

Basic Vacuum Practice

진공기술의 기초 및 진공디자인



GVT Vacuum Technology Research Institute

Lee Dong-Ju

2018. 12. 7.

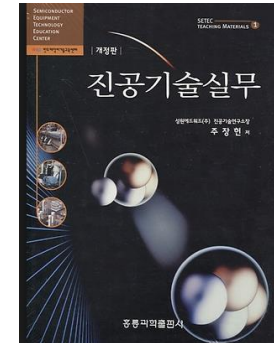
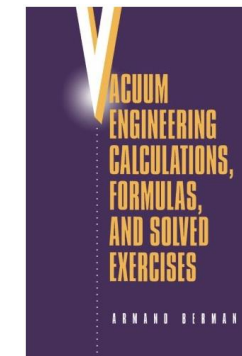
Hyunmin GVT, Inc.

www.gvt.kr

문헌 및 참고자료

- ❖ 진공과학입문: 청문각
- ❖ 진공공학: 한국경제신문사
- ❖ Vacuum Engineering Calculations, Formulas, and Solved Exercises: Armand Berman, Academic Press Inc.
- ❖ 진공이해하기: 홍릉출판사
- ❖ 진공기술실무: 홍릉출판사
- ❖ 진공의 기초: (주)전자자료사
- ❖ 진공기술 핸드북: 청문각
- ❖ 진공물리 및 진공기술: 한양대학교출판부

※주기: 본 교안의 순서와 내용 중 많은 부분을 기존 진공기술 강습회 자료를 수정 활용하였음을 밝힙니다. 오랜 기간에 걸쳐 다듬어지고 정리된 가치 있는 자료입니다. 사용할 수 있도록 허락해 주신 에드워드 주장현 박사께 감사드립니다.



- I 부 -

1. 오해하기 쉬운 진공의 기초
2. 압력이란?
3. 압력과 온도와 분자밀도
4. 진공의 특성(진공 배기특성)
5. 공간배기와 표면방출
6. 왜 로그(Log)에 익숙해야 하는가?

- II 부 -

1. 진공의 기초지식이 중요한 이유
2. 컨덕턴스(직관적 이해)
3. 진공배기와 컨덕턴스
4. 유량, 압력, 컨덕턴스, 배기속도
5. 흐름의 유형별 컨덕턴스
6. 도관의 컨덕턴스와 유효배기속도
(통과확률을 이용한 컨덕턴스)

- III 부 -

1. 진공펌프의 용량선정과 예
(압력에 따른 배기속도 변화)
2. 배기시간 계산식 도출과 예

- IV 부 -

1. 배기시간 계산
 - 해석적 계산
 - Vactran 프로그램을 활용한 계산

- 부 록 -

1. 고진공용 크라이오 펌프 소개
2. G-M극저온 냉동기(원리)
3. 크라이오 펌프 라인업
4. 기타: RGA 데이터 분석
냉각수와 스케일

- 1 부 -

1. 오해하기 쉬운 진공의 기초
2. 압력이란?
3. 압력과 온도와 분자밀도
4. 진공의 특성(진공 배기특성)
5. 공간배기와 표면방출
6. 왜 로그(Log)에 익숙해야 하는가?

'압력'이란 무엇인가?

- 1) 압력=힘/면적: 단위면적당 힘(N/m²)
- 2) 압력~입자수; 압력의 변화=입자수의 변화
~단위부피당 기체의 에너지

PV=NkT (Unit: J, 에너지); 기체상태방정식

P=nkT (Unit: J/m³, 단위체적당 에너지)
→ 분자밀도, n=N/V, n=P/kT

*Def. PV는 기체분자의 질량중심이 이동하는
가스의 병진운동에너지*

here, N: total molecule number

n: N/V, number density of molecules

k=k_B: Boltzmann constant
1.381 x 10⁻²³ [J/K]

참고: 기체상태방정식의 3가지 표현

1. 파티클(분자) 개수로 표현할 때

$$PV = Nk_B T$$

2. 몰수로 표현할 때

$$PV = n_m \bar{R} T$$

3. 질량으로 표현할 때

$$PV = m_t R T \quad \text{or} \quad Pv = RT$$

- 일반기체상수: $\bar{R}=8.314$ [J/mol.K]
- 아보가드로수: $N_A=6.022 \times 10^{23}$ [molec./mol]
- 볼츠만상수: $k_B=1.381 \times 10^{-23}$ [J/K]
- 몰 수: n_m (ref. 1몰: 0°C 1기압 22.4L)
- cf. 분자밀도, n과 구분!
- 기체상수: $R=\text{가스별}$ [J/kg.K]
- 질량(분자 N개의 전체질량): m_t
- 분자량: M, 1몰의 질량.
- 참고: $\bar{R} = N_A k_B$, $n_m = m_t/M$, $R = \bar{R}/M$

Table 1. 압력과 온도변화에 따른 분자밀도(n)

Variation of the Number Density n of Molecules for All Gases with Temperature and Pressure, Calculated from Eq. $P=nkT$.

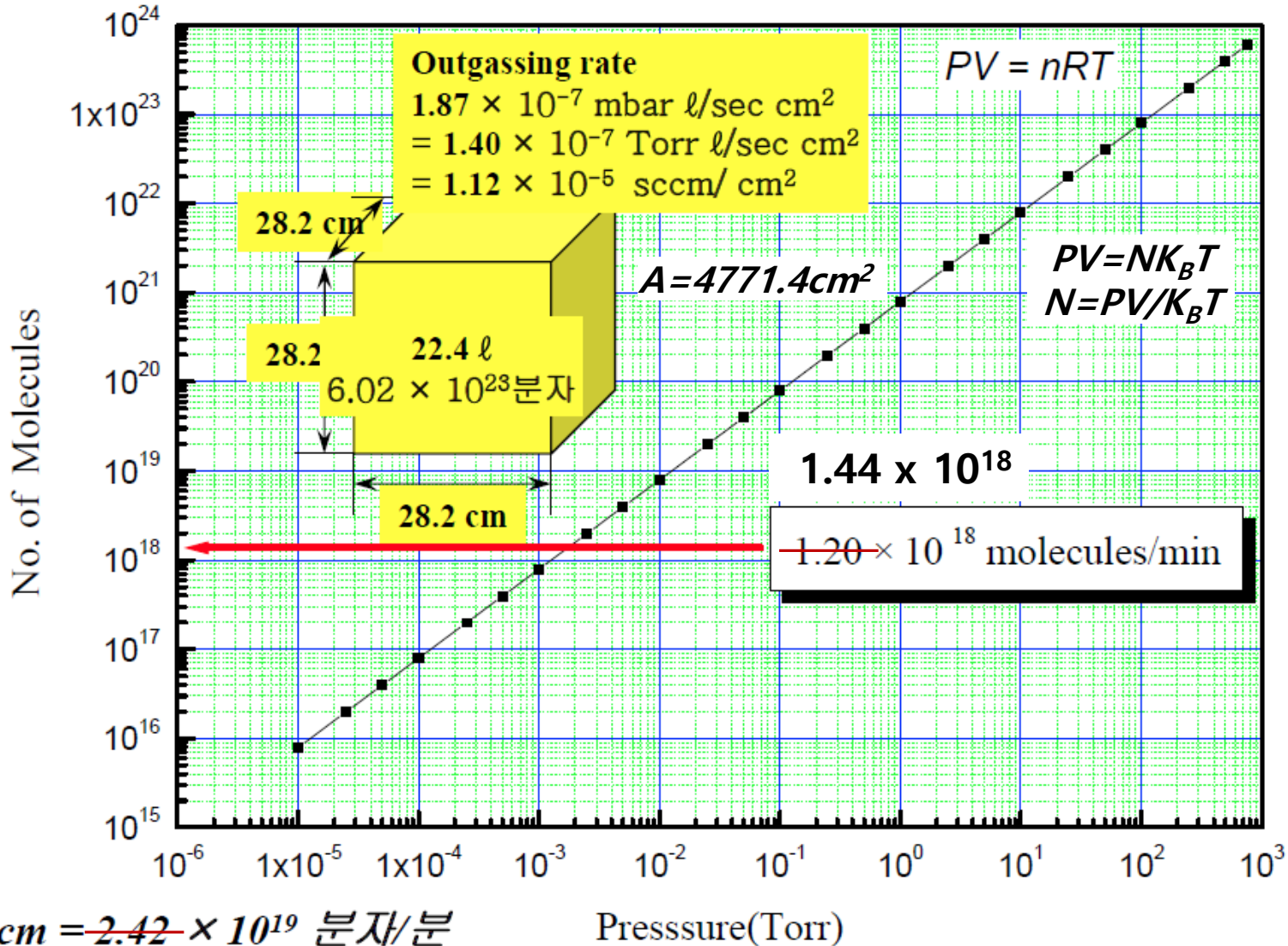
(n : 분자밀도, 단위: $[molec./dm^3]$ 으: decimeter로 m의 1/10, 즉 10cm임)

P [mbar]	T[K] 77.5	T[K] 273	T[K] 296
1.0E+03	9.35E+22	2.65E+22	2.45E+22
1.0E+00	9.35E+19	2.65E+19	2.45E+19
1.0E-01	9.35E+18	2.65E+18	2.45E+18
1.0E-02	9.35E+17	2.65E+17	2.45E+17
1.0E-03	9.35E+16	2.65E+16	2.45E+16
1.0E-04	9.35E+15	2.65E+15	2.45E+15
1.0E-05	9.35E+14	2.65E+14	2.45E+14
1.0E-06	9.35E+13	2.65E+13	2.45E+13
1.0E-07	9.35E+12	2.65E+12	2.45E+12
1.0E-08	9.35E+11	2.65E+11	2.45E+11
1.0E-09	9.35E+10	2.65E+10	2.45E+10
1.0E-10	9.35E+09	2.65E+09	2.45E+09
1.0E-11	9.35E+08	2.65E+08	2.45E+08
1.0E-12	9.35E+07	2.65E+07	2.45E+07
1.0E-13	9.35E+06	2.65E+06	2.45E+06
1.0E-14	9.35E+05	2.65E+05	2.45E+05
1.0E-15	9.35E+04	2.65E+04	2.45E+04

$$P=nkT$$

$$n=P/kT$$

Fig. 1 진공도에 따른 기체분자 개수의 변화(0 °C, 22.4 ℓ)



만약 28.2cm 정육면체 챔버 내
부 재료의 표면방출량이
 $1.87 \times 10^{-7} \text{ mbar L/s, cm}^2$ 라면
...

분당 몇 개의 분자가 표면에서 방출되는 것일까?

$$22.4\text{L 용기의 표면방출량}$$
$$1.12 \times 10^{-5} \times 4771.4$$
$$= 5344 \times 10^{-5} [\text{sccm}]$$
$$\therefore 2.69 \times 10^{19} \times 5344 \times 10^{-5} = 1.44 \times 10^{18} \text{ 7H/min}$$
$$1 \text{ sccm} = \underline{2.42} \times 10^{19} \text{ 분자/분}$$

2.69×10^{19} ; 아보가드로 수, $N_0 = 6.02 \times 10^{23}$ EA/22.4L \gg 1cc에는 몇 개?

배기(排氣, pumping): 오해하기 쉬운 진공개념

“진공을 만든다”
= 압력을 낮춘다
= 파티클(분자) 개수를 줄인다!

능동(X)



수동
(O)

How ?

개념: **벽돌깨기(비슷~)**
(단, **공**이 부딪혀도 **벽돌**은 깨지지 않으며
bar는 고정됨. **bar** = pump)

벽돌깨기: 구글검색 검색창 'atari breakout'

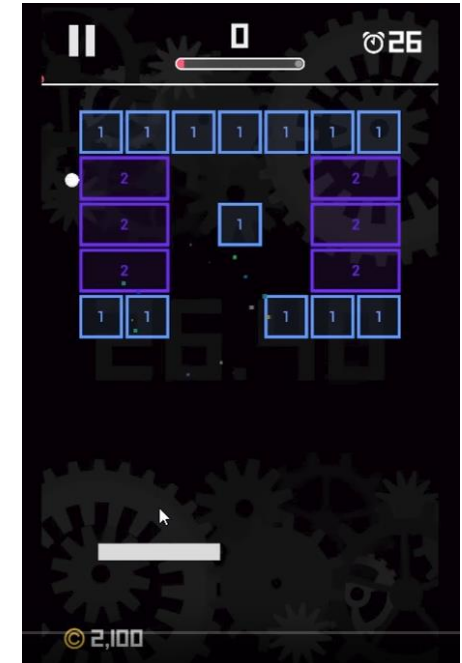


Table 2. 대기의 조성 성분 표 (Dry Air)

GAS	SYMBOL	PERCENT BY VOLUME	PARTIAL PRESSURE	
			TORR	PASCAL
Nitrogen	N ₂	78	593	79,000
Oxygen	O ₂	21	158	21,000
Argon	Ar	0.93	7.1	940
Carbon Dioxide	CO ₂	0.03	0.25	33
Neon	Ne	0.0018	1.4 x 10 ⁻²	1.8
Helium	He	0.0005	4.0 x 10 ⁻³	5.3 x 10 ⁻¹
Krypton	Kr	0.0001	8.7 x 10 ⁻⁴	1.1 x 10 ⁻¹
Hydrogen	H ₂	0.00005	4.0 x 10 ⁻⁴	5.1 x 10 ⁻²
Xenon	Xe	0.0000087	6.6 x 10 ⁻⁵	8.7 x 10 ⁻³
Water	H ₂ O	Variable	5 to 50	665 to 6650

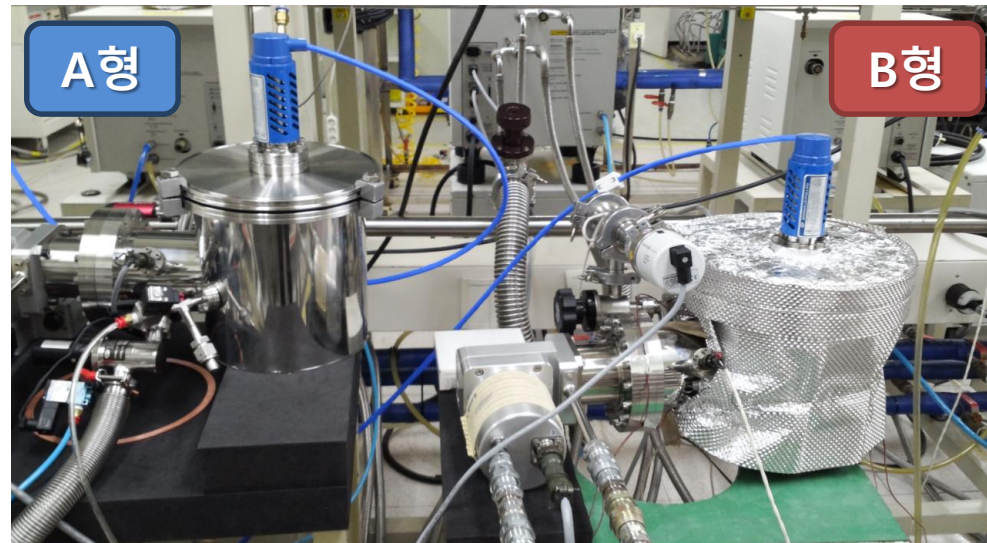
Q. 본 강의실 공간을 진공챔버라고 가정할 경우, 진공펌프를 통해 압력을 낮추기 시작하면 어떤 압력변화 특성을 나타낼까?

Table 3. 압력대별 대기조성성분의 변화

Pressure(Torr)	Major Gas Load
Atm.	Air (N ₂ ,O ₂ , H ₂ O, Ar, CO ₂)
10(-3)	Water Vapor (75 %- 95%)
10(-6)	H ₂ O, CO
10(-9)	CO, N ₂ , H ₂
10(-10)	CO, H ₂
10(-11)	H ₂ (3x10 ⁵ molecules/cm ³)

“좋은 진공~ 물 극복!”

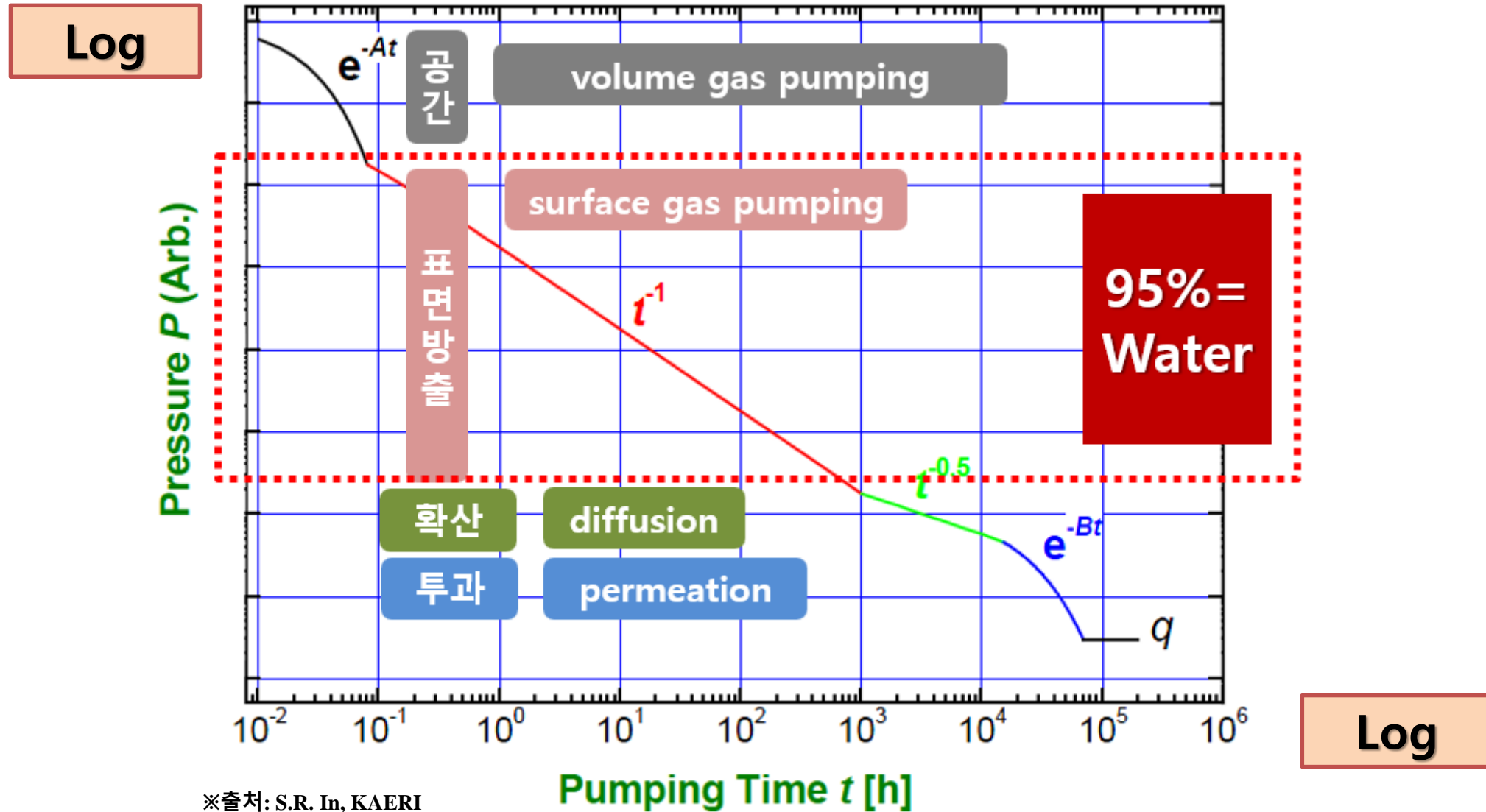
고진공, 초고진공을 달성하기 위해서는 **수분배기**가 가장 중요한 관건임. 동시에 **수소** 배기특성도 좋아야 함. 초고진공 공정을위해 수분과 수소배기에 탁월한 **크라이오펌프**를 사용하는 이유임.



B형: 히터를 사용하여 펌프를 150~200℃까지 베이킹 해야 함.



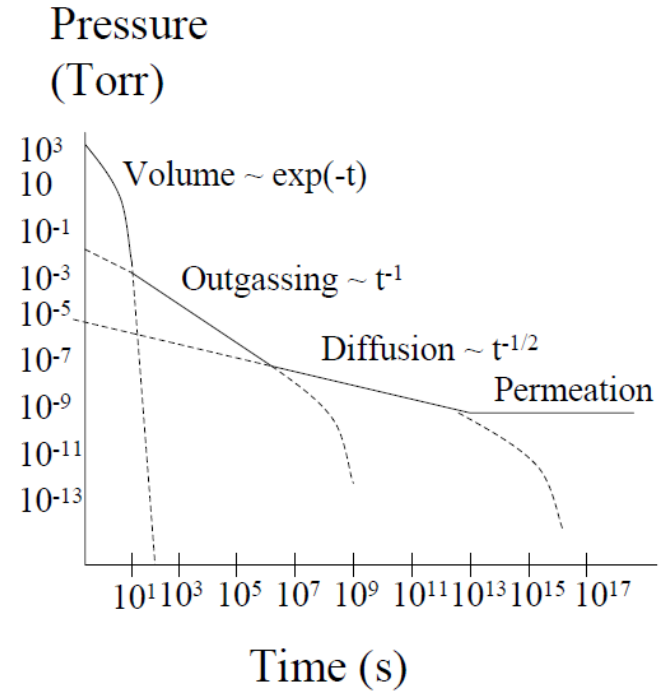
Fig. 2 Actual Pump Down Curve



압력대별 대기조성성분의 변화에 관한 지배방정식

Pressure limits in vacuum systems

$$P = P_0 \exp\left(\frac{-S_{eff}t}{V}\right) + \frac{Q_O}{S_{eff}} + \frac{Q_D}{S_{eff}} + \frac{Q_K}{S_{eff}}$$



- ♠ 1st term -- time dependence of pressure that is due to the gas in the chamber volume ($\exp(-At)$)
- ♠ 2nd term -- pressure due to outgassing ($\sim t^{-1}$)
- ♠ 3rd term -- pressure due to diffusion ($\sim t^{-1/2}$ and later $\exp(-Bt)$)
- ♠ 4th term -- pressure due to permeation (constant)

출처: 인터넷자료, Dr. Philip D. Rack / 비슷한 자료: Vacuum Physics and Techniques, T. A. Delchar

Table 4. 재료별 개략적인 1시간 표면방출량

Approximate outgassing rate K_1 for several vacuum materials, after one hour in vacuum at room temperature.

Material	K_1 (mbar l s ⁻¹ cm ⁻²)
Aluminium (fresh)	9×10^{-9}
Aluminium (20 h at 100 °C)	5×10^{-14}
Stainless steel (304)	2×10^{-8}
Stainless steel (304, electropolished)	6×10^{-9}
Stainless steel (304, mechanically polished)	2×10^{-9}
Stainless steel (304, electropolished, 30 h at 250 °C)	4×10^{-12}
Perbunan	5×10^{-6}
Pyrex	1×10^{-8}
Teflon	8×10^{-8}
Viton A (fresh)	2×10^{-6}

※출처: INTRODUCTION TO THE PRINCIPLES OF VACUUM PHYSICS, *Niels Marquardt*

Q. 진공 챔버 재료로 알루미늄과 STS 중 어떤 것이 좋을까?

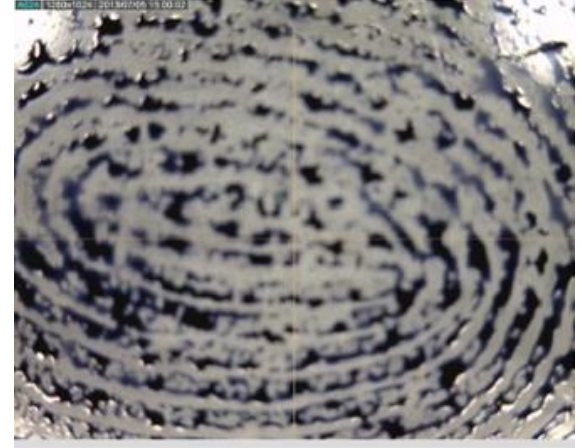
- ♠ 초기 기체방출률: 알루미늄 > 스테인레스강
- ♠ 베이킹 후 기체방출률: 알루미늄 < 스테인레스강
(알루미늄에 수소 함량 자체가 스테인레스강의 경우보다 작음)

지문(finger print)이 진공도에 미치는 영향

♠ 챔버 내부 표면에 찍힌 지문 한 개(오른쪽 그림 참조)는 베이킹(baking)하기 전 상태에서 표면방출(outgassing) 전체 양은 약 1×10^{-5} [Torr L/s]이다.

Q

아래 표와 같이 원하는 압력을 얻기 위해 필요한 진공 펌프의 배기속도(pumping speed)는 얼마인가?



$Q=PS$

압력 P [Torr]	진공펌프의 배기속도, S			비고
	[L/s]	[L/min]	[m3/hr]	
5×10^{-3}	0.002	0.12	0.0072	
5×10^{-4}	0.02	1.2	0.072	
5×10^{-5}	0.2	12.0	0.72	
5×10^{-6}	2.0	120	7.2	
5×10^{-7}	20.0	1,200	72	
5×10^{-8}	200.0	12,000	720	

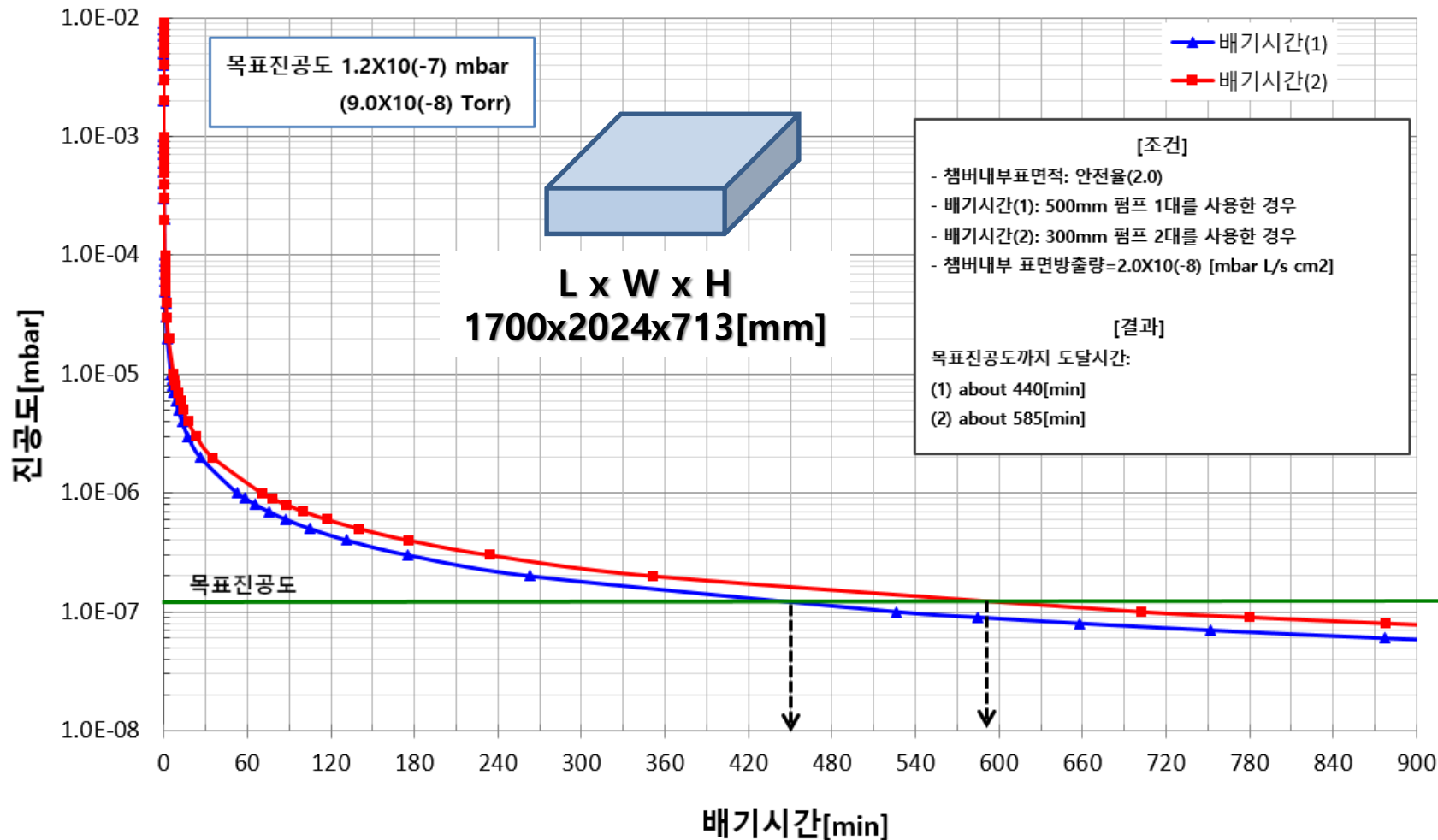
Fig. 3 특정 챔버에 대한 펌프 다운 그래프 예시

Log

GVT Pump 선정을 위한 배기시간 .vs. 진공도 변화
(Organic: 500mm 펌프 1대(하부면) vs 300mm 펌프 2대(측면))

작성: GVT 이동주 수석

날짜: 2016. 7. 21.



