

퇴적암의 비등방 특성에 관한 연구(대구지역)

A Study on Anisotropic Characteristics of Sedimentary Rocks(Taegu area)

김 영 수*¹

Kim, Young - Su

허 노 영*²

Heo, No - Young

서 인 식*³

Seo, In - Shik

Abstract

The ground of Taegu area consists mainly of shales with clastic sedimentary rocks. These shales have a nonhomogeneous and anisotropic characteristics. So their physical and mechanical properties are very different due to the angles(β value) of bedding planes of sedimentary rock.

In this study, the physical and mechanical characteristics of shales in Taegu area are studied by performing all kinds of rock test. According to results of test, apparent specific gravity of shale decreases as the β value increases. On the contrary, porosity and absorption increase.

Elastic wave velocity shows the highest value at the 90 degrees. And Young's modulus shows the maximum value at the 30°. The uniaxial strength, triaxial strength, cohesion and angle of friction show the minimum value at the 60 degrees respectively.

요 지

대구지역의 지반은 주로 셰일성 퇴적암인 혈암으로 구성되어 있다. 이 혈암은 비균질, 비등방성 암석으로 각종 물성치와 역학적 특성이 층리면의 각도(β 값)에 따라 매우 다르다.

본 연구에서는 대구지역의 혈암에 대하여 각종 물성, 역학특성 시험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 비중값은 β 값이 커질수록 감소하지만 간극률, 흡수율은 이와 반대로 증가 하였다.

탄성과 속도는 β 값이 90°일때가 가장 큰 값을 보이고 탄성계수는 β 값이 30°에서 최대치를 나타내었다. 그리고 강도특성과 강도정수인 점착력과 마찰각은 모두 β 값이 60°에서 가장 작은 값을 나타내었다.

Keywords : Sedimentary rock, Shale, Bedding plane, Anisotropic, Nonhomogeneous

*1 정희원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수

*2 정희원, 경북대학교 대학원 토목공학과 박사수료

*3 정희원, 경동정보대학 토목과 조교수

1. 서론

대구지역은 지질학적으로 보면 중생대 백악기 하양군층군으로 구성되어 있다. 이 하양군층은 후기 화산활동에 의한 퇴적분지로 대부분이 역암, 사암, 이암, 혈암등과 같은 쇄설성 퇴적암이 서로 교호하며 존재한다.

특히 대구지역에 주로 분포하는 것은 혈암이 가장 많고 그 다음은 이암 그리고 사암, 역암 순이다. 이러한 쇄설성 퇴적암은 비균질, 비등방성 암석으로 각종 물성치와 역학적 특성은 퇴적상태에 의한 층리면의 각도에 따라 매우 다르다.

최근 들어 대구지역에도 지하철, 대규모의 택지개발등과 같은 각종 토목, 건축공사가 행해지고 있지만 상기와 같은 퇴적암의 특성을 고려하지 않고 일률적으로 설계하고 있어 비경제적인 설계와 안전사고가 발생하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 대구지역의 퇴적암에 대하여 각종 물성, 역학시험을 통하여 그 특성을 파악하여 가장 합리적이고 경제적인 설계방법을 얻고자 한다. 그리고 타 지역의 퇴적암 지대에 토목, 건축공사시 좋은 설계 지침이 되었으면 한다.

2. 공학적 특성

2.1 실내 시험

각종 실내 시험에 사용된 세 종류(red, black, gray shale)의 혈암 암석시료는 대구시 달서구 용산동에 위치한 도로 건설공사 암반절취 사면에서 일관성을 위해서 암괴형태로 한 장소에서만 채취 하였으며 기본 물성시험으로는 xrd, 비중, 간극률, 흡수율, 탄성과 속도물 역학시험으로는 일축압축, 삼축압축 그리고 인장강도 시험을 실시 하였다.

〈시료형성〉

현장에서 채취한 암괴형태의 시료를 nx size($d=5.4\text{cm}$)의 core drill로 층리면이 주 응력면과 각각 0° , 30° , 60° , 90° (β)가 되도록 하여 암석 core를 제작하였고, 시료는 치수효과를 고려하여 직경 : 길이의 비가 1 : 0.5~2.0(인장 1:0.5, 일축, 삼축 1:2.0)가 되도록 하였다.(Fig. 1)

2.2 시험결과 및 고찰

2.2.1 X-ray diffraction(xrd)시험

xrd 시험의 원리는 x선이 한 물질을 통과하게 되면, 그 물질이 순수한 상태로 존재하든지, 혼합물의 한 성분으로 존재하든지 항상 독특한 x선 회절 무늬를 띠게 되므로 이 회절무늬를

