

대구 · 경상북도의 지반특성

김영수
경북대학교 토목공학과 교수

1. 포항 이암풍화토 및 이암

(1) 이암풍화토

1) 다짐특성

다짐에너지는 D-2 수정다짐과 5층 35회, 45회 및 65회로 변화시켜 다짐시험을 행하였고 이때 각 시료는 자연입도에 근접하게 동일입도로 조정 사용하였으며, 건조법 및 비반복법으로 흐트러진 시료를 사용하여 시험하였다.

다짐에너지를 변화시키면서 다짐 시험한 결과는 그림 1, 2와 같다. 이들 그림에 대하여 최소자승법으로 다음과 같은 관계식을 얻었다.

$$\gamma_{dmax} = 0.9834 + 0.0312 \ln(E) \quad (1)$$

$$W_{opt} = 54.25 - 0.3778E \quad (2)$$

$$\gamma_{dmax} = 1.8494 - 0.0158 W_{opt} \quad (3)$$

$$e = -0.07576 \ln(E) + 1.5443 \quad (4)$$

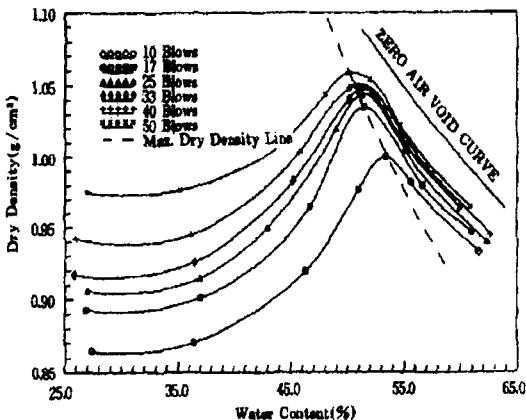


그림 1. 다짐에너지에 따른 다짐곡선

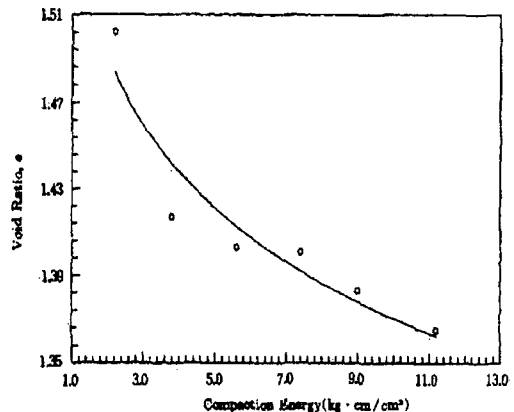


그림 2. 다짐에너지 증가에 따른 간극비의 변화(최대건조 밀도 일때)

여기서,

W_{opt} : 최적함수비(%)

E : 다짐에너지($\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$)

r_{dmax} : 최대건조단위중량(g/cm^3)

e : 간극비

2) 투수특성

다짐에너지 및 함수비를 변화시켜 다짐한 후 변수위 투수시험을 실시한 결과는 그림 3과 같이 나타났다. 그림 3에서 보는 바와 같이 다짐회수가 33회 이상이거나 함수비가 55%이상일 경우 투수계수의 변동은 거의 나타나지 않고 있다. 그림 3에서 33회 이상의 다짐에너지에 대한 투수계수의 변화가 거의 없지만, 확대하여 보면 55회 다짐에너지에서 $1.2 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{sec}$ 로 최소투수계수를 찾을 수 있다(그림 4 참조).

위의 시험결과 투수계수는 1.50×10^{-4} 에서 $1.2 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{sec}$ 사이의 아주 작은 값을 가지므로 Earth Dam의 Core재료 등과 같은 불투수성 재료로서의 사용이 가능하며, 이 때의 다짐에너지는 40회 이상의 타격에너지가 바람직하다.

3) 압밀특성

CRS시험과 Oedometer시험에서 얻어진 압밀계수(C_v)를 비교한 결과는 그림 5, 6, 7과 같다. 무차원 시간계수(T)가 0.5보다 큰 Steady-state조건인 경우에는 식 (5), (6)을 이용하여 구했으며, 0.5보다 작은 Transient조건인 경우에는 식 (7), (8)을 이용하여 구한다. 비선형이론을 적용해 구한 값과 Oedometer시험결과를 Casagrande방법으로 구한 압밀계수(C_v)와 비교해 보면, 변형률에 관계없이 과압밀 부분인 $0.6 \text{kg}/\text{cm}^2$ 이하 범위에서의 압밀계수는 CRS에서 구한 값이 Oedometer의 결과보다 조금 크게 나타났으나, 정규압밀영역에서의 값은 상당히 잘 일치하고 있는 경향을 보였다.