2015 09 September
제22권 제3호 ISSN 2288-977X

진공 이야기

Vacuum Magazine

특집 나노급 측정 및 진단기술

www.kvs.or.kr

KVS 한국진공학회
The Korean Vacuum Society

Vacuum Square

진공기술의 현재와 미래

현민 지브이티(GVT) 크라이오 펌프 이야기

이동주

Hyunmin GVT's Cryopump Story

Lee Dong Ju

Cryopumps(cryogenic pumps), with integrating cryogenic skills into vacuum technology, is the most popular high vacuum pump system, which is widely used at the commercial vacuum industries with TMP. Hyunmin GVT, Inc. is the domestic unique professional manufacturer of the cryopump systems. About ten years ago, while GVT succeeded in domestically producing cryopump systems, this high technology initiated from US became localized completely. But the process of the home production was not easy. It was possible through many trials and errors and after efforts and sacrifices of our engineers. Now many users and customers have the benefit of the advantage and excellence of the domestic cryopump systems. Especially, these days GVT is conducting researches and developments regarding low vibration cryopump and large sized CWPs and Cryo-TMPs.

(Fig. 1) The structure of cryopump systems.

1. 크라이오 펌프

크라이오 펌프는 극저온 면에 가스들이 응축 또는 흡착되는 원리를 이용한 고진공 펌프로써, 모든 가스들에 대해 높은 배기속도와 오일이 없는 깨끗한 진공환경을 제공하는 것이 특징이다. 1930년대 이래 사용된 초기의 크라이오 펌프는 주로 액체 질소나 액체 헬륨 같은 액체냉매를 사용하여 배기하는 방식이었다. 반면, 현재의 크라이오 펌프는 1960년대 이래 개발된 Gifford-

(X)지 학박

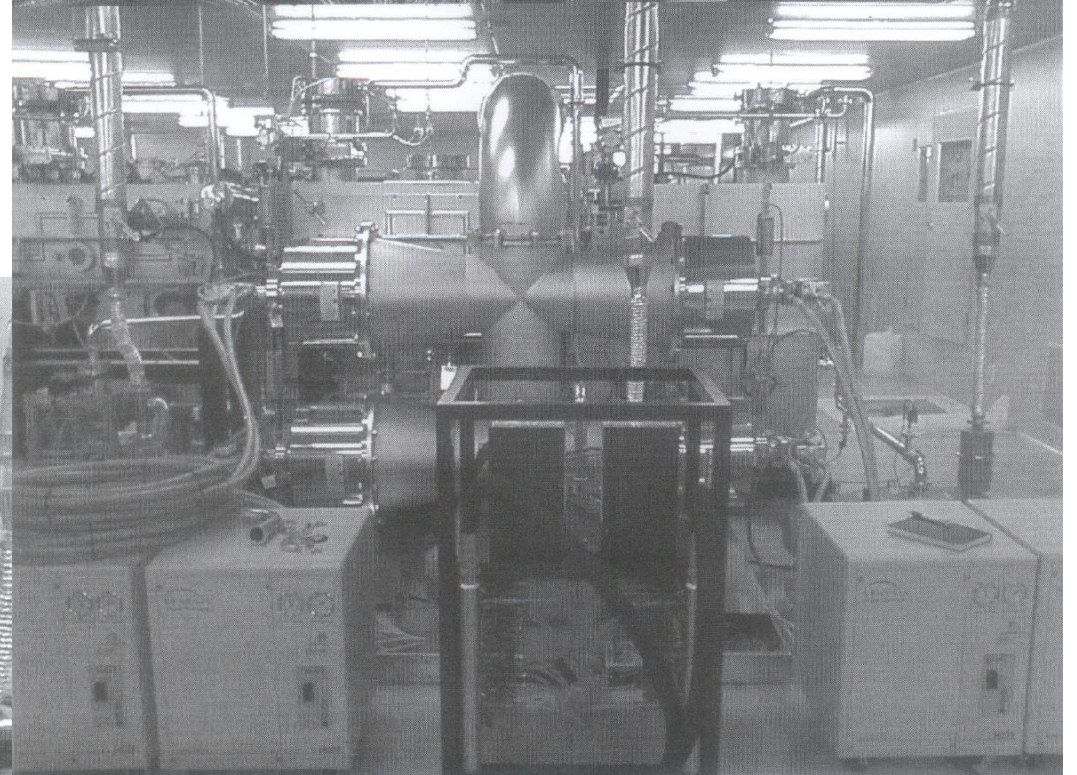
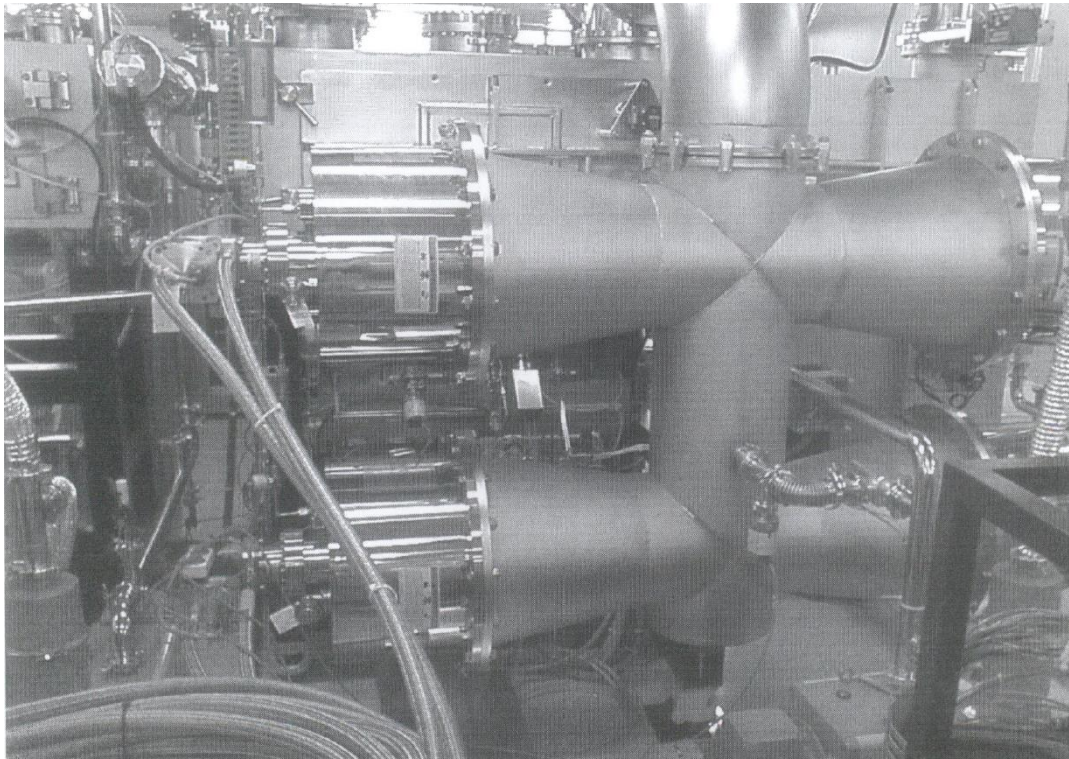
2000년 경북대학교 기계공학 석사, 2009년 삼성중공업 연구원 연구원, 2010년 2013년 2015년 2017년 2019년 2021년 2023년 2025년 2027년 2029년 2031년 2033년 2035년 2037년 2039년 2041년 2043년 2045년 2047년 2049년 2051년 2053년 2055년 2057년 2059년 2061년 2063년 2065년 2067년 2069년 2071년 2073년 2075년 2077년 2079년 2081년 2083년 2085년 2087년 2089년 2091년 2093년 2095년 2097년 2099년 2101년 2103년 2105년 2107년 2109년 2111년 2113년 2115년 2117년 2119년 2121년 2123년 2125년 2127년 2129년 2131년 2133년 2135년 2137년 2139년 2141년 2143년 2145년 2147년 2149년 2151년 2153년 2155년 2157년 2159년 2161년 2163년 2165년 2167년 2169년 2171년 2173년 2175년 2177년 2179년 2181년 2183년 2185년 2187년 2189년 2191년 2193년 2195년 2197년 2199년 2201년 2203년 2205년 2207년 2209년 2211년 2213년 2215년 2217년 2219년 2221년 2223년 2225년 2227년 2229년 2231년 2233년 2235년 2237년 2239년 2241년 2243년 2245년 2247년 2249년 2251년 2253년 2255년 2257년 2259년 2261년 2263년 2265년 2267년 2269년 2271년 2273년 2275년 2277년 2279년 2281년 2283년 2285년 2287년 2289년 2291년 2293년 2295년 2297년 2299년 2301년 2303년 2305년 2307년 2309년 2311년 2313년 2315년 2317년 2319년 2321년 2323년 2325년 2327년 2329년 2331년 2333년 2335년 2337년 2339년 2341년 2343년 2345년 2347년 2349년 2351년 2353년 2355년 2357년 2359년 2361년 2363년 2365년 2367년 2369년 2371년 2373년 2375년 2377년 2379년 2381년 2383년 2385년 2387년 2389년 2391년 2393년 2395년 2397년 2399년 2401년 2403년 2405년 2407년 2409년 2411년 2413년 2415년 2417년 2419년 2421년 2423년 2425년 2427년 2429년 2431년 2433년 2435년 2437년 2439년 2441년 2443년 2445년 2447년 2449년 2451년 2453년 2455년 2457년 2459년 2461년 2463년 2465년 2467년 2469년 2471년 2473년 2475년 2477년 2479년 2481년 2483년 2485년 2487년 2489년 2491년 2493년 2495년 2497년 2499년 2501년 2503년 2505년 2507년 2509년 2511년 2513년 2515년 2517년 2519년 2521년 2523년 2525년 2527년 2529년 2531년 2533년 2535년 2537년 2539년 2541년 2543년 2545년 2547년 2549년 2551년 2553년 2555년 2557년 2559년 2561년 2563년 2565년 2567년 2569년 2571년 2573년 2575년 2577년 2579년 2581년 2583년 2585년 2587년 2589년 2591년 2593년 2595년 2597년 2599년 2601년 2603년 2605년 2607년 2609년 2611년 2613년 2615년 2617년 2619년 2621년 2623년 2625년 2627년 2629년 2631년 2633년 2635년 2637년 2639년 2641년 2643년 2645년 2647년 2649년 2651년 2653년 2655년 2657년 2659년 2661년 2663년 2665년 2667년 2669년 2671년 2673년 2675년 2677년 2679년 2681년 2683년 2685년 2687년 2689년 2691년 2693년 2695년 2697년 2699년 2701년 2703년 2705년 2707년 2709년 2711년 2713년 2715년 2717년 2719년 2721년 2723년 2725년 2727년 2729년 2731년 2733년 2735년 2737년 2739년 2741년 2743년 2745년 2747년 2749년 2751년 2753년 2755년 2757년 2759년 2761년 2763년 2765년 2767년 2769년 2771년 2773년 2775년 2777년 2779년 2781년 2783년 2785년 2787년 2789년 2791년 2793년 2795년 2797년 2799년 2801년 2803년 2805년 2807년 2809년 2811년 2813년 2815년 2817년 2819년 2821년 2823년 2825년 2827년 2829년 2831년 2833년 2835년 2837년 2839년 2841년 2843년 2845년 2847년 2849년 2851년 2853년 2855년 2857년 2859년 2861년 2863년 2865년 2867년 2869년 2871년 2873년 2875년 2877년 2879년 2881년 2883년 2885년 2887년 2889년 2891년 2893년 2895년 2897년 2899년 2901년 2903년 2905년 2907년 2909년 2911년 2913년 2915년 2917년 2919년 2921년 2923년 2925년 2927년 2929년 2931년 2933년 2935년 2937년 2939년 2941년 2943년 2945년 2947년 2949년 2951년 2953년 2955년 2957년 2959년 2961년 2963년 2965년 2967년 2969년 2971년 2973년 2975년 2977년 2979년 2981년 2983년 2985년 2987년 2989년 2991년 2993년 2995년 2997년 2999년 3001년 3003년 3005년 3007년 3009년 3011년 3013년 3015년 3017년 3019년 3021년 3023년 3025년 3027년 3029년 3031년 3033년 3035년 3037년 3039년 3041년 3043년 3045년 3047년 3049년 3051년 3053년 3055년 3057년 3059년 3061년 3063년 3065년 3067년 3069년 3071년 3073년 3075년 3077년 3079년 3081년 3083년 3085년 3087년 3089년 3091년 3093년 3095년 3097년 3099년 3101년 3103년 3105년 3107년 3109년 3111년 3113년 3115년 3117년 3119년 3121년 3123년 3125년 3127년 3129년 3131년 3133년 3135년 3137년 3139년 3141년 3143년 3145년 3147년 3149년 3151년 3153년 3155년 3157년 3159년 3161년 3163년 3165년 3167년 3169년 3171년 3173년 3175년 3177년 3179년 3181년 3183년 3185년 3187년 3189년 3191년 3193년 3195년 3197년 3199년 3201년 3203년 3205년 3207년 3209년 3211년 3213년 3215년 3217년 3219년 3221년 3223년 3225년 3227년 3229년 3231년 3233년 3235년 3237년 3239년 3241년 3243년 3245년 3247년 3249년 3251년 3253년 3255년 3257년 3259년 3261년 3263년 3265년 3267년 3269년 3271년 3273년 3275년 3277년 3279년 3281년 3283년 3285년 3287년 3289년 3291년 3293년 3295년 3297년 3299년 3301년 3303년 3305년 3307년 3309년 3311년 3313년 3315년 3317년 3319년 3321년 3323년 3325년 3327년 3329년 3331년 3333년 3335년 3337년 3339년 3341년 3343년 3345년 3347년 3349년 3351년 3353년 3355년 3357년 3359년 3361년 3363년 3365년 3367년 3369년 3371년 3373년 3375년 3377년 3379년 3381년 3383년 3385년 3387년 3389년 3391년 3393년 3395년 3397년 3399년 3401년 3403년 3405년 3407년 3409년 3411년 3413년 3415년 3417년 3419년 3421년 3423년 3425년 3427년 3429년 3431년 3433년 3435년 3437년 3439년 3441년 3443년 3445년 3447년 3449년 3451년 3453년 3455년 3457년 3459년 3461년 3463년 3465년 3467년 3469년 3471년 3473년 3475년 3477년 3479년 3481년 3483년 3485년 3487년 3489년 3491년 3493년 3495년 3497년 3499년 3501년 3503년 3505년 3507년 3509년 3511년 3513년 3515년 3517년 3519년 3521년 3523년 3525년 3527년 3529년 3531년 3533년 3535년 3537년 3539년 3541년 3543년 3545년 3547년 3549년 3551년 3553년 3555년 3557년 3559년 3561년 3563년 3565년 3567년 3569년 3571년 3573년 3575년 3577년 3579년 3581년 3583년 3585년 3587년 3589년 3591년 3593년 3595년 3597년 3599년 3601년 3603년 3605년 3607년 3609년 3611년 3613년 3615년 3617년 3619년 3621년 3623년 3625년 3627년 3629년 3631년 3633년 3635년 3637년 3639년 3641년 3643년 3645년 3647년 3649년 3651년 3653년 3655년 3657년 3659년 3661년 3663년 3665년 3667년 3669년 3671년 3673년 3675년 3677년 3679년 3681년 3683년 3685년 3687년 3689년 3691년 3693년 3695년 3697년 3699년 3701년 3703년 3705년 3707년 3709년 3711년 3713년 3715년 3717년 3719년 3721년 3723년 3725년 3727년 3729년 3731년 3733년 3735년 3737년 3739년 3741년 3743년 3745년 3747년 3749년 3751년 3753년 3755년 3757년 3759년 3761년 3763년 3765년 3767년 3769년 3771년 3773년 3775년 3777년 3779년 3781년 3783년 3785년 3787년 3789년 3791년 3793년 3795년 3797년 3799년 3801년 3803년 3805년 3807년 3809년 3811년 3813년 3815년 3817년 3819년 3821년 3823년 3825년 3827년 3829년 3831년 3833년 3835년 3837년 3839년 3841년 3843년 3845년 3847년 3849년 3851년 3853년 3855년 3857년 3859년 3861년 3863년 3865년 3867년 3869년 3871년 3873년 3875년 3877년 3879년 3881년 3883년 3885년 3887년 3889년 3891년 3893년 3895년 3897년 3899년 3901년 3903년 3905년 3907년 3909년 3911년 3913년 3915년 3917년 3919년 3921년 3923년 3925년 3927년 3929년 3931년 3933년 3935년 3937년 3939년 3941년 3943년 3945년 3947년 3949년 3951년 3953년 3955년 3957년 3959년 3961년 3963년 3965년 3967년 3969년 3971년 3973년 3975년 3977년 3979년 3981년 3983년 3985년 3987년 3989년 3991년 3993년 3995년 3997년 3999년 4001년 4003년 4005년 4007년 4009년 4011년 4013년 4015년 4017년 4019년 4021년 4023년 4025년 4027년 4029년 4031년 4033년 4035년 4037년 4039년 4041년 4043년 4045년 4047년 4049년 4051년 4053년 4055년 4057년 4059년 4061년 4063년 4065년 4067년 4069년 4071년 4073년 4075년 4077년 4079년 4081년 4083년 4085년 4087년 4089년 4091년 4093년 4095년 4097년 4099년 4101년 4103년 4105년 4107년 4109년 4111년 4113년 4115년 4117년 4119년 4121년 4123년 4125년 4127년 4129년 4131년 4133년 4135년 4137년 4139년 4141년 4143년 4145년 4147년 4149년 4151년 4153년 4155년 4157년 4159년 4161년 4163년 4165년 4167년 4169년 4171년 4173년 4175년 4177년 4179년 4181년 4183년 4185년 4187년 4189년 4191년 4193년 4195년 4197년 4199년 4201년 4203년 4205년 4207년 4209년 4211년 4213년 4215년 4217년 4219년 4221년 4223년 4225년 4227년 4229년 4231년 4233년 4235년 4237년 4239년 4241년 4243년 4245년 4247년 4249년 4251년 4253년 4255년 4257년 4259년 4261년 4263년 4265년 4267년 4269년 4271년 4273년 4275년 4277년 4279년 4281년 4283년 4285년 4287년 4289년 4291년 4293년 4295년 4297년 4299년 4301년 4303년 4305년 4307년 4309년 4311년 4313년 4315년 4317년 4319년 4321년 4323년 4325년 4327년 4329년 4331년 4333년 4335년 4337년 4339년 4341년 4343년 4345년 4347년 4349년 4351년 4353년 4355년 4357년 4359년 4361년 4363년 4365년 4367년 4369년 4371년 4373년 4375년 4377년 4379년 4381년 4383년 4385년 4387년 4389년 4391년 4393년 4395년 4397년 4399년 4401년 4403년 4405년 4407년 4409년 4411년 4413년 4415년 4417년 4419년 4421년 4423년 4425년 4427년 4429년 4431년 4433년 4435년 4437년 4439년 4441년 4443년 4445년 4447년 4449년 4451년 4453년 4455년 4457년 4459년 4461년 4463년 4465년 4467년 4469년 4471년 4473년 4475년 4477년 4479년 4481년 4483년 4485년 4487년 4489년 4491년 4493년 4495년 4497년 4499년 4501년 4503년 4505년 4507년 4509년 4511년 4513년 4515년 4517년 4519년 4521년 4523년 4525년 4527년 4529년 4531년 4533년 4535년 4537년 4539년 4541년 4543년 4545년 4547년 4549년 4551년 4553년 4555년 4557년 4559년 4561년 4563년 4565년 4567년 4569년 4571년 4573년 4575년 4577년 4579년 4581년 4583년 4585년 4587년 4589년 4591년 4593년 4595년 4597년 4599년 4601년 4603년 4605년 4607년 4609년 4611년 4613년 4615년 4617년 4619년 4621년 4623년 4625년 4627년 4629년 4631년 4633년 4635년 4637년 4639년 4641년 4643년 4645년 4647년 4649년 4651년 4653년 4655년 4657년 4659년 4661년 4663년 4665년 4667년 4669년 4671년 4673년 4675년 4677년 4679년 4681년 4683년 4685년 4687년 4689년 4691년 4693년 4695년 4697년 4699년 4701년 4703년 4705년 4707년 4709년 4711년 4713년 4715년 4717년 4719년 4721년 4723년 4725년 4727년 4729년 4731년 4733년 4735년 4737년 4739년 4741년 4743년 4745년 4747년 4749년 4751년 4753년 4755년 4757년 4759년 4761년 4763년 4765년 4767년 4769년 4771년 4773년 4775년 4777년 4779년 4781년 4783년 4785년 4787년 4789년 4791년 4793년 4795년 4797년 4799년 4801년 4803년 4805년 4807년 4809년 4811년 4813년 4815년 4817년 4819년 4821년 4823년 4825년 4827년 4829년 4831년 4833년 4835년 4837년 4839년 4841년 4843년 4845년 4847년 4849년 4851년 4853년 4855년 4857년 4859년 4861년 4863년 4865년 4867년 4869년 4871년 4873년 4875년 4877년 4879년 4881년 4883년 4885년 4887년 4889년 4891년 4893년 4895년 4897년 4899년 4901년 4903년 4905년 4907년 4909년 4911년 4913년 4915년 4917년 4919년 4921년 4923년 4925년 4927년 4929년 4931년 4933년 4935년 4937년 4939년 4941년 4943년 4945년 4947년 4949년 4951년 4953년 4955년 4957년 4959년 4961년 4963년 4965년 4967년 4969년 4971년 4973년 4975년 4977년 4979년 4981년 4983년 4985년 4987년 4989년 4991년 4993년 4995년 4997년 4999년 5001년 5003년 5005년 5007년 5009년 5011년 5013년 5015년 5017년 5019년 5021년 5023년 5025년 5027년 5029년 5031년 5033년 5035년 5037년 5039년 5041년 5043년 5045년 5047년 5049년 5051년 5053년 5055년 5057년 5059년 5061년 5063년 5065년 5067년 5069년 5071년 5073년 5075년 5077년 5079년 5081년 5083년 5085년 5087년 5089년 5091년 5093년 5095년 5097년 5099년 5101년 5103년 5105년 5107년 5109년 5111년 5113년 5115년 5117년 5119년 5121년 5123년 5125년 5127년 5129년 5131년 5133년 5135년 5137년 5139년 5141년 5143년 5145년 5147년 5149년 5151년 5153년 5155년 5157년 5159년 5161년 5163년 5165년 5167년 5169년 5171년 5173년 5175년 5177년 5179년 5181년 5183년 5185년 5187년 5189년 5191년 5193년 5195년 5197년 5199년 5201년 5203년 5205년 5207년 5209년 5211년 5213년 5215년 5217년 5219년 5221년 5223년 5225년 5227년 5229년 5231년 5233년 5235년 5237년 5239년 5241년 5243년 5245년 5247년 5249년 5251년 5253년 5255년 5257년 5259년 5261년 5263년 5265년 5267년 5269년 5271년 5273년 5275년 5277년 5279년 5281년 5283년 5285년 5287년 5289년 5291년 5293년 5295년 5297년 5299년 5301년 5303년 5305년 5307년 5309년 5311년 5313년 5315년 5317년 5319년 5321년 5323년 5325년 5327년 5329년 5331년 5333년 5335년 5337년 5339년 5341년 5343년 5345년 5347년 5349년 5351년 5353년 5355년 5357년 5359년 5361년 5363년 5365년 5367년 5369년 5371년 5373년 5375년 5377년 5379년 5381년 5383년 5385년 5387년 5389년 5391년 5393년 5395년 5397년 5399년 5401년 5403년 5405년 5407년 5409년 5411년 5413년 5415년 5417년 5419년 5421년 5423년 5425년 5427년 5429년 5431년 5433년 5435년 5437년 5439년 5441년 5443년 5445년 5447년 5449년 5451년 5453년 5455년 5457년 5459년 5461년 5463년 5465년 5467년 5469년 5471년 5473년 5475년 5477년 5479년 5481년 5483년 5485년 5487년 5489년 5491년 5493년 5495년 5497년 5499년 5501년 5503년 5505년 5507년 5509년 5511년 5513년 5515년 5517년 5519년 5521년 5523년 5525년 5527년 5529년 5531년 5533년 5535년 5537년 5539년 5541년 5543년 5545년 5547년 5549년 5551년 5553년 5555년 5557년 5559년 5561년 5563년 5565년 5567년 5569년 5571년 5573년 5575년 5577년 5579년 5581년 5583년 5585년 5587년 5589년 5591년 5593년 5595년 5597년 5599년 5601년 5603년 5605년 5607년 5609년 5611년 5613년 5615년 5617년 5619년 5621년 5623년 5625년 5627년 5629년 5631년 5633년 5635년 5637년 5639년 5641년 5643년 5645년 5647년 5649년 5651년 5653년 5655년 5657년 5659년 5661년 5663년 5665년 5667년 5669년 5671년 5673년 5675년 5677년 5679년 568

- II 부 -

1. 진공의 기초지식이 중요한 이유
2. 컨덕턴스(직관적 이해)
3. 진공배기와 컨덕턴스
4. 유량, 압력, 컨덕턴스, 배기속도
5. 흐름의 유형별 컨덕턴스
6. 도관의 컨덕턴스와 유효배기속도
(통과확률을 이용한 컨덕턴스)

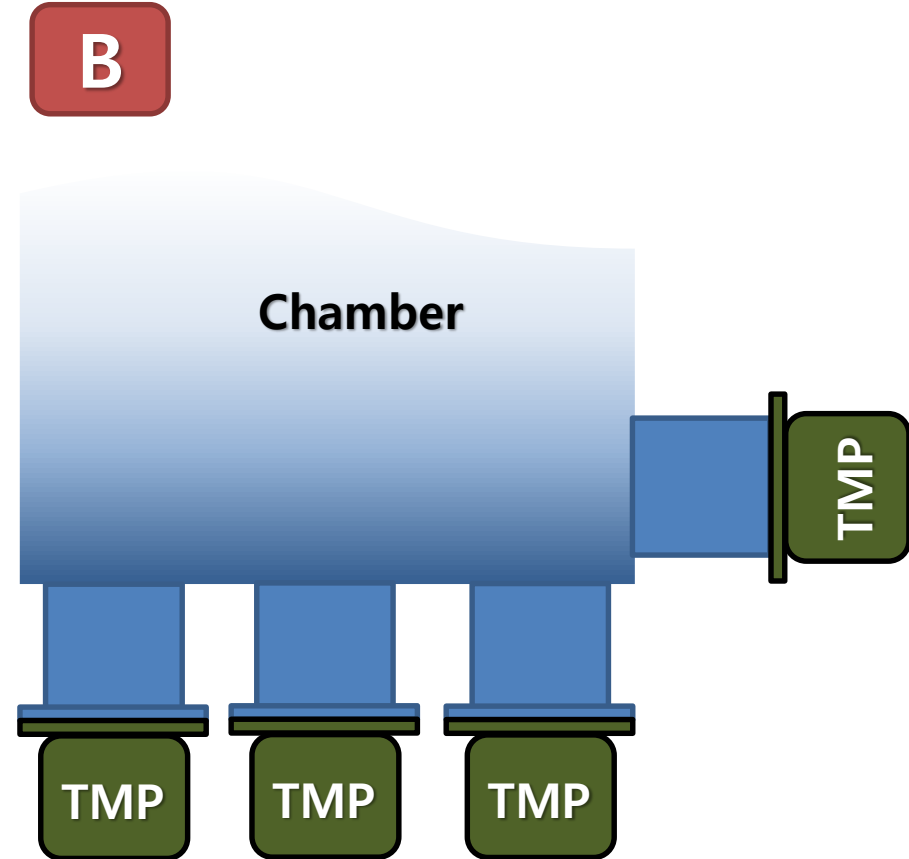
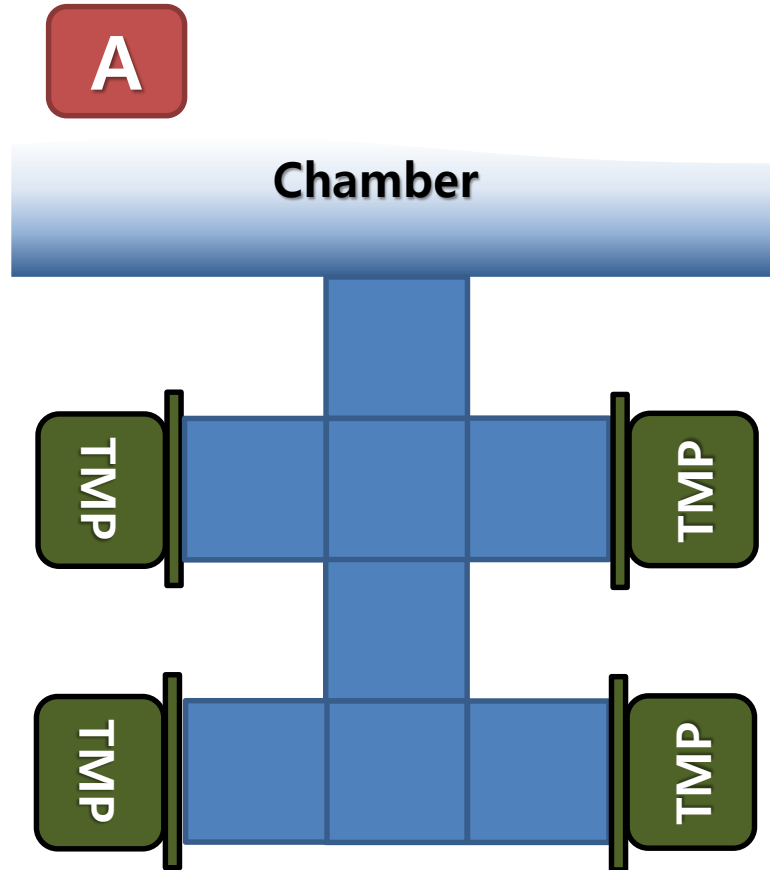
진공의 기초지식이 중요한 이유

진공챔버 디자인에서...



