Journal of the Korean Vacuum Society
Vol. 1, No. 1, February 1992 pp.11-15

〈연구논문〉

텅스텐 선으로 만든 porous plug의 conductance

임재영 · 정광화 · 박재홍 · 홍승수 · 신용현 · 이철로

한국표준과학연구원 진공연구실

(1991년 11월 20일 접수)

The Conductances of Porous Plugs Made of Tungsten Wires

Jae-Young Leem, Kwang-Hwa Chung, Jae-Hong Park, Seung-Soo Hong, Yong-Hyun Shin and Chul-Rho Lee

Vacuum Science Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon 305-606

(Received November 20, 1991)

요 약－작은 구멍속에 텅스텐 선을 넣어 만든 porous plug의 conductance를 이론적으로 계산하고, 실험적인 값과 비교하여 기하학적 인자 K를 구하였다. K값은 텅스텐 선을 넣지 않았을 경우 0.91-1.00, 3개의 텅스텐 선을 넣었을 경우 0.77-0.78, 4개의 텅스텐 선을 넣었을 경우 0.85-0.88이었다. 한편 제작된 porous plug를 가지고 대기중에 노출시킨 시간에 따른 conductance의 변화를 측정한 결과 0.4% 오차 범위 내에서 일치하였다.

Abstract－The conductances of the porous plugs, which are made by inserting tungsten wires into small holes, are calculated and compared with values measured by experiment. For the porous plug with no wire, the ratio K of C_{exp} and C_{theo} is in the range 0.91-1.00, and in the range 0.77-0.78 and 0.85-0.88 for plugs with three and four wires, respectively. The variations in conductances as a function of exposure time to the air were measured and in no case have variations of more than +0.4 per cent been observed.

1. 서 론

진공 gauge와 mass-spectrometer 교정에 있어서 진공챔버 속으로 유입되는 가스의 양을 정확히 측정하는 것은 교정의 정밀도를 높여주는 것이 된다[1,2]. 교정시스템에서 유량을 조절하는데 사용되고 있는 것중의 하나가 porous 물질이다. 이 porous 물질은 직경 1μ 이내의 많은 pore들로 이루어져 있으므로 수십 mbar의 압력에서도 가스의 평균자유행로가 pore보다 크다. 따라서 이들 porous 물질로 만들어진 porous plug는 진공 gauge를 교정하는 압력범위에서 분자류를 형성하게 된다[3].

교정시스템에 사용될 수 있는 가장 이상적인 porous plug는 (1) conductance 값이 기체의 분자량과 온도에만 의존하여야 하고, (2) 400℃까지 bakeout을 할 수 있어야 하고, (3) 가스가 흡착될 수있는 내부 면적이 작아야 하고, (4) 탈가스를 쉽게 할 수 있어야 하고, (5) conductance 값이 bakeout 과정에 의존하여서는 안된다[4]. 기존의 porous plug 전부가 이들 조건을 모두 만족하지는 못하고 있다. 또한, 기존의 porous plug의 가장 큰 단점은 한 종류의 porous plug는 유일한 conductance 값만을 가지므로 넓은 범위에 걸친 교정시스템에는 사용할 수가 없다. 그러나 텅스텐 선을 이용하여 제작한 porous plug는 구멍속에 넣은 텅스텐 선의 수에 의하여 conductance 값을 변화시킬 수 있다[5].

이에 본 연구에서는 텅스텐 선으로 만들어진 porous plug의 conductance 값을 이론적으로 계산하였다. 이때 구멍속에 넣은 텅스텐 선의 수는 3개와 4개의 두 종류로 하였으며, 기체가 통과하는 pore의 단면은 같은 면적을 가지는 원으로 환산하여 계산하였다. 또한 이론적으로 계산된 conductance 값과 실험적으로 구한 값을 비교하여 기하학적 인자 K를 구하였다.

