

岩石의 力學的 性質

— 片麻石, 化岡石, 安山石 —

The dynamic characteristic of Rocks

김 주 범*

J. B. Kim

1. 머리말

岩石의 性質은 岩石이 이루어져 있는 鑛物의 性質과 그 結合狀態에 依하여 左右된다.

自然界에 나타나는 鑛物의 種類는 大端히 많으나 岩石을 만들고 있는 鑛物의 種類는 그리 많지 않으므로 岩石의 基本性質은 多樣하나 어느 範圍內에 있다. 또한 鑛物의 結合狀態는 地質的인 成因에 依하여 느슨한 것에서 부터 大端히 굳은 것까지 여러 가지이며 따라서 間隙狀態도 多樣하여 岩石의 強度도 그 範圍가 넓다고 하겠다.

2. 基本性質

岩石은 實質部分과 間隙으로 나눌 수 있으며 間隙은 一般的으로 空氣와 물이 여러가지 比率로 차 있다고 볼 수 있다. 普通 鑛物은 結晶構造속에 물이 있는 것은 없고 間隙에 空氣만 들어 있을때와 물이 있을 때가 있으며 岩石全體의 容積 V는 乾燥狀態에서나 吸水狀態에서는 一定한 것이 一般的이다. 그러나 鑛物粒子間的 結合력이 물과 鑛物과의 界面張力과 比較하여 問題가 될 수 있을 程度로 弱

한 것이면 間隙에 물이 들어감으로써 岩石全體의 容積이 커진다. 이것이 岩石의 吸水膨脹現象이다.

2.1 比重

岩石을 構成하는 實鑛物部分의 比重으로 一定重量이 될때까지 乾燥하였을 때의 重量과 이때의 容積과 같은 물 4°C 때의 重量의 比로 定義된다.

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad W_s = \gamma_s V_s$$

여기서

W_s : 岩石의 무게(g)

V_s : 岩石의 부피(cm^3)

γ_s : 岩石의 密度(g/cm^3)

γ_w : 물의 密度(g/cm^3)

岩石內의 間隙은 外部와 連結되어 있지 않는 것이 있으므로 G_s 의 測定은 岩石을 鑛物粒子까지 粉碎하여 피크노메타法으로 求하여야 한다.

2.2 間隙率

間隙率은 空隙率이라고 부르며 地質學에서는 구

* 남원건설엔지니어링 부사장

멍이나 틈새 까지를 포함하여 말한다.

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100(\%) \quad (e = \frac{V_v}{V_s})$$

岩石에서는 外部와 連結되지 않은 間隙도 많음으로 實測에서 求하여진 값을 것보기 間隙率이라 한다.

岩石의 여러가지 物性은 間隙속에 含有된 물의 量에 따라 달라진다. 이 水量을 含水率 또는 含水比라 한다.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100(\%)$$

여기서

W_w : 岩石에 含有되어 있는 물의 重量(g)

W_s : 岩石의 重量(g)

물로 飽和된 狀態의 含水率을 吸水率이라 한다 限定된 地域內的 同一種類의 岩石에 對하여서거나 均質岩石에 對하여서 間隙內에 吸水되는 물의 量은 風化的 指數가 된다는 生覺에서 吸水率을 變質指數(Index of alteration)라 부른다.

3. 彈性波速度

1829年頃 無限히 連續된 均質等方體 內部에서는 하나의 振動源에서 2種類의 波가 傳하여지는데 速度가 큰 쪽의 波는 波의 進行方向과 質點의 振動方向과 一致하고 速度가 작은 쪽의 波는 波의 進行方向에 對하여 質點의 振動方向이 直角이 된다는 것을 S.D. Poisson이 發見하였는데 前者를 縱波(longitudinal wave), 後者를 橫波(transverse wave)라 한다.

1849年 G.G. Stokes가 縱波는 모양의 變化없이 容積變化가 傳하는 壓縮波 또는 疎密波이고 橫波는 容積變化를 同伴하지 않는 모양의 變化가 傳하는 波, 비틀림 또는 剪斷波라는 것을 理論적으로 證明하였다.

$$\text{縱波 } V_l = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

$$\text{橫波 } V_t = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\nu)}}$$

여기서

E : 彈性係數($\frac{E}{1000g}$ g : 重力의 加速度)

ν : 포아슨比

ρ : 岩石의 密度(h/cm³)

4. 力學的性質

岩石은 試料採取 및 試驗條件에 依하여 力學的性質이 크게 變한다.

岩石의 強度를 나타낼때는 試驗條件을 一定하게 하여야 한다. 그런데 岩石에서는 機關에 따라 또는 나라에 따라 다르나 漸次 국제적인 기준을 만들어 그에 따라 시행중이다.

岩石의 強度는 岩石의 產出位置, 成因에 따라 複雜하여 一般的으로 論하기는 어렵다. 그것은 岩石의 強度에는 生成過程에 基因하는 本質的인 差異때문에 1個의 試驗片의 強度의 精度가 利用하는데 있어서 어느 程度의 뜻을 가지는지가 問題가 된다.

4.1 壓縮強度

一軸壓縮試驗에서 破斷될때 까지의 最大應力度를 말한다. 卽 剪斷破壞에 依하여 試驗片이 破斷될때의 軸方向 壓縮強度이다. 岩石의 組織, 構造에 異方性이 있다.

一般的으로 이들 方向性에 直角으로 壓縮했을 경우가 平行으로 壓縮하였을 때보다 크다.