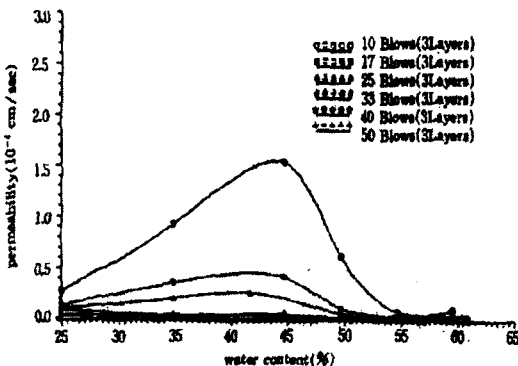


그림 3. 다짐에너지와 함수비에 따른 투수계수

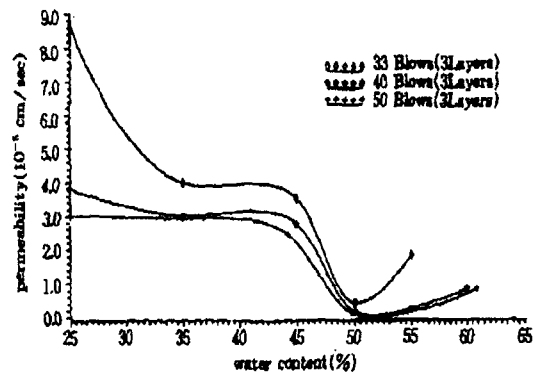


그림 4. 다짐 33회 이상에서의 투수계수 변화

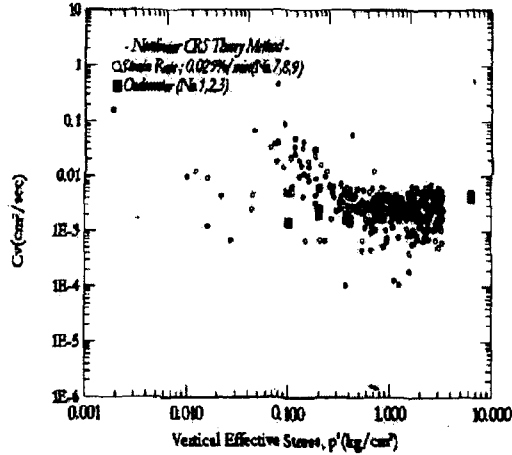


그림 5. 압밀계수와 유효수직응력과의 관계(변형률:0.025%/min)

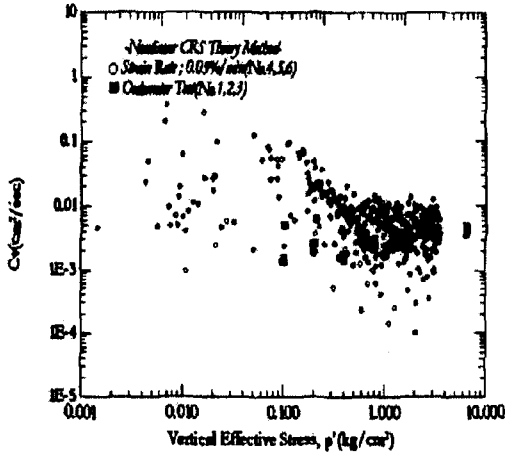


그림 6. 압밀계수와 유효수직응력과의 관계 (변형률:0.05%/min)

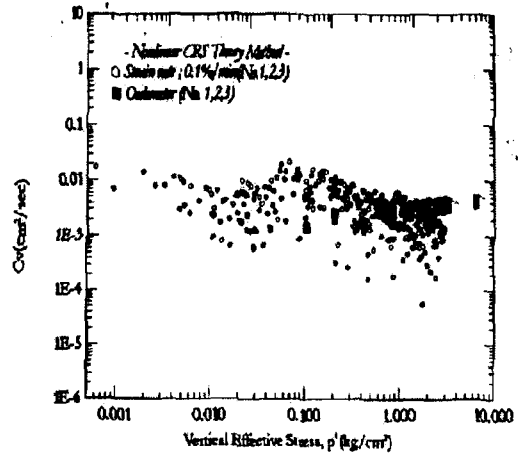


그림 7. 압밀계수와 유효수직응력과의 관계 (변형률:0.1%/min)

$$C_v = \frac{-H^2 \log \frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{v1}}}{2\Delta t \log \left(1 - \frac{\Delta u_b}{\sigma_v}\right)} \quad (5)$$

$$C_v = \frac{T H^2}{t} \quad (7)$$

$$k_v = \frac{-0.434 r H^2 r_w}{2 \sigma_v \log \left(\frac{\sigma_v - \Delta u_b}{\sigma_v}\right)} \quad (6)$$

$$k_v = \frac{0.434 C_v r_w r \Delta t}{\sigma_v \log \frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{v1}}} \quad (8)$$

4) 전단특성

표 1에서 나타난것과 같이 동일한 수직압밀응력하에서 정규압밀시료의 비배수전단강도를 연직 응력으로 정규화한 비배수 전단강도비 (S_u/σ_v')는 압밀응력비가 클수록 크게 나타났다. 그러나 비

여기서,

W_{opt} : 최적함수비(%)

E : 다짐에너지($\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$)

r_{dmax} : 최대건조단위중량(g/cm^3)

e : 간극비

2) 투수특성

다짐에너지 및 함수비를 변화시켜 다짐한 후 변수위 투수시험을 실시한 결과는 그림 3과 같이 나타났다. 그림 3에서 보는 바와 같이 다짐회수가 33회 이상이거나 함수비가 55%이상일 경우 투수계수의 변동은 거의 나타나지 않고 있다. 그림 3에서 33회 이상의 다짐에너지에 대한 투수계수의 변화가 거의 없지만, 확대하여 보면 55회 다짐에너지에서 $1.2 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{sec}$ 로 최소투수계수를 찾을 수 있다(그림 4 참조).

위의 시험결과 투수계수는 1.50×10^{-4} 에서 $1.2 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{sec}$ 사이의 아주 작은 값을 가지므로 Earth Dam의 Core재료 등과 같은 불투수성 재료로서의 사용이 가능하며, 이 때의 다짐에너지는 40회 이상의 타격에너지가 바람직하다.