2. Porous plug의 conductance 계산

Knudsen[6]에 의하면 분자류 영역에서 반경 a인 orifice의 conductance는

$$C_o = 11.43(T/M)^{1/2}a^2 l/s \quad (1)$$

으로 된다. 여기서 T는 온도(Kelvin)이고 M은 분자량(g)이다. 그러나 커다란 두 체적 사이에 연결된 튜브의 경우에 있어서는 기체가 구멍을 통과하는 확률이 다르기 때문에 (1)식을 만족하지 못한다. 따라서 이 경우의 conductance는

$$C = \alpha C_o \quad (2)$$

가 된다. 여기서 α는 튜브의 입구를 지나는 분자가 투브를 통하여 전송될 전송확률(transmission probability)이다. 이 α는 튜브의 길이 l과 반경 a의 함수이다. a는 Santeler[7]에 의하여 (3)식과 같이 정의되었다.

$$\alpha = 1/(1+3l'/8a) \quad (3)$$

여기서 l'은

$$l' = l/\{1+[1/(3+3l/7a)]\} \quad (4)$$

이다. 위의 식은 튜브가 일정한 단면적을 가지는 원형 튜브를 경우에 적용된다. 그러나 텅스텐 선을 넣어 만든 porous plug는 기체가 통과하는 단면이 원형이 아니고 또한 텅스텐 선을 넣은 수에 의하여 단면의 기학학적 모양이 달라지게 된다. 따라서 기학학적 인자 K를 고려하면 porous plug의 여러개 pore중 한 pore의 conductance C_{po}는

$$C_{po} = K\alpha C_o \quad (5)$$

가 된다. 위의 식들로부터 pore의 단면과 길이를 알면

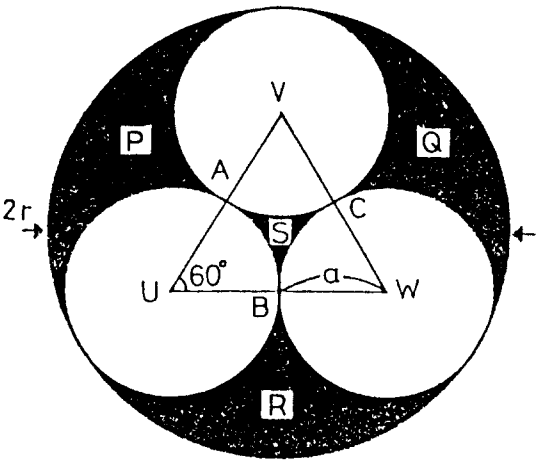

Fig. 1. Cross-sectional view of porous plug with three wires inserted into a small hole.

conductance를 구할 수 있게 된다.

반경이 r_3인 구멍속에 반경이 b인 텅스텐 선을 3개 넣었을 때의 porous plug의 단면도가 Fig. 1이다. 기체가 흐를 수 있는 pore가 4개 생기게 된다. 그 중 P, Q, R의 면적은 같고 S만 다르다. P의 면적은

$$P_{area} = (\pi r^2 - 3\pi b^2 - \sqrt{3b^2} + \pi b^2/s)/3 \quad (6)$$

이 되고 S의 면적은

$$S_{area} = (\sqrt{3} - \pi/2)b^2 \quad (7)$$

이 된다. 한편 기하학적 관계로부터

$$r_3 = 2.1547b \quad (8)$$

의 관계가 성립하게 된다. 따라서 P, Q, R의 면적과 동일한 면적을 가지는 원의 반경 b_1

$$b_1 = 0.338r_3 \quad (9)$$

가 되고, 마찬가지로 S의 면적과 동일한 면적을 가지는 원의 반경 b_2는

$$b_2 = 0.1051r_3 \quad (10)$$

가 된다.

한편 반경이 r_4인 구멍속에 반경이 c인 텅스텐 선을 4개 넣었을 때의 porous plug 단면도가 Fig. 2이다. 5개의 pore가 생기게 되며, 이 중 P, Q, R, S의 면적은

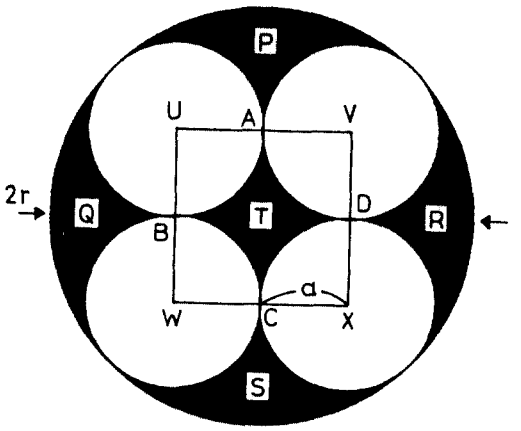

Fig. 2. Cross-sectional view of porous plug with four wires inserted into a small hole.

