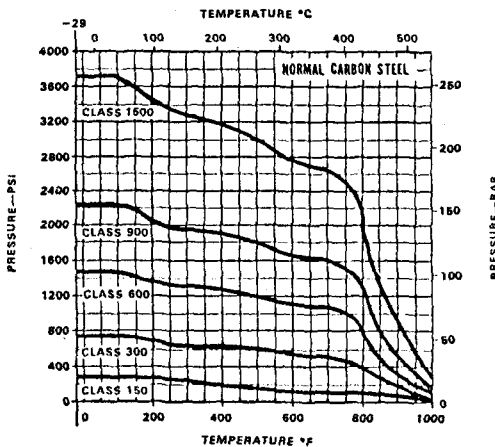
통 설계에서 이미 그 범위가 주어져 있으므로 밸브의 크기에 따라 밸브 내부에서의 압력 손실의 제어 범위를 결정하여 설계 유량과 압력을 제어하는 것이다.

운전 온도의 범위

밸브의 적용에 있어서 운전 온도의 범위는 매우 중요한 의미를 갖는다. ANSI B16.34의 압력-온도기준 (Pressure-Temperature Rating)은 밸브 선정의 기본 기준으로 널리 이용된다. 또한 열역학적 현상으로 온도에 따른 유체의 포화 증기압은 밸브 운전에 있어서 Cavitating 또는 Flashing 현상을 일으키는 Parameter가 되므로 운전 온도 범위에 따라 밸브 구조가 달라진다.

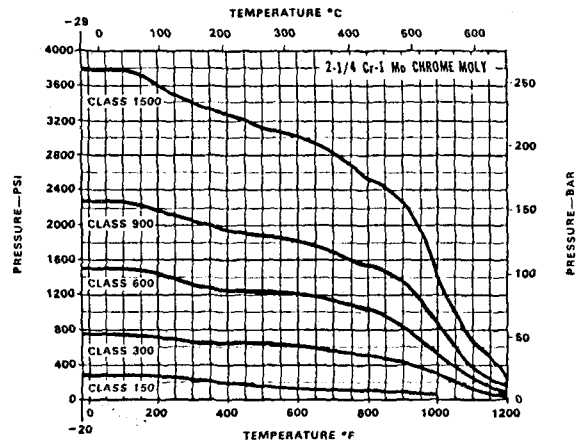
통상의 제어 밸브는 ANSI B16.34 등급 150#~900#급으로 크기는 1.5"~12" 정도이다. 이에 대한 압력-온도 기준표는 다음의 <그림 37, 38>과 같다.

Pressure-Temperature Ratings for Standard Class Valves (In accordance with ANSI B16.34-1977)



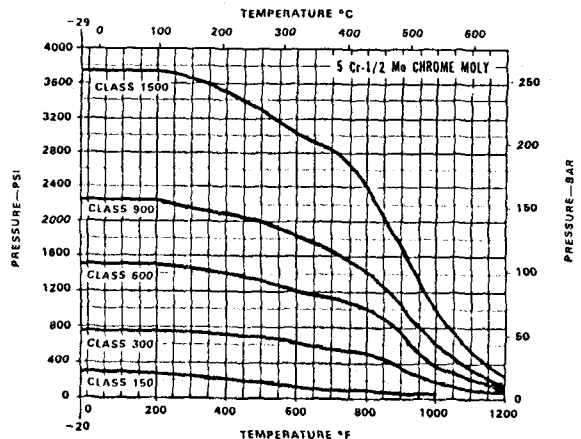
Ratings for Normal Carbon Steel Valves

[Fisher Controls Company recommends limiting ASTM A216 Grade WCB valves to 800°F (427°C).]



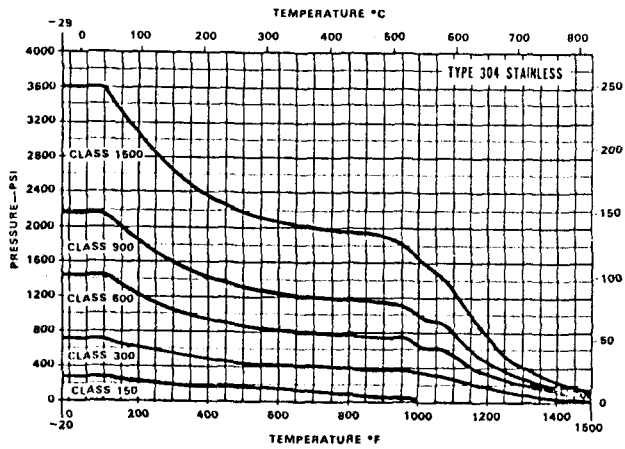
Ratings for 2 1/4 Cr-1 Mo Chrome Moly Alloy Steel Valves (ASTM A217 WC9 valves should be limited to 1050°F (566°C).)