4.2 引張強度

引張試驗에서 얻어진 最大應力度를 引張強度라

하나 試驗實施의 技術上에서 壓裂試驗 其他 原理的으로 引張應力에 依하여 試驗片을 破斷하는 方法에 依하여 引張強度의 값이 달라진다.

4.3 剪斷強度

三軸試驗에서 얻어진 破壞應力圓의 包絡線이 縱軸과 만나는 길이로 나타낸다.

包絡線은 σ 가 적은 部分에서 內部摩擦角 ϕ 가 크게 변하고 σ 값이 增加함에 따라 ϕ 값은 적어지다가 一定한 값으로 되는데 이 값 $\tan\phi$ 를 靜摩擦係數라고 한다.

5. 岩石試驗值 分析結果

5.1 片麻岩

全國에 걸쳐 14個 地點에서 모은 資料를 分析한 바 다음과 같다.

5.1.1 壓縮強度와 引張強度

壓縮強度値는 200~1600kg/cm² 사이에 分布하며 引張強度値는 50~170kg/cm² 사이에 分布하고 이들 사이에는 어떤 關係를 나타내지 않는다. (그림 1)

5.1.2 壓縮強度와 粘着力

壓縮強度와 粘着力 사이에는 大略 $c=75+0.125\sigma_c$ 의 關係가 있음을 보여준다.(그림 2)

5.1.3 壓縮強度와 彈性係數

이들 사이에서는 어떤 關係는 나타나지 않고 다만 壓縮強度의 크기에 關係없이 $E=1 \times 10^5 \sim 8 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 의 넓은 값의 範圍에 있다.(그림 3)

5.1.4 彈性係數와 彈性波速度

彈性係數値 $E=2 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 以上에서는 彈性波速度値 $P=4 \times 10^3 \sim 6 \times 10^3 \text{m/s}$ 의 範圍에 있음을 보인다.(그림 4)