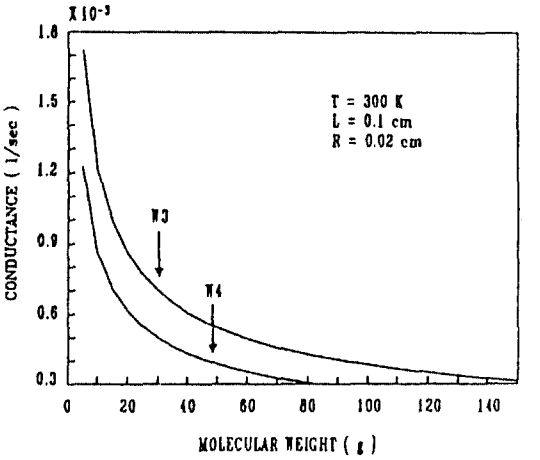

Fig. 3. Theoretical conductance as a function of molecular weight.

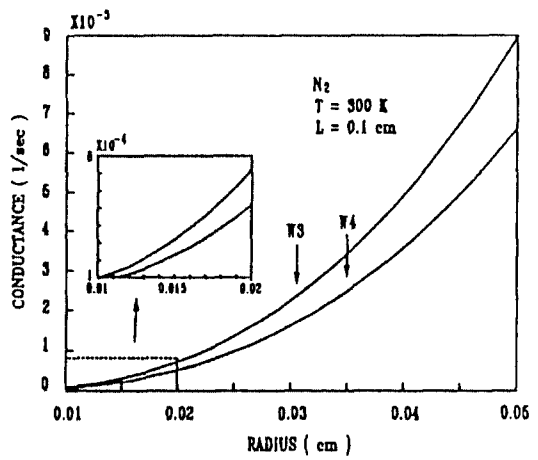

Fig. 4. Theoretical conductance for N_2 gas as a function of hole radius.

같고 T만 다르다. 4개의 텅스텐 선의 굵기가 일정하고, 반경 r_4인 구멍속에 내접하여 들어가게 하였으므로

$$r_4 = 2.4142c \tag{11}$$

의 관계가 성립하게 된다. 세개의 텅스텐 선을 넣었을 때와 마찬가지 방법으로 계산하면 P, Q, R, S와 동일한 면적을 가지는 원의 반경 c_1은

$$c_1 = 0.2583r_4 \tag{12}$$

가 되고, T와 동일한 면적을 가지는 원의 반경 c_2는

$$c_2 = 0.2163r_4 \tag{13}$$

로 된다. 따라서 (5)식에 이들 값을 넣어 계산하면 3개 및 4개의 텅스텐선을 넣은 porous plug의 conductance 값을 예측할 수 있게 된다.

3. 결과 및 논의

위의 계산식 (5)에서 기하학적 인자 K를 고려하지 않은 상태에서 이론적으로 계산한 conductance 값이 Fig. 3-8이다. 이때 porous plug의 pore의 크기는 식 (9), (10), (12), (13)을 사용하였다.

Fig. 3은 300K의 온도에서 깊이 0.1 cm, 반경이 0.02 cm인 구멍속에 텅스텐선을 각각 3개와 4개 넣은 porous plug의 분자량에 따른 conductance 값의 변화이다. 분자량이 커짐에 따라 conductance 값은 작아지고 있으며, 텅스텐 선을 3개 넣은 것보다 4개 넣은 것이 약 6배 정도 작은 값을 나타내고 있다. 한편 Fig. 4, 5, 6은 N_2, He, Ar 가스에 대하여 구멍의 반경에 따라 conductance를 계산한 것이다. 측정온도는 300 K이고 구멍의 깊이는 0.1 cm이다. 세 경우 모두 구멍의 반경이 커질수록 conductance 값도 커지고 있으며 Fig. 3의 경우와 마찬가지로 구멍속에 3개의 텅스텐 선을 넣은 것이 4개의 텅스텐 선을 넣은 것보다 크게 나타나고 있다. Fig. 7, 8은 반경이 0.02 cm인 구멍속에 텅스텐 선을 각각 3개와 4개 넣은 porous

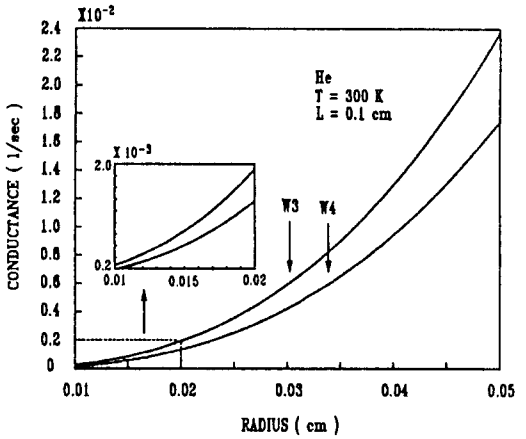

Fig. 5. Theoretical conductance for He gas as a function of hole radius.