Q. 무엇이 문제일까?

진공의 기초지식이 중요한 이유



진공배기와 컨덕턴스

직관적
배기성능
비교!

A vs B ?!

A vs C ?!

1 vs 2 ?!

1 vs 3 ?!

A vs 1 ?!

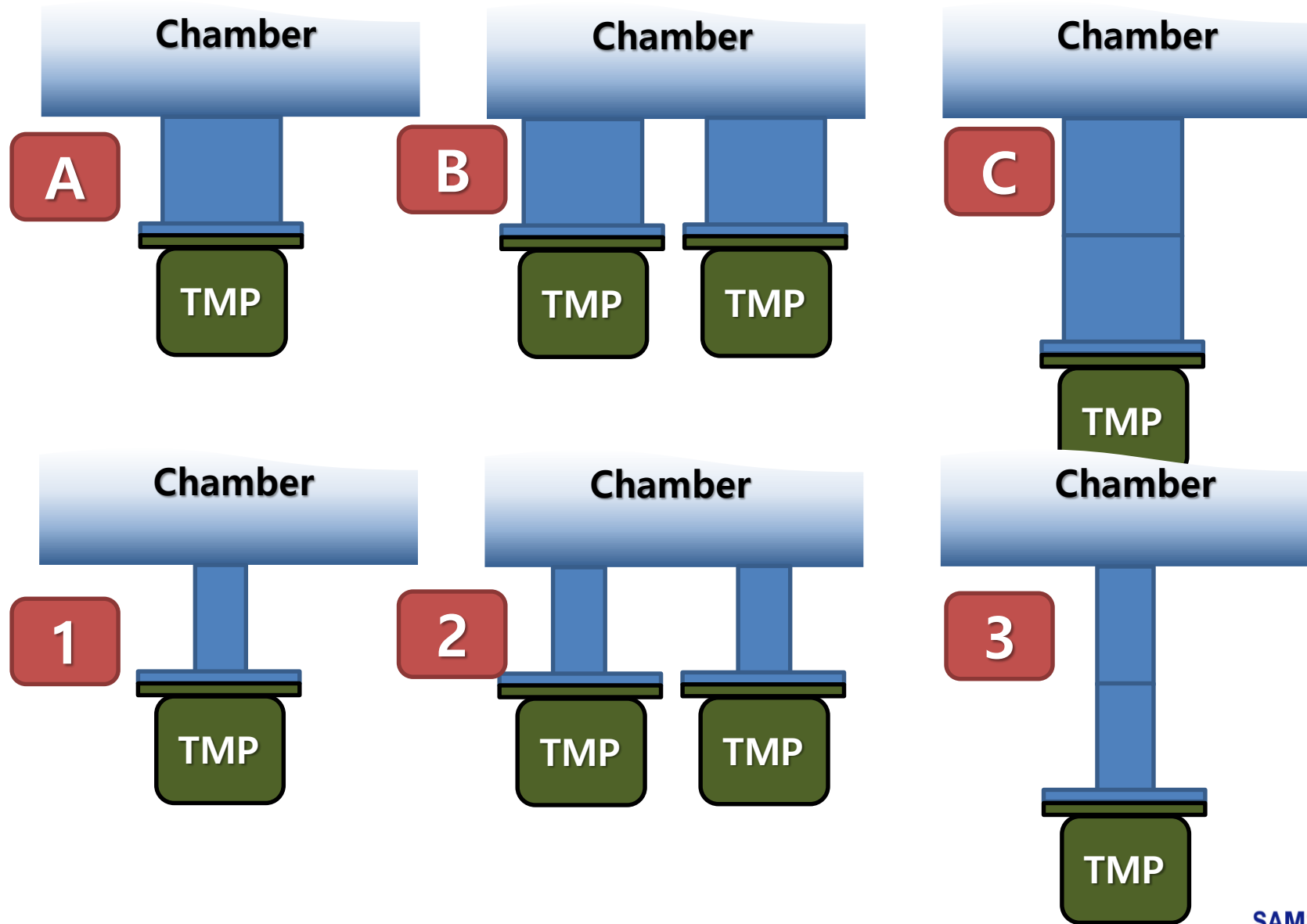
...

..

.

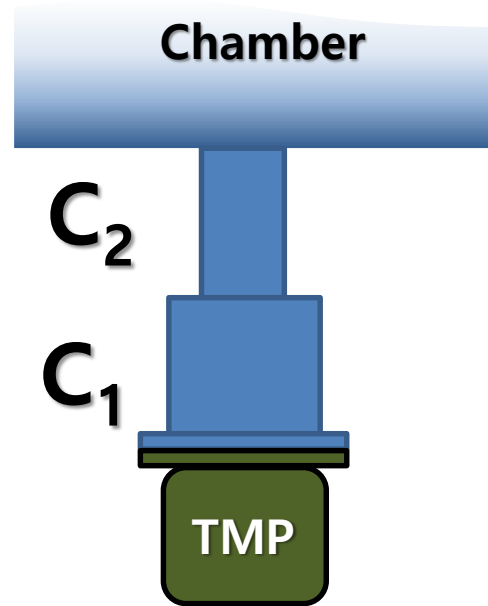
A vs 2 ??

C vs 2 ??



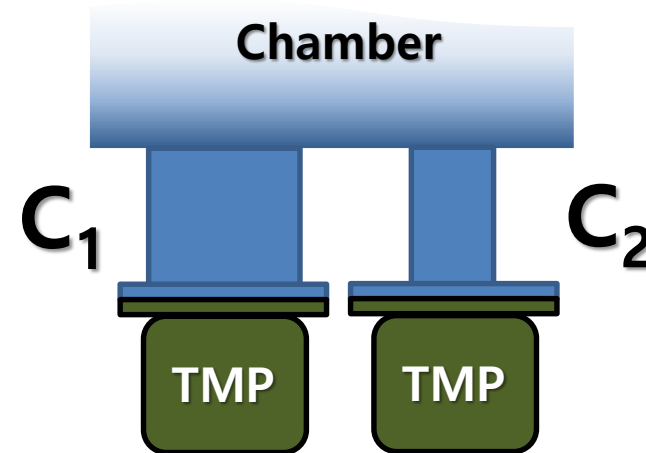
컨덕턴스의 합성

직렬연결



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

병렬연결



$$C = C_1 + C_2$$

진공배기와 컨덕턴스

- 컨덕턴스(C): 기체 흐름의 **용의성**을 나타내는 척도
(도관의 크기, 모양에 따라 결정됨)

cf. **geometric** conductance **vs** **transmission** conductance



$Q \propto (P_1 - P_2)$ 유량은 양단의 압력차에 비례

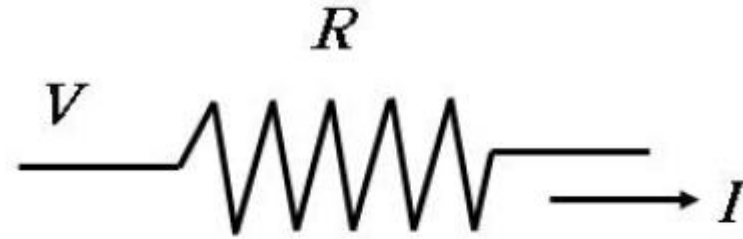
$$Q = C (P_1 - P_2) \text{ [L/s]}$$

↑
비례계수

컨덕턴스와 전기회로의 유사성

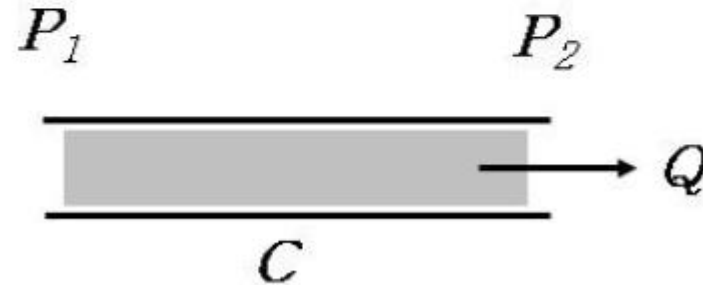
Current Flow

$$I = (1/R) V$$



Mass Flow

$$Q = C \Delta P$$



유량, 압력, 컨덕턴스, 배기속도

암기!

$$Q = C \Delta P$$

.vs.

$$Q = SP$$

- ♠ 유량, Throughput, $Q[\text{Torr L/s}] = \Delta(PV)/\Delta t$
~에너지 흐름[W]
- ♠ 배기속도, Pumping Speed, $S[\text{L/s}] = \Delta V/\Delta t$
~단면을 통과하는 부피흐름
- ♠ 컨덕턴스, Conductance, $C[\text{L/s}] = \Delta V/\Delta t$
~전도요소를 통과하는 부피흐름

흐름의 유형(Flow Regime)

Knudsen Number, $K_n = \lambda/d$

λ : 평균자유거리
 d : 원형관의 지름

1. Viscous Flow(점성류)

$$K_n = \lambda/d < 0.01 \text{ or } Pd(\text{Torr, cm}) > 0.5$$

2. Transient Flow(천이류)

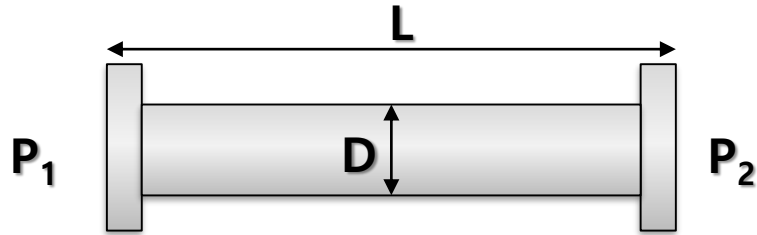
$$0.01 < K_n < 1$$

3. Molecular Flow(분자류)

$$K_n > 1 \text{ or } Pd(\text{Torr, cm}) < 0.005$$

흐름의 유형(Flow Regime)별 컨덕턴스

출처: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=11840>



Conductance in viscous regime

$$C = 137 \frac{D^4 (P_1 + P_2)}{L \cdot 2}$$

Where: P₁ = Pressure on one side of the vacuum line(in **mbar**)
 P₂ = Pressure on the other side of the vacuum line(in **mbar**)
 D = Internal diameter of the vacuum line(in cm)
 L = Length of the vacuum line(in cm)

Conductance in molecular regime

$$C = 12.7 \frac{D^3}{L}$$

Where: D = Internal diameter of the vacuum line(in cm)
 L = Length of the vacuum line(in cm)

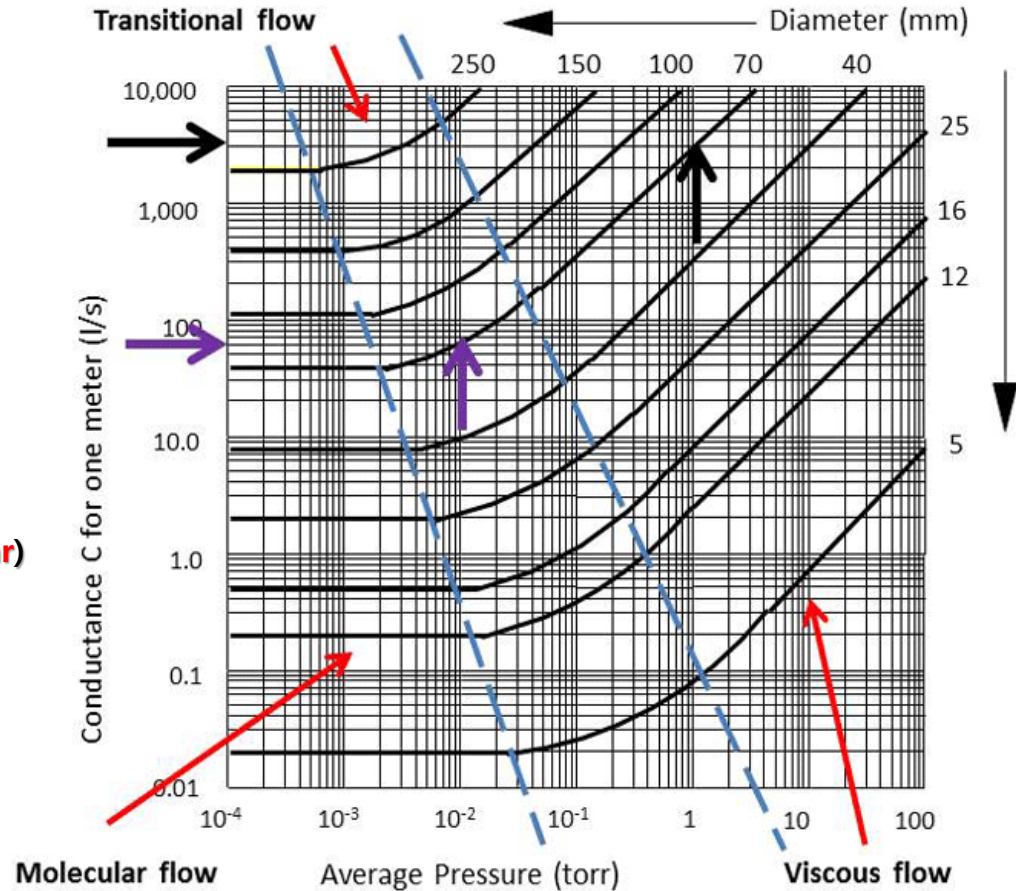
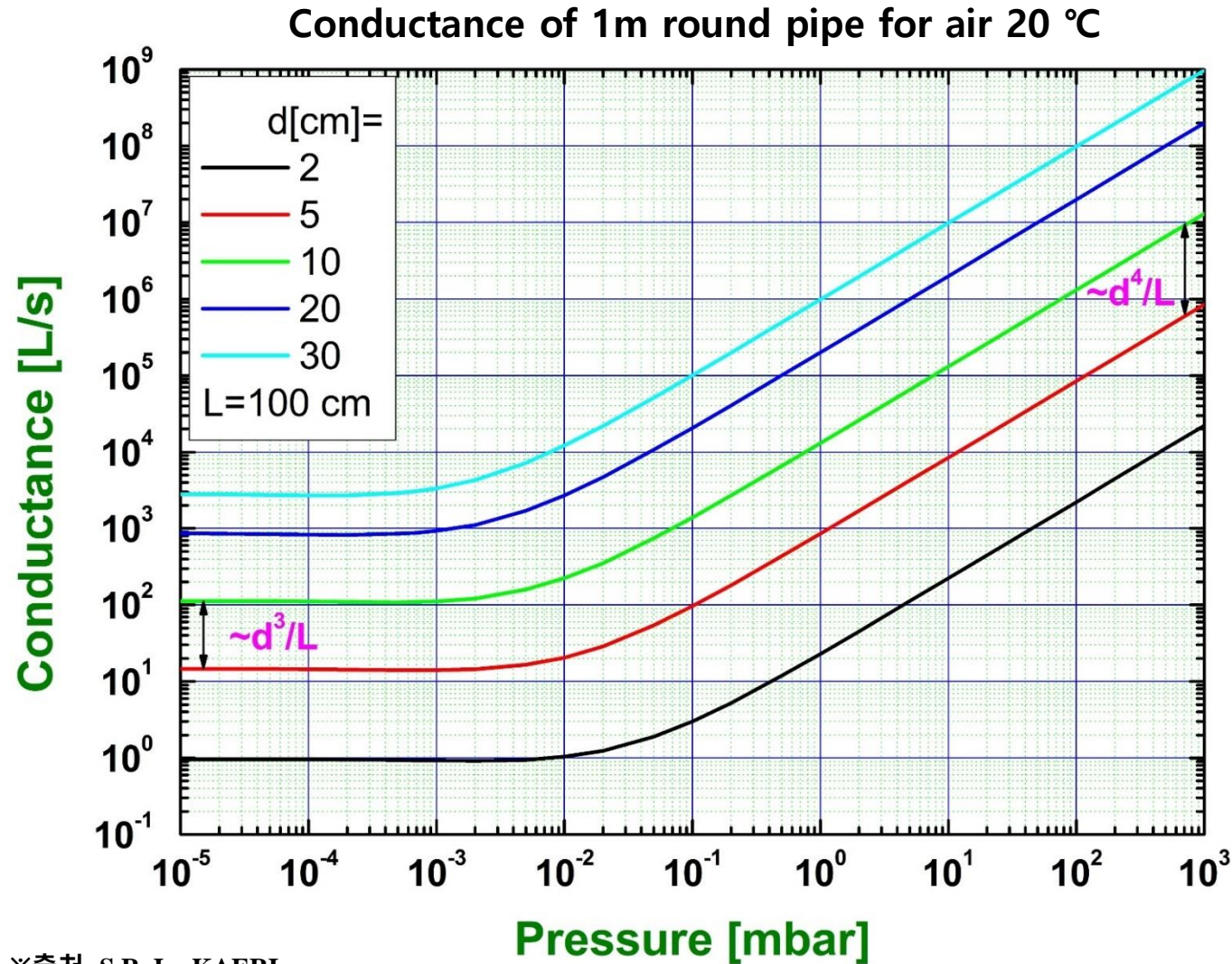
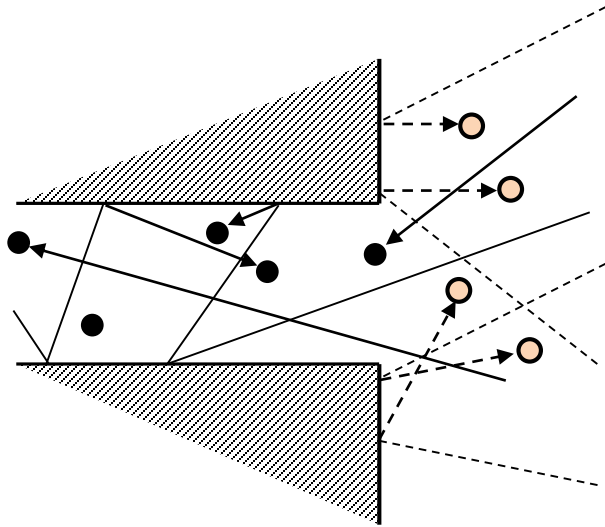


Fig. 4 흐름의 유형(Flow Regime)별 배관 직경에 따른 컨덕턴스



※출처: S.R. In, KAERI

통과확률을 이용한 컨덕턴스(분자류, 고진공)



<도관의 입구에 입사하는 분자
(검은 점, 실선)만이 흐름에 기여함>

※ 참고: 진공공학(한국경제신문)
배석희, 인상렬 외 공저

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_p} \quad \text{또는} \quad C = \frac{C_0 C_p}{C_0 + C_p}$$

♠ 어떤 도관 내에 이미 들어온 입자들은 도관을 다시 빠져나갈 때까지 도관 안에서 충돌을 되풀이한다. 또 도관 벽에서 방출되는 입자는 전진할 수도 있고 후진할 수도 있지만 당연히 도관 안에 있다. 그런데 도관 밖에 입는 입자는 도관 입구에 들어서기 전까지는 도관 내에서의 흐름에 전혀 기여할 수 없다. 이 입자가 도관 안으로 들어오기 위해서는 입구를 찾는 것 외에 다른 방법이 없다. 따라서 **도관의 컨덕턴스 C**를 구할 때, 입구 즉 **오리피스의 컨덕턴스 C₀**와 입구 이후의 **도관만의 컨덕턴스 C_p**의 조합(합성)으로 보는 것이 타당하다.

♠ 도관에서의 흐름을 입구에 입사된 분자들 중 도관의 존재로 인해 얼마나 방해받아서 어느 비율만큼 도관을 통과할까 하는 확률의 관점에서 볼 수 있다. 이때 **도관의 통과 확률(transmission probability) α**는 다음과 같이 정의한다.

$$C = \alpha C_0$$

윗식에 넣고 정리하면 >>

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{C_0}{C_p}$$

- ♠ C₀는 입자들이 입구를 찾아서 입사하는 정도를 나타내므로 입구의 면적에 비례함.
- ♠ α는 입자의 종류나 온도 등 외적 요인(이 정보는 C₀ 속에 들어있음)에는 상관없이 도관의 기하학적 구조에만 영향을 받는다.

통과확률을 이용한 컨덕턴스(분자류, 고진공)

$$C = \alpha C_0$$

$$C_0 = \frac{Av_{av}}{4} = 36.378 A \left(\frac{T}{M} \right)^{1/2}$$

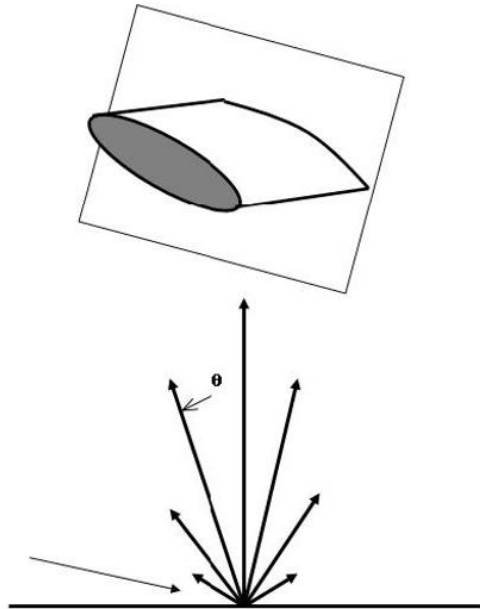
A : 입구 면적
 v_{av} : 평균속도
 T : 절대온도
 M : 분자량

(MKS 단위로 고친 경우)

α : Transmission Probability

Clausing Coefficient or Berman...

(결국 α 는 C_0 와 C_p 의 함수임. C_p 는 짧은 도관/긴 도관, 원형/비원형 등 기하학적 형상에 따라 비교적 정확한 수식들이 알려져 있음.)