Pressure-Temperature Ratings for Standard Class Valves (In accordance with ANSI B16.34-1977)



Ratings for 5 Cr-1/2 Mo Chrome Moly Alloy Steel Valves

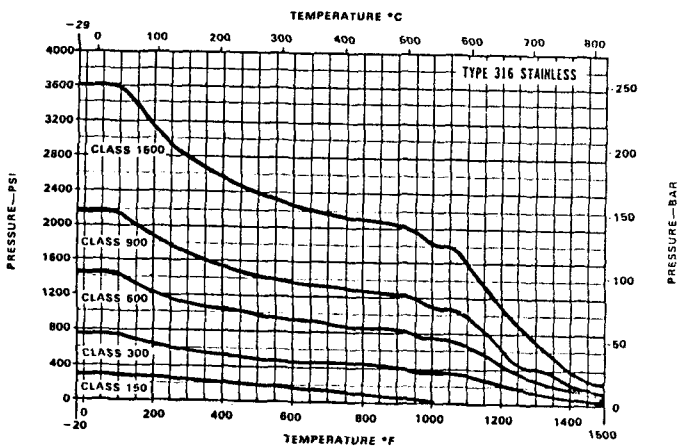
[ASTM A217 Grade C5 valves should be limited to 1100°F (593°C).]



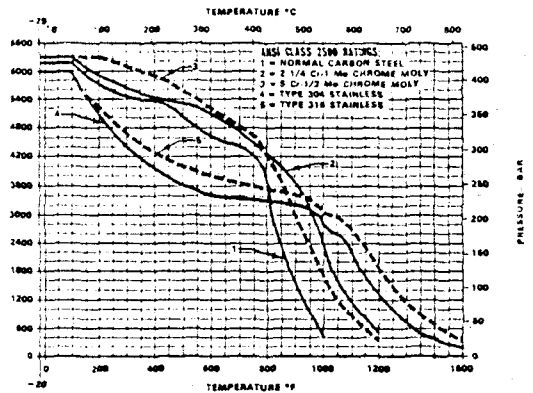
Ratings for Type 304 Stainless Steel Valves

〈그림 37〉 압력-온도 기준 그래프 (1)

Pressure-Temperature Ratings for Standard Class Valves
(In accordance with ANSI B16.34-1977)



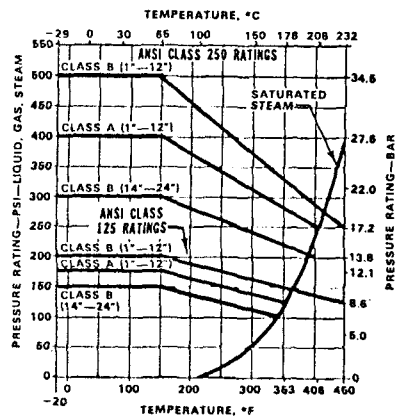
Ratings for Type 316 Stainless Steel Valves



Ratings for Standard ANSI Class 2500 Valves

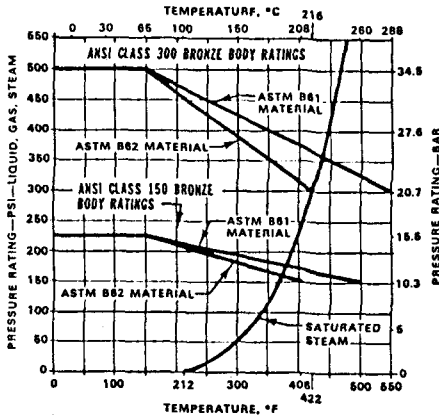
(Fisher Controls Company recommends limiting Curve 1 to 800°F (427°C) for ASTM A216 Grade WCB, Curve 2 to 1050°F (566°C) for ASTM A217 WC9, and Curve 3 to 1100°F (593°C) for ASTM A217 Grade C5.1)

Pressure-Temperature Ratings ASTM A126 Cast Iron Valves
(In accordance with ANSI B16.1-1975.)



Ratings for ASTM A126 Cast Iron Valves

ASTM B61 and B62 Cast Bronze Valves
(In accordance with ANSI B16.24-1971.)