3) 압밀특성

CRS시험과 Oedometer시험에서 얻어진 압밀계수(C_v)를 비교한 결과는 그림 5, 6, 7과 같다. 무차원 시간계수(T)가 0.5보다 큰 Steady-state조건인 경우에는 식 (5), (6)을 이용하여 구했으며, 0.5보다 작은 Transient조건인 경우에는 식 (7), (8)을 이용하여 구한다. 비선형이론을 적용해 구한 값과 Oedometer시험결과를 Casagrande방법으로 구한 압밀계수(C_v)와 비교해 보면, 변형률에 관계없이 과압밀 부분인 $0.6 \text{kg}/\text{cm}^2$ 이하 범위에서의 압밀계수는 CRS에서 구한 값이 Oedometer의 결과보다 조금 크게 나타났으나, 정규압밀영역에서의 값은 상당히 잘 일치하고 있는 경향을 보였다.

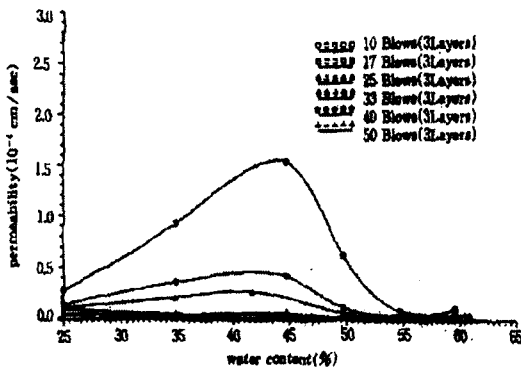


그림 3. 다짐에너지와 함수비에 따른 투수계수

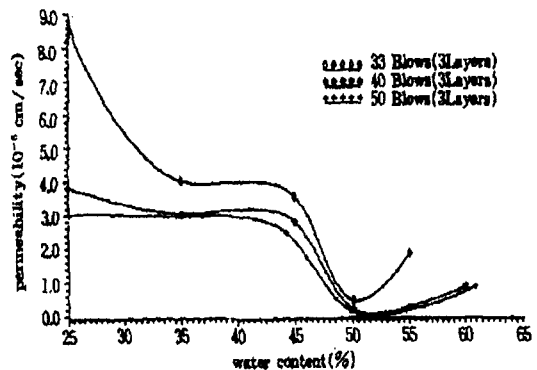


그림 4. 다짐 33회 이상에서의 투수계수 변화

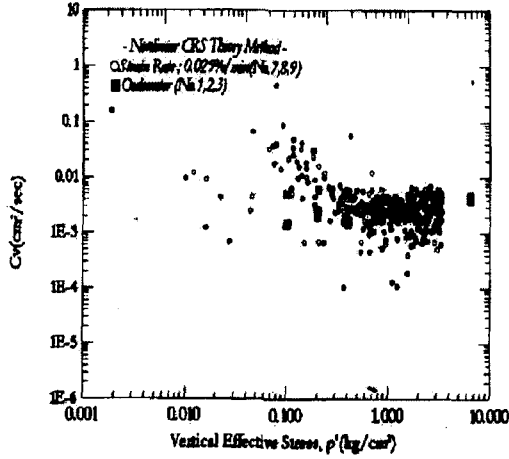


그림 5. 압밀계수와 유효수직응력과의 관계(변형률:0.025%/min)

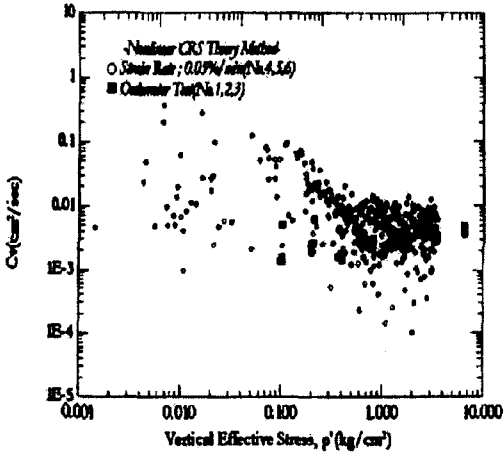


그림 6. 압밀계수와 유효수직응력과의 관계 (변형률:0.05%/min)

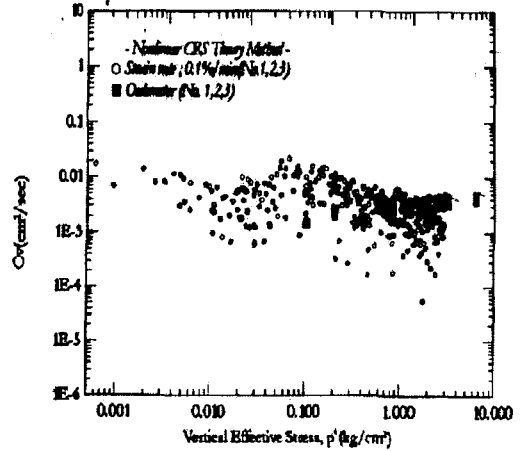


그림 7. 압밀계수와 유효수직응력과의 관계 (변형률:0.1%/min)

$$C_v = \frac{-H^2 \log \frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{v1}}}{2\Delta t \log \left(1 - \frac{\Delta u_b}{\sigma_v}\right)} \quad (5)$$

$$C_v = \frac{T H^2}{t} \quad (7)$$

$$k_v = \frac{-0.434 r H^2 r_w}{2 \sigma_v \log \left(\frac{\sigma_v - \Delta u_b}{\sigma_v}\right)} \quad (6)$$

$$k_v = \frac{0.434 C_v r_w r \Delta t}{\sigma_v \log \frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{v1}}} \quad (8)$$