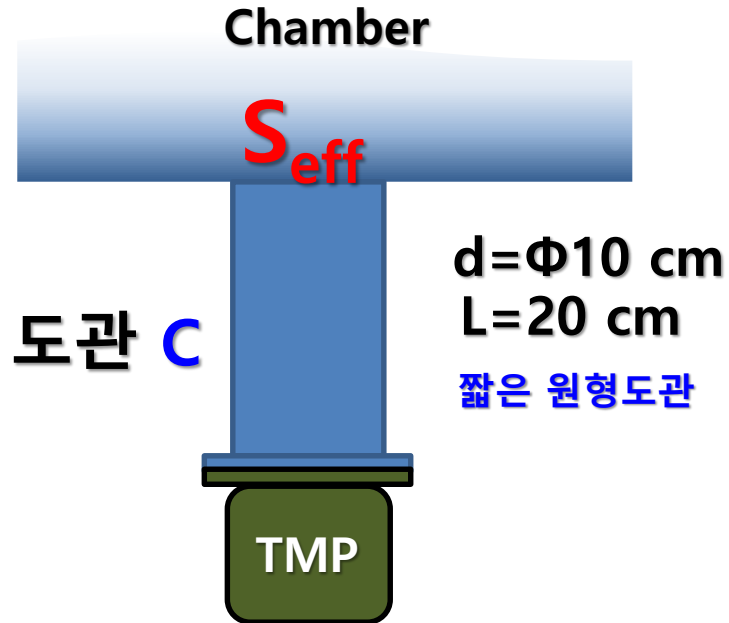


20°C 공기(air) [cm]
에 대한 컨덕턴스

$$C = 11.6\alpha A \text{ [l/s]}$$

고진공 영역에서 컨덕턴스와 유효배기속도

최종목표: 유효배기속도 S_{eff}



TMP 배기속도 S (or S_0)
= 300 [L/s]

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{C} + \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{C_0} \right)$$

20°C 공기 (air) [cm]
에 대한 컨덕턴스

입구 효과 고려

$$C = 11.6 \alpha A \text{ [l/s]}$$

$$C = 11.6(0.35658)(\pi 5^2) \\ = 325 \text{ [L/s]}$$

$$C_0 = 11.6(\pi 5^2) = 911 \text{ [L/s]}$$

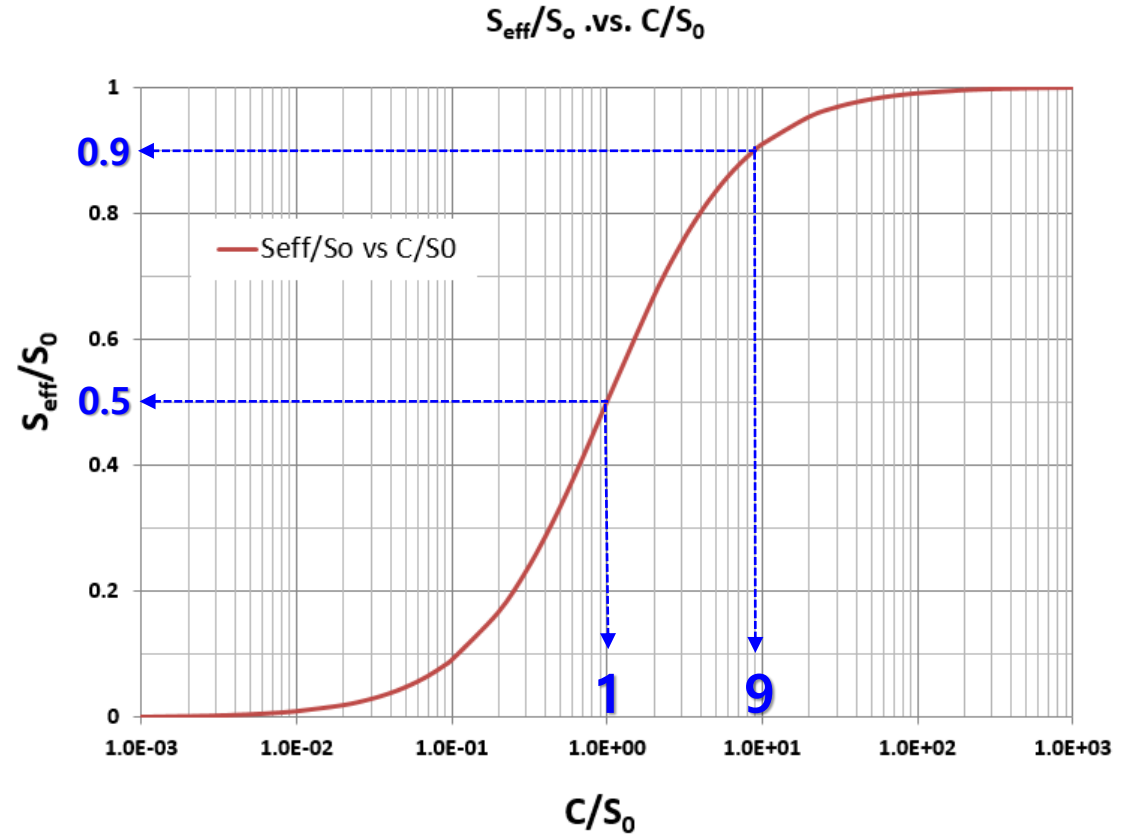
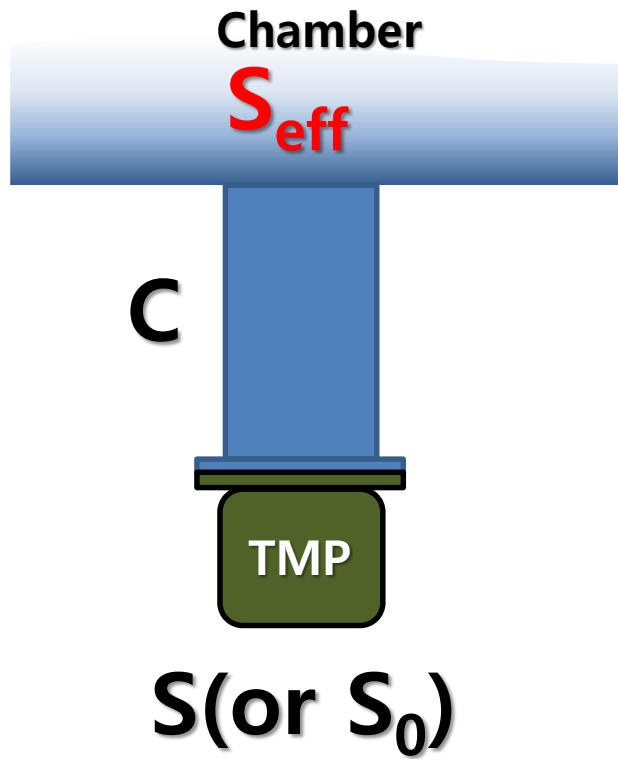
$$S_{eff} = 188 \text{ [L/s]}$$

※ Note: 유효배기속도 S_{eff} 를 알아야 챔버에 대한 진공해석-펌프 다운 시뮬레이션을 수행 할 수 있음.

Table 5. 분자류-통과확률을 이용한 컨덕턴스

L/r	L/D	Clausing	Berman	L/r	L/D	Clausing	Berman
0	0	1	#DIV/0!	1.0	0.5	0.67368	0.67198
0.01	0.005	0.99503	0.99502	1.6	0.8	0.56728	0.56651
0.02	0.01	0.99011	0.99010	2.0	1.0	0.51429	0.51423
0.03	0.015	0.98524	0.98522	3.0	1.5	0.41885	0.42006
0.04	0.02	0.98042	0.98039	4.0	2.0	0.35484	0.35658
0.05	0.025	0.97565	0.97561	5.0	2.5	0.30868	0.31053
0.06	0.03	0.97093	0.97088	6.0	3.0	0.27368	0.27546
0.07	0.035	0.96626	0.96619	7.0	3.5	0.24615	0.24776
0.08	0.04	0.96164	0.96155	8.0	4.0	0.22388	0.22530
0.09	0.045	0.95707	0.95695	9.0	4.5	0.20546	0.20669
0.1	0.05	0.95254	0.95240	10	5.0	0.18994	0.19099
0.2	0.1	0.90967	0.90922	20	10	0.10931	0.10938
0.3	0.15	0.87073	0.86993	30	15	0.07716	0.07699
0.4	0.2	0.83521	0.83408	40	20	0.05972	0.05949
0.5	0.25	0.80268	0.80127	50	25	0.04874	0.04851
0.6	0.3	0.77275	0.77115	60	30	0.04118	0.04097
0.7	0.35	0.74513	0.74341	70	35	0.03566	0.03546
0.8	0.4	0.71956	0.71779	80	40	0.03144	0.03127
0.9	0.45	0.69581	0.69404	90	45	0.02812	0.02796
				100	50	0.02543	0.02529
				1000	500	0.00265	0.00265
				∞	∞	8L/3a	8L/3a

Fig. 5 컨덕턴스와 유효배기속도



👉 실용성과 비용고려!

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S_0}$$

- III 부 -

1. 진공펌프의 용량선정과 예
(압력에 따른 배기속도 변화)
2. 배기시간 계산식 도출과 예

진공 펌프 용량 선정

♠ 진공 펌프의 용량을 선정 시,

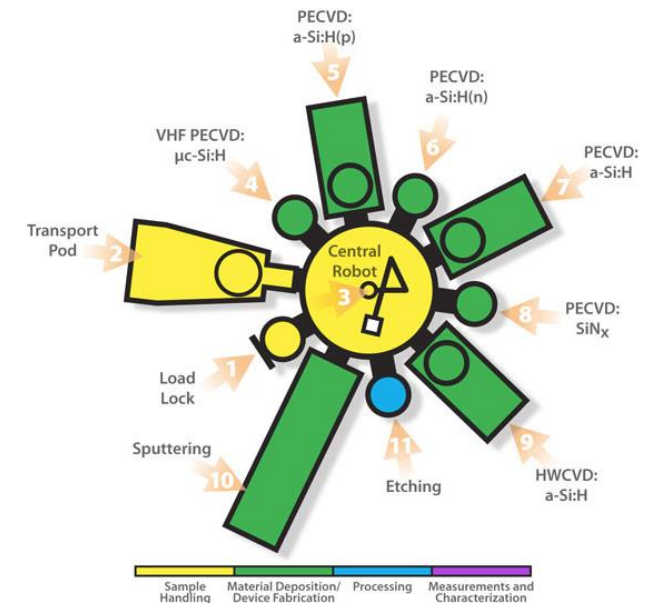
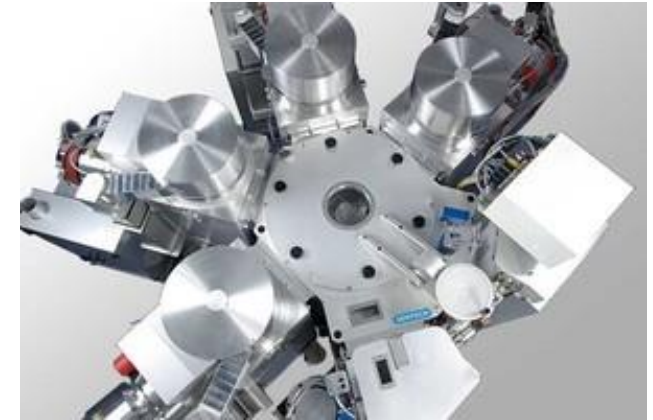
- 1) 로드락(loadlock) 챔버
- 2) 프로세스(process) 챔버
- 3) 트랜스퍼(transfer) 챔버(세분화 필요 시)
로 구분하여 검토함.

1) 로드락(loadlock) 챔버

- 로드락 챔버에서 진공펌프의 역할은 대기압(1atm)부터 미리 정해진 특정 압력(target pressure)까지 정한 **시간** 내에 도달하도록 하는 것.

2) 프로세스(process) 챔버

- 공정 챔버에서 진공 펌프의 역할은 정해진 **유량**의 가스를 챔버에 투입할 때 특정 압력(진공도)를 안정적으로 유지하는 것.
- ALD 공정인 경우 짧은 **시간** 내에 자주 발생하는 가스 펄스에 대한 배기를 고려해야 함.



<Cluster Chamber Example>

로드락 챔버용 입력 파라미터

♠ 챔버 체적

- 체적이 커지면 배기 시간이 길어짐. 진공 펌프가 받는 초기 부하도 커짐.

♠ 챔버 내부 표면적

- 도달압력이 낮을 수록 중요. 통상 0.5Torr(66Pa) 이하까지 도달해야 할 경우 중요.

♠ 챔버 내부 구조물(다른 장치) 유무

- 운송용 로봇 또는 기구, 구조물, 체적 줄이기 위한 블록 등 표면방출 발생원 유무

♠ 챔버 재질(표면방출, outgassing 관련)

- STS, AI 등 도달 압력이 낮을 수록 중요.

♠ 포어라인(foreline) 사양

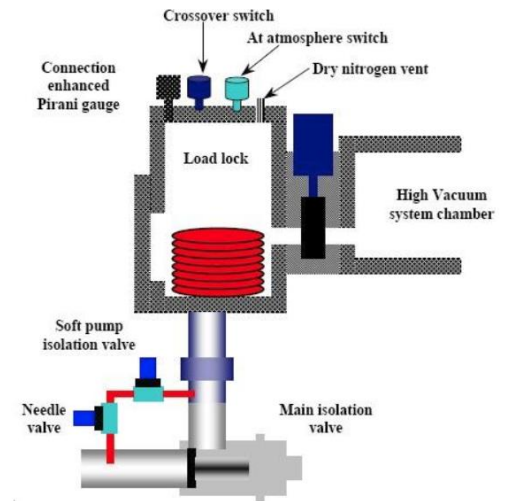
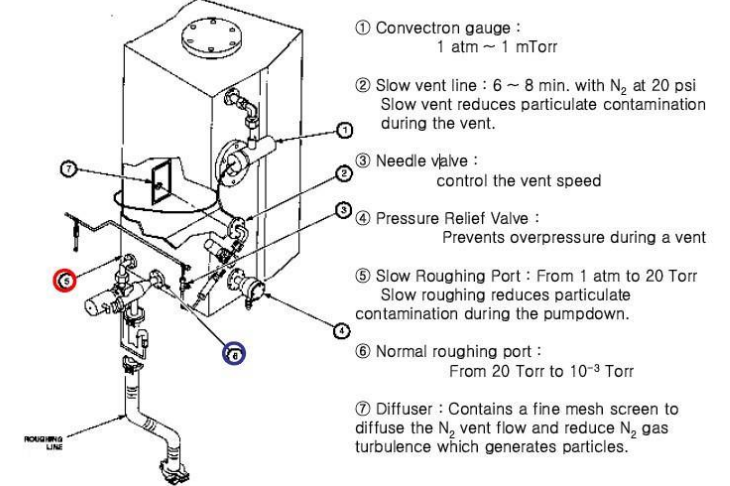
- 재질, 직경, 길이, 밴드 수

♠ 저속배기(slow pumping, soft start)

- 저속배기 라인의 직경, 길이, 저속배기 시간, 저속배기 시 목표압력
- 로드락 챔버 내의 수분 응축 및 파티클 오염 문제

<Slow Pumping의 예>

P5000 Loadlock chamber



※출처: https://m.blog.naver.com/lee_jinhwan/50174066574

공정(프로세스)챔버용 입력 파라미터

♠ 포어라인(foreline) 사양

- 재질, 직경, 길이, 밴드 수, 포어라인 트랩 사용 유무

♠ 공정 가스 종류 및 그 사용량

- 공정 스텝이 여러 단계인 경우, 가스량을 가장 많이 사용하거나 가장 낮은 압력을 유지해야 하는 스텝에서 요구하는 가스량 및 종류
- H₂, He 등 가벼운 가스의 사용 유무 및 사용량
- 유지하기를 원하는 공정압력.

♠ 사이클릭 배기 또는 퍼지 유무

- ALD 공정처럼 반복적인 배기 과정에 따른 부하

♠ 챔버 클리닝 스텝과 관련된 정보

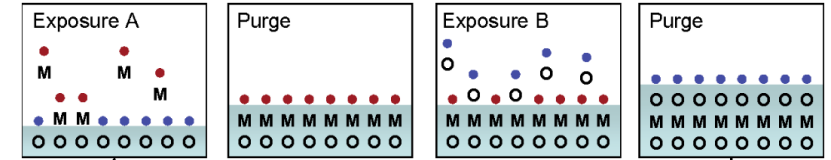
- 클리닝 가스의 종류 및 사용량
- 클리닝 시 유지해야 하는 압력: 증착 스텝보다 클리닝 스텝에서 압력이 더 낮은 경우도 있음

♠ 진공 코터(coater)/ 디벨러퍼(developer)

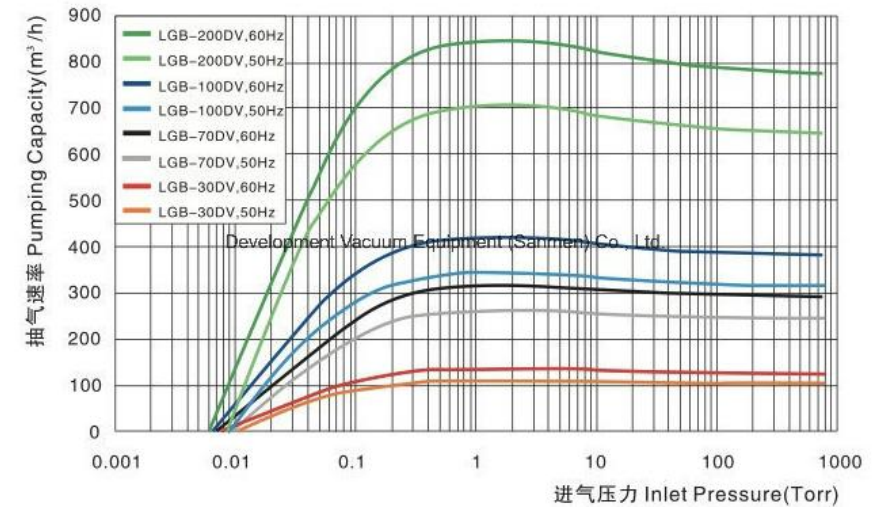
- 사용되는 PR종류 및 도포량

♠ 진공장비가 설치/가동될 지역의 전기사양(주파수)

- 50Hz 또는 60Hz에 따라 진공펌프 성능에 차이 발생 (인버터 사용 시 성능보완 가능)



<An idealized view of the atomic layer deposition (ALD) process cycle.>



<https://kr.made-in-china.com>

<스크루 진공 펌프 성능곡선, 50Hz vs 60Hz>

연습문제 (1)

♠ 다음 물음에 대해 옳은 것은 O, 틀린 것은 X 표를 하시오

- O (1) 로드락 챔버와 프로세스 챔버에서 진공 펌프가 해야 할 일은 다르다.
- X (2) 진공 펌프 용량을 선정할 때에 로드락 챔버와 프로세스 챔버를 구분할 필요가 없다.
- O (3) 로드락 챔버에서는 대기압부터 목표압력까지 도달하는 데 걸리는 시간과 그 목표 압력이 주요 결정 인자이다.
- X (4) 프로세스 챔버용 진공 펌프 용량 선정에는 로드락 챔버처럼 배기 시간이 중요한 결정인자이다.
- O (5) 같은 용량을 가진 진공 펌프가 로드락 챔버와 프로세스 챔버에 사용될 때 소비 전력은 로드락 챔버 용 펌프가 더 많다.
- X (6) 저속배기(slow pumping) 스텝은 프로세스 챔버에 적용되는 스텝이다.

진공 펌프 용량 선정을 위한 시뮬레이션 모델

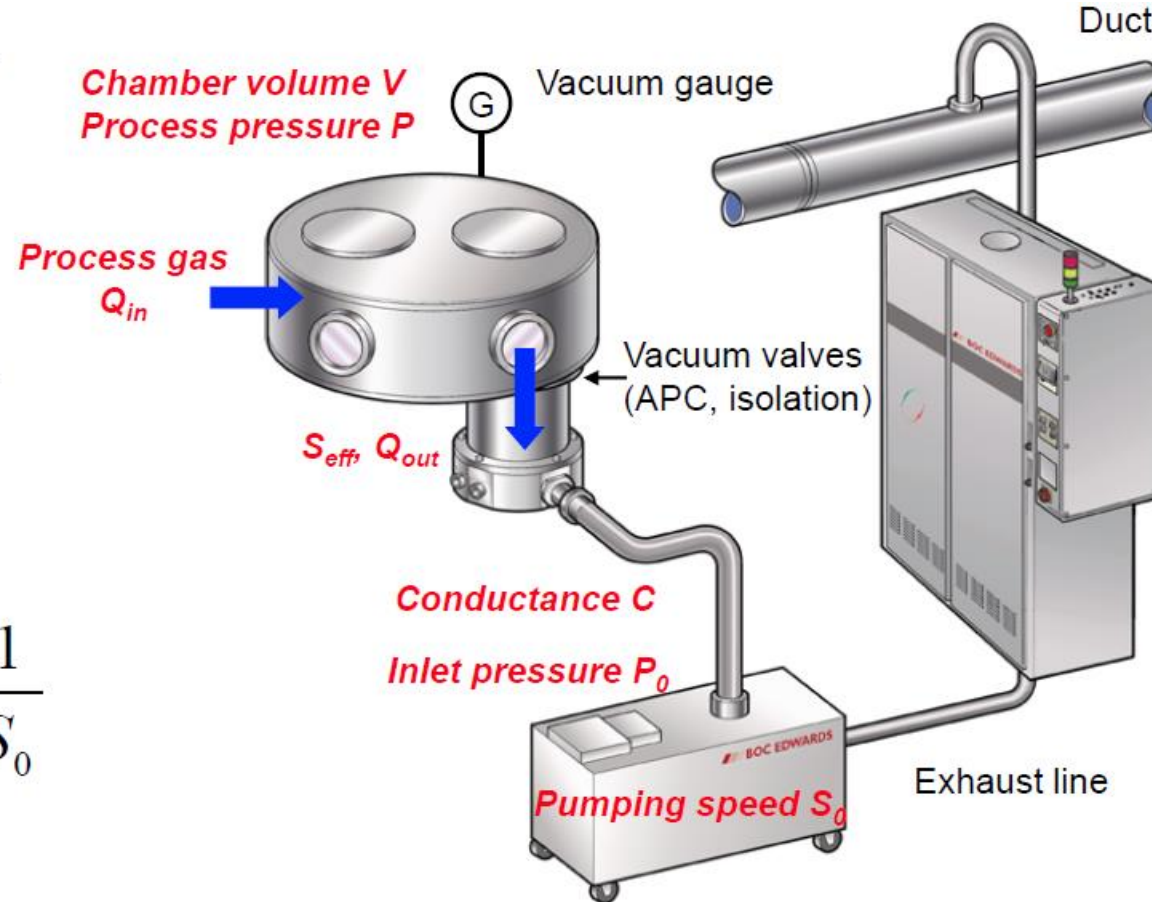
* 배관이 없는 경우

$$S_0 = \frac{Q_{in}}{P_0} = \frac{Q_{in}}{P}$$

* 배관이 있는 경우

$$S_{eff} = \frac{Q_{in}}{P}$$

$$cf \cdot \frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S_0}$$



$$1\text{mbar} \cdot \ell / \text{sec} = 0.75\text{Torr} \cdot \ell / \text{sec} = 0.1\text{Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s} = 60\text{sccm}$$

연습문제 (2)

Q(2) 진공 시스템에 100 sccm의 가스를 사용하면서 진공도를 75 mTorr를 유지하고자 할 때, 필요한 최소 배기속도는 얼마인가? (단, 배관은 없다고 가정하라)

$$S_0 = \frac{Q_{in}}{P_0} \quad \text{를 이용하면} \quad Q_{in} = 100 \text{ sccm} (= 1.25 \text{ Torr} \cdot \text{l} / \text{sec})$$

$$Q_{in} = P_0 \times S_0$$

$$100 \text{ sccm} \times \frac{0.75 \text{ Torr} \cdot \text{l} / \text{sec}}{60 \text{ sccm}} = 7.5 \times 10^{-2} \text{ Torr} \times S (\text{l} / \text{sec})$$

$$\therefore S = 16.67 \text{ l} / \text{sec} = 1000 \text{ l} / \text{min} = 60 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

※ Note: 유량 단위(sccm, slm, slpm)에서 s는 'standard' 즉 표준조건(0°C, 1기압)을 의미함.

연습문제 (3)

Q(3) 어떤 공정을 진행하는 챔버에서 1.0 mbar의 압력을 유지하기 위해 150 m³/hr의 배기속도가 필요하다. 그러나 챔버와 펌프는 6m 떨어진 거리에 설치되어야 한다. 이때 챔버와 펌프를 연결하는 배관의 직경은 얼마가 되어야 하는가? (단, 전기사양은 50Hz)

(풀이) 펌프 E1M175 모델은 1mbar에서 135m³/hr(50Hz)의 배기속도를 가진다. 따라서 챔버와 펌프를 연결하는 배관에서의 손실을 고려하지 않더라도 이 공정 조건에는 적합하지 않다.

E1M275는 1mbar에서 230m³/hr(50Hz)의 배기속도를 가진다. 따라서 이 펌프를 챔버에 연결한다면 컨덕턴스, C는 다음과 같은 값을 가진다.

조건에서 $S_{eff}=150$
이어야 한다!

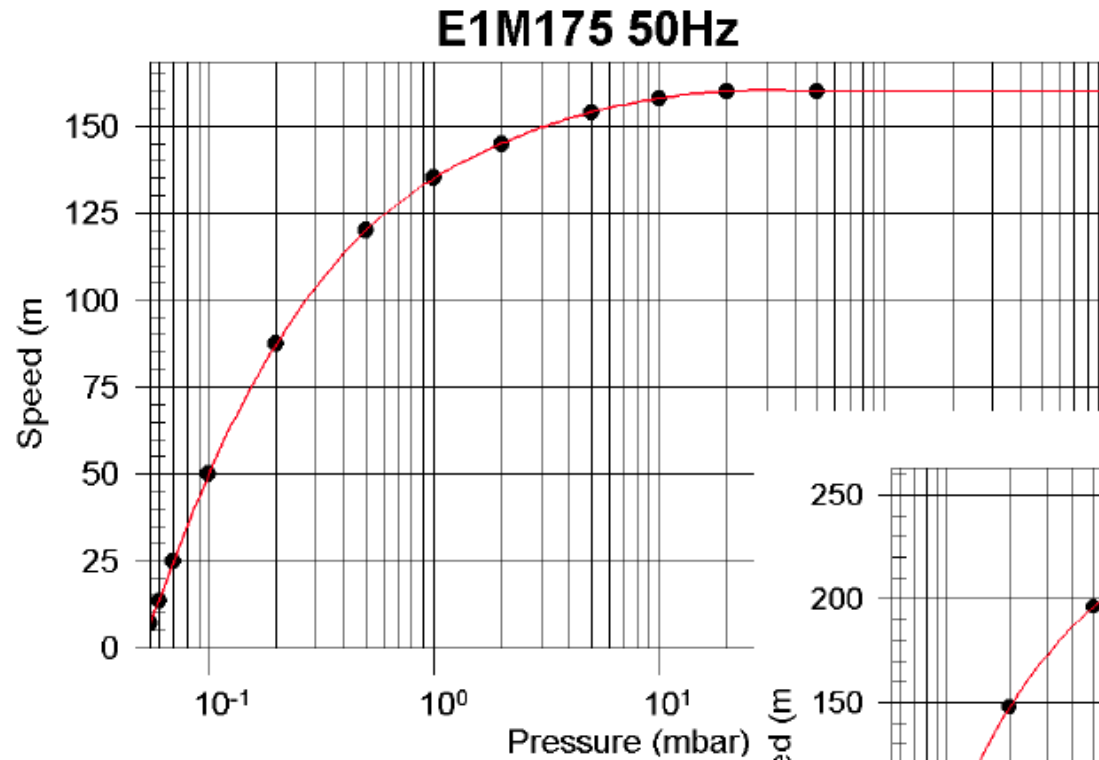
$$\frac{1}{150m^3/hr} = \frac{1}{C} + \frac{1}{230m^3/hr}$$

$$\therefore C = 431m^3/hr$$

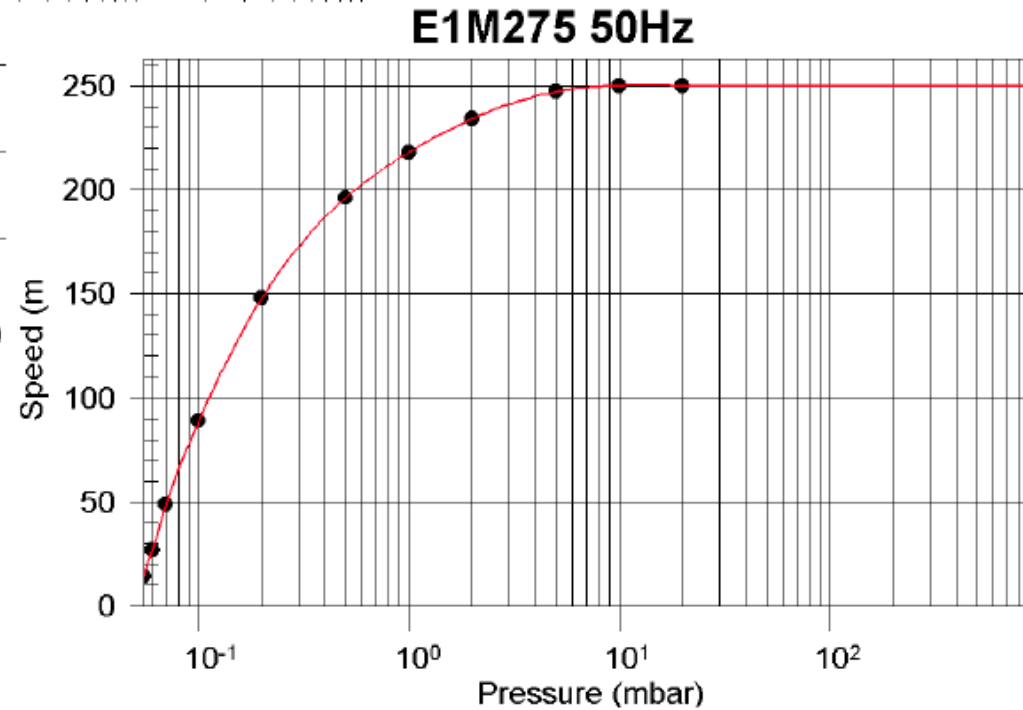
$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S_0}$$

그런데 이 컨덕턴스는 1m 배관에 대한 컨덕턴스이므로 6m 배관에 대해서는 6배의 컨덕턴스 값을 가져야 한다. 즉, $230m^3/hr \times 6m = 2586m^3/hr$.

연습문제 (3)-계속



로타리 펌프의 성능곡선
(압력에 따른 배기속도)



성능곡선(배기속도)은 압력의 함수!
(배기속도는 상수가 아니다!)