Ratings for ASTM B61 and B62 Cast Bronze Valves

〈그림 38〉 압력-온도 기준 그래프(2)

Wear & Galling Resistance Chart Of Material Combinations

	304 SST	316 SST	Bronze	Inconel	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Titanium 75A	Nickel	Alloy 20	Type 416 Hard	Type 440 Hard	17-4PH	Alloy 6 (co-cr)	ENC*	Cr Plate	Al Bronze
304 SST	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
316 SST	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Bronze	F	F	S	S	S	S	S	S	S	F	F	F	F	F	F	F	F
Inconel	F	F	S	P	P	P	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	S
Monel	F	F	S	P	P	P	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	S
Hastelloy B	F	F	S	P	P	P	F	F	S	F	F	F	F	F	S	F	S
Hastelloy C	F	F	S	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	S	F	S
Titanium 75A	F	F	S	P	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	S	F	S
Nickel	F	F	S	F	F	S	F	F	P	P	F	F	F	F	F	F	S
Alloy 20	F	F	S	F	F	F	F	F	P	P	F	F	F	F	F	F	S
Type 416 Hard	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	S	S	S
Type 440 Hard	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	S	S	S	S	S	S
17-4PH	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	S	S	S	S	S	S	S
Alloy 6 (co-cr)	F	F	F	F	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
ENC*	F	F	F	F	F	F	F	F	F	S	S	S	S	S	P	S	S
Cr Plate	F	F	F	F	F	S	S	F	F	F	S	S	S	S	S	P	S
Al Bronze	F	F	F	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	P

〈표 6〉 트림재질의 상호 마모/GALLING 특성

유체의 성질

유체의 성질은 밸브 선정에 있어 밸브의 재질을 선정하는데 필히 검토해야 할 사항이다.

일반적으로 밸브 선정시 사용되는 밸브 재질별 유체의 성질간의 내부식 및 내침식 관계는 다음의 〈표 6과 7〉과 같다.

(나) 운전경험자료

밸브의 운전경험으로부터 얻어지는 자료는 올바른 밸브 선정에 큰 도움을 준다. 설계자료로부터 선정된 제어밸브는 밸브의 제반 주요특성을 고려했기 때문에 소위 공학적 오차 범위내에서 밸브의 원활한 운전도를 도모할 수 있다. 아울러 유체의 보다 효율적이고 정밀한 제어를 위해서는 가급적 설계자료를 밸브 제작사의 전문가에게 보여주고 밸브 선정을 의뢰하여야 할 것이다. 그러나 유체 계통을 제어하는 모든 제어요소는 계통의 공정 목표에 맞도록 전체적인 밸런스를 유지하여야 함으로 계통에 대한 깊은 이해가 없는 밸브의 선정은 종종 운전중 문제를 야기시키고 밸브의 제어성을 극도로 제한받기 때문에 밸브 자체의 손상 또는 수명을 단축시킨다.

밸브의 운전경험자료는 설계자료에 의한 밸브 선정에서 오는, 한쪽 측면만을 강조하여 상대적으로 밸런스가 부족한, 불안정한 밸브 선정의 오류를 경험으로 보완해 주는 매우 중요한 밸브 선정 요소이다.

실제로 운전중인 밸브이 문제점을 체계적으로 분석한 사례는 미국 전력연구소(EPRI, Electric Power Research Institute)의 몇몇 밸브 관련 보고서가 대표적이다. 한예로 화력발전소의 보일러스타트업 계통에 사용되는 수퍼히터 바이패스와 터빈 바이패스 밸브의 문제 내용을 각 주요 밸브회사별로 구분하여 분석한 것이 다음과 같다. 예에서 보는바와 같이 이들 밸브는 매우 가혹한 운전상태하에서 운전하고 있는 점을 고려하여 설계 단계로부터 세심한 밸브 선

정을 하였겠지만 실제 운전은 설계시의 운전조건 범위를 벗어나는 경우가 있으며 이에 따라 전체적인 계통의 특성과 더불어 밸브의 전형적 문제점을 알아두면 보다 정확한 밸브를 선정할 수 있을 것이다. 아울러 몇몇 세계적으로 유명한 밸브회사는 나름대로의 밸브 선정지침은 물론 제어밸브에서의 전형적 문제점과 그 해결책을 제시하고 있다. 특히 FISHER CONTROLS 사의 경우는 대표적 시리즈형식의 책자 "CONTROL VALVE SOURCEBOOK—POWER & SEVERE SERVICE"와 "UNIQUE SOLUTIONS TO UNIVERSAL PROBLEMS" 등이 좋은 예이다.