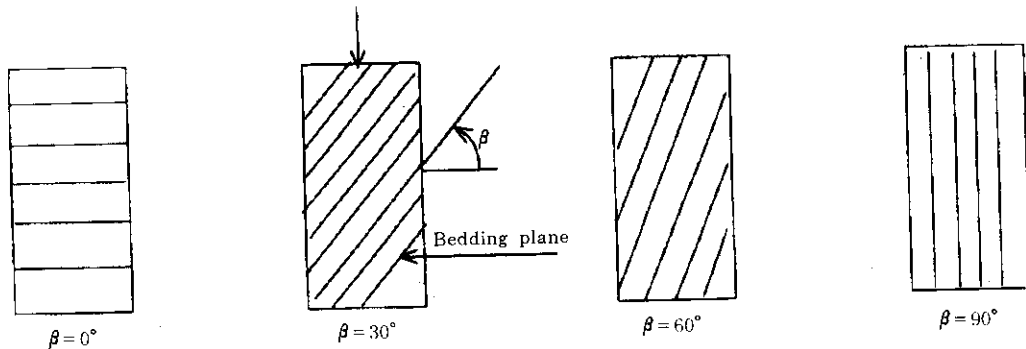


Fig.1 Angle between principal stress and bedding plane(β)

정성 분석하면, 그 물질의 구성 광물을 알 수 있다. Fig. 2는 대구지역에 주로 분포하고 있는 red shale, black shale과 gray shale을 xrd 시험한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 3종류 혈암의 회절양상이 거의 잘 일치하므로 동일한 구성 광물로 이루어져 있음을 알 수 있다. 대구지역 Shale의 구성물질은 주로 석영(quartz, Q), 장석(albite, Ab), 방해석(calcite, Cc), 및 다량의 점토광물(clay mineral, Cm)로 이루어져 있다.

2.2.2 비중, 간극률, 흡수율 시험

비중, 간극률, 흡수율 시험은 층리면의 간격 및 빈도에 따라 달라질수 있으므로 시료채취와 성형에 유의하였다. 압괴형태의 시료를 취할 때 층리간격이 일정한 것만 하였고, 성형시 치수에 따라 층리면 빈도가 달라질수 있으므로 시료 모두를 일정한 크기로 하였다.(1:2) 시험 조건은 core drill후 상온에서 7일 정도 방치한 다음 자연상태의 공기중 중량을 측정하고 수조에 넣어 시료를 72시간 이상 수침시킨 후 강제

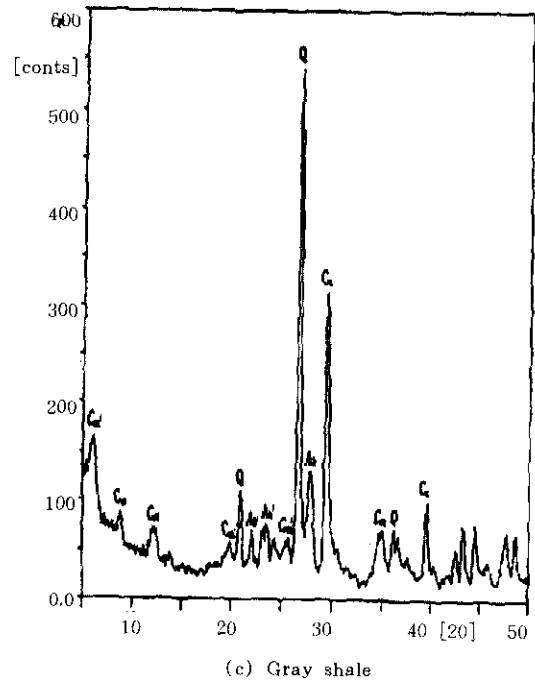
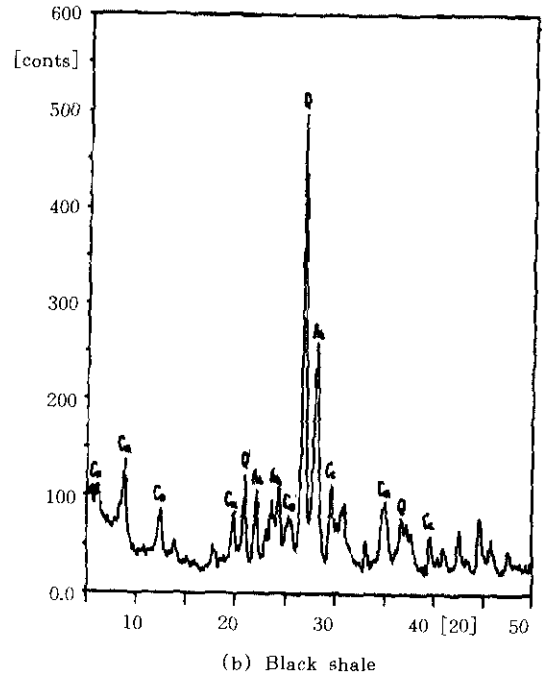
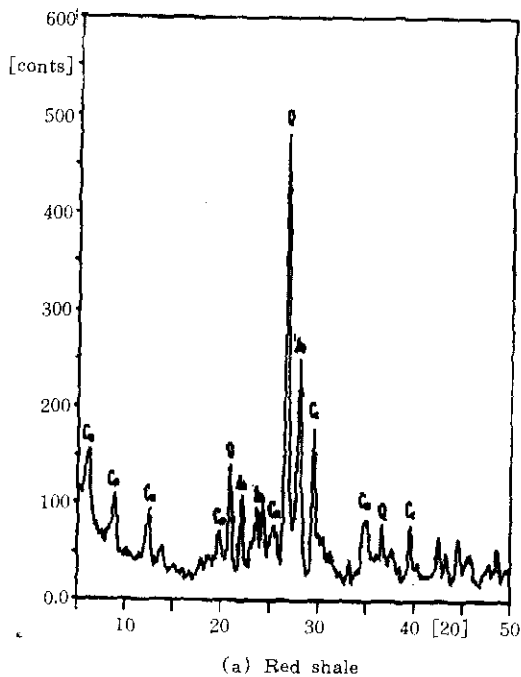