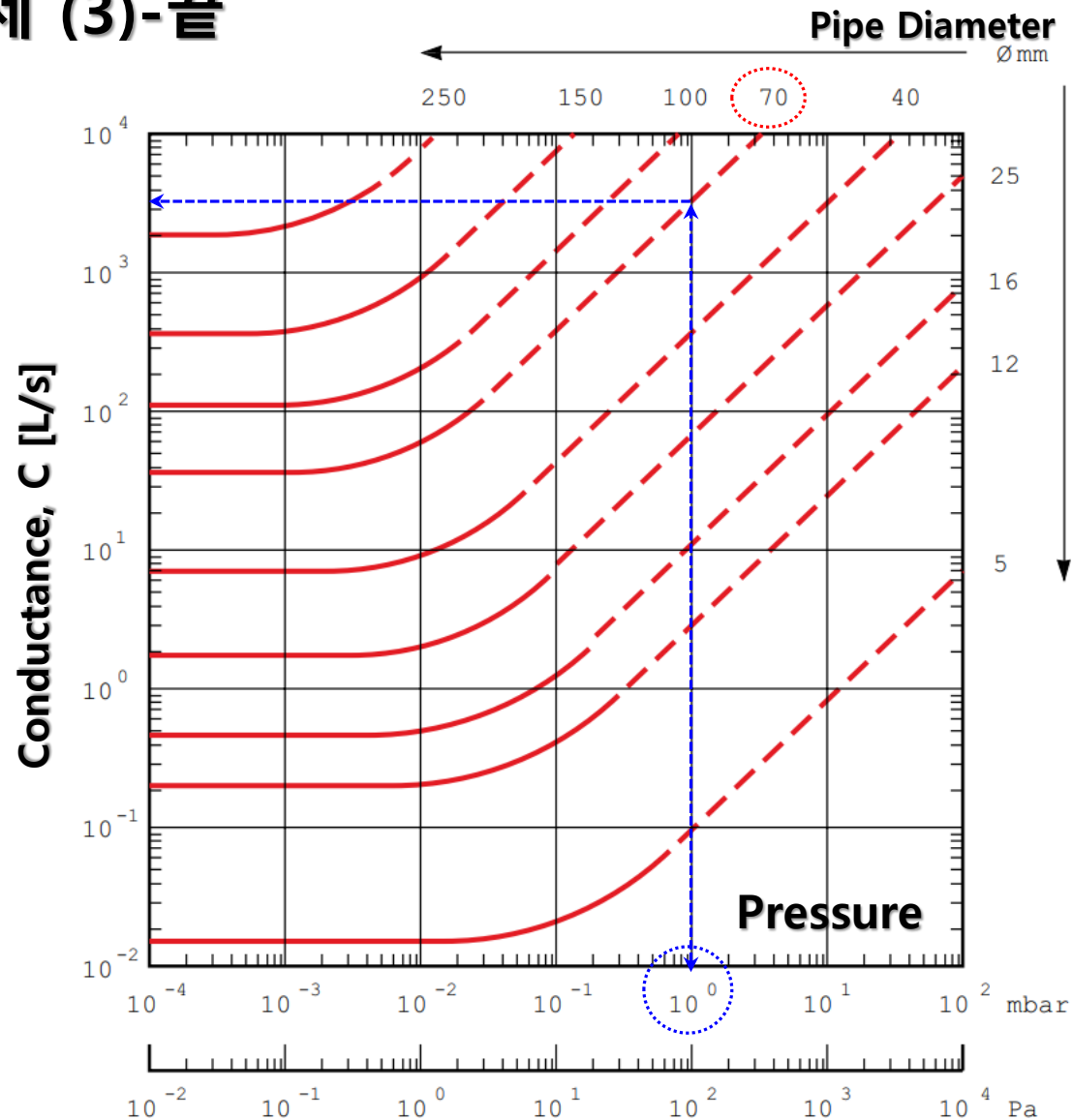
연습문제 (3)-끝

<Conductance of 1 m of round pipe, for air at 20 °C>

(the data shown in the dotted portions of the curves is for low velocity, viscous, laminar flow in long pipes)

좌측 컨덕턴스 그래프에서 1mbar에서 2586m³/hr의 컨덕턴스를 유지할 수 있는 배관은 그 직경이 70mm 임. 따라서 챔버와 펌프를 연결하는 배관의 직경은 최소 70mm 이상이어야 함. 다행히 이 값은 E1M275 모델의 입구부 직경과 동일하다.

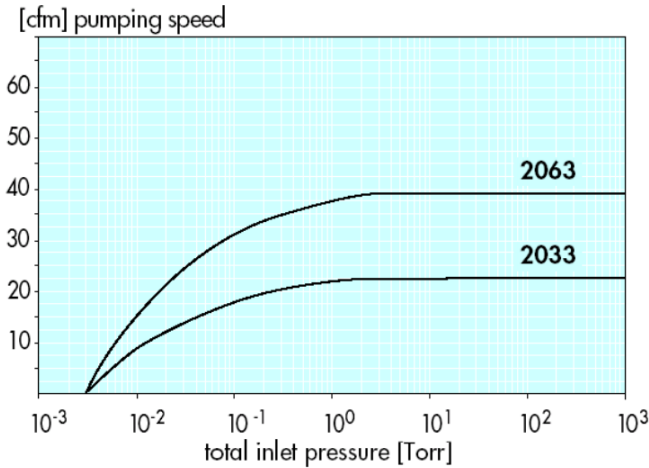
👉 압력이 높을 때는 점성류 영역이면서 배관의 컨덕턴스가 워낙 크기 때문에 압력이 낮을 때에 비해 컨덕턴스 영향을 적게 받는다.



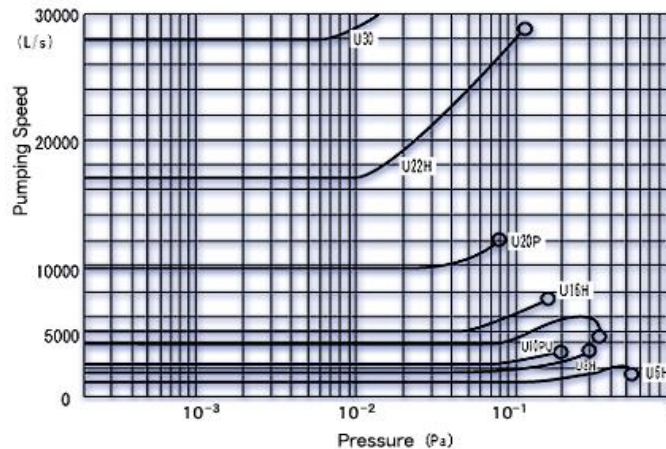
출처: Edwards Product Catalogue

Pumping curves for 4 types of vacuum pumps.

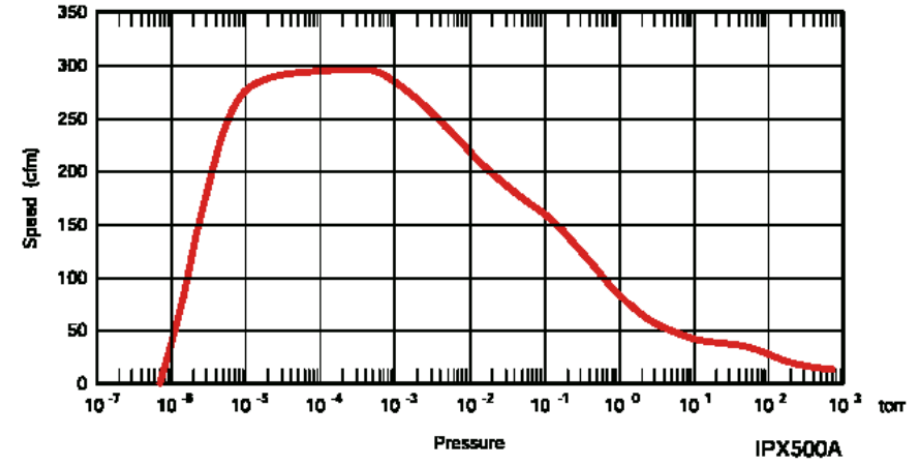
전형적인
진공펌프의
압력변화에 따른
배기성능곡선



Rotary vane pumps

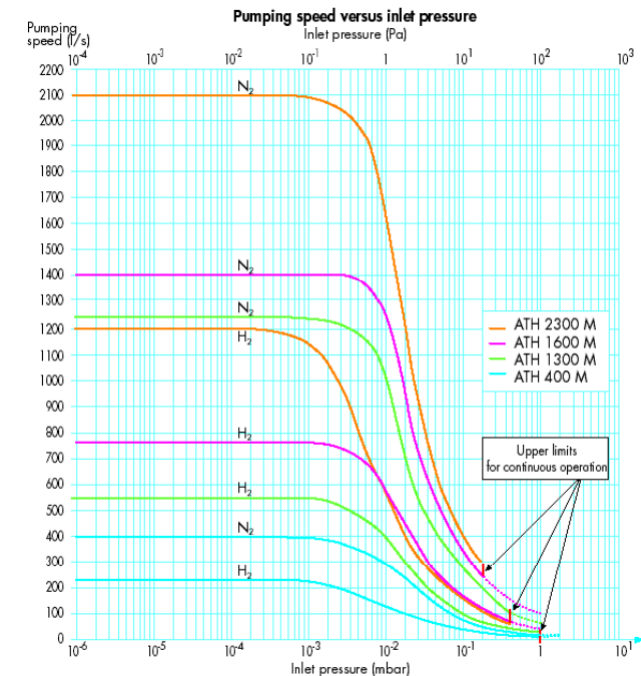


Cryopumps



Dry pump

TMPs



배기 시간 계산(유도식)-(1)

$$V \frac{dp}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$

기체상태방정식

$PV = NkT$ (Unit: J, 에너지)

진공 챔버의 체적 V 는 고정

챔버 내의 압력이 시간에 따라 변함

▶ $V \cdot dP/dt$ 의 물리적 의미: J/s \equiv W, 에너지 흐름

▶ $Q(\text{유량}) = P \cdot S$ 의 물리적 의미: $N/m^2 \cdot m^3/s \equiv J/s \dots$

$$\textcircled{1} \quad V \frac{dp}{dt} = Q_{in} - P \times S_{eff} \quad \because Q_{out} = P \times S_{eff}$$

$$(X = Q_{in} - P \times S_{eff} \Rightarrow dX = -S_{eff} \times dP)$$

$$\textcircled{2} \quad \Rightarrow \frac{dP}{Q_{in} - P \times S_{eff}} = \frac{1}{V} dt$$

$$\textcircled{3} \quad \Rightarrow \frac{-\frac{1}{S_{eff}} dX}{X} = \frac{1}{V} dt \Rightarrow \boxed{\frac{dX}{X} = -\frac{S_{eff}}{V} dt}$$

배기 시간 계산(유도식)-(2)

양변을 적분하면

$$\textcircled{4} \quad \ln X = -\frac{S_{eff}}{V}t + const \Rightarrow X = A \exp\left(-\frac{S_{eff}}{V}t\right) \quad X = Q_{in} - P \times S_{eff}$$

t = 0일 때, A = Q_{in} - P₀ S_{eff}임으로 압력 P는 시간에 따라 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$\textcircled{5} \quad \therefore P(t) = \frac{Q_{in}}{S_{eff}} + \left(P_0 - \frac{Q_{in}}{S_{eff}}\right) \exp\left(-\frac{S_{eff}}{V}t\right)$$

압력 P₀에서 시간 t내에 압력 P까지 배기하는데 걸리는 시간은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\textcircled{6} \quad t = \frac{V}{S_{eff}} \ln \left(\frac{P_0 - \frac{Q_{in}}{S_{eff}}}{P - \frac{Q_{in}}{S_{eff}}} \right) = \frac{V}{S_{eff}} \ln \left(\frac{P_0 - P_b}{P - P_b} \right) \quad \because P_b = \frac{Q_{in}}{S_{eff}}$$

배기 시간 계산(유도식)-(3)

이 식에서 $Q_{in} = 0$, 즉 chamber에 투입되는 가스가 없고 outgassing, leakage가 없다고 가정하면 $P_b = Q_{in}/S_{eff} = 0$ 임으로

$$\therefore t = \frac{V}{S_{eff}} \ln \left(\frac{P_0}{P} \right)$$

$\ln x = 2.3 \log x$ 임으로

$$\therefore t = 2.3 \frac{V}{S_{eff}} \log \left(\frac{P_0}{P} \right)$$

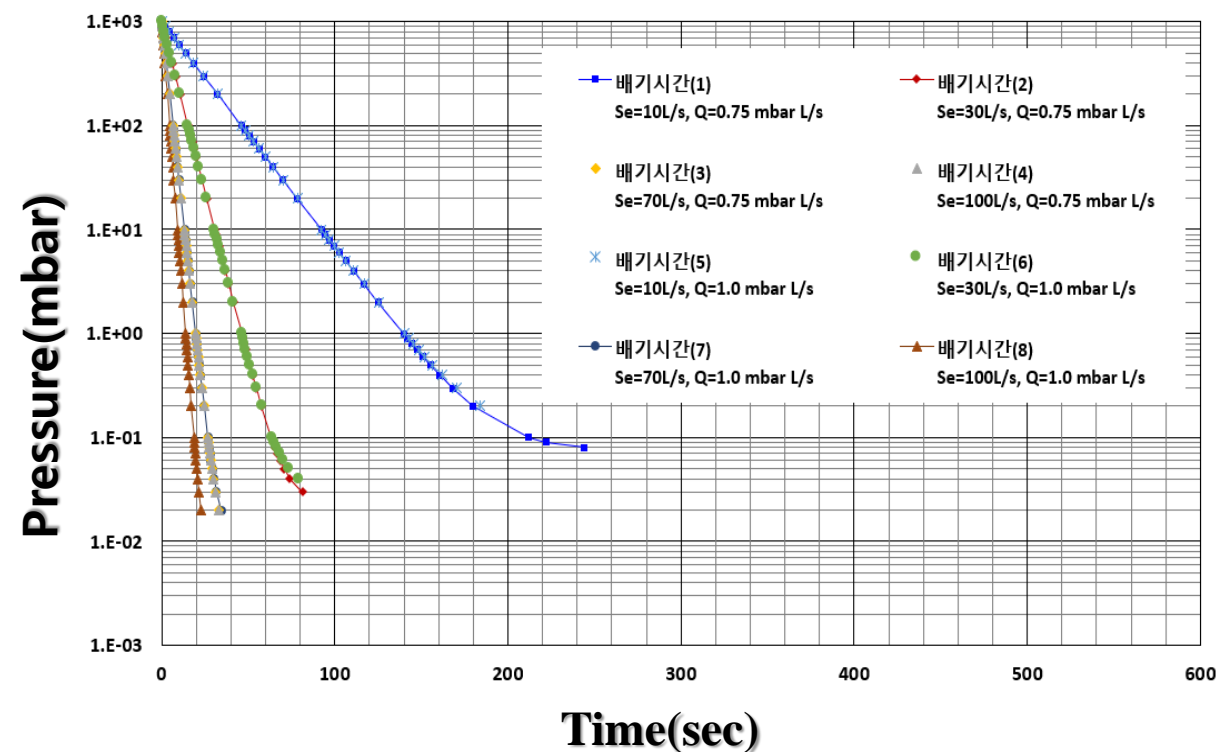
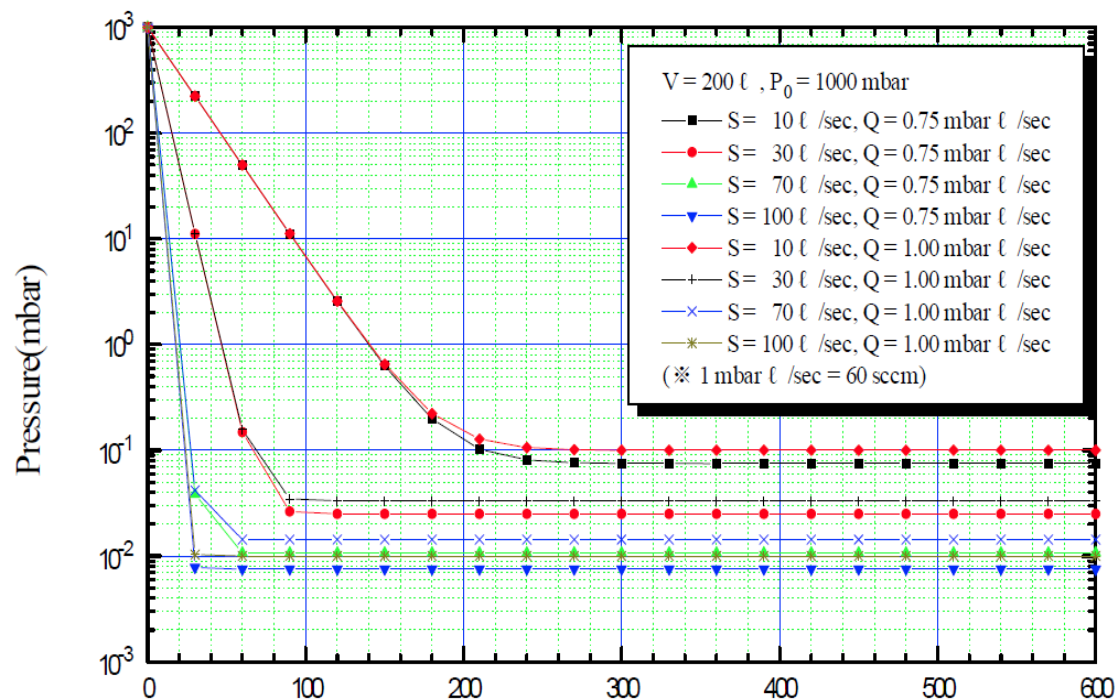
주의 사항

- 배기 과정 중에는 가스 온도 변화가 있음
- 유입되는 가수량이 변할 수 있음(**leak rate, outgassing rate** 등) : $Q_{in} \neq 0$, $Q_{in} = Q(t)$
- 진공 펌프의 배기 속력은 압력에 따라 일정하지 않음.

배기 시간 계산 결과(챔버 체적: 200L)

$$P(t) = \frac{Q_{in}}{S_{eff}} + \left(P_0 - \frac{Q_{in}}{S_{eff}} \right) \exp\left(-\frac{S_{eff}}{V} t \right)$$

$$t = \frac{V}{S_{eff}} \ln \left(\frac{P_0 - \frac{Q_{in}}{S_{eff}}}{P - \frac{Q_{in}}{S_{eff}}} \right) \text{ Time(sec)}$$



연습문제 (4)

Q(4) 챔버 체적이 200 L, 초기 압력 $P_0 = 1000$ mbar, 입력 유량 $Q_{in} = 45$ sccm이다. 펌프의 유효배기속도 S_{eff} 가 각각 10 L/s, 30 L/s, 50 L/s라면, 챔버의 압력이 10초, 50초, 100초, 150초, 200초, 250초, 300 초 후에 얼마가 될지 계산하시오.

$$P(t) = \frac{Q_{in}}{S_{eff}} + \left(P_0 - \frac{Q_{in}}{S_{eff}} \right) \exp\left(-\frac{S_{eff}}{V} t \right)$$

	V[L]	P0[mbar]	Qin[mbar L/s]
	200	1000	0.75
	P[mbar]		
시간(t)	S_eff [L/s]		
[s]	10	30	50
10	606.560	223.150	82.099
50	82.154	0.578	0.019
100	6.812	0.025	0.015
150	0.628	0.025	0.015
200	0.120	0.025	0.015
250	0.079	0.025	0.015
300	0.075	0.025	0.015

- IV 부 -

배기 시간 계산(예)

1. 배기시간 계산

- 해석적 계산
- Vactran 프로그램을 활용한 계산

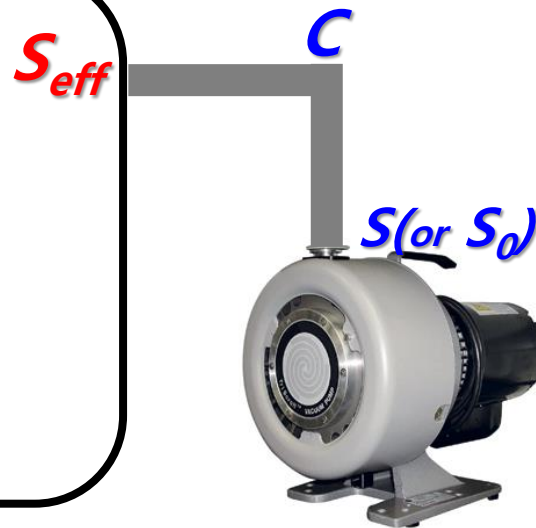
$$t = 2.3 \frac{V}{S_{eff}} \log \left(\frac{P_0}{P} \right)$$

해석적 방법

Vacuum Chamber

$V=800$ [L]

$$t = 2.3 \frac{V}{S_{eff}} \log \left(\frac{P_0}{P} \right)$$



No.	구분-압력 [Torr]	배기속도	도관	비고	결과 [t]
I	760→100 100→10 10→1 1→0.1	$S=\text{constant}$ $=500\text{L/s}$	없음	S:일정(최대값)	? [s]
II		$S=S(P)$ 평균값	없음	S: 압력의존	? [s]
III		$S=S(P)$ 평균값	있음, $C=\text{constant}$ $=400\text{L/s}$	C: 일정	? [s]
IV		$S=S(P)$ 평균값	있음, $C=C(P)$ I.D.=4cm, L=100cm	C: 압력의존	? [s]

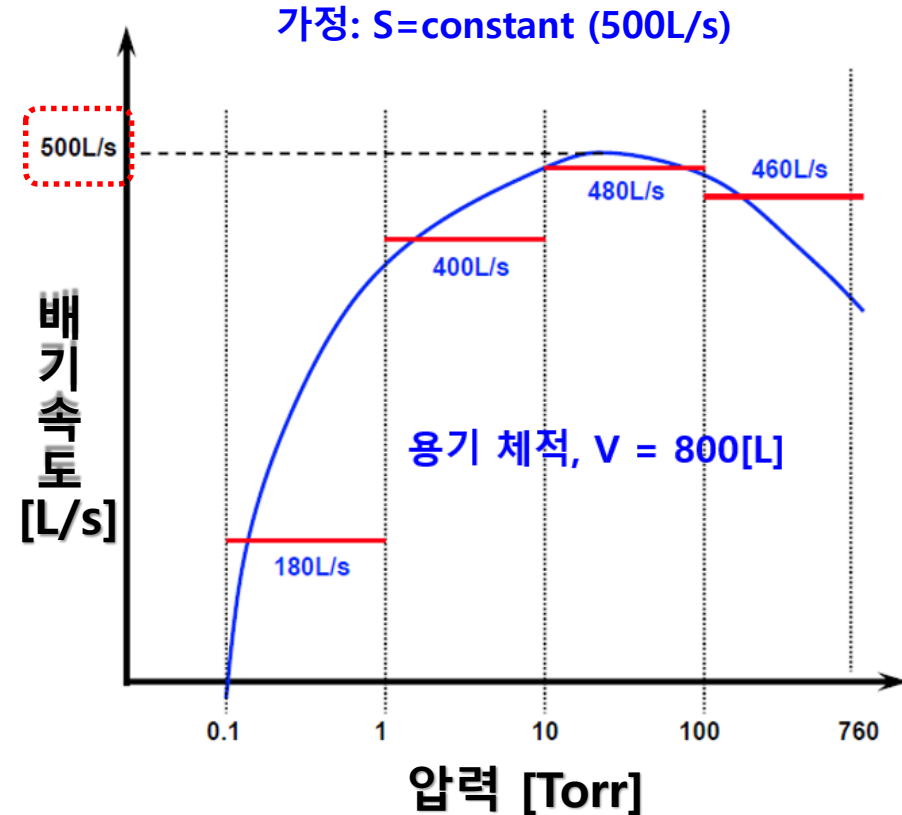
주의  $S=S_{eff}$

I. 배기시간 계산-배기속도(S)가 일정하다고 가정한 경우

♠ 오른쪽 그래프와 같은 배기속도 곡선을 갖는 진공펌프가 있다. 이 진공펌프를 이용하여 체적이 800L인 로드락 챔버를 대기압부터 0.1 Torr까지 배기하는데 걸리는 시간은 얼마인가?

단, 이 펌프는 챔버와 도관 없이 직접 연결되어 있고, 계산의 편의를 위해 배기속도를 압력구간에 관계없이 최대 배기속도(500L/s)로 일정하다고 가정하라.

$$\begin{aligned} t_{gross}(P) &= 2.3 \frac{V}{S_{eff}} \log\left(\frac{P_0}{P}\right) \\ &= 2.3 \frac{800L}{500L/s} \log\left(\frac{760Torr}{0.1Torr}\right) \cong 14.3s \end{aligned}$$



II. 배기시간 계산-압력에 따른 배기속도(S) 변화를 고려한 경우

♠ 오른쪽 그래프와 같이 실제 배기속도 곡선은 압력에 따라 다르다. 따라서 더 정확한 값을 얻기 위해 압력을 구간별로 나누고 각 구간별 평균 배기속도를 적용하는 것이 보다 합리적이다. 챔버를 대기압부터 0.1 Torr까지 배기하는데 걸리는 시간을 다시 계산하시오. 단, 이 펌프는 도관 없이 챔버와 직접 연결되어 있다고 가정하라.

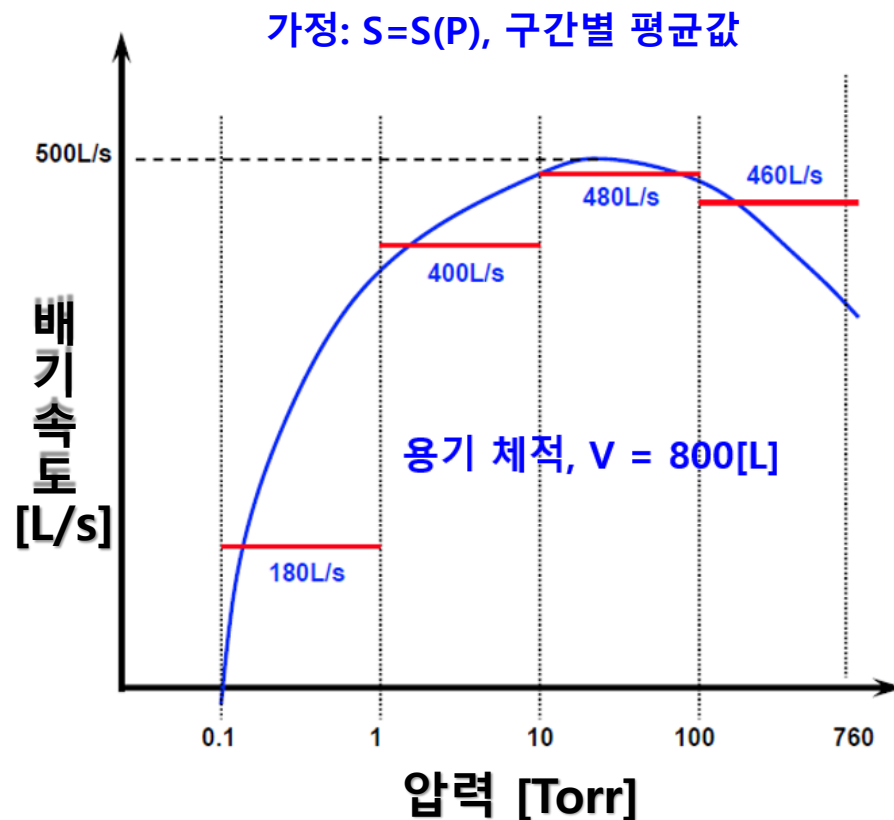
$$t_{760 \rightarrow 100} = 2.3 \frac{800L}{460L/s} \log\left(\frac{760Torr}{100Torr}\right) \cong 3.5s$$

$$t_{100 \rightarrow 10} = 2.3 \frac{800L}{480L/s} \log\left(\frac{100Torr}{10Torr}\right) \cong 3.8s$$

$$t_{10 \rightarrow 1} = 2.3 \frac{800L}{400L/s} \log\left(\frac{10Torr}{1Torr}\right) \cong 4.6s$$

$$t_{1 \rightarrow 0.1} = 2.3 \frac{800L}{180L/s} \log\left(\frac{1Torr}{0.1Torr}\right) \cong 10.2s$$

$$t_{total} = 3.5 + 3.8 + 4.6 + 10.2 \cong 22.1s$$



III. 배기시간 계산-배기속도(S) 변화+컨덕턴스(C=일정)를 고려한 경우

♠ 앞의 예제(II)에서 챔버와 펌프가 $C=400\text{L/s}$ 로 일정한 컨덕턴스를 가지는 배관으로 연결되어 있다고 가정하면, 대기압에서 0.1 Torr까지 배기하는데 걸리는 시간을 다시 계산하시오.