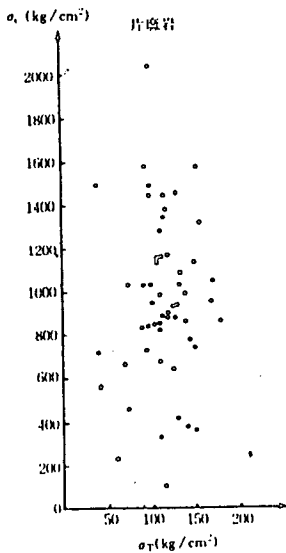


그림 1

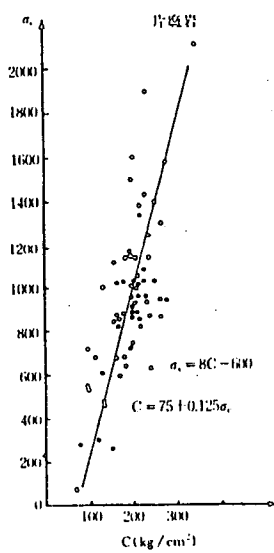


그림 2

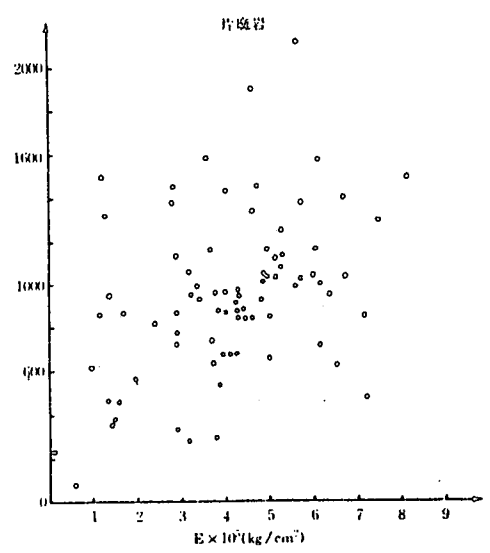


그림 3

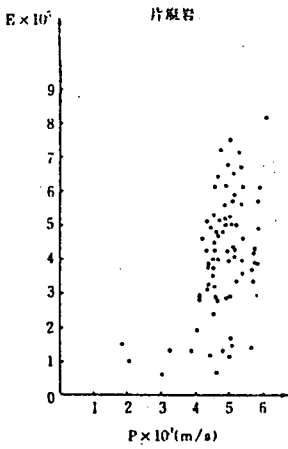


그림 4

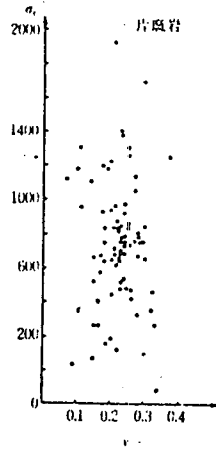


그림 5

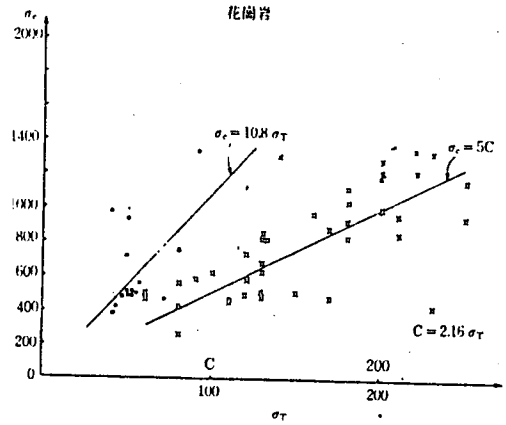


그림 6

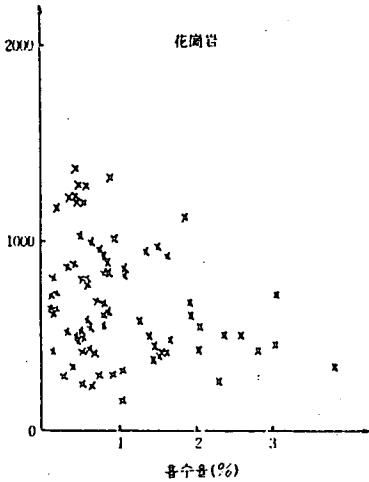


그림 7

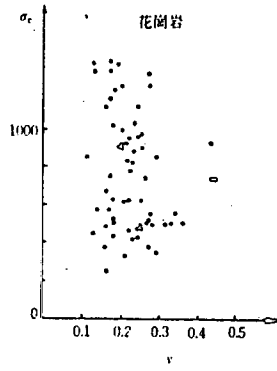


그림 8

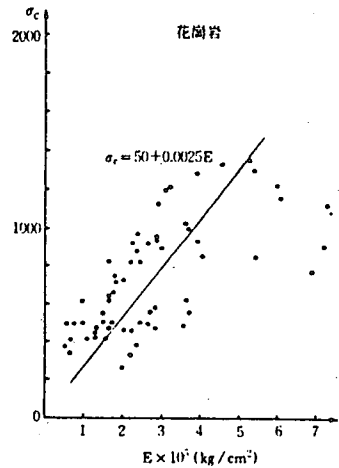


그림 9

5.1.5 壓縮強度와 포아슨비

이들 사이에는 壓縮強度值에 크기에 關係없이 포아슨비 $\nu = 0.15 \sim 0.3$ 사이에 分布하고 있다.(그림 5)

5.2 花崗岩

全國에 걸쳐 15個所에서 모은 資料에 對하여 그 結果를 살펴보면 다음과 같다.

5.2.1 壓縮強度와 引張強度 및 粘着力

壓縮強度와 引張強度와의 사이에는 大略 $\sigma_c = 10.8\sigma_T$ 의 直線關係를 나타내며 壓縮強度와 粘着力 사이에는 $\sigma_c = 5C$ ($C = \sigma_c/5$)의 關係를 보인다.(그림 6)