〈표 7〉 밸브 트림재료의 내부식성 특성

(1/2)

FLUID	MATERIAL													
	Carbon Steel	Cast Iron	302 or 304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Bronze	Monel*	Hastelloy* B	Hastelloy* C	Durimet: 20	Titanium	Cobalt-Base Alloy 6	416 Stainless Steel	440C Hard Stainless Steel	17-4PH Hard Stainless Steel
Acetaldehyde	A	A	A	A	A	A	I.L.	A	A	I.L.	I.L.	A	A	A
Acetic Acid, Air Free	C	C	B	B	A	B	A	A	A	A	A	C	C	B
Acetic Acid, Aerated	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B
Acetic Acid Vapors	C	C	A	A	B	B	I.L.	A	B	A	A	C	C	B
Acetone	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Acetylene	A	A	A	A	I.L.	A	A	A	A	I.L.	A	A	A	A
Alcohols	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Aluminum Sulfate	C	C	A	A	B	B	A	A	A	A	I.L.	C	C	I.I.
Ammonia	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	I.I.
Ammonium Chloride	C	C	B	B	C	B	A	A	A	A	B	A	A	I.I.
Ammonium Nitrate	A	C	A	A	C	C	A	A	A	A	A	C	B	I.I.
Ammonium Phosphate (Mono Basic)	C	C	A	A	B	B	A	A	B	A	A	B	B	I.I.
Ammonium Sulfate	C	C	B	A	B	A	A	A	A	A	A	C	C	I.I.
Ammonium Sulfite	C	C	A	A	C	C	I.L.	A	A	A	A	B	C	I.I.
Aniline	C	C	A	A	C	B	A	A	A	A	A	C	C	I.I.
Asphalt	A	A	A	A	A	A	A	A	A	I.L.	A	A	A	A
Beer	B	B	A	A	B	A	A	A	A	A	A	B	B	A
Benzene (Benzol)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzoic Acid	C	C	A	A	A	A	I.L.	A	A	A	I.L.	A	A	A
Boric Acid	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	I.L.
Butane	A	A	A	A	A	A	A	A	A	I.L.	A	A	A	A
Calcium Chloride (Alkaline)	B	B	C	B	C	A	A	A	A	A	I.L.	C	C	I.I.
Calcium Hypochlorite	C	C	B	B	B	B	C	A	A	A	I.L.	C	C	I.I.
Carbolic Acid	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	I.L.	I.L.	I.I.
Carbon Dioxide, Dry	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Carbon Dioxide, Wet	C	C	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Carbon Disulfide	A	A	A	A	C	B	A	A	A	A	A	B	B	I.I.
Carbon Tetrachloride	B	B	B	B	A	A	B	A	A	A	I.L.	C	A	I.I.
Carbonic Acid	C	C	B	B	B	A	A	A	A	I.L.	I.L.	A	A	A
Chlorine Gas, Dry	A	A	B	B	B	A	A	A	A	C	B	C	C	C
Chlorine Gas, Wet	C	C	C	C	C	C	C	B	C	A	B	C	C	C
Chlorine, Liquid	C	C	C	C	B	C	C	A	B	C	B	C	C	C
Chromic Acid	C	C	C	C	C	C	C	A	C	A	B	C	C	C
Citric Acid	I.L.	C	B	A	A	B	A	A	A	A	I.I.	B	B	B
Coke Oven Gas	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A
Copper Sulfate	C	C	B	B	B	C	I.L.	A	A	A	I.L.	A	A	A
Cottonseed Oil	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Creosote	A	A	A	A	C	A	A	A	A	I.L.	A	A	A	A
Ethane	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Ether	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Ethyl Chloride	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	I.I.
Ethylene	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Ethylene Glycol	A	A	A	A	A	A	I.L.	I.L.	A	I.L.	A	A	A	A
Ferric Chloride	C	C	C	C	C	C	B	C	A	A	B	C	A	A
Formaldehyde	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Formic Acid	I.L.	C	B	B	A	A	A	A	A	C	B	C	C	B
Freon, Wet	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	I.L.	I.L.	I.I.
Freon, Dry	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	I.I.	I.I.	I.I.
Furfural	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	I.I.
Gasoline, Refined	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

* Trademark of International Nickel Co.
 † Trademark of Seltite Division, Cabot Corp.
 ‡ Trademark of Duron, Co.
 A - Recommended

B - Minor to moderate effect, proceed with caution
 C - Unsatisfactory
 I.L. - Information lacking