▶ 먼저 각 구간별로 유효배기속도(S_{eff})를 구하면,

$$\frac{1}{S_{\text{eff}}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S_0}$$

$$\frac{1}{S_{\text{eff}(760 \rightarrow 100)}} = \frac{1}{400\text{L/s}} + \frac{1}{460\text{L/s}}$$

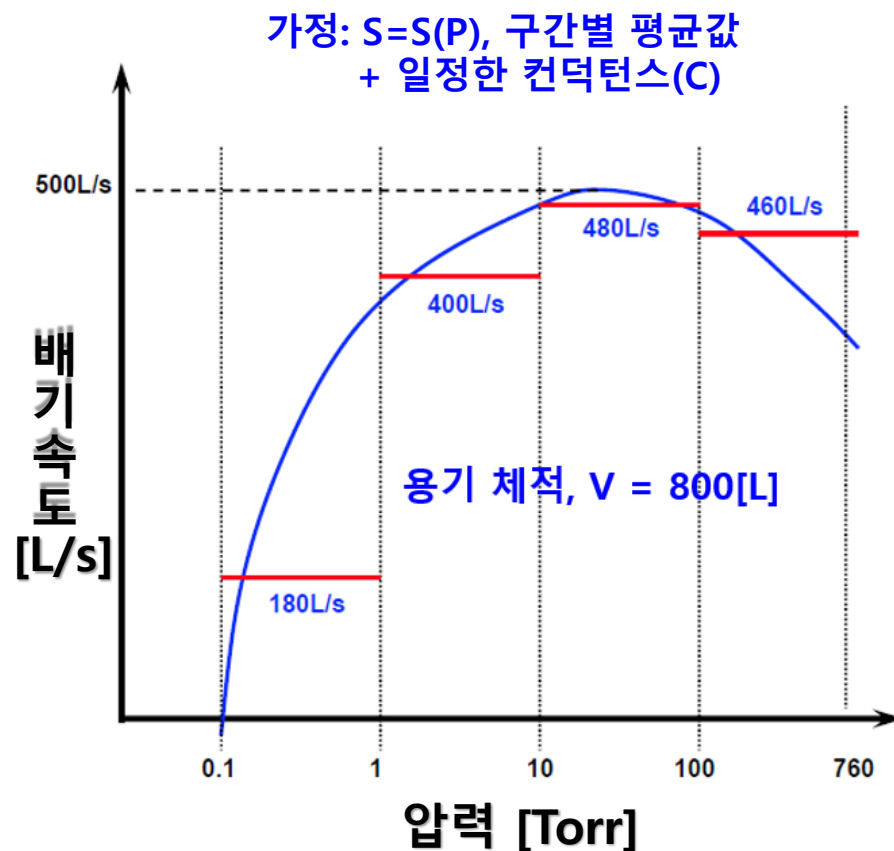
- 480L/s
- 400L/s
- 180L/s

$$S_{\text{eff}(760 \rightarrow 100)} = 214.0\text{L/s}$$

$$S_{\text{eff}(100 \rightarrow 10)} = 218.2\text{L/s}$$

$$S_{\text{eff}(10 \rightarrow 1)} = 200.0\text{L/s}$$

$$S_{\text{eff}(1 \rightarrow 0.1)} = 124.1\text{L/s}$$



III. 배기시간 계산-배기속도(S) 변화+컨덕턴스(C=일정)를 고려한 경우

▶ (계속) 압력 구간별로 구한 유효배기속도를 활용하여 배기시간을 다시 계산하면 다음과 같다.

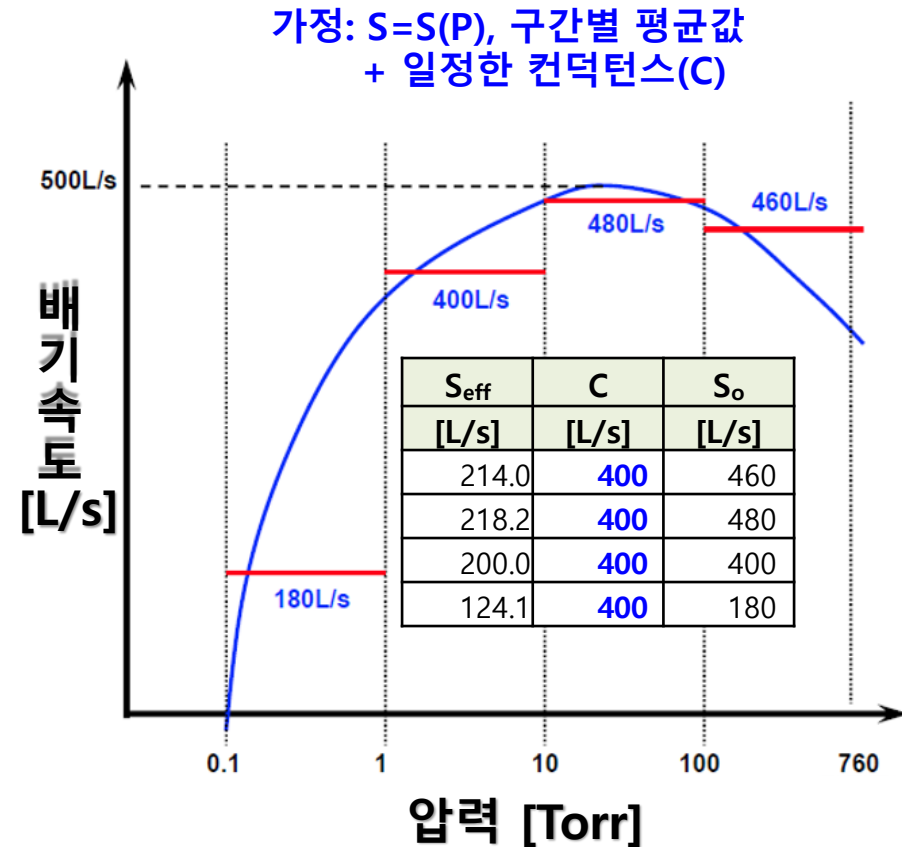
$$t_{760 \rightarrow 100} = 2.3 \frac{800L}{214L/s} \log\left(\frac{760Torr}{100Torr}\right) \cong 7.6s$$

$$t_{100 \rightarrow 10} = 2.3 \frac{800L}{218.2L/s} \log\left(\frac{100Torr}{10Torr}\right) \cong 8.4s$$

$$t_{10 \rightarrow 1} = 2.3 \frac{800L}{200L/s} \log\left(\frac{10Torr}{1Torr}\right) \cong 9.2s$$

$$t_{1 \rightarrow 0.1} = 2.3 \frac{800L}{124.1L/s} \log\left(\frac{1Torr}{0.1Torr}\right) \cong 14.8s$$

$$t_{total-con1} = 7.6 + 8.4 + 9.2 + 14.8 \cong 40.0s$$



IV. 배기시간 계산-배기속도(S) 변화+컨덕턴스(C=C(P))를 고려한 경우

$$t = 2.3 \frac{V}{S_{eff}} \log\left(\frac{P_0}{P}\right) \quad \frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S}$$

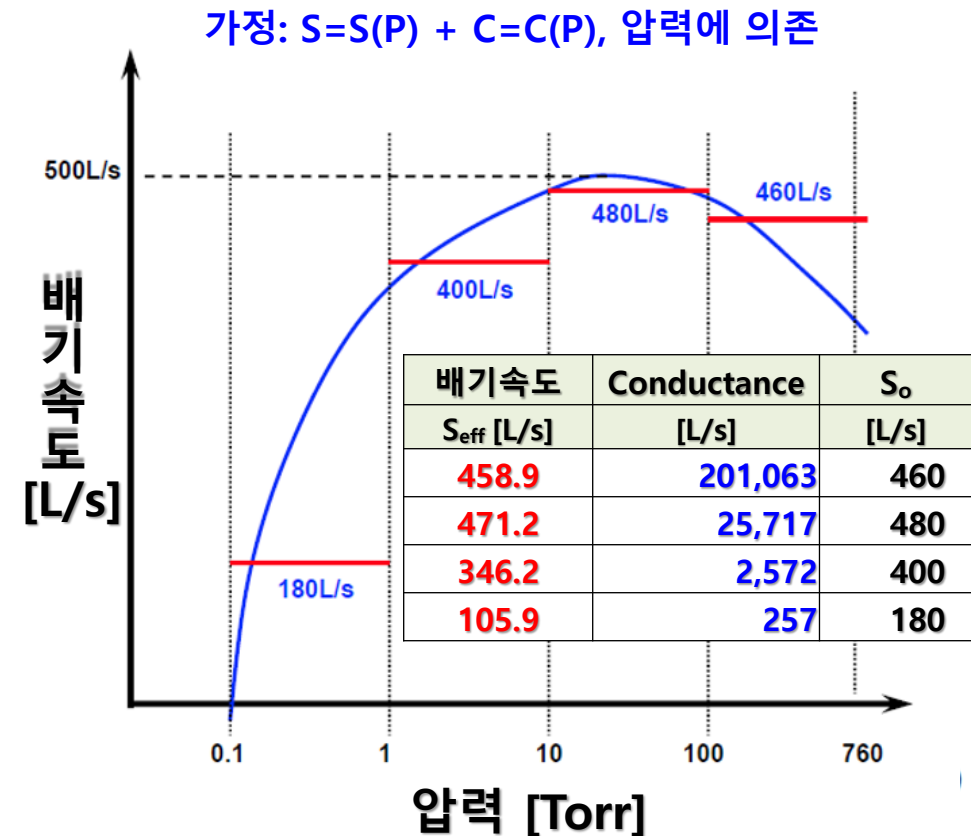
$$t_{760 \rightarrow 100} = 2.3 \frac{800L}{\mathbf{458.9L/s}} \log\left(\frac{760Torr}{100Torr}\right) \cong \mathbf{3.5s}$$

$$t_{100 \rightarrow 10} = 2.3 \frac{800L}{\mathbf{471.2L/s}} \log\left(\frac{100Torr}{10Torr}\right) \cong \mathbf{3.9s}$$

$$t_{10 \rightarrow 1} = 2.3 \frac{800L}{\mathbf{346.2L/s}} \log\left(\frac{10Torr}{1Torr}\right) \cong \mathbf{5.3s}$$

$$t_{1 \rightarrow 0.1} = 2.3 \frac{800L}{\mathbf{105.6L/s}} \log\left(\frac{1Torr}{0.1Torr}\right) \cong \mathbf{17.4s}$$

배기시간 합계, $t = 30.1s$



IV. 배기시간 계산-배기속도(S) 변화+컨덕턴스(C=C(P))를 고려한 경우

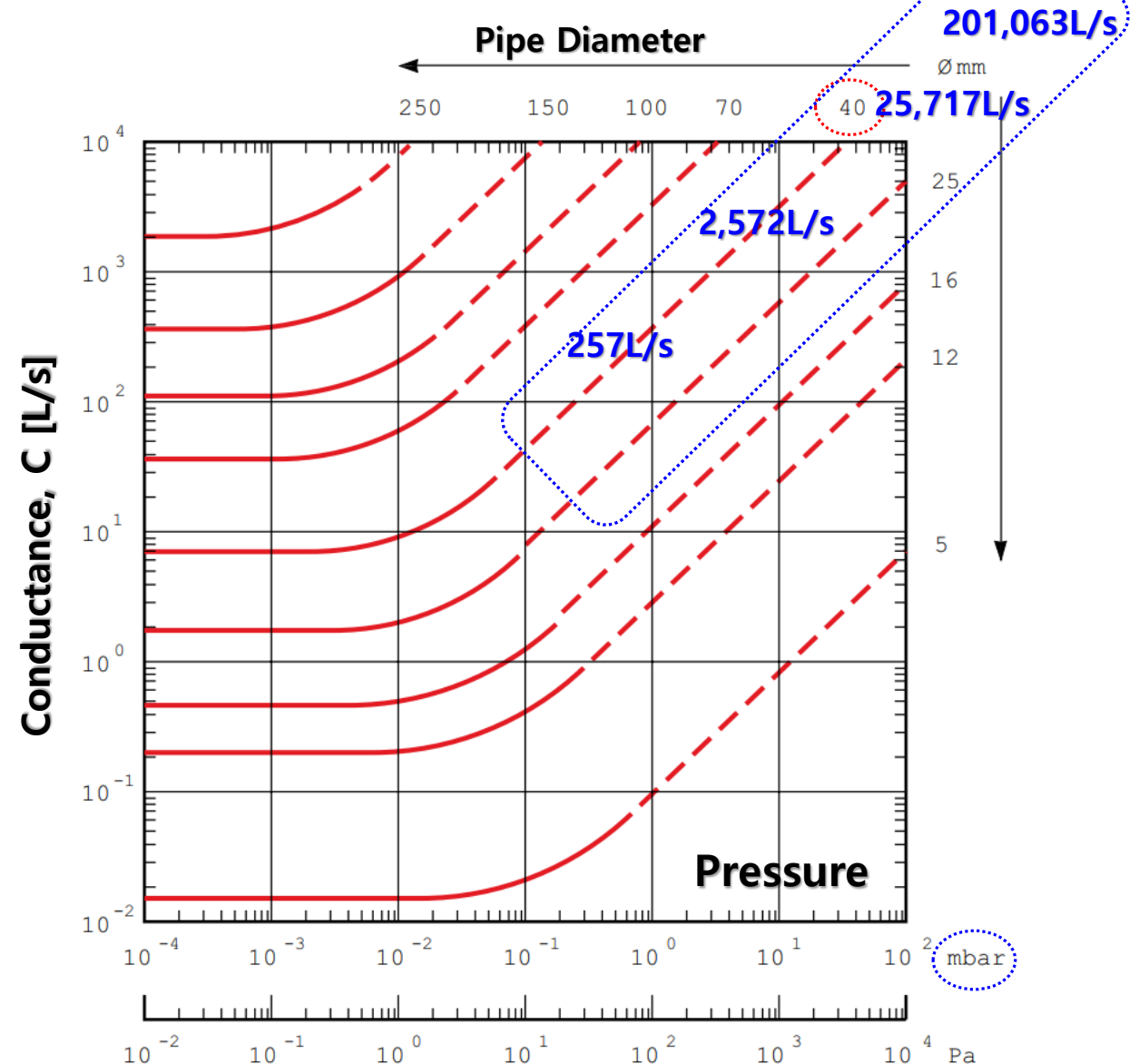
(1) 그래프를 활용한 방법

<Conductance of 1 m of round pipe, for air at 20 °C>

(the data shown in the dotted portions of the curves is for low velocity, viscous, laminar flow in long pipes, Edwards Product Catalogue)

♠ 앞의 예제(III)에서는 배관의 컨덕턴스를 상수 값, $C=400\text{L/s}$ 로 하였으나 실제 배관의 컨덕턴스는 압력, 배관의 형상(크기/길이/모양), 기체의 종류에 따라 달라진다. 따라서 배기시간과 펌프가 배기할 수 있는 가스량을 계산할 때 이를 충분히 고려해야 한다.

압력범위 [Torr]	760~100	100~10	10~1	1~0.1
C(P)[L/s]	201,063	25,717	2,572	257



IV. 배기시간 계산-배기속도(S) 변화+컨덕턴스(C=C(P))를 고려한 경우

(2) 점성류 컨덕턴스 계산식을 활용한 방법

$$C = 137 \frac{D^4 (P_1 + P_2)}{L \cdot 2}$$

$$t = 2.3 \frac{V}{S_{eff}} \log \left(\frac{P_0}{P} \right)$$

C	D	L	P1	P2	P1	P2
[L/s]	[cm]	[cm]	[mbar]	[mbar]	[Torr]	[Torr]
201,063	4	100	1013.25	133.3224	760	100
25,717	4	100	133.3224	13.33224	100	10
2,572	4	100	13.33224	1.333224	10	1
257	4	100	1.333224	0.133322	1	0.1

시간		압력범위		용기체적(V)	배기속도	Conductance	S _o
t [s]		P0[Torr]	P[Torr]	[L]	Seff [L/s]	[L/s]	[L/s]
t _{760→100}	3.5	760	100	800	458.9	201,063	460
t _{100→10}	3.9	100	10	800	471.2	25,717	480
t _{10→1}	5.3	10	1	800	346.2	2,572	400
t _{1→0.1}	17.4	1	0.1	800	105.9	257	180

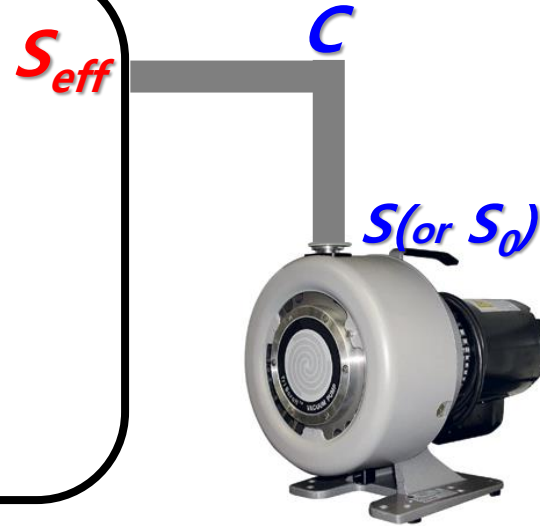
합 계 30.1s

배기시간 계산 정리(해석적 방법)

Vacuum Chamber

$$V=800 \text{ [L]}$$

$$t = 2.3 \frac{V}{S_{eff}} \log \left(\frac{P_0}{P} \right)$$



No.	구분-압력 [Torr]	배기속도	도관	비고	결과 [t]
I	760→100 100→10 10→1 1→0.1	S=constant =500L/s	없음	S:일정(최대값)	14.3 [s]
II		S=S(P) 평균값	없음	S: 압력의존	22.1 [s]
III		S=S(P) 평균값	있음, C=constant =400L/s	C: 일정	40.0 [s]
IV		S=S(P) 평균값	있음, C=C(P) I.D.=4cm, L=100cm	C: 압력의존	30.1 [s]

배기시간 계산 정리(해석적 방법)

A. 배기시간(t)

$$t = 2.3 \frac{V}{S_{eff}} \log \left(\frac{P_0}{P} \right)$$

B. 유효배기속도, S_{eff}

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S}$$

압력 구간	배기속도 영향		컨덕턴스 영향	
	S=일정 (500L/s)	S=S(P) 압력의존	C=일정 (400L/s)	C=C(P) 압력의존
760~100		3.5	7.6	3.5
100~10		3.8	8.4	3.9
10~1		4.6	9.2	5.3
1~0.1		10.2	14.8	17.4
배기시간 합계[s]	14.3	22.1	40.0	30.1

압력 구간	배기속도 영향		컨덕턴스 영향	
	S=일정 (500L/s)	S=S(P) 압력의존	C=일정 (400L/s)	C=C(P) 압력의존
760~100	500	460	214.0	458.9
100~10		480	218.2	471.2
10~1		400	200.0	346.2
1~0.1		180	124.0	105.9

☞ 유효배기속도가 컨덕턴스에 가장 많이 영향을 받는 압력 영역은 어디인가 ?

프로그램을 활용한 방법

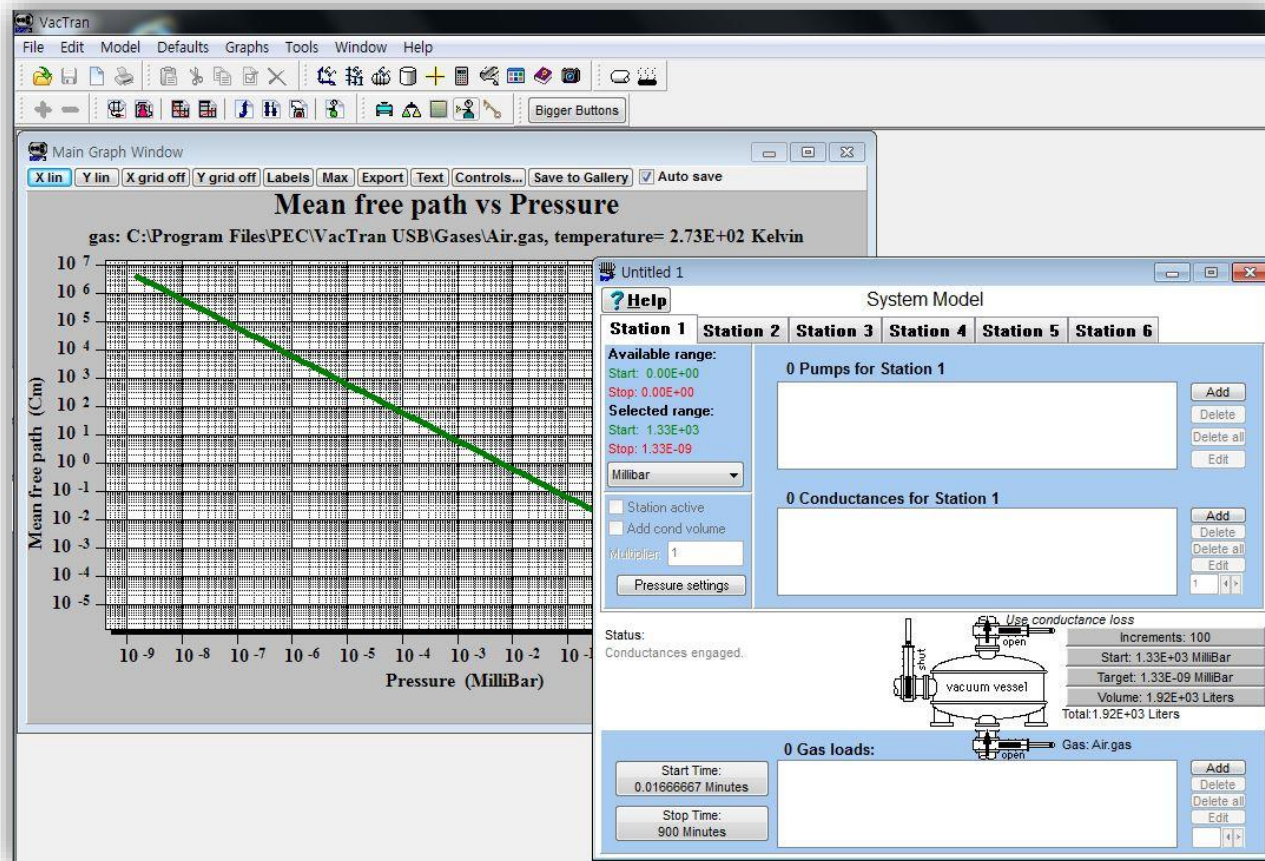


Vacuum Technology Software
Windows version 3

© 2012 Professional Engineering Computations
No part of this Program Reference may be reproduced, transmitted, transcribed, or translated
by any means without prior written consent of

PEC Professional
Engineering
Computations

2256 Rhone Drive, Livermore, CA 94550
phone: 925-449-0941 fax: 925-449-4517
support@vactran.com
www.vactran.com



A. Pump Model



The following shows the pump model before any data is added.

Untitled 1

Data More info Notes Picture Drawing Vendor's curve

Vacuum Pump Data

Pressure	Pump speed
1.000000000E+00	1.000000000E+00
Torr	Liters / second

Buttons: Add, Replace, Delete, Clear all, Multiply, Add from file...

Format: 0.000000000E00 0.000000000E00 0 points in model

? Help

시스템 모델을 활용하기 위해 기본적으로 펌프의 성능 데이터를 입력하는 프로세스!

B. System Model

Untitled 1

System Model

Station 1 Station 2 Station 3 Station 4 Station 5 Station 6

Available range:
Start: 0.00E+00
Stop: 0.00E+00
Selected range:
Start: 7.60E+02
Stop: 1.00E+06
Torr

0 Pumps for Station 1

0 Conductances for Station 1

Station active
Add cond volume
Multiplier: 1
Pressure settings

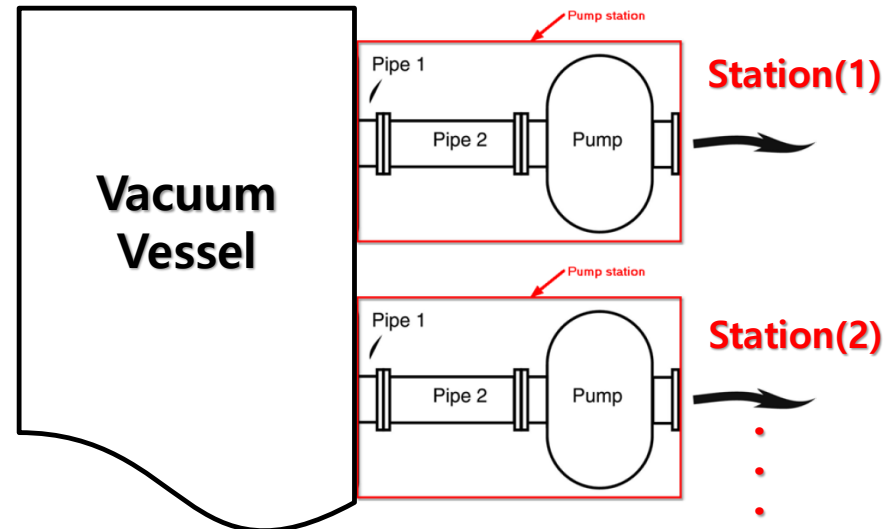
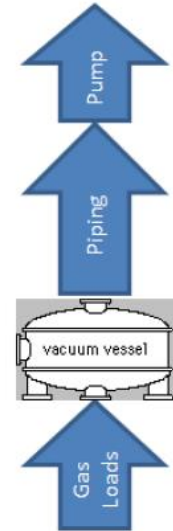
Status:
Conductances engaged.

vacuum vessel

Use conductance loss
Increments: 1000
Start: 7.60E+02 Torr
Target: 1.00E+06 Torr
Volume: 7.13E+01 Liters
Total: 7.13E+01 Liters

0 Gas loads:
Gas: Air.VTGAS

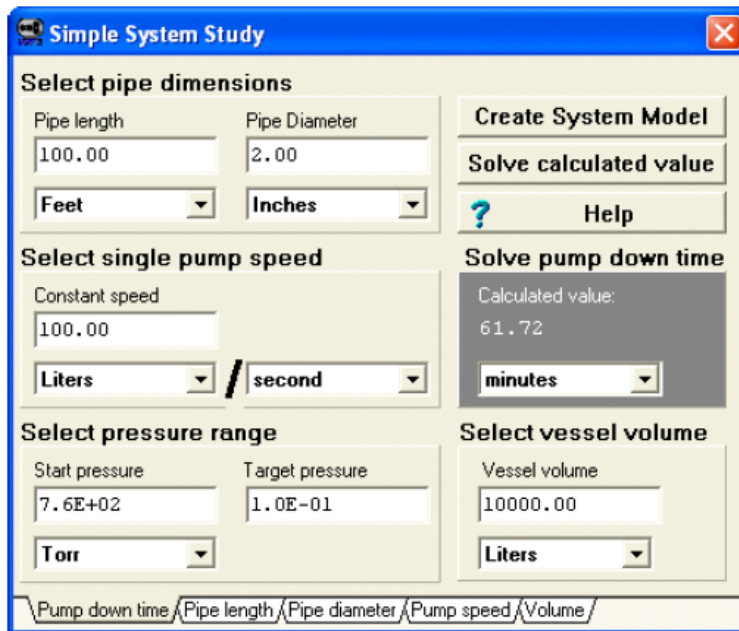
Start Time: 1 Seconds
Stop Time: 720000 Seconds



1. Simple System Study



... to display the dialog shown:

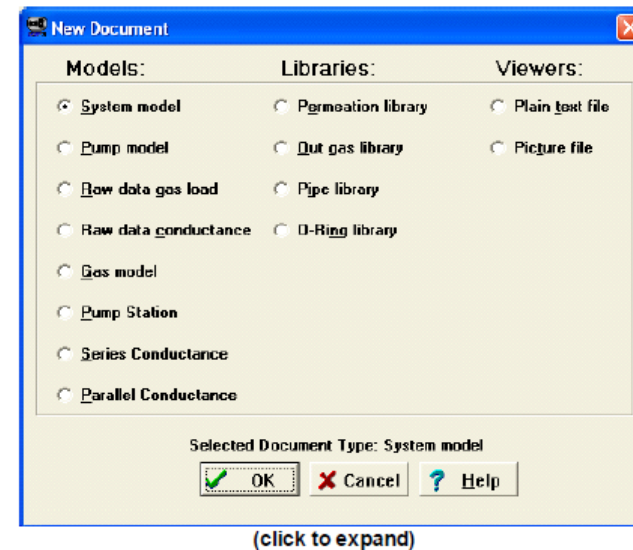
The "Simple System Study" dialog box is shown. It has a blue title bar and a close button. The dialog is divided into several sections:

- Select pipe dimensions:** Includes input fields for "Pipe length" (100.00) and "Pipe Diameter" (2.00), and dropdown menus for "Feet" and "Inches".
- Select single pump speed:** Includes a "Constant speed" input field (100.00) and dropdown menus for "Liters" and "second".
- Select pressure range:** Includes input fields for "Start pressure" (7.6E+02) and "Target pressure" (1.0E-01), and a dropdown menu for "Torr".
- Select vessel volume:** Includes a "Vessel volume" input field (10000.00) and a dropdown menu for "Liters".
- Buttons:** "Create System Model", "Solve calculated value", and "Help".
- Footer:** A status bar showing "Pump down time / Pipe length / Pipe diameter / Pump speed / Volume".