4) 전단특성

표 1에서 나타난것과 같이 동일한 수직압밀응력하에서 정규압밀시료의 비배수전단강도를 연직 응력으로 정규화한 비배수 전단강도비 (S_u / σ_v)는 압밀응력비가 클수록 크게 나타났다. 그러나 비

표 1. 실험 결과 및 분석 요약

압 밀			전 단							
압밀 유형	OCR	K_c	σ_1' (kPa)	σ_3' (kPa)	ϵ_r (%)	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ (kPa)	S_u/σ_v'	S_u/p'	A_r	ϕ' (°)
정규 압밀	1	K_c (0.38)	200	76	0.13	145.54	0.73	1.24	0.20	31
			300	114	0.11	219.63	0.73	1.25	0.11	
			400	152	0.22	308.89	0.77	1.32	0.13	
			600	228	0.23	462.63	0.77	1.31	0.11	
	1	0.5	200	100	7.29	148.01	0.74	1.11	0.72	33
			300	150	6.76	223.47	0.74	1.12	0.71	
			400	200	6.96	312.04	0.78	1.17	0.68	
	1	0.7	200	140	10.14	160.16	0.80	1.00	0.69	33.1
			300	210	12.23	243.74	0.81	1.02	0.72	
			400	280	13.01	326.34	0.82	1.02	0.71	
	1	1.0	200	200	18.68	180.18	0.90	0.90	0.74	34.1
			300	300	16.59	256.87	0.86	0.86	0.75	
400			400	14.74	344.53	0.86	0.86	0.77		
600			600	14.66	524.49	0.87	0.87	0.75		
과압 밀	K_c	2	0.53	300	160	0.99	405.05	1.35	1.96	0.02
		4	0.76	150	115	4.92	337.89	2.25	2.67	-0.01
		8	1.07	75	83	6.39	263.95	3.52	3.29	-0.08
	등방	2	1	300	300	18.05	418.38	1.39	1.39	0.30
		4	1	150	150	19.77	377.45	2.52	2.52	0.05
		8	1	75	75	19.37	305.94	4.08	4.08	-0.09

배수전단강도를 평균유효압밀응력으로 정규화한 값 (S_u/p')은 오히려 압밀응력비가 작을수록 크게 나타난다. 이는 압밀도중 흙의 구조가 최대주응력방향의 응력에 더 잘 저항하도록 발달되었기 때문으로 보인다. 정규압밀 점토의 마찰저항각은 $K_c = K_c$ 일 때 31° , $K_c = 0.5$ 일 때 33° , $K_c = 0.7$ 일 때 33.1° , $K_c = 1.0$ 일 때 34.1° 로 압밀응력비가 증가할수록 크게 나타났다. 유효마찰각 또한 과잉 간극수압의 크기에 많은 영향을 받는데 압밀응력비가 작을수록 파괴시 간극수압이 상대적으로 작아서 마찰각이 작게 나타났다.

(2) 이암

1) 화학성분

기계적 풍화작용에 의해 형성된 세립질 퇴적물은 주로 석영, 장석, 백운모, 흑운모 그리고 점토 광물로 구성되어 있으며 그 외에 중광물과 같은 조암광물이 들어 있기도 하다. 이질암의 평균 성분은 점토광물이 약 60% 정도, 석영·처트·장석이 약 35%, 탄산염 광물이 약 4%, 그 외 유기물과 철산화물이 약 1% 정도 들어있다.

그림 8은 포항지역에서 채취한 이암(Mudstone)에 대한 X선 회절 양상을 보여주고 있으며 석영

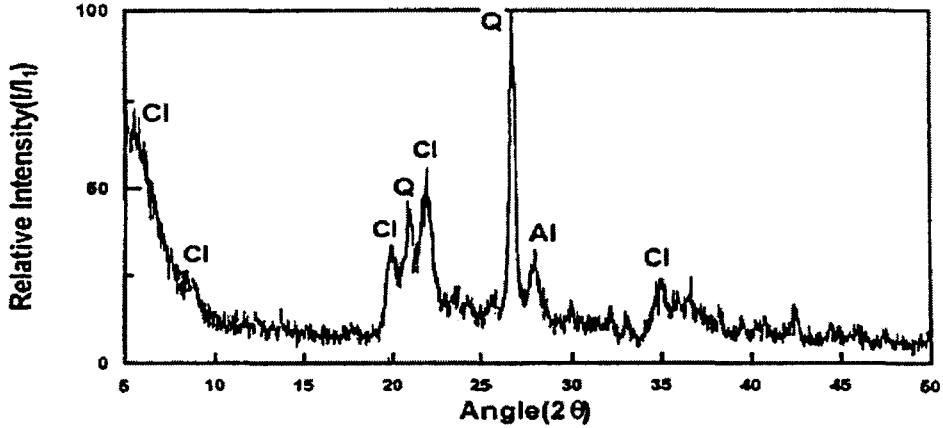


그림 8. XRD-diagram

(Quartz)과 장석(Albite)을 포함하며 다량의 점토광물(Clay mineral)로 구성되어 있음을 알 수 있다.