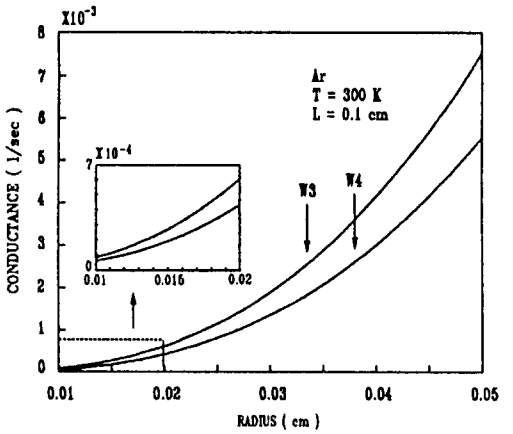

Fig. 6. Theoretical conductance for Ar gas as a function of hole radius.

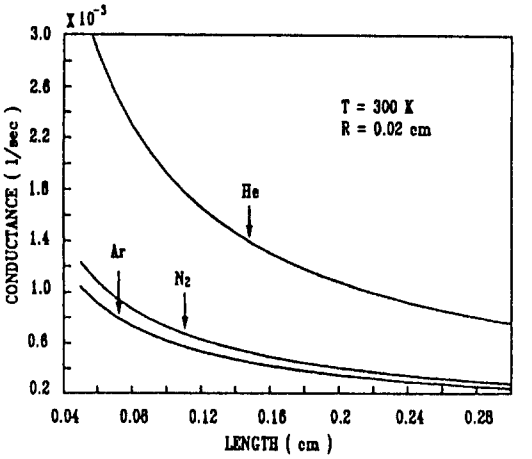

Fig. 7. Plot of theoretical conductance vs length for He, N_2 and Ar as the gas leaks through the porous plug with three wires.

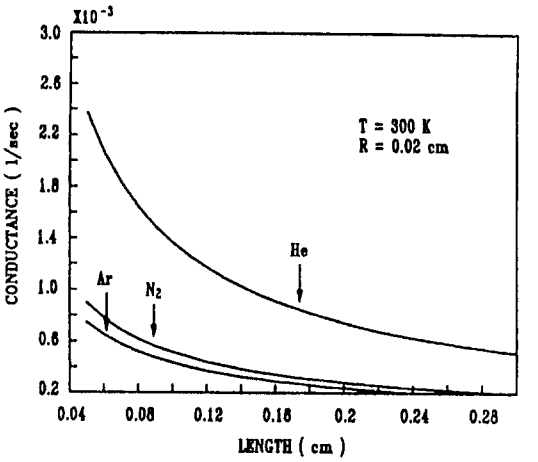

Fig. 8. Plot of theoretical conductance vs length for He, N_2 and Ar as the gas leaks through the porous plug with four wires.

plug의 conductance를 구멍의 깊이에 따라 계산한 것이다. 이때 측정온도는 300 K로 하였다. 깊이가 깊어질수록 conductance 값은 작아지고 있다.

본 연구에서 처음으로 제작한 porous plug의 제작방법, 측정시스템, 측정방법 및 실험적인 conductance 값은 이미 발표되었다[8]. 이들 값과 여기서 구한 이론적인 conductance 값을 비교하여 K값을 구하면 텅스텐 선을 넣지 않았을 경우 K값은 0.91-1.00, 3개의 텅스텐을 넣었을 경우 0.73-0.78, 4개의 텅스텐을 넣었을 경우 0.85-0.88의 값을 나타내고 있다. 이론과 실험적인 conductance 값이 완전히 일치한다면 K값은 1이 되어야 한다. 그러나 모두 1보다 작게 나오고 있다. 그 이유는 이론적인 conductance 값을 계산할 때 가스가 통과하는 pore의 단면은 임의의 모양을 가지고 있으나 계산식에 도입된 식은 단면이 원형일 때 적용되는 식이므로 pore의 단면을 원호로 환산하여 사용하였기 때문이다. 그러나 이들 값은 porous plug의 종류에는 관계가 없고 구멍속에 넣은 텅스텐 선의 수에만 관계되고 있다. 앞의 porous plug 단면 그림을 보면 알 수 있듯이 가스가 통과하는 pore의 단면은 원형이 아니고 임의의 모양을 가지고 있다. 따라서 이 K값은 기하학적 인자로 볼 수 있다.