5.2.2 壓縮強度와 吸水率

壓縮強度值가 낮은 側에서 吸水率이 크게 나타나기는 하나 어떤 關係는 찾아보기 어렵고 強度가 커

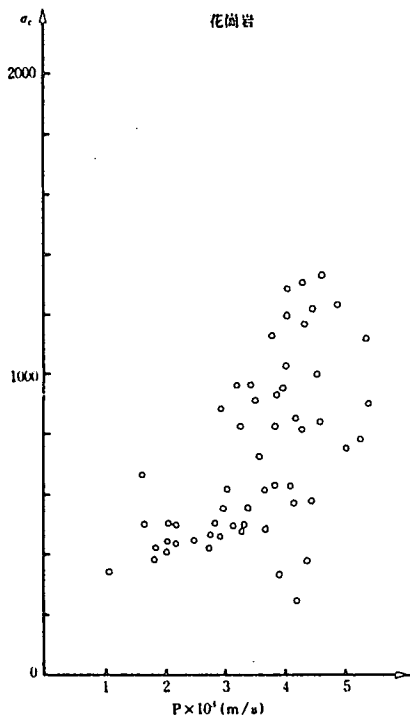


그림 10

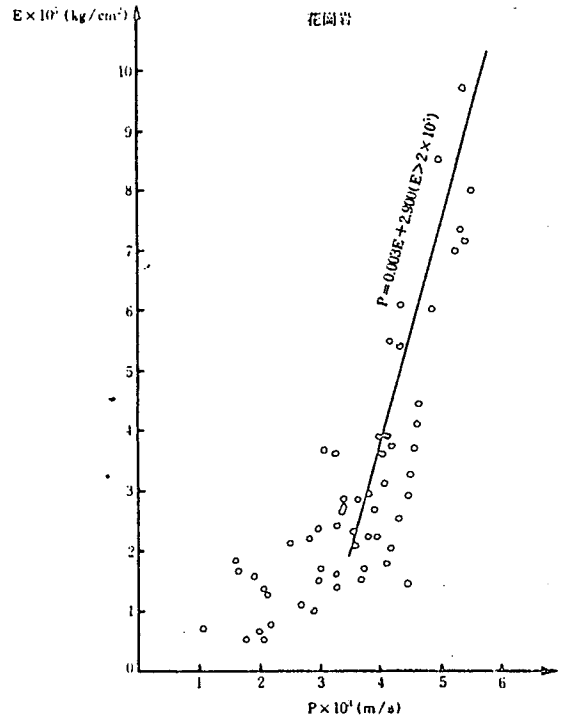


그림 11

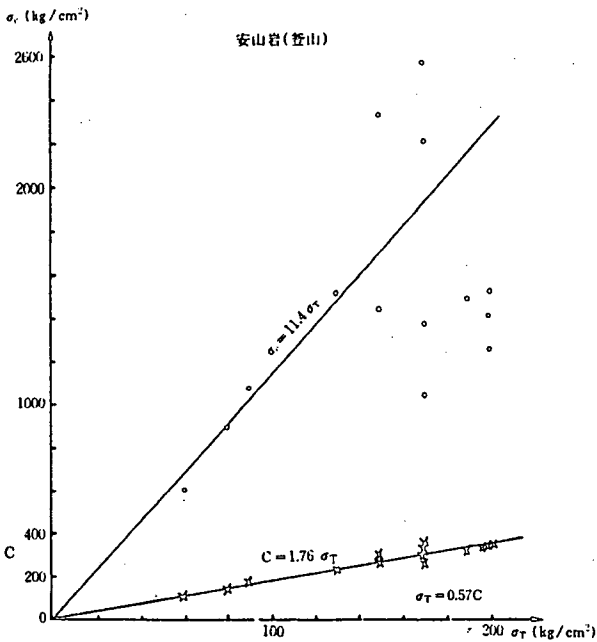


그림 12

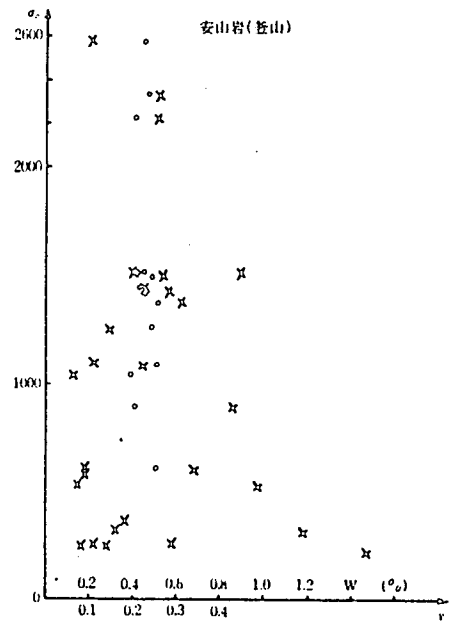


그림 13

지면 吸水率은 0.5% 내외를 보인다.(그림 7)

5.2.3 壓縮強度와 포아슨비

포아슨비는 壓縮強度의 크기에 關係없이 $\nu=0.15\sim0.3$ 사이에 分布한다.(그림 8)

5.2.4 彈性係數와 壓縮強度

이들 사이에는 $\sigma_c=50+0.0025E$ 의 關係를 보인다.(그림 9)

5.2.5 壓縮強度와 彈性波速度

$\sigma_c=400\sim600\text{kg/cm}^2$ 사이에서는 E값의 範圍는 넓으나 $\sigma_c=600\text{kg/cm}^2$ 이상에서는 E의 값의 범위는 좁고 $E=3\times 10^5\sim5\times 10^5\text{m/s}$ 사이에 있다.

5.2.5 彈性係數와 彈性波速度

이들 사이에는 $E=2\times 10^5\text{kg/cm}^2$ 이하에서는 P값의 分布가 넓으며 이 값 이상에서는 $P=0.003E+2900$ 의 關係가 대략 성립된다.(그림 11)

5.3 安山岩

安山岩은 주로 釜山地域에 分布하며 이곳에서 얻

은 자료의 分析結果는 다음과 같다.

5.3.1 壓縮強度와 引張強度

이들 사이에는 $\sigma_c=11.4\sigma_T$ 또는 $C=1.76\sigma_T$ 의 關係가 이루어 짐을 알 수가 있다.

5.3.2 壓縮強度와 포아슨비

壓縮強度의 크기에 關係없이 $\nu=0.2\sim0.3$ 사이에 分布하며 吸水率은 強度가 낮은 側에서 넓게 分布하고 強度가 높은 側에서는 0.6% 이하를 보인다.

5.3.3 壓縮強度와 彈性波速度

壓縮強度值 $\sigma_c=900\text{kg/cm}^2$ 이상에서는 強度值 增加와는 크게 關係없이 $P=5\times 1^3\sim6.5\times 10^3\text{m/s}$ 사이에 分布한다.(그림 14)

5.3.4 壓縮強度와 剪斷強度

剪斷強度 $\tau=100+\sigma\tan 50^\circ\sim350+\sigma\tan 60^\circ$ 사이에 있으며 大略 $\tau=250+\sigma\tan 50^\circ$ 가 된다.(그림 15)

6. 結果의 綜合

표 1. 岩石號 諸試驗值와의 關係

岩石名	$\sigma_c\sim\sigma_T$	$\sigma_c\sim C$	ν	$\sigma_c\sim E$	$E\sim P$	$P\sim S$
片麻岩	$\sigma_c=200\sim1600$ $\sigma_T=50\sim170$	$C=75+0.125\sigma_c$ $\sigma_c=8C-600$	0.15~0.3		$P=4\sim6\times 10^3$ ($E>2\times 10^5$)	$P=1.9S$
花崗岩	$\sigma_c=10.8\sigma_T$	$\sigma_c=5C$	0.15~0.3	$\sigma_c=50+0.0025E$	$P=0.003E+2900$ ($E>2\times 10^5$)	$P=1.85S$
安山岩	$\sigma_c=11.4\sigma_T$		0.2~0.3			$P=2S$

※ 이 글에 사용된 資料는 技術審議를 하기 爲하여 提供되었던 것들을 利用하였음을 첨기하는 바이다.