2) 물리적특성

① 비중, 간극률 및 흡수율

포항지역 이암의 간극률은 48.0~50.8%, 흡수율은 41.8~43.4%의 높은 값을 나타내고 있다.

또한, 표 2에서 보는 바와 같이 비중이라 하더라도 측정법에 따라 여러 가지 값이 존재한다. 따라서 암석의 비중값을 제시할 때에는 어떻게 해서 구한 것인가를 반드시 나타내어야 한다. 표 2에서 알 수 있듯이 참비중(G_r), 겉보기 비중(G_n), 부피 비중(G_d)의 순으로 작아지고 있다.

표 2. 퇴적암에 따른 물성값

Rock Types	Sample No.	True specific gravity	Apparent specific gravity			volumetric specific gravity	Water content %	porosity	Absorption %
			G_n	G_r	G_d				
Mudstone	Mud-1	2.252	1.253	1.678	1.170	1.250	7.1	50.8	43.4
	Mud-2	2.574	1.244	1.680	1.174	1.241	6.0	50.7	43.1
	Mud-3	2.576	1.256	1.683	1.172	1.250	7.4	48.6	41.8
	Mud-4	2.581	1.260	1.686	1.176	1.251	6.7	50.4	42.9

② Slaking 지수

Slaking 시험은 7개의 시료에 대하여 7회의 건조·습윤의 반복으로 내구성지수(I_d), 손실량(Dis), 흡수량(Abs) 구하였고, 그 결과는 다음 표 3과 같다.

표 3. slaking 시험결과

Rock Types	Sample No.	σ kg/cm ²	Cycle Class	1	2	3	4	5	6	7		
				I_d (%)	손실량(%)	흡수율(%)	I_d (%)	손실량(%)	흡수율(%)	I_d (%)	손실량(%)	흡수율(%)
Mudstone	Mud-1	89.6		92.7	81.6	71.2	60.8	52.7	45.6	39.6		
				7.3	11.1	10.4	10.3	8.1	7.1	6.0		
				9.1	12.9	15.1	20.3	24.0	28.7	38.7		
	Mud-2	143.6		96.0	91.2	84.2	78.5	74.1	70.1	66.1		
				4.0	4.8	7.0	5.7	4.4	4.0	4.0		
				7.6	8.8	9.1	10.5	14.2	18.9	27.2		
	Mud-3	93.1		93.7	83.4	71.7	62.3	53.9	47.6	42.2		
				6.3	10.3	11.7	9.4	8.4	6.3	5.4		
				9.3	11.8	13.0	15.7	16.2	18.9	27.2		
	Mud-4	81.6		92.4	80.1	70.6	62.2	55.1	48.1	41.2		
				7.6	12.3	9.5	8.4	7.1	7.0	6.9		
				9.6	11.4	14.2	24.9	40.0	51.4	64.2		
	Mud-5	117.5		95.0	88.6	80.1	72.8	67.5	62.8	58.9		
				5.0	6.4	8.5	7.3	5.3	4.7	3.9		
				7.3	8.1	8.7	10.4	13.5	18.1	24.3		
	Mud-6	-		85.8	70.1	50.6	34.6	25.6	20.0	15.6		
				14.2	15.7	19.5	16.0	9.0	5.6	4.4		
				11.4	18.3	24.8	41.2	61.8	98.5	125.7		
	Mud-7	-		62.4	35.6	20.0	5.4	1.2	0.3	0.1		
				37.6	26.8	15.6	15.6	4.2	0.9	0.2		
				12.3	18.0	35.1	63.3	117.3	-	-		

3) 역학적특성

① 인장시험

인장 시험 결과 이암의 인장강도는 13.74~15.19kg/cm²이며 이암의 인장응력-변형률 관계곡선은

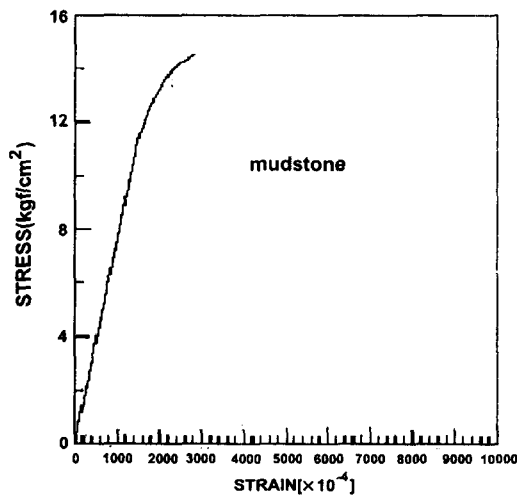


그림 9. 인장응력-변형률 곡선

표 4. 인장응력, 변형률, Young's modulus

Rock Types	Sample No.	$\sigma_i(\text{kg/cm}^2)$	$\epsilon_i(\times 10^{-6})$	$E_i(\times 10^3 \text{kg/cm}^2)$
Mudstone	Mud-2	15.19	1903	0.081
	Mud-4	13.74	1628	0.076

그림 9와 같으며 대체로 인장력에 정비례 관계를 보이고 있다.