2. System Model



In the New Document dialog that appears, select **System Model** and click on OK.

The "New Document" dialog box is shown. It has a blue title bar and a close button. The dialog is divided into three columns:

- Models:** Includes radio buttons for "System model", "Pump model", "Flow data gas load", "Raw data conductance", "Gas model", "Pump Station", "Series Conductance", and "Parallel Conductance".
- Libraries:** Includes radio buttons for "Permeation library", "Out gas library", "Pipe library", and "O-Ring library".
- Viewers:** Includes radio buttons for "Plain text file" and "Picture file".

Below the columns, it says "Selected Document Type: System model". At the bottom are "OK", "Cancel", and "Help" buttons. Below the dialog, the text "(click to expand)" is present.

Alternatively, use the system model speed button as shown below:



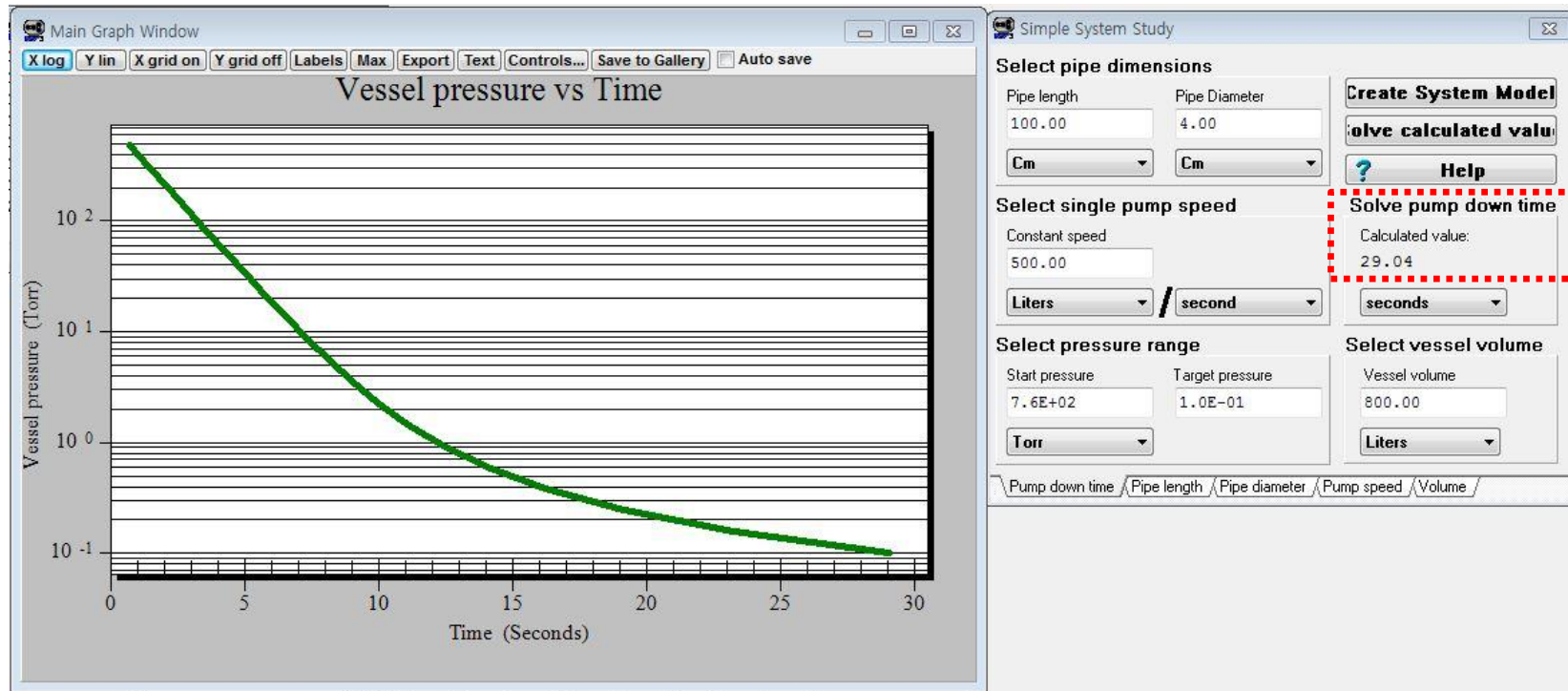
1. Simple System study의 예 (시간에 따른 압력 변화)

[조건]

- 1) 챔버 체적: 800 L
- 2) 배관 직경(ID)와 길이(L): I.D. = 4cm, L = 100cm
- 3) 배기속도: 500 L/s(일정)

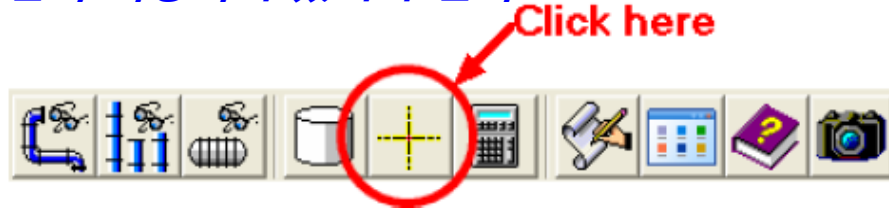
[결과]

대기압 > 0.1 Torr 까지: **29초**



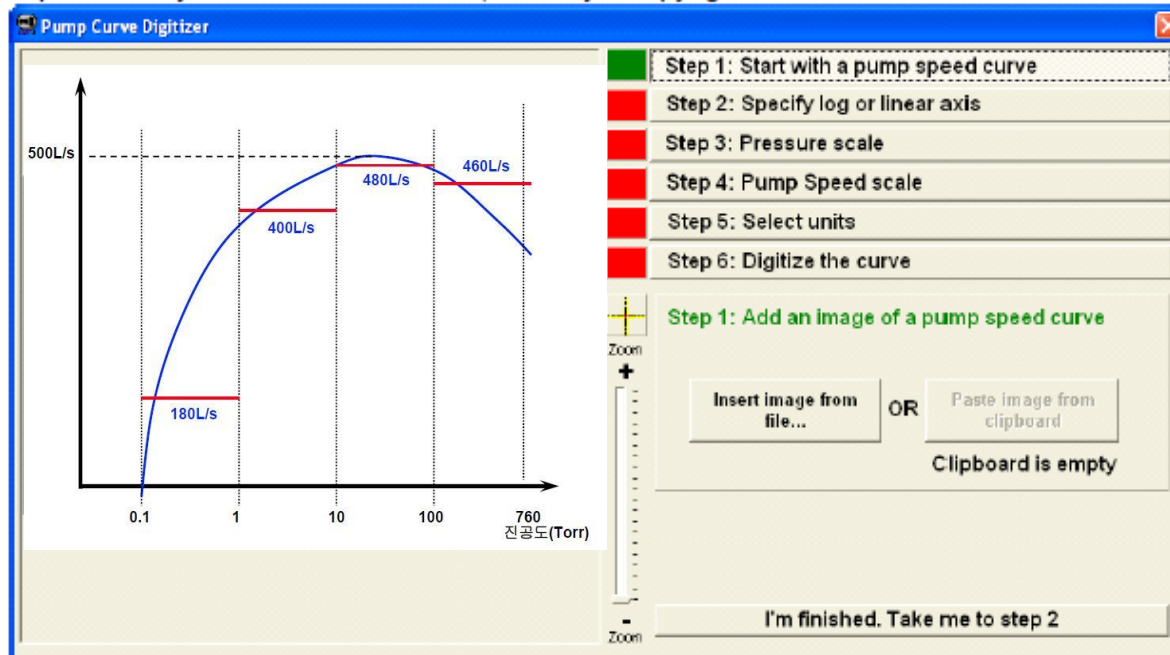
2. System Model의 예(2)

첫째, *Pump Model*, 즉 펌프의 성능곡선(압력에 따른 배기속도) 값이 먼저 저장되어 있어야 한다!



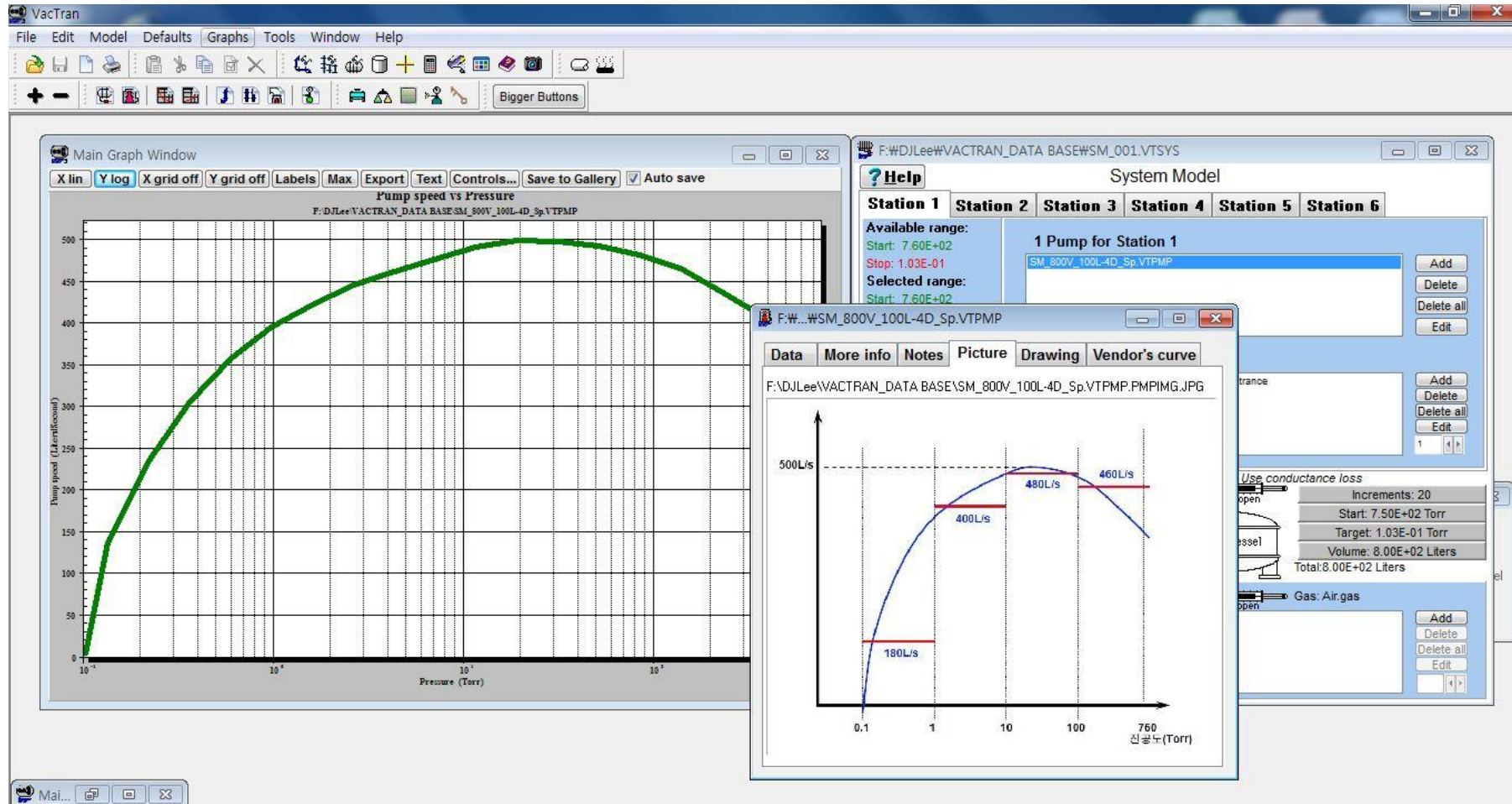
Step 1: Start with a pump speed curve

The first step in digitizing a pump curve is finding a graphic of the curve. This can be scanned from a catalog or copied directly from a vendor web site, but only if copyright notices allow this. Contact the vendor to be sure.



[조건]

- 1) 챔버 체적: 800 L
- 2) 배관 직경(ID)과 길이(L): I.D. = 4cm, L = 100cm
- 3) 배기속도: 배기속도가 압력에 따라 아래 그래프처럼 변할 때

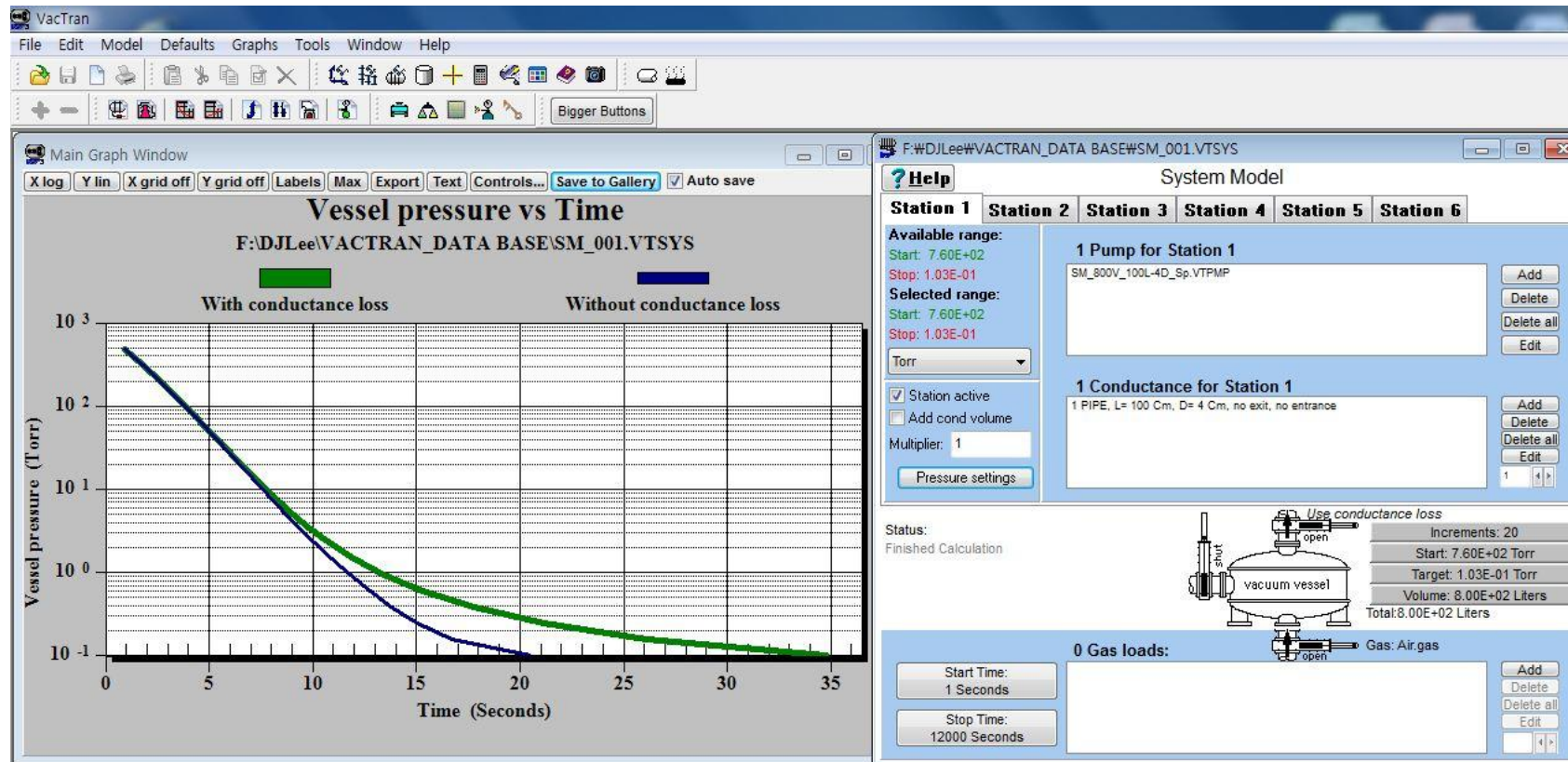


[조건]

- 1) 챔버 체적: 800 L
- 2) 배관 직경(ID)와 길이(L): I.D. = 4cm, L = 100cm
- 3) 배기속도: 배기속도가 압력에 따라 변할 때

[결과]

대기압 > 0.1 Torr 까지: **35초**

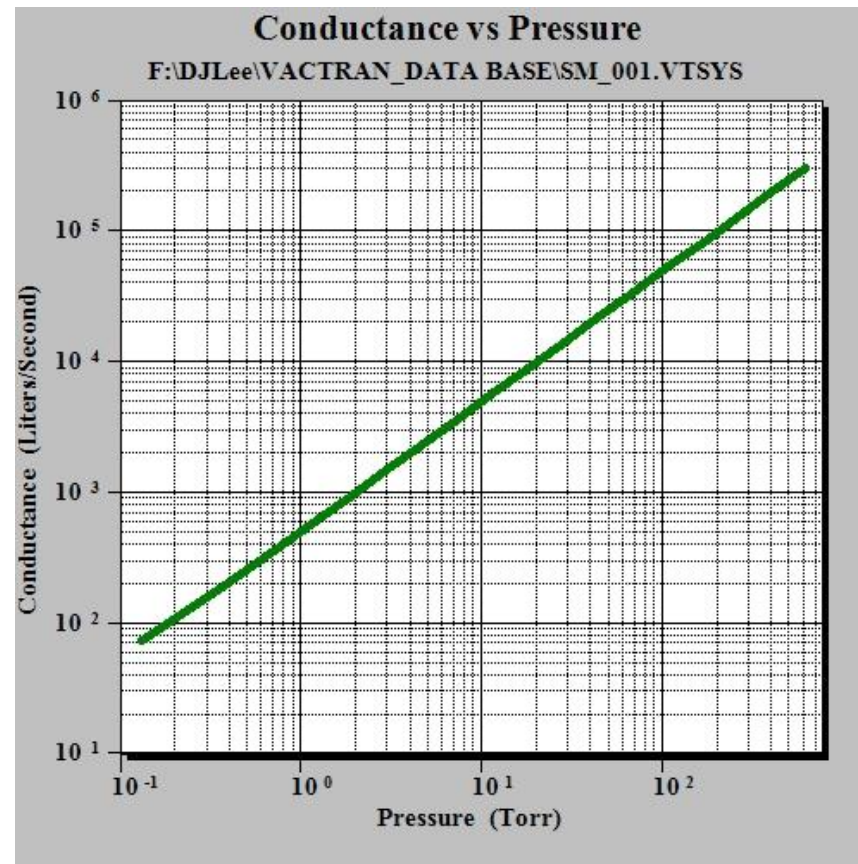
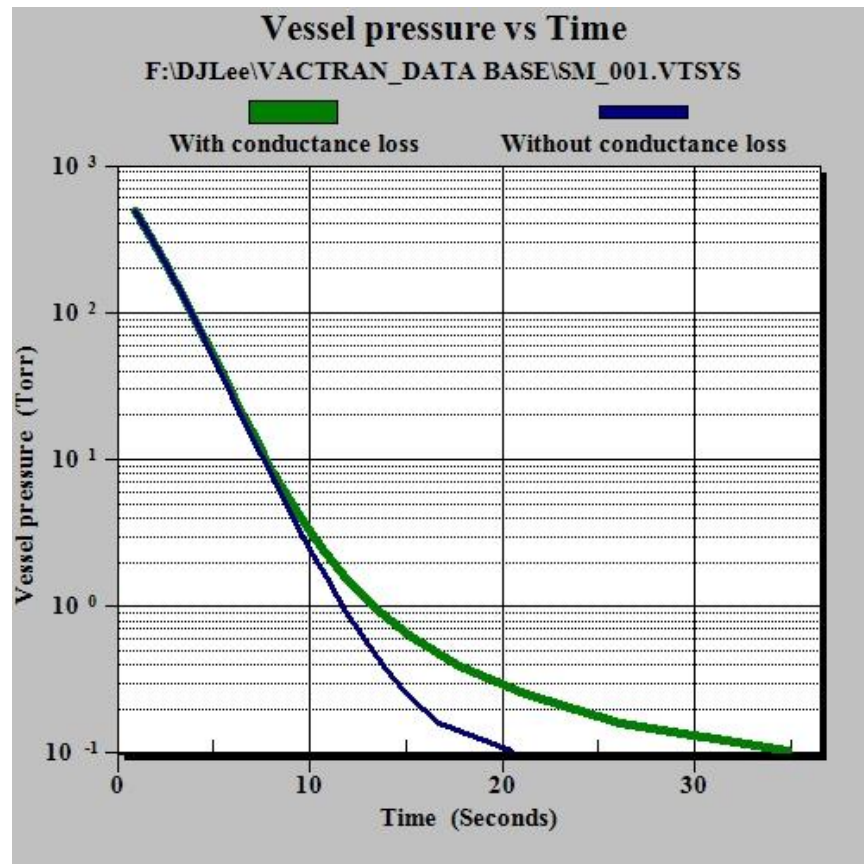


[조건]

- 1) 챔버 체적: 800 L
- 2) 배관 직경(ID)와 길이(L): I.D. = 4cm, L = 100cm
- 3) 배기속도: 배기속도가 압력에 따라 변할 때

[결과]

대기압 > 0.1 Torr 까지: 35초



최종

Vacuum Chamber

$$V=800\text{ [L]}$$

$$t = 2.3 \frac{V}{S_{eff}} \log\left(\frac{P_0}{P}\right)$$

S_{eff}



해석적

No.	구분-압력 [Torr]	배기속도	도관	비고	t, 결과
I	760→100 100→10 10→1 1→0.1	S=constant =500L/s	없음	S:일정(최대값)	14.3 [s]
II		S=S(P) 평균값	없음	S: 압력의존	22.1 [s]
III		S=S(P)	있음, C=constant =400L/s	C: 일정	40.0 [s]
IV		S=S(P)	있음, C=C(P)-오류수정 I.D.=4cm, L=100cm	C: 압력의존	30.1 [s]

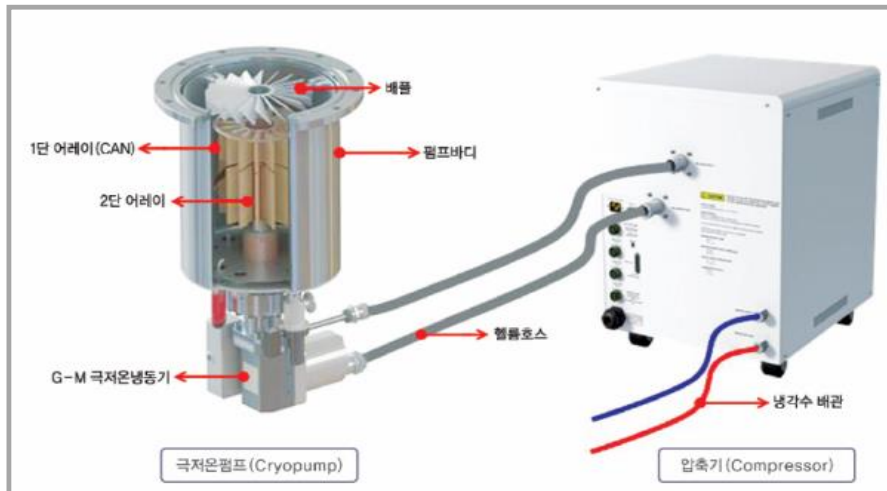
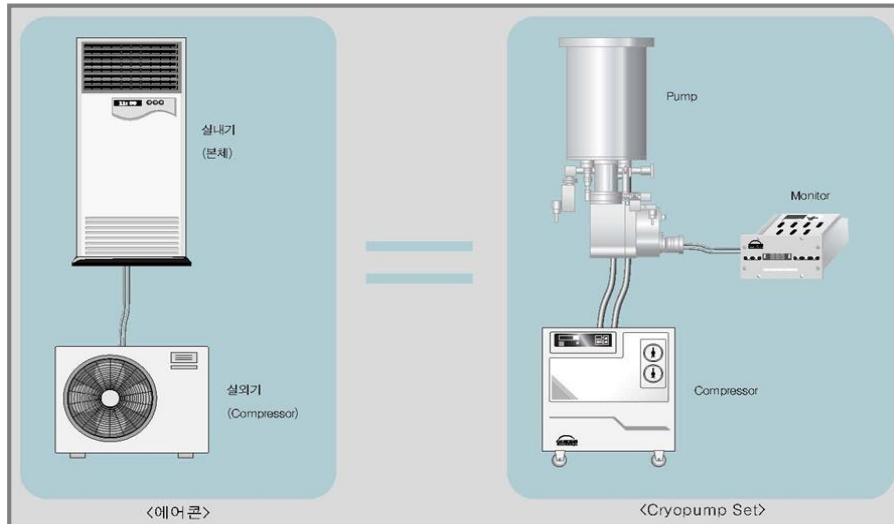
Vactran 프로그램

No.	구분	배기속도	도관	비고	t, 결과
1	VACTRAN	S=500L/s(일정)	있음, C=C(P) I.D.=4cm, L=100cm	Simple System	29 [s]
2	VACTRAN	그래프	없음	System Model	20 [s]
			있음, C=C(P) I.D.=4cm, L=100cm		35 [s]

비교

- 부 록 -

1. 고진공용 크라이오 펌프 소개
2. G-M극저온 냉동기(원리)
3. 크라이오 펌프 라인업
4. 기타:
 - RGA 데이터 분석
 - 냉각수와 스케일



**Cryocooler
or Cryopump**

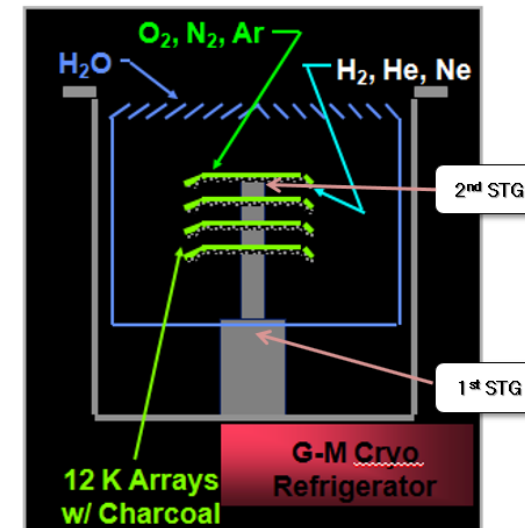
**Supply&Return
Helium Hose**

**Helium
Compressor**

Cryopump?

High Vacuum Pump with cryogenic technology

A cryopump or a "cryogenic pump" is a vacuum pump that traps gases and vapors by condensing them on a cold surface.