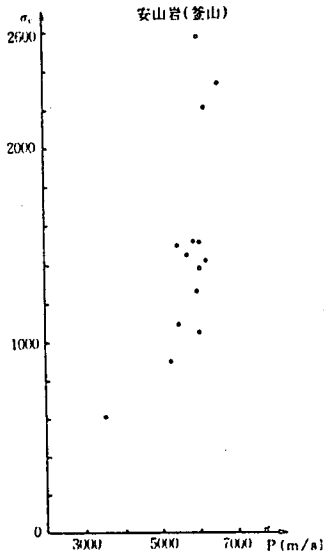


그림 14

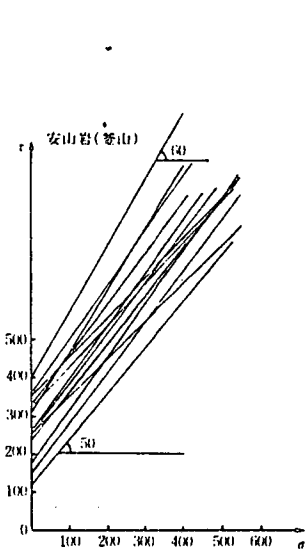


그림 15

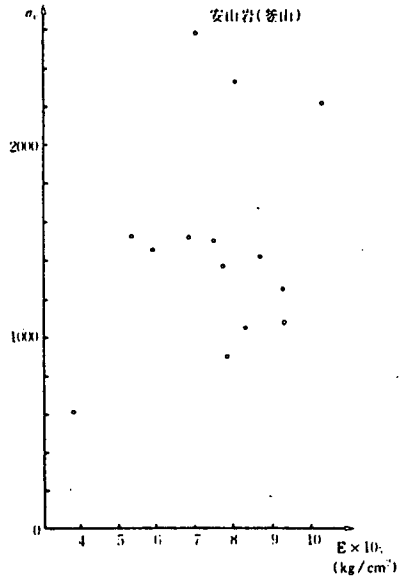


그림 16

岩石名	產地	比重	n	w	σ _c (kg/cm ²)	σ _T (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	φ	δ	E × 10 ⁵ (kg/cm ²)	탄성파속도 (m/s)		P/S
											P	S	
片麻岩	경북 영풍군 풍기읍 수철동	2.631		1381	118	213	54	0.103	2.79	4653	2717	1.71	
"	"	2.718		1157	116	205	48	0.114	3.63	5403	2617	2.06	
"	충북 단양군 대강면 용부원리	2.683		718	39	98	54	0.149	2.86	4098	2192	1.87	
"	"	2.663		1135	148	236	42	0.176	2.92	1093	2261	1.81	
"	"	2.43		470				0.15	1.33	3260	1630	2.0	
"	"	2.70		821	98								
"	"	2.70		926	125								
"	"	2.705		98	116	67	44	0.337	0.60	3067	1612	1.90	
"	"	2.669		560	42	94	46	0.323	1.96	4077	1830	2.23	
"	"	2.70		680		110	52	0.26	4.10	5130	2420	2.12	
"	영풍군 봉현면 斗山里	2.73		1300		270	41	0.14	7.50	5070	2470	2.05	
"	"	2.69		280		80	55	0.15	3.15	4350	2580	1.69	
"	서울 여의도~안양	2.69	0.45	740		200	48	0.24	3.7	5670	2640	2.15	
"	"	2.67	0.54	1380				0.19	5.7	5850	2490	2.35	
"	"	2.70	0.32	880		170	43	0.24	3.9	5760	2330	2.47	
"	"	2.71	0.81	680				0.23	4.2	5720	2570	2.22	
"	"	2.61	0.44	960		210	42	0.23	3.8	5810	2120	2.74	

岩石名	產地	比重	n	w	σ_c (kg/cm ²)	σ_T (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ	δ	E×10 ⁹ (kg/cm ²)	탄성파속도(m/s)		P/S
											P	S	
片麻岩	서울 여의도~안양	2.62	0.46		930				0.24	3.4	5700	1930	2.95
"	"	2.64	0.43		1010		200	48	0.22	4.9	5850	2140	2.73
"	"	2.63	0.49		970				0.23	4.3	5780	2090	2.76
"	"	2.69	1.09		1030		180	47	0.18	5.1	4340	2320	1.87
"	"	2.67	2.28		840				0.18	4.3	4570	2340	1.95
"	파주군 교하면 문발리												
"	"	2.79		0.22	240								
"	"	2.78		0.25	408								
"	"	2.75		0.32	472								
"	"	2.70		0.24	440								
"	"	2.77		0.11	570								
"	"	2.76		0.43	311								
"	"	2.72		0.22	608								
"	"	2.79		0.25	469								
"	"	2.79		0.54	263								
"	"	2.74		0.14	338								
"	"	2.77		0.49	254								
"	"	2.78		0.17	370								
"	"	2.79		0.11	883								
"	"	2.78		0.38	415								
"	"	2.75		0.58	225								
"	"	2.79		0.28	616								
"	"	2.71		0.27	617								
"	"	2.73		0.10	1058								
"	"	2.75		0.09	426								
"	"	2.75		0.04	791								
"	"	2.78		0.08	837								
"	"	2.77		0.45	579								
"	"	2.74		0.22	448								
"	"	2.78		0.05	974								
"	"	2.79		0.18	432								
"	"	2.78		0.12	794								
"	"	2.80		0.07	449								