② 일축압축강도 시험

탄성과 속도 측정과 병행하여 일축압축강도 시험을 실시하였다. 일축압축시험시 시료에 변형게이지를 부착하여 그림 10과 같이 응력에 대한 변형률 곡선을 찾았다. 이 곡선에서 포아슨 비와 탄성계수를 표 5와 같이 구하였다.

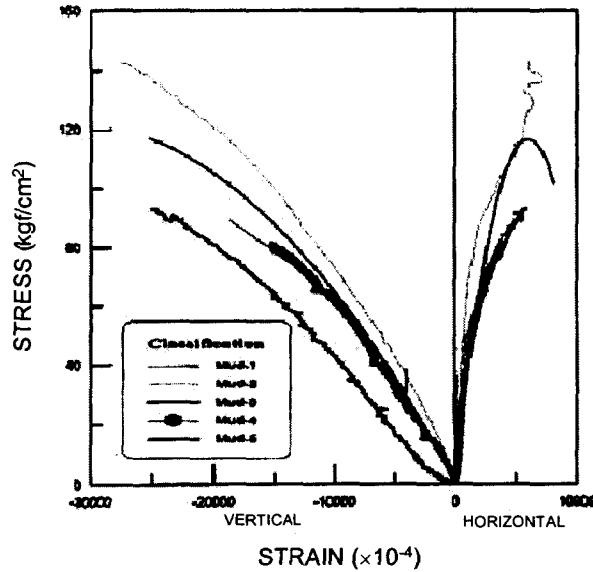


그림 10. 응력-변형률 곡선

표 5. 일축압축시험의 응력, 포아슨비, 탄성계수

Rock Types	Sample No.	$\sigma(\text{kg/cm}^2)$	Wave velocity (m/s)		ν^*	$E^*(\times 10^4 \text{kg/cm}^2)$
			P	S		
Mudstone	Mud-1	89.6	1128	747	0.176	0.059
	Mud-2	143.6	1617	928	0.182	0.065
	Mud-3	93.1	1270	800	0.200	0.045
	Mud-4	81.6	1020	710	0.211	0.062
	Mud-5	117.5	1466	910	0.195	0.064

표 4에서 알 수 있듯이 포항지역 이암의 일축 압축강도는 81.6~143.6kg/cm²의 범위를 나타내고 있다.

③ 삼축압축 시험

그림 11은 구속응력(σ_3)의 증가에 따른 이암에 대한 축차응력($\sigma_1 - \sigma_3$)-변형률(ϵ) 곡선이다. 구속응력의 증가에 따라 축차응력은 증가하며 변형률은 상대적으로 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

σ_3 에 대한 파괴시의 σ_1 값을 구하여 그림 12와 같이 $\sigma - \tau$ 곡선에서 c, ϕ 값을 구하였다. 표 6은 삼축압축시험의 결과를 나타낸 것이다.

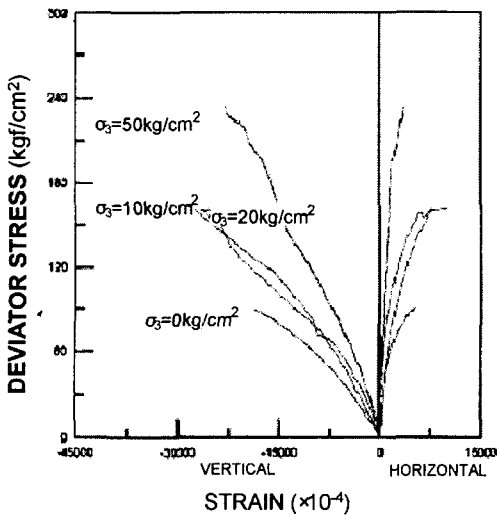


그림 11. 구속응력에서의 응력-변형률 곡선

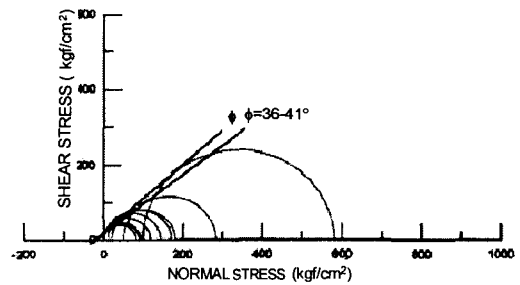


그림 12. Mohr's Circle

표 6. 삼축압축시험 결과

Rock Types	Density (g/cm ³)	σ_3 (kg/cm ²)	$\sigma_1 - \sigma_3$ (kg/cm ²)	E_s ($\times 10^3$ kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	ϕ (°)
Mudstone	1.3	10	161.6	0.076	19.26	36~41
	1.3	20	161.4	0.081		
	1.3	50	234.2	0.115		
	1.3	100	481.3	-		

2. 대구 shale

(1) 다짐특성

각각의 다짐시험에서 함수비는 약 1~2% 정도씩 증가시키며 시행하였고, 전체 함수비는 14~

24% 구간이며, KSF2312의 방법에 따라 시험하였다.

이 실험의 결과는 그림 13 및 표 7과 같다. 또한 최적함수비(%)와 최대 건조밀도(g/cm^3)의 관계식은 식 (9)와 같고 다짐에너지(E)와 최대건조밀도의 관계식은 식 (10)과 같다.