Fig.2 Xrd-diagram of shales

Table 1. Physical properties of shales

β°	Classification	True specific gravity	Apparent specific gravity			Water content (%)	Porosity (%)	Absorption (%)
			Dry (G_d)	Nature (G_n)	Wet (G_w)			
Red	0	2.967	2.651	2.664	2.674	0.5	2.34	0.88
	30		2.632	2.658	2.680	0.99	4.77	1.81
	60		2.577	2.614	2.638	1.42	6.03	2.34
	90		2.573	2.608	2.633	1.37	6.02	2.34
Black	0	2.775	2.677	2.682	2.687	0.19	0.95	0.35
	30		2.663	2.669	2.674	0.23	1.12	0.42
	60		2.654	2.661	2.668	0.28	1.44	0.54
	90		2.650	2.659	2.665	0.27	1.44	0.53
Gray	0	2.669	2.520	2.554	2.584	1.22	5.53	0.20
	30		2.518	2.582	2.553	1.42	7.15	2.84
	60		2.516	2.546	2.579	2.02	8.07	3.22
	90		2.513	2.545	2.577	2.15	8.07	3.22

수중중량, 습윤중량을 측정하고 건조로에 넣어 24시간 이상 건조시킨 후 강제 건조중량을 측정하여 겉보기 비중(기건상태, 습윤상태, 건조상태), 간극률, 흡수율을 구하였다. 참 비중은 암석을 파쇄하여 no. 140체를 통과하도록 분말 상태로 만들어 토립자의 비중을 구하는 방법과 동일하게 하여 산정 하였다.

Table 1.과 Fig. 3.에서 알 수 있듯이 세종류 혈암의 참 비중의 크기는 black, red, gray순으로 나타났다. 각종 겉보기 비중은 모두 β 값이 커짐에 따라 비중값이 작아지는 경향을 띠고 있고 기본 물성치인 간극률, 흡수율 및 함수비는 gray, red, black순으로 작게 나타났다. 이는 부록1에 실은 SEM사진에도 잘 나타나 있다.

β 값에 대한 영향은 비중값과는 반대로 β 값이 증가함에 따라 값이 커지는 경향을 보이고 있다.(Fig. 4.) 이의 원인은 β 값이 증가함에 따라 층리면의 면적이 달라지기 때문인 것으로 판단된다.

2.2.3 탄성과 속도 시험

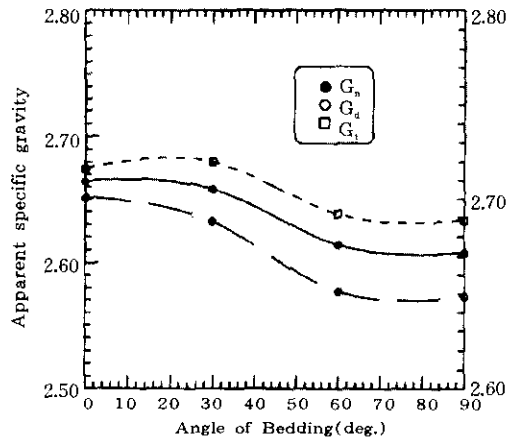
탄성과 속도 시험을 실시 함으로서 암반강

도의 추정이나 암반내의 풍화정도나 미세 균열 정도를 정량적으로 산출 할 수 있으며 또한 암석의 동탄성계수와 동포아송비를 산출할수 있어 동적인 특성에 대한 정보를 잘 파악 할 수 있다.