The Principle of cryogenic G-M Refrigerator

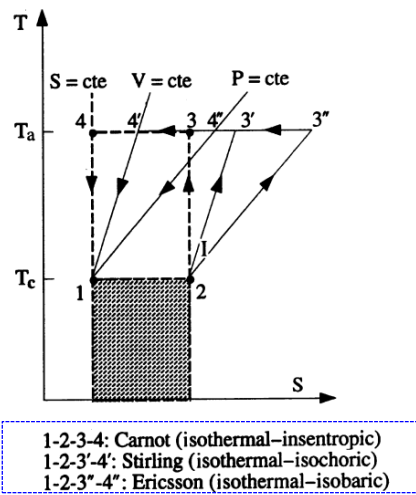


Fig. 1 Carnot, Stirling and Ericsson Cycles (T-S diagram)

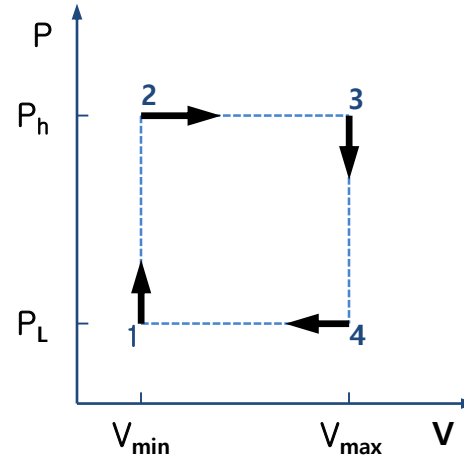


Fig. 2 G-M Cycles (P-V diagram)

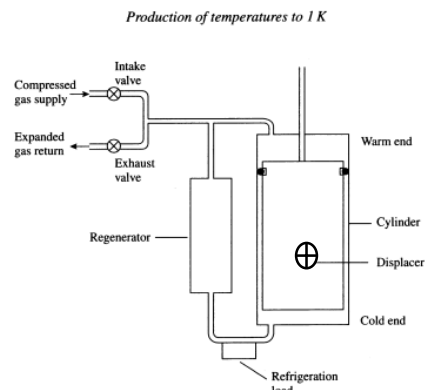


Fig. 3 A Single-Stage Version of the G-M Refrigerator

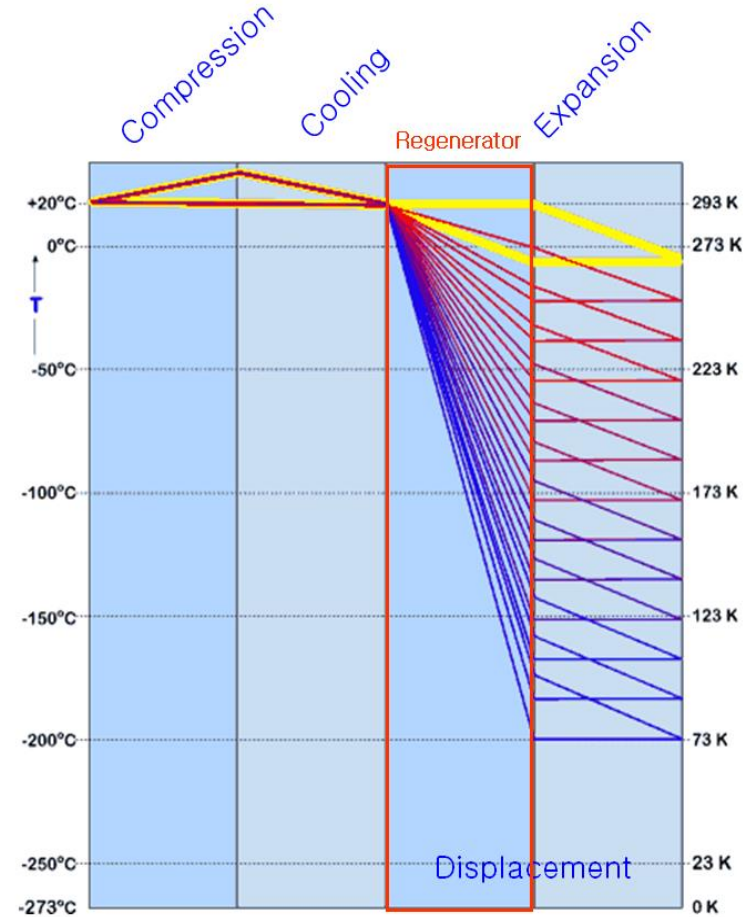
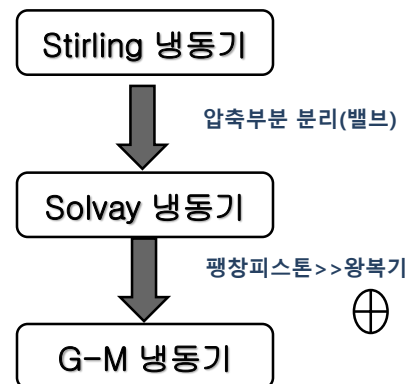
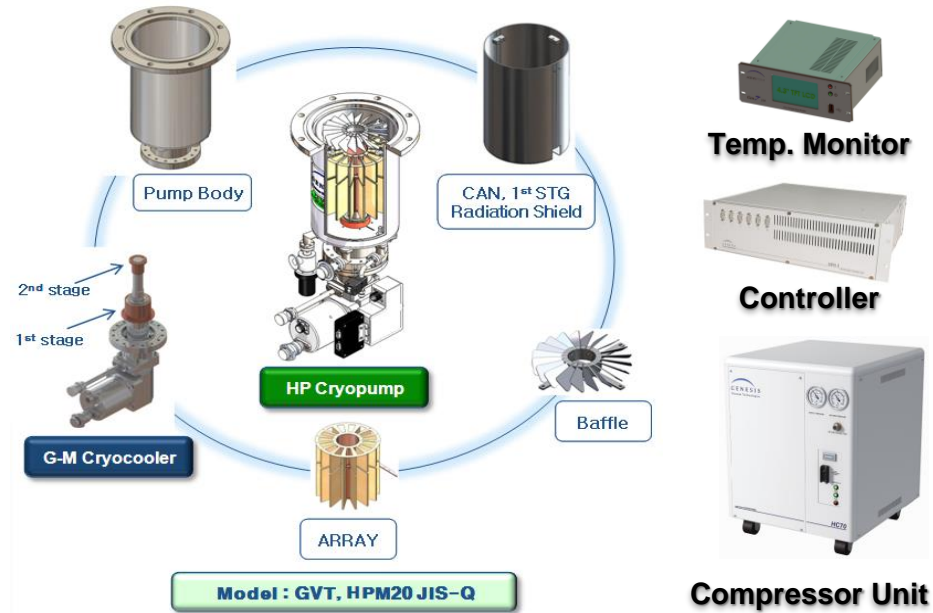


Fig. 4 The Heat Exchanging Principle of Regenerator in G-M Refrigerator

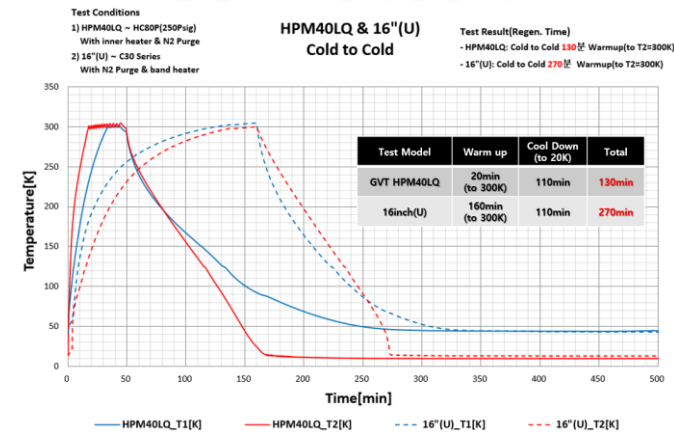
크라이오 펌프(Cryopump) 소개

Cryopump Line-Up

Type	Model	Pump Size
U-Type	ICP	200mm~450mm
	HPM	200mm~550mm
	HPS	450mm~650mm
L-Type	ICP	200mm~320mm
	HPM	200mm~400mm
	HPH	250mm , 320mm
	HPS	500mm , 650mm



표준형 vs 자동재생형 비교

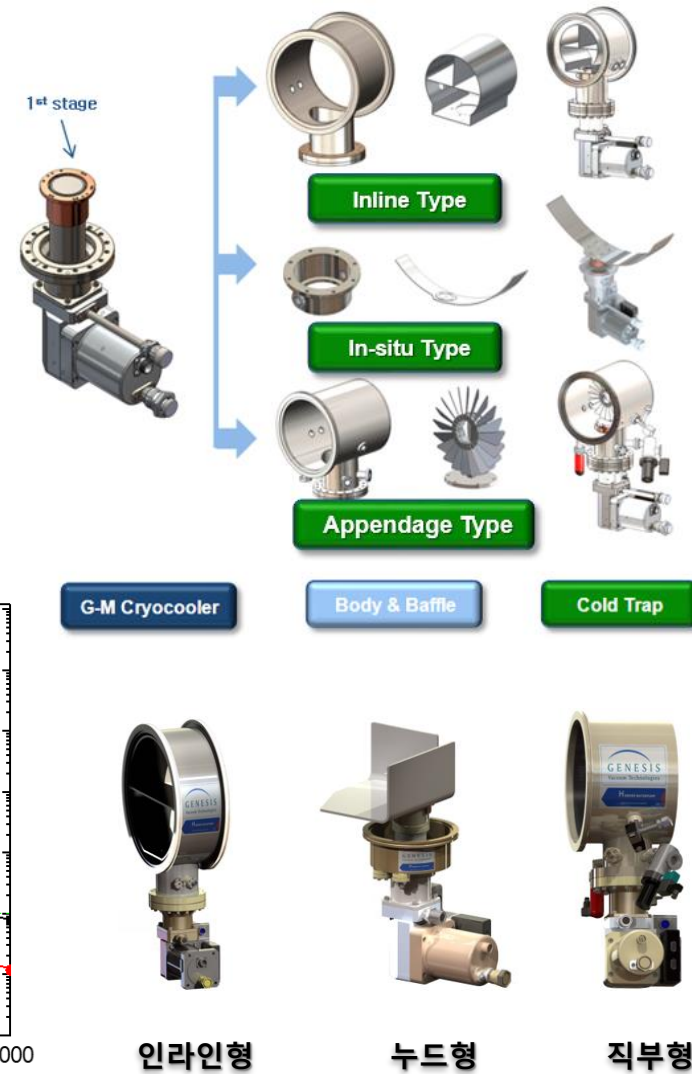
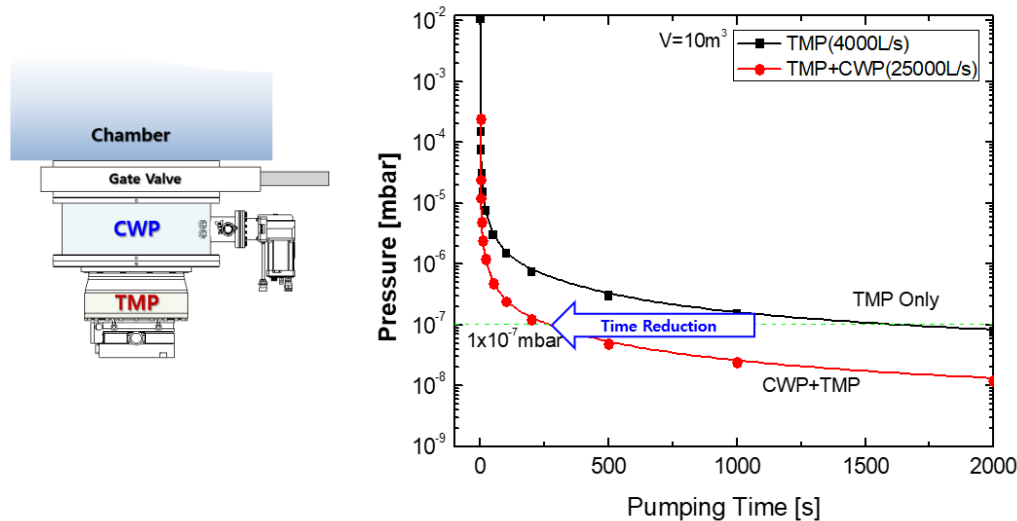


CWP(Cold Trap) 소개

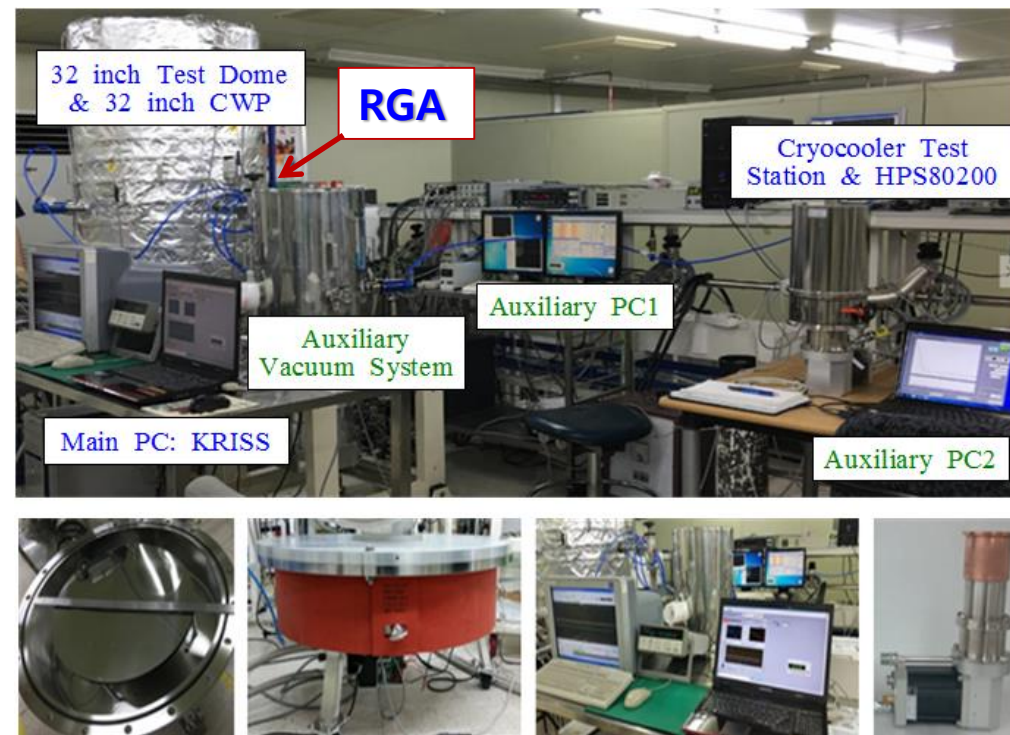
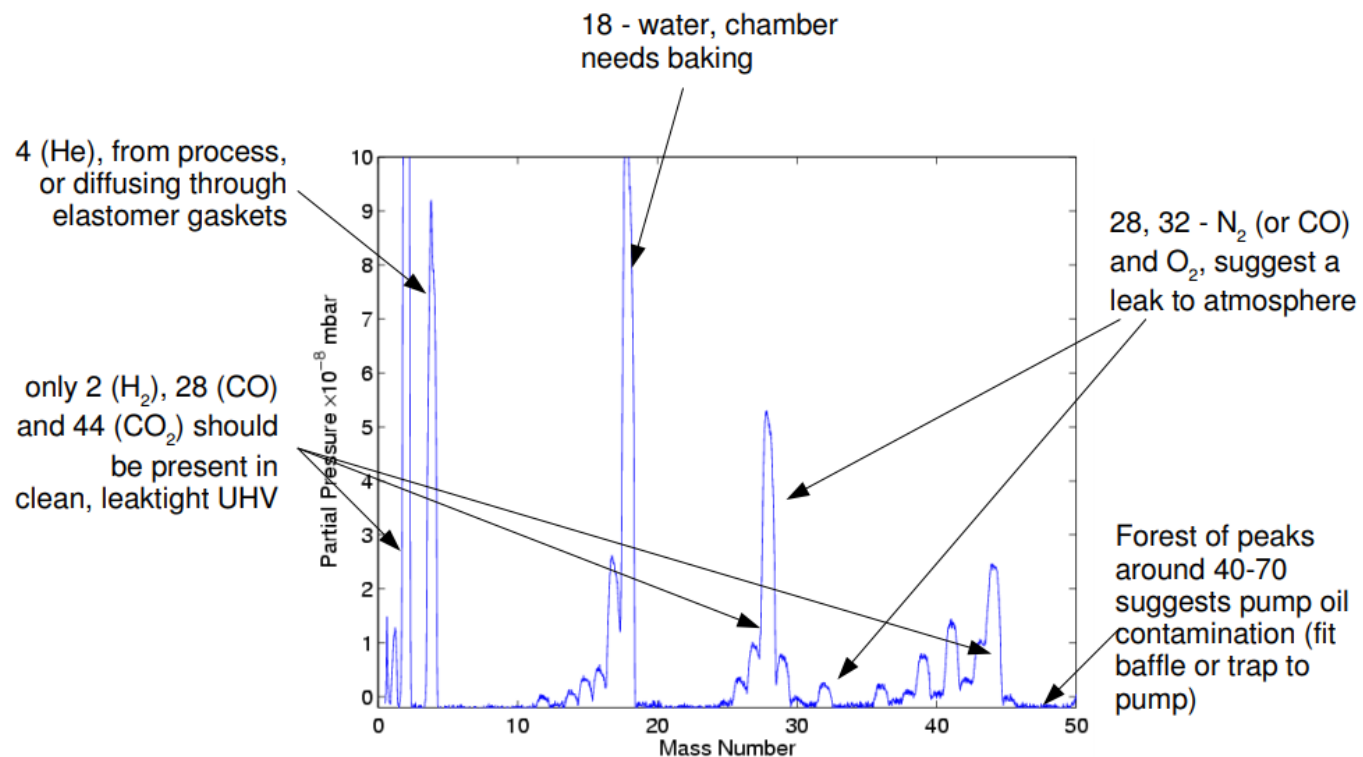
■ CWP Line-Up (Cryogenic Water Pump/Cold Trap)

Type	CWP Size
Inline	200mm ~ 500mm
Cold Plate	Order Made
Regen	200mm ~ 500mm

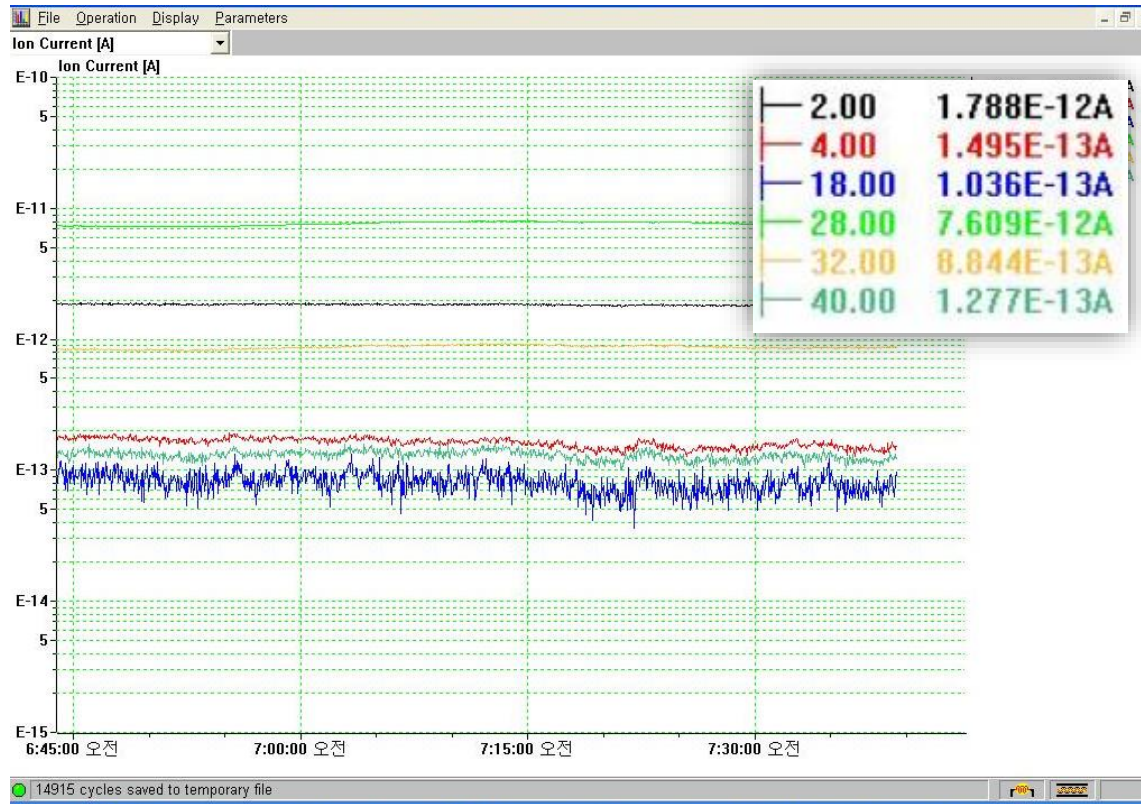
[CWP가 펌프다운에 미치는 영향]



RGA 분석: 각종 성능시험, 진공장비 시험운영 시 반드시 확인 필요



RGA 분석 예(1)



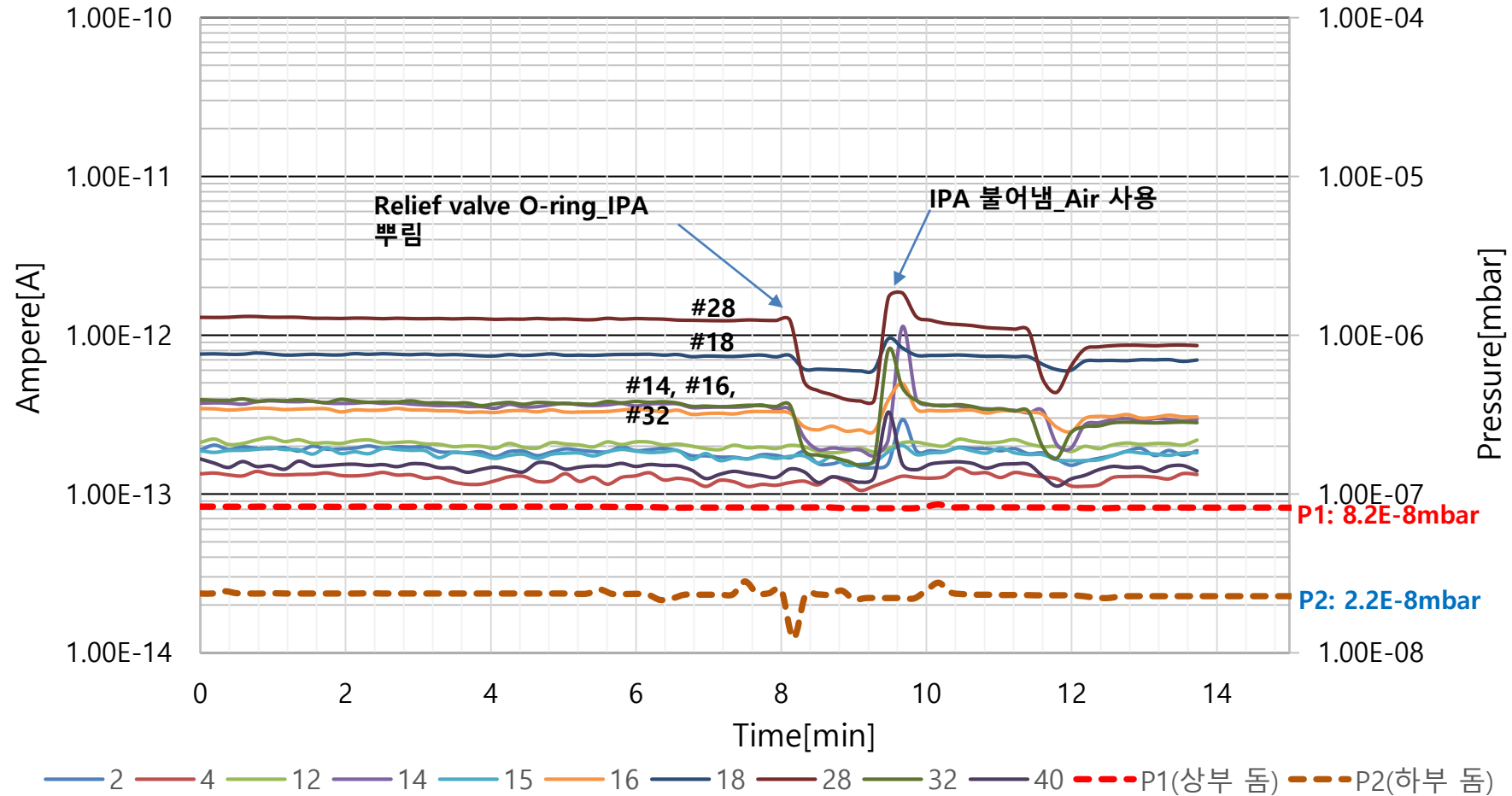
- (1) 최 상부에 질소(28), 그리고 산소(32)도 나타남: 누설이 있다는 의미
최종 점검결과: 스피드 돔 상부 용접 불량이었음.
- (2) 수분(18)이 가장 낮음: 챔버 베이킹 후에 테스트 실시함
- (3) 수소(2)가 높게 나타남: 표준 스피드 돔 재질 문제.
STS 재료에서 확산되어 나온 것.



RGA 분석 예(2)

더블돔을 활용한 고진공 영역 배기성능시험 중 누설 의심
(RGA 분석결과)

날짜: 2018.02.01



냉각수와 스케일(1)



YOUR PARTNER FOR THE BEST QUALITY

TEST REPORT

우 363883 충북 청원군 오창읍 양형리 685-1 충북테크노파크 101호 TEL (043) 211-6144 FAX (043) 211-6148

상식사번호 : TAC-001799 접수 일자 : 2011년 04월 28일
대 표 자 : 조광연 시험완료일자 : 2011년 05월 04일
업 체 명 : 지브이티(GVT) 주식회사
주 소 : 경기 평택시 칠곡동 577-4

시 료 명 : 스케일링(scale) 폐수

시험 결과			
시험항목	단위	시험구분	결과치
Ca	mg/L		2100
Mg	mg/L		5.39
SO ₄ ²⁻	mg/L		50.2
PO ₄ ³⁻	mg/L		12.8

참고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

시험인 : 박정애 Tel : 031-999-3172
기술책임자 : 이준희 E-mail : jh55@ktr.or.kr

2011년 05월 04일

KTR 한국화학융합시험연구원

Page : 1 of 1

전자문서본(Electronic Copy)

Scale을 2% 식초 수용액에 1주일간 녹인 용액

냉각수와 스케일(2)

부식이 일어나는 금속의 대표:철

철의 환원 전위: $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$ $E^0 = -0.44(\text{V})$ (1)

물 속에 녹아든 산소:

$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ $E^0 = +0.40(\text{V})$ (2)

이 환원 전위는 철의 환원전위보다 크기 때문에 철을 Fe^{2+} 으로 산화시킴.

$\text{Fe}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$ (3)

$\text{Fe}(\text{OH})_2$ 의 물질이 순수할 경우에는 백색이지만 공기에 의한 초기의 산화 때문에 통상 **녹색 혹은 암록색**

산화된 피막 표면의 바깥쪽으로 용존 산소의 접근에 의해 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 가 다음 반응과 같이 산화됨

$\text{Fe}(\text{OH})_2 + 1/2\text{H}_2\text{O} + 1/4\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$ (4)

$\text{Fe}(\text{OH})_3$: 오렌지색 또는 적갈색

산소가 충분하지 못할 경우:

$\text{Fe}(\text{OH})_2$ 는 Fe_2O_3 까지 산화되지 못하고 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 의 형태로 검은 녹이 됨.

※출처: 해안대수층내 철산화균 및 황환원균에 의한 펌프에서의 금속산화물 침작기작 및 제어방안 (인하대학교 환경공학과 성은혜 석사학위논문, 성은혜, 2008)



경청해 주셔서 감사합니다!



발표자: 이동주

연락처: djlee@gvt.kr / ettermoon@naver.com