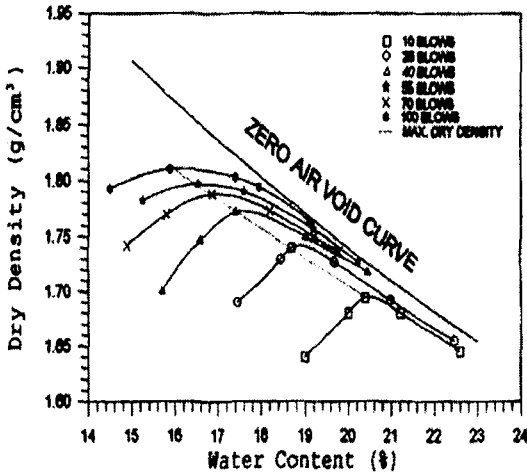


그림 13. 다짐곡선

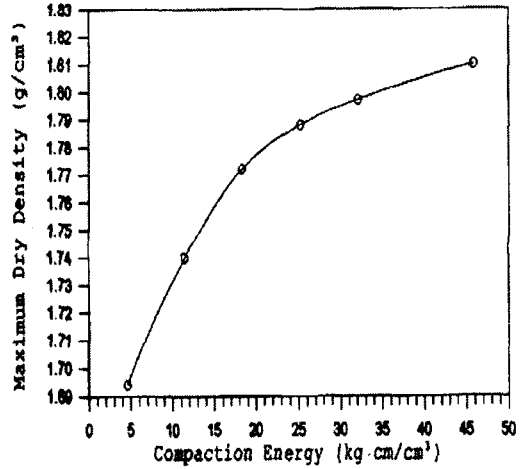


그림 14. 다짐에너지 증가에 따른 최대건조 밀도의 변화

표 7. 다짐시험 결과

10회 다짐		25회 다짐		40회 다짐		55회 다짐		70회 다짐		100회 다짐	
함수비 (%)	건조 단위중량 (g/cm^3)	함수비 (%)	건조 단위중량 (g/cm^3)	함수비 (%)	건조 단위중량 (g/cm^3)	함수비 (%)	건조 단위중량 (g/cm^3)	함수비 (%)	건조 단위중량 (g/cm^3)	함수비 (%)	건조 단위중량 (g/cm^3)
19.00	1.625	17.45	1.690	15.70	1.700	14.90	1.742	15.25	1.782	14.50	1.793
20.05	1.670	18.48	1.730	16.59	1.747	15.80	1.770	16.53	1.797	15.88	1.810
20.40	1.694	18.71	1.740	17.40	1.772	16.86	1.778	17.60	1.790	17.40	1.803
21.22	1.680	19.70	1.727	19.00	1.750	18.20	1.773	19.19	1.757	17.95	1.794
23.42	1.630	20.98	1.692	20.46	1.718	20.19	1.730	20.25	1.727	19.10	1.764
		22.46	1.655			21.54	1.682				
최적 함수비 (%)	최대건조 단위중량 (g/cm^3)	최적 함수비 (%)	최대건조 단위중량 (g/cm^3)	최적 함수비 (%)	최대건조 단위중량 (g/cm^3)	최적 함수비 (%)	최대건조 단위중량 (g/cm^3)	최적 함수비 (%)	최대건조 단위중량 (g/cm^3)	최적 함수비 (%)	최대건조 단위중량 (g/cm^3)
20.400	1.694	18.710	1.740	17.400	1.772	16.860	1.788	16.530	1.797	15.880	1.810

$$r_{max} = 2.224 - 0.026 W_{opt}$$

$$W_{opt} = 85.5385 - 38.4615 r_{dmax} \quad (9)$$

$$r_{dmax} = \frac{[-0.1481 E^2 + 90.7E + 1655.54]}{1000} \quad (E \leq 18.334)$$

$$r_{dmax} = \frac{[-0.01762 E^2 + 2.32E + 1740.7]}{1000} \quad (E \geq 18.334) \quad (10)$$

또한, 각각의 다짐에너지 증가에 따른 최대 건조밀도의 변화를 그림 14에 나타내었으며, 그림에서 보는 바와 같이 다짐에너지가 $18.334\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$ 까지는 최대 건조밀도가 급격히 증가하는 반면, 그 이후의 다짐에너지에서는 완만한 증가를 보였다.

(2) 투수특성

여러 가지 경우에 대한 투수특성을 변화시키며 다짐을 행한 후 각각의 시료에 대하여 KSF2322의 투수 시험법에 의해 변수위 투수 시험을 실시하였는데 투수계수는 $8.8 \times 10^{-4} \sim 3.1 \times 10^{-6} \text{cm}/\text{sec}$ 사이의 값을 얻었다.

그림 15는 각각의 다짐에너지에서 함수비 증가에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 것으로서 다짐에너지가 증가할수록 투수계수는 작아지며, 간극이 가장 조밀한 최적함수비에서 최소 투수계수가 나타나는 것이 아니라 최적함수비보다 약간 습윤측에서 최소 투수계수가 나타남을 알 수 있다.