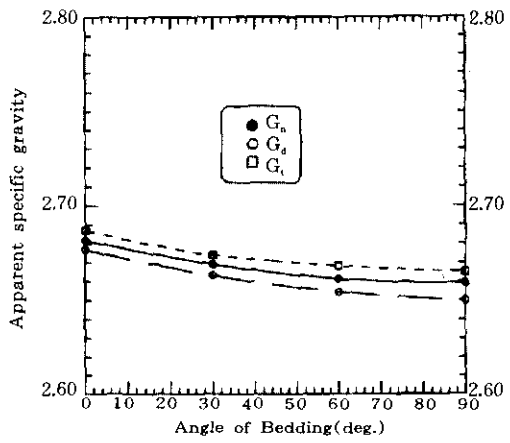
탄성과 속도(km/sec)는 Table 2., Fig. 5.에 서처럼 3종류 모두 β 값이 0°에서 30° 사이에서는 증가하고 30°~60°에서는 감소되다가 다시 90° 까지 증가하는 양상을 나타내는 물결 모양의 파형을 띠고 있다. 그 크기는 black, gray, red 순이고 red shale과 gray shale은 p, s와 속도의 차이가 즉 v_p/v_s 값이 작게 나타나지만 black shale은 그 차이가 다소 크게 나타나고

Table 2. Results of elastic wave velocity test

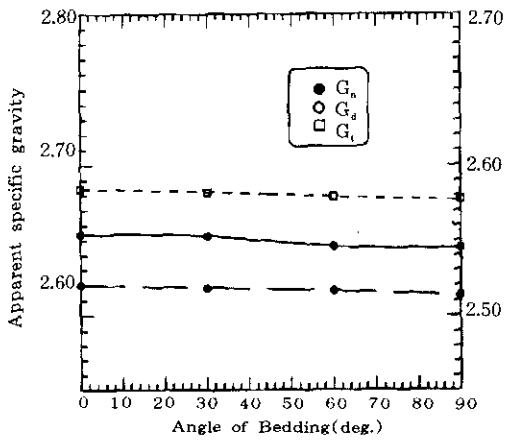
β°	P wave (km/sec)				S wave (km/sec)			
	0	30	60	90	0	30	60	90
Red shale	2.49	3.50	2.43	6.00	1.80	2.92	2.22	6.00
Black shale	9.52	12.6	7.30	12.65	6.34	8.11	6.84	6.75
Gray shale	3.82	4.58	3.21	4.84	2.43	3.30	2.68	3.39