岩石名	產地	比重	n	w	σ_c (kg/cm ²)	σ_T (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ	δ	E×10 ⁹ (kg/cm ²)	탄성파속도(m/s)		P/S
											P	S	
片麻岩	성동구 중곡동	2.74		0.17	1050		210	45	0.25	3.17	4550	2550	1.78
"	"	2.73		0.70	485		130	40	0.16	7.22	4800	2650	1.81
"	"	2.71		0.19	1000		130	40	0.28	6.14	4600	3050	1.51
"	"	2.75		0.18	1400		250	39	0.18	6.69	5350	3350	1.60
"	"	2.75		0.39	1125		160	40	0.24	5.16	4850	2850	1.70
"	"	2.70		0.52	530		100	51	0.28	3.89	5000	2750	1.82
"	"	2.81		0.53	850		170	53	0.30	7.16	5300	2800	1.90
"	"	2.70		0.16	625		240	42	0.26	6.49	5150	2950	1.74
"	"	2.76		0.59	1250		240	42	0.27	5.31	4550	2550	1.78
"	"	2.57		1.66	610		130	51	0.16	0.99	2050	1300	1.57
"	"	2.72		0.54	1900		230	33	0.30	4.60	4200	2250	1.79
"	성남시 산성동	2.83			960		230	43	0.29	6.41	4680	2400	1.95
"	"	2.75			300		120	44	0.30	3.75	4500	2200	2.04
"	"	2.51			1040		250	47	0.30	5.92	5200	3000	1.73
"	"	2.78			960		230	41	0.29	4.02	4500	2400	1.87
"	"	2.77			870		200	36	0.28	2.89	4900	2700	1.81
"	"	2.72			950		280	38	0.27	3.29	4400	2500	1.76
"	관악구 신림동 문성골길	2.74			950	170	270	38	0.18	1.36	4820	2750	1.75
"	"	2.74			870	140	235	25	0.17	1.70	5060	2770	1.82
"	"	2.76			860	180	260	49	0.15	1.15	5080	2760	1.84
"	"	2.66			230	60			0.09	0.72	4670	2520	1.85
"	"	2.79			360	150			0.19	1.44	5640	2940	1.92
"	"	2.73			990	140			0.28	3.36	5240	2860	1.83
"	"	2.74			660	70			0.32	5.02	5200	2890	1.80
"	"	2.68			380	140			0.20	1.52	5090	2800	1.82
"	군포읍 부곡리 반월터널	2.704			1280	110					5460	3690	1.48
"	"	2.711			740	150					4900	3390	1.44
"	"	2.731			410	130					4330	-	-
"	"	2.724			1050	170					5680	3590	1.58
"	"	2.733			330	110			0.22	2.9	4975	-	-
"	"				780	145			0.17	2.91	4610	3250	1.42
"	군포읍 부곡리				1500	40			0.11	1.20	4420	3070	1.44
"	"				1320	155			0.07	1.31	3895	2950	1.32

岩石名	產地	比重	n	w	σ_c (kg/cm ²)	σ_T (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ	δ	E × 10 ⁵ (kg/cm ²)	탄성파속도 (m/s)		P/S
											P	S	
화강암 片麻岩	남산 1호터널	2.725		0.28	1450	130			0.25	2.84			
"	"	2.566		0.82	1450	100			0.37	4.69			
"	강원도 춘성군 동면 감정 느릿재	2.75			460	75	135	42	0.33	1.54	1850	360	1.36
"	"	2.76			1500	100	200	56	0.25	8.15	690	3400	1.79
"	안양시 명확 배수장	2.75			260		150	35					
"	"	2.77			590		170	35					
"	"	2.69			680		180	36					
"	강남구 대치동 1017~2	2.70			1700-2700						6050	2500	2.42
"	"	2.36			480-700	60					2200	1000	2.20
"	"	2.51			230-350	45					2700	1200	2.25
"	성수동~압구정동	2.75			850	107	163	47	0.22	4.49	4570	2416	1.89
"	"	2.73			873	111	200	46	0.24	3.93	4406	2362	1.86
"	"	2.73			1343	114	220	46	0.27	4.65	4686	2713	1.73
"	"	2.74			1083	137	227	46	0.22	5.24	5013	2620	1.91
"	"	2.76			950	102	203	47	0.24	4.3	5136	2930	1.75
"	"	2.70			907	119	205	44	0.21	4.23	4313	2623	1.64
"	"	2.70			1173	120	197	51	0.24	5.01	4900	2600	1.88
"	"	2.72			673	110	160	48	0.25	4.06	4600	2543	1.81
"	"	2.73			880	127	205	53	0.23	4.34	5103	3113	1.64
"	"	2.75			637	123	183	49	0.20	3.74	4393	2456	1.79
"	"	2.67			847	107	213	52	0.20	4.94	4466	2373	1.88
"	"	2.74			1037	100	203	52	0.23	6.81	4936	2440	2.02
"	"	2.76			883	123	177	53	0.21	4.27	4956	2756	1.80
"	"	2.75			1143	107	183	51	0.20	5.18	4806	2753	1.74
"	"	2.70			1030	93	203	54	0.21	4.99	5163	2990	1.73
"	"	2.74			1583	97	207	52	0.23	6.09	5400	3020	1.79
"	"	2.76			1163	110	193	53	0.21	6.05	5953	3130	1.90
"	"	2.68			1433	117	230	52	0.20	3.98	5410	2746	1.97
"	"	2.61			2120	100	350	58	0.21	5.67	5326	2786	1.91
"	"	2.66			840	93	170	46	0.22	4.60	5460	2820	1.94
"	"	2.63			990	109	203	48	0.24	5.57	4926	2786	1.77
"	"	2.77			930	125	207	42	0.25	4.80	4800	2686	1.79
"	"	2.67			1017	133	222	43	0.22	4.87	4640	2783	1.67