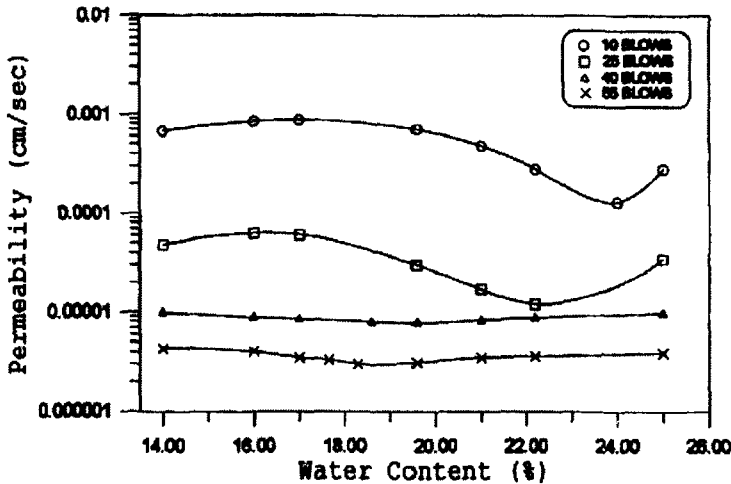


그림 15. 함수비 증가에 따른 투수계수의 변화

(3) 층리각에 따른 공학적 특성

① 단위중량

각주상으로 성형한 시료를 사용해 그 치수로부터 체적을 산출해서 구하는 Nonius법을 이용한 shale의 단위중량은 다음(표 8)과 같다.

표 8. β_0 에 따른 shale의 단위중량

sample	β_0	Unit Weight(g/cm^3)			
		0	30	60	90
1		2.560	2.570	2.565	2.551
2		2.570	2.590	2.575	2.560
3		2.585	5.604	2.580	2.572

② 탄성파속도

일반적으로 탄성파속도는 암석의 종류, 조직, 밀도, 간극률, 이방성, 함수율 그리고 온도등에 의해 영향을 받는다. 표 9에서 나타난 탄성파 속도 시험의 결과를 살펴보면 $\beta_0=90$ 에서 탄성파속도가 가장 빠르며, $\beta_0=0$ 에서 가장 느림을 알수 있다.

표 9. β_0 에 따른 shale의 탄성파속도

Velocity		P wave velocity(km/sec)				S wave velocity(km/sec)			
sample	β_0	0	30	60	90	0	30	60	90
1		5.07	5.03	5.20	5.40	2.42	2.58	2.70	2.73
2		5.09	5.20	5.25	5.50	2.55	2.59	2.73	2.83
3		5.10	5.23	5.36	5.50	2.64	2.66	2.74	2.88

③ 간접인장시험

간접인장시험은 원주형 시편을 원주의 지름방향으로 양쪽에서 압축하여 원주의 중심선을 따라 좌우로 분리되는 인장응력이 생겨 인장파괴가 일어나도록 하는 것으로서 $\beta_0=90$ 에서 최대값, $\beta_0=0$ 에서 최소값이 발생하였다.

표 10. β_0 에 따른 shale의 인장강도

		Tensile strength(kg/cm ²)			
sample	β_0	0	30	60	90
1		23	26	35	56
2		27	35	43	67
3		31	47	55	79

④ 일축압축강도

이 지역의 shale은 $\beta_0=0$ 부근에서 최고 강도특성을 보였으며, 가장 낮은 강도는 $\beta_0=60$ 에서 나타났다. 즉, 하중방향과 층리면과의 각도가 증가함에 따라 크기는 감소하다가 증가하는 경향(표 11)을 보였다.

표 11. β_0 에 따른 shale의 일축압축강도

		Uniaxial compressive strength(kg/cm ²)			
sample	β_0	0	30	60	90
1		653	410	347	779
2		695	435	389	855
3		681	505	401	815

⑤ 삼축압축강도

$\beta=0, 30, 60, 90$ 에 따라 구속압을 $50, 100, 150\text{kg/cm}^2$ 의 3가지로 변화시키면서 실시한 삼축압축시험의 결과는 다음 표 12와 같고, 이를 이용하여 최대 강도점에서의 Mohr의 응력원과 그 파괴포락선으로 강도정수 c, Φ (표 13)을 산출하였다.

표 12. β_0 에 따른 shale의 삼축압축강도

Rock parameter		Triaxial compressive strength(kg/cm ²)				
		β_0	0	30	60	90
Deviator strength (kg/cm ²)	$\sigma_3=50$		1655	1351	957	1534
	$\sigma_3=100$		2050	1698	1194	1924
	$\sigma_3=150$		2260	1862	1368	2095

표 13. β_0 에 따른 shale의 강도정수(c, Φ)

β_0	Cohesion(kg/cm ²)	Friction angle(Φ_0)
0	277.0	46.63
30	247.0	43.65
60	166.3	41.47
90	279.0	44.42

참고문헌

- 이상복(1994), "혈암풍화토의 공학적 특성 연구", 공학석사학위 논문, 경북대학교 대학원.
- 이재호(2000), "이방성 암석의 파괴거동 및 탄성정수 산정연구", 공학석사학위논문, 경북대학교 대학원.
- 이영휘(2000), "압축강도와 풍화도에 관련된 퇴적암의 공학적 특성", 한국지반공학회지, 제16권, 제1호, pp. 5-17.
- 김기영(2000), "일정변형률 압밀시험에 따른 이암풍화토의 압밀특성", 한국지반공학회지, 제16권, 제1호, pp. 99-106.
- 김기영(2001), "이방압밀에 따른 이암풍화토의 비배수 전단거동 특성", 대한토목학회지, pp. 1-4.
- 박강우(1994), "이암풍화토의 공학적 특성에 대한 실험적 연구", 공학석사학위논문, 경북대학교 대학원.
- 유철호(1996), "구성방정식을 이용한 포항지역 이암풍화토의 전단특성", 공학석사학위논문, 경북대학교 대학원.