(a) Red shale

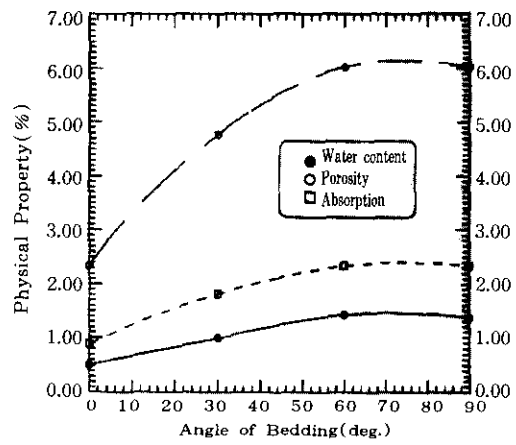


(b) Black shale

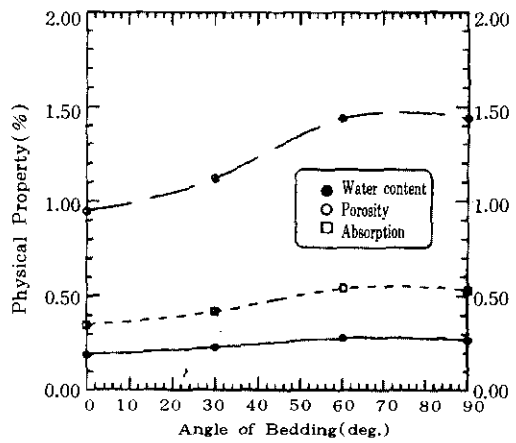


(c) Gray shale

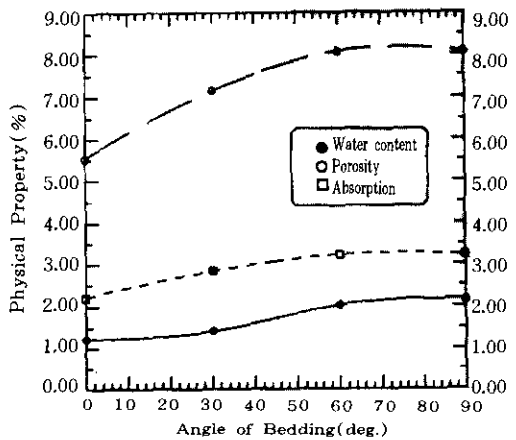
Fig.3 Specific gravity of shales



(a) Red shale



(b) Black shale



(c) Gray shale

Fig.4 Physical properties of shales

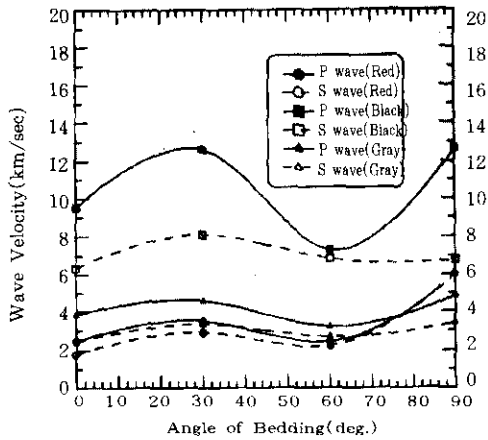


fig.5 Elastic wave velocity of shales

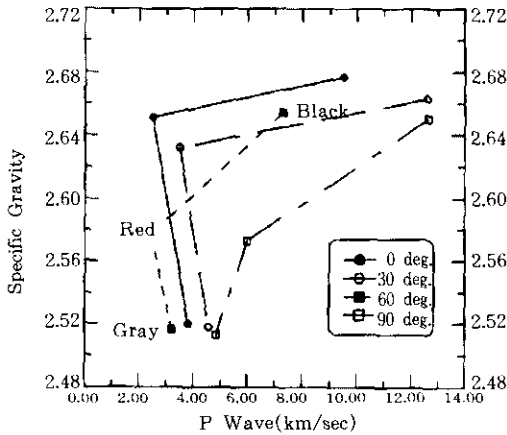


fig.6 Relationship between p wave and specific gravity

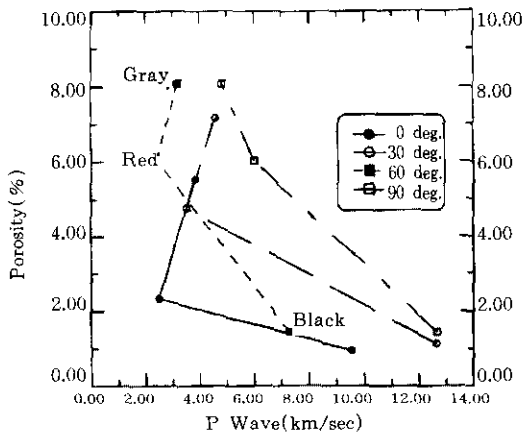


fig.7 Relationship between p wave and porosity

있다. 그 원인은 black shale이 다른 두 종류의 혈압과 비교하여 절리, 미세균열등과 같은 불연속면을 암석내부에 많이 내포하고 있기 때문이라고 판단된다.

Fig. 6.과 7.은 암석의 탄성과 속도에 영향을 미치는 요소중 밀도와 간극률을 각각 세 종류 혈압의 크기 순으로 나열한 후 p파 속도와 비교하여 나타낸 것이다. 보통 밀도와 탄성과 속도는 비례관계가 있고 간극률과는 반비례 하지만 혈압에서는 그림에서 보듯이 β 값과는 아무런 상관관계가 없는 것으로 판단된다.