岩石名	產地	比重	n	w	σ_c (kg/cm ²)	σ_T (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ	δ	E × 10 ⁹ (kg/cm ²)	탄성파속도(m/s)		P/S
											P	S	
과강암질 片麻岩	성수동~압구정동	2.78			1017	74	173	46	0.25	5.70	5103	2816	1.81
"	"	2.73			723	97	193	46	0.23	6.17	4926	2713	1.81
"	"	2.76			817	110	220	45	0.22	2.42	4580	2636	1.74
"	"	2.71			1580	153	277	49	0.23	3.53	4513	2583	1.75/83
화강片麻岩	전남 승주군 별양면 대룡리				617								A _r =1.88
"	"				108								
"	"				554								
"	"				370								
"	"				421								
"	"				740								
"	"				708								
花崗岩	진해시 용원동 YBA-1	2.72		0.65	267								
"	" 2	2.68		0.53	253								
"	" 3	2.60		0.993	300								
"	" 4	2.79		0.33	286								
"	" 7	2.57		0.40	335								
"	" 8	2.73		0.15	609								
"	" 10	2.53		0.56	418								
"	" 14	2.58		1.04	161								
"	" 15	2.63		1.46	440								
"	" 16	2.62		1.48	433								
"	" 17	2.54		1.56	412								
"	" 18	2.55		1.53	414								
"	" 19	2.54		1.55	409								
"	" 20	2.53		1.52	415								
"	" 21	2.56		1.48	416								
"	" 22	2.58		0.47	498								
"	" 23	2.59		0.49	502								
"	" 24	2.58		0.50	486								
"	" 25	2.65		0.47	496								
"	" 26	2.60		0.74	296								
黑雲母花崗岩	부산시 사상	2.58		0.63	541								
"	"	2.52		0.57	1208								

岩石名	產地	比重	n	w	σ_c (kg/cm ²)	σ_T (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ	δ	$E \times 10^8$ (kg/cm ²)	탄성파속도(m/s)		P/S
											P	S	
黑雲母花崗岩	부산시 사상	2.55		0.55	786								
"	"	2.54		0.62	421								
"	"	2.49		0.68	412								
"	주례~가야 D _r 7	2.59		0.74	681								
"	" 11	2.60		0.60	469								
"	" 13	2.61		0.47	1378								
"	" D _r =28 ^m	2.55		0.89	1330	90	230	51	0.19	4.54	4630	2310	2.0
"	" 31	2.58		0.94	1022							1950	
"	" 27	2.58		1.52	980	40	160	51	0.25	2.39	3230	1690	1.66
"	" 20	2.46		1.64	470	70	110	39	0.25	1.63	2980		1.76
"	주례~洞~가야-田浦	2.59		0.44	870								
"	"	2.58		0.51	790								
서울花崗岩	군자동 중량천변	2.59			1350		220	54	0.17	5.31			
"	"	2.64			620		100	55	0.25	0.98			
巨斑花崗岩	臨河面 鞞川洞	2.663		0.14	707								
"	"	2.652		0.16	728								
"	"	2.648		0.13	617								
"	"	2.641		0.15	405								
"	"	2.648		0.14	638								
"	"	2.643		0.15	800								
"	臨河面 思義洞	2.67		0.37	496								
"	"	2.62		0.80	665								
"	"	2.63		0.81	552							2075	
서울花崗岩	노원구 상계동	2.50		3.05	735		1200	43	0.26	2.05	3550	1080	1.71
"	"	2.41		4.36	475				0.24	2.05	2505	2050	2.32
"	"	2.56		1.85	1125		180	42	0.16	2.96	3800	1155	1.85
"	"	2.49		3.04	450				0.13	1.31	2085	2150	1.80
"	"	2.58		1.39	380				0.16	2.38	4400	1500	2.05
"	"	2.57		1.92	615				0.18	3.64	3050	2050	2.03
"	"	2.62		1.04	850		210	39	0.11	5.47	4200	1900	2.05
"	"	2.57		1.42	575		90	42	0.14	3.71	4150	1775	2.18
"	"	2.57		0.85	825		130	44	0.23	2.22	3850	2100	2.17
"	"	2.58		0.80	625		130	44	0.22	1.76	4100		1.95

岩石名	產地	比重	n	w	σ_c (kg/cm ²)	σ_T (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ	δ	E×10 ⁵ (kg/cm ²)	탄성파속도(m/s)		P/S
											P	S	
서울화강암	노원구 상계동	2.51		3.82	355				0.29	0.65	1050	785	1.34
"	"	2.60		0.84	625				0.21	1.64	3750	2350	1.59
"	"	2.59		0.79	920		180	44	0.20	2.67	3900	2600	1.5
"	"	2.55		2.58	500		130	45	0.27	1.72	1650	1050	1.57
"	"	2.55		1.93	670		130	45	0.16	1.78	1600	1100	1.45
"	"	2.62		0.41	1225		220	36	0.27	3.23	4500	2150	2.10
"	"	2.59		0.78	825		130	44	0.18	2.48	4300	2550	1.68
"	"	2.59		1.05	830		180	45	0.21	1.59	3250	2050	1.58
"	"	2.59		0.86	880		170	45	0.23	2.35	2950	1650	1.78
"	"	2.59		0.45	1200		200	38	0.18	3.09	4050	2200	1.84
"	"	2.59		1.97	430				0.18	1.32	2050	1300	1.57
"	"	2.61		0.49	1035		180	39	0.23	3.60	4050	2350	1.72
"	"	2.59		1.05	335				0.21	2.22	3890	2050	1.89
"	"	2.62		0.42	1225		200	33	0.20	6.03	4850	2150	2.25
"	"	2.53		2.29	260		80	44	0.16	2.01	4150	2600	1.60
"	"	2.60		0.76	960		210	48	0.24	2.85	3400	1850	1.83
"	"	2.55		1.39	490		120	45	0.16	2.83	3625	2190	1.65
"	"	2.53		2.06	550				0.28	2.76	3400	1850	1.84
"	"	2.61		0.50	1300		140	25	0.13	5.42	4300	2200	1.95
"	"	2.53		2.87	425		230	44	0.24	1.55	1900	1100	1.73
"	"	2.74		0.34	855		130	40	0.29	4.09	4600	2100	2.2
"	"	2.84		0.22	1175				0.17	6.09	4350	2400	1.87
"	"	2.61		0.61	580		120	51	0.17	2.85	4450	2250	1.98
"	"	2.55		1.35	950		250	52	0.22	3.90	4000	2200	1.82
"	"	2.54		2.37	495		130	41	0.18	2.65	3350	1850	1.81
"	"	2.58		0.64	1000		200	49	0.20	3.68	4550	2850	1.60
"	"	2.60		0.57	1290		200	44	0.27	3.90	4050	2200	1.84
"	"	2.54		1.63	925				0.21	2.30	3550	1950	1.82
흑운모화강암	果川市 南太嶺	2.58			1130-1630	85-112	210-240	49-56	0.12-0.16	3.70-6.0			
"	"	2.59			1110-1540	90-130	17.80-260	32-54	0.16-0.21	5.3-6.9			
"	"	2.59			1720-1890	85-96	220-230	55-57	0.14-0.19	4.8-6.6			
"	九里市 K-1	2.64			900				0.2	3.0			
"	서울 新堂洞~馬場洞				505	49	60	46	0.27	0.54	2078	1240	1.67