지금까지 교정 시스템에 사용되어 온 porous

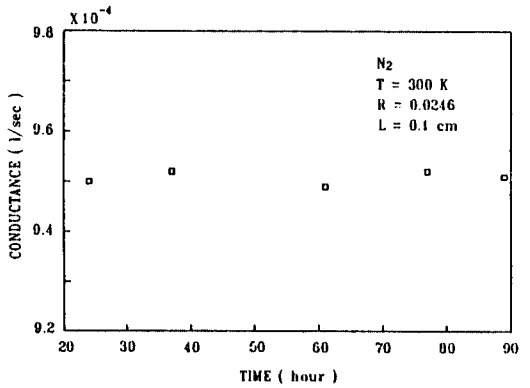

Fig. 9. Conductance variations as a function of exposure time.

plug는 한 종류의 물질로 넓은 진공 영역에서 걸쳐 사용할 수 없었으나 새로 개발한 porous plug는 구멍의 크기와 구멍속에 넣는 텅스텐 선의 수에 의하여 conductance 값을 변화시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한 K값이 구멍속에 넣은 텅스텐 선의 수에만 의존하므로 필요로하는 conductance 값을 가지는 porous plug를 정확히 예상하여 제작할 수 있다.

Fig. 9는 반경 0.00246 cm, 깊이 0.1 cm인 구멍속에 3개의 텅스텐 선을 넣은 porous plug를 가지고 대기중에 노출시킨 시간에 따라 conductance 값의 변화를 측정한 것이다. 이 실험을 하기 전에 제작된 porous plug는 측정 시스템에 넣고 250℃로 8시간 baking하였다. Baking을 한 후 측정된 conductance 값은 9.5×10^{-4} l/s이었다. 이 porous plug를 대기중으로 꺼낸 후 일정한 시간동안 보관한 후 다시 conductance를 측정하여 보았다. 오랜시간 동안 대기중에 노출되었어도 conductance 값은 0.4% 오차범위 내에서 일치하고 있다. 이는 측정중에 온도변화에 의한 오차범위 내에 들어간다. 따라서 가스흡착에 의한 오차는 발생하지 않음을 알 수 있다.

4. 결 론

텅스텐 선을 넣어 만든 porous plug의 conductance를 이론적으로 계산하여 실험값과 비교한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기하학적 인자 K는 텅스텐 선을 넣지 않았을 경우0.91-1.00, 3개의 텅스텐 선을 넣었을 경우 0.77-0.78, 4개의 텅스텐 선을 넣었을 경우 0.85-0.88이었다. 이들 값은 텅스텐 선을 넣는 구멍의 크기에는 관계가 없었으며, 단지 구멍속에 넣는 텅스텐 선의 수에 따라 일정한 범위의 값을 가지고 있었다.

2. 이론적으로 계산한 값에 기하학적 인자 K를 곱하면 실험적인 conductance 값을 예상할 수 있으므로 필요로하는 conductance를 가지는 porous plug를 이론식으로부터 예상하여 만들 수 있다.

3. 텅스텐으로 제작된 porous plug는 오랜 시간 대기중에 노출되어도 conductance 값은 0.4% 오차범위내에서 일치하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술처 특정 연구개발 사업(극한기술 개발)중 "초고진공 실현 및 진단기술 개발" 연구의 일부분이며 후원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. R. G. Christian and J. H. Leck, J. Sci. Instrum. **43**, 229 (1966).
2. C. L. Owens, J. Vac. Sci. Technol. **2**, 104 (1965).
3. W. W. Hultzman and L. N. krause, J. Vac. Sci. Thechnol. **11**, 889 (1974).
4. D. E. Weaver, J. Vac. Sci. Technol. **8**, 752 (1971).
5. 임재영, 정광화, 최석호, 홍승수, 박재홍, 응용물리 **4** (2), 127 (1991).
6. M. Knudsen, Ann. Phys. **28**, 999 (1909).
7. D. J. Santeler, J. Vac. Sci. Technol. **A4**, 338 (1986).
8. J. Y. Leem and K. H. Chung Jhung, Vacuum **42**(15), 979 (1991).