2.2.4 역학 시험

1) 인장강도 시험

암석의 인장강도 시험은 암석시편 제작이 매우 어려우므로 간접적인 방법인 압열 인장시험 (brazilian test)으로 실시 하였고 주어지는 하중은 가장 취약한 부분에 가해지도록 하였

Table.3 Results of brazilian test

Classification	β°	Tensile Strength(kg/cm ²)			
		0	30	60	90
Red shale		91.45	59.22	57.62	62.10
Black shale		217.51	196.87	113.87	140.08
Gray shale		75.92	82.99	32.66	75.14

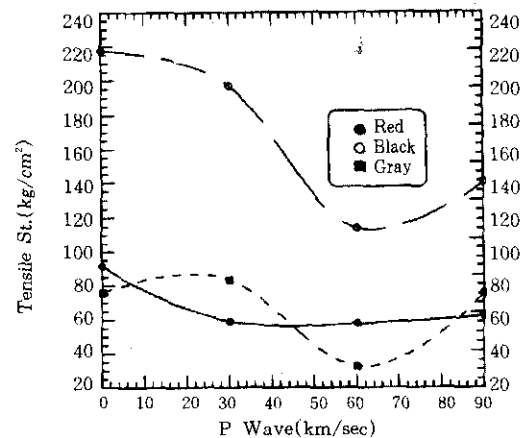


fig.8 Tensile strength of shales

다. Table 3.과 Fig. 8.에서 보듯이 인장강도는 red shale과 gray shale은 비슷한 값을 보이고 있고 black shale은 2종류의 혈암과 비교하여 거의 2배가 되는 값을 띠고 있다.

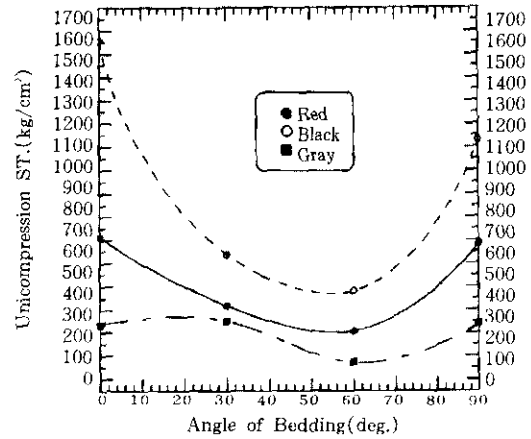
시험 결과치는 3종류 모두 0°에서 최대값을 나타내고 60°까지 감소하여 최소치가 되었다가 90°까지는 증가하는 비슷한 경향을 보이고 있다.

2) 일축 및 삼축 압축강도 시험

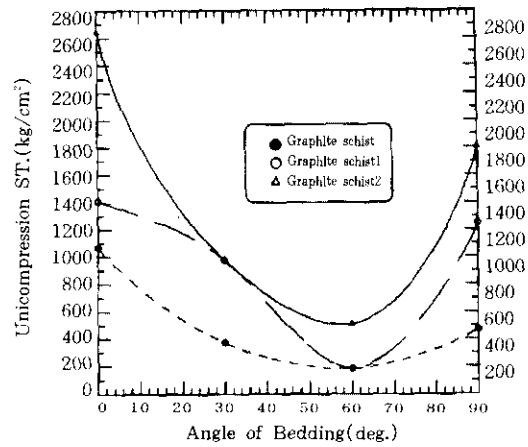
일축 압축강도는 각종 암반 구조물의 설계, 유지, 보수등의 안정성 문제에 중요한 자료가

Table 4. Results of uniaxial compression test

Classification	β°	Red shale	Black shale	Gray shale
		Unconfined Strength (kg/cm ²)		
	0	714	1556	334
	30	418	638	351
	60	305	479	168
	90	683	1129	337
Young's Modulus (10 ⁵ kg/cm ²)				
	0	2.33	4.11	1.19
	30	13.8	19.56	3.00
	60	1.06	4.45	1.02
	90	2.72	17.06	1.01
Poisson's Ratio				
	0	1.69	0.25	0.42
	30	0.418	0.57	0.26
	60	0.165	0.32	0.20
	90	0.185	0.24	0.75



(a) Shales

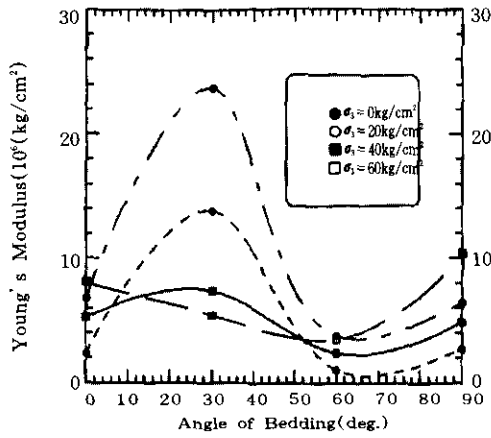


(b) Schist (Akai, 1970)