岩石名	產地	比重	n	w	σ_c (kg/cm ²)	σ_T (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ	δ	$E \times 10^5$ (kg/cm ²)	탄성파속도(m/s)		P/S
											P	S	
흑운모화강암	서울 新堂洞 ~ 馬場洞				560	57	80	51	0.34	1.48	2995	1850	1.62
"	"				480	47	60	40	0.25	1.35	3250	1745	1.86
花崗岩	서울 신당동 ~ 마장동				495	50			0.31	0.97	2875	1045	2.75
"	"				510	52			0.36	1.50	3668	2080	1.76
"	서울 합정동 중계 pump장	2.73			900				0.19	7.18	5400	2840	1.90
"	"	2.75			780				0.22	6.94	5250	2470	2.12
"	"	2.68			750				0.17	8.50	5000	2740	1.82
"	"	2.68			1300				0.17	9.70	5340	2640	2.02
"	"	2.75			1120				0.24	7.30	5360	2770	1.93
"	"	2.75			900				0.25	8.00	5490	2600	2.11
"	양주 ~ 당인리				1173		250	45					
"	"				470		170	42					
"	휘경동로타리 ~ 외대앞				460				0.22	2.21	2860	1640	1.75
"	"				420		80	44	0.23	1.09	2700	1520	1.77
"	성동 ~ 마장				490	51			0.28	3.57	3250	1920	1.69
"	"				500	53	150	38	0.33	0.75	2178	1390	1.56
"	"				380	41			0.27	0.52	1790	890	2.01
"	"				420	43			0.21	0.65	2028	1045	1.94/58
"	남산 1호터널				502				0.18	2.5(lab) 6.7(l)			
"	"	2.557		0.98	930	50			0.43	3.96			
"	"	2.597		0.48	720	50			0.43	1.85			
"	"	2.575		0.66	750	80			0.44	1.81			
"	서울 목정동 목정공원	2.57			120								
"	"	2.50			144								
微晶質화강암	전남보성군봉내면 일봉리				1061								
"	"				641								
"	"				987								
"	"				158								
安山岩	진해시 용원동 YBB-2	2.70		0.33	326								
"	"	2.72		1.18	326								
"	"	2.77		0.28	246								
"	"	2.64		0.58	270								

岩石名	產地	比重	n	w	σ_c (kg/cm ²)	σ_r (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ	δ	E×10 ⁵ (kg/cm ²)	탄성파속도(m/s)		P/S
											P	S	
安山岩	진해시 용원동 YBB-2	2.68		1.47	215								
"	"	2.78		0.22	265								
"	"	2.77		0.18	593								
"	"	2.83		0.22	1102								
"	"	2.74		0.15	537								
"	"	2.74		0.19	589								
"	"	2.75		0.36	360								
"	"	2.76		0.17	255								
"	부산시 堂甘二洞 注油所	2.77		0.97	530								
"	西面로타리	2.44		2.04	200								
"	부산시 괴정동~서대신동	2.78		0.61	1380	170	330	47	0.25	7.70	6010	3390	1.77
"	"	2.78		0.53	1500	190	330	53	0.24	7.43	5440	2750	1.98
"	"	2.61		0.67	610	60	120	50	0.25	3.77	3480	1770	1.97
"	"	2.74		0.20	2580	170	310	58	0.22	7.04	5950	2850	2.08
"	"	2.80		0.44	1450	150	270	52	0.21	5.84	5680	3030	1.87
"	"	2.80		0.51	2330	150	310	54	0.23	8.04	6520	2910	2.24
"	"	2.77		0.40	1520	130	240	51	0.21	5.30	6000	3070	1.95
"	"	2.77		0.14	1050	170	260	44	0.19	8.26	6000	2950	2.03
"	"	2.74		0.85	900	80	150	53	0.20	7.78	5270	2300	2.29
"	"	2.72		0.43	1090	90	180	54	0.25	9.24	5440	2310	2.35
"	"	2.76		0.89	1520	200	350	46	0.22	6.79	5880	2410	2.49
"	"	2.79		0.50	2220	170	360	54	0.20	10.31	6140	2890	2.12
"	"	2.78		0.55	1420	200	350	45	0.22	8.66	6130	3100	1.98
"	"	2.75		0.29	1260	200	350	48	0.24	9.26	5970	2580	2.31
"	울산 유공 LPG 동굴	2.71			1800-4000		400	60	0.25	8.0	5800	2800	2.07
"	"	2.86			1000-3400		250	54	0.25	8.0	6450	3850	1.67/16