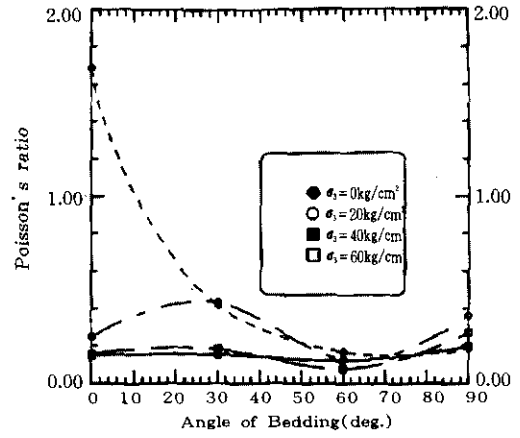
Fig.9 Unconfined compressive strength(kg/cm²)

Table 5. Results of triaxial compression test

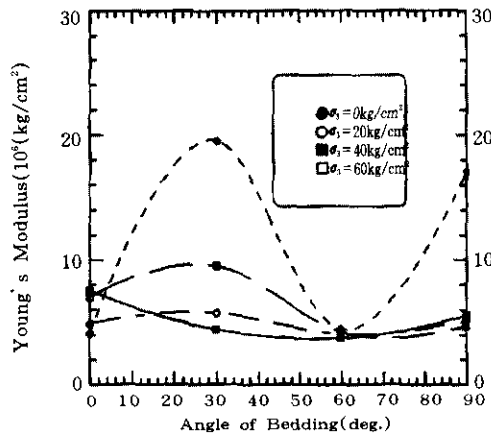
Classification	β°	Red shale				Black shale				Gray shale			
		0	30	60	90	0	30	60	90	0	30	60	90
Deviator Strength (kg/cm ²)	$\sigma_3 = 20$ (kg/cm ²)	947	881	809	978	1850	1700	1400	1799	510	730	285	500
	$\sigma_3 = 40$ (kg/cm ²)	1341	1309	967	1174	2010	2010	1890	1880	580	883	453	810
	$\sigma_3 = 60$ (kg/cm ²)	1607	1408	1138	1685	2300	2680	1970	2500	990	1140	630	990
Young's Modulus (10 ⁵ kg/cm ²)	$\sigma_3 = 20$ (kg/cm ²)	6.79	23.75	3.77	6.45	4.93	5.76	4.07	5.20	1.18	2.72	1.0-8	1.19
	$\sigma_3 = 40$ (kg/cm ²)	5.24	7.36	2.37	4.84	7.50	4.46	3.71	5.60	1.35	2.33	1.61	1.17
	$\sigma_3 = 60$ (kg/cm ²)	8.13	5.39	3.47	10.35	7.01	9.50	4.25	4.72	1.45	1.97	1.65	2.39
Poisson's Ratio	$\sigma_3 = 20$ (kg/cm ²)	0.25	0.43	0.12	0.36	0.28	0.12	0.44	0.20	0.23	0.23	0.18	0.32
	$\sigma_3 = 40$ (kg/cm ²)	0.15	0.15	0.12	0.20	0.32	0.20	0.27	0.30	0.46	0.22	0.12	0.20
	$\sigma_3 = 60$ (kg/cm ²)	0.16	0.18	0.10	0.27	0.25	0.10	0.5	0.21	0.16	0.23	0.15	0.19



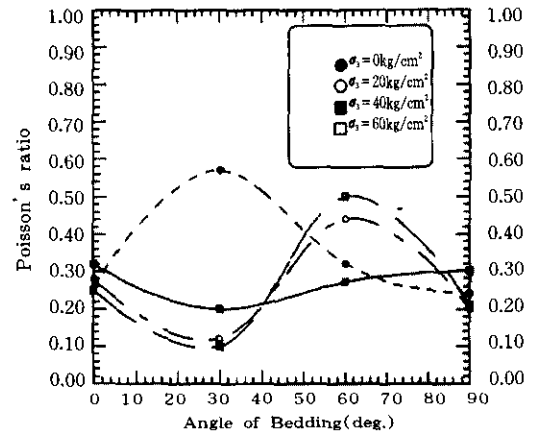
(a) Red shale



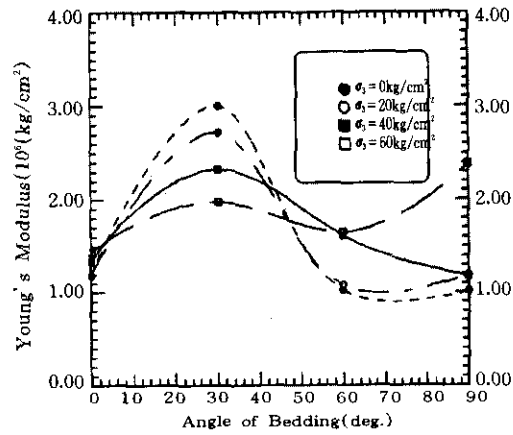
(a) Red shale



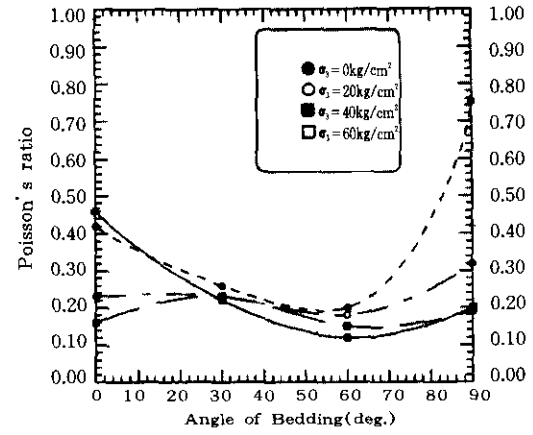
(b) Black shale



(b) Black shale



(c) Gray shale



(c) Gray shale

Fig.10 Young's modulus of shales

Fig.11 Poisson's ratio of shales

되며 또한 암석의 강도특성을 표시하는 가장 일반적인 지표로 많이 사용되고 있다. 삼축 압축시험은 실내에서 구속압을 여러 가지로 변화시켜 암반내의 응력 - 변형률 상태를 현장에서의 조건과 동일한 시험조건을 설정할 수 있어 암반의 역학적 특성을 가장 잘 파악할 수 있다는 잇점이 있다. 시험장치는 부록 2의 그림과 같고 국부적인 변형을 고려하기위해서 strain gauge를 충전면상에 부착하였다.

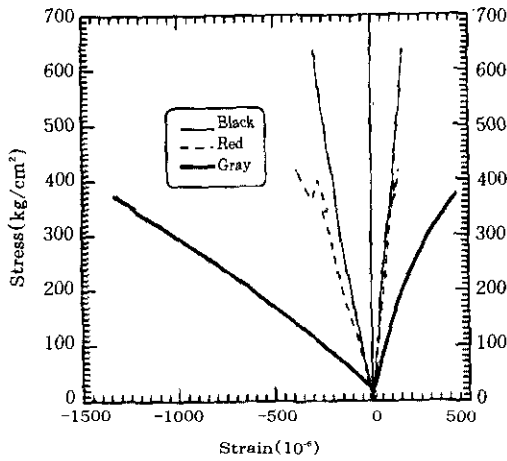


Fig.12 Stress-strain curve

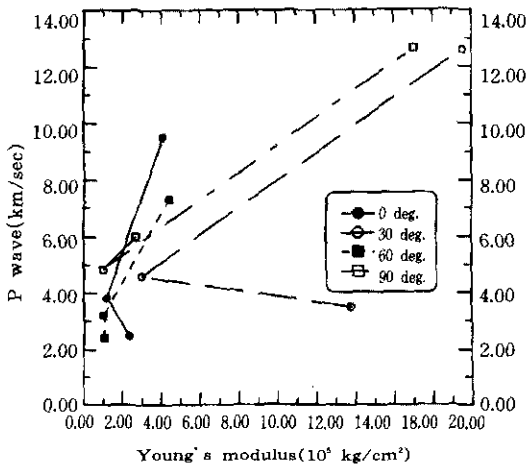


Fig.13 Relationship between p wave and Young's modulus

β 값에 따라 실시한 일축 압축 시험과 구속 압을 3(20, 40, 60kg/cm²)가지로 변화시키면서 실시한 삼축 압축 시험의 응력-변형률 곡선에서 구한 강도와 탄성계수(secant) 및 포아송비의 결과치는 Table 4., 5와 같다. 철암의 종류에 따른 일축 압축 강도는 Fig. 9.(a)에서 처럼 black shale이 강도가 가장 크고 다음이 red shale, gray shale 순이고 β 값에 따른 강도값은 0°에서 최대값을 60°에서 최소치를 나타내는 u자 형태를 나타냈다. Fig. 9.(b)은 Akai(1970)가 실험한 세 종류의 녹니석에 대한 것인데 철암과 마찬가지로 나타났다. 그러므로 β 값의 변화에 대한 퇴적암의 일축 압축 강도특성은 유사하다는 것을 알수 있다.

일축시험과 삼축시험에서 구한 탄성계수 값은 모두 β 값이 0°에서 30°사이에서는 증가하고 30°~60°에서는 감소되다가 다시 90°까지 증가하는 물결 모양의 파형을 띠는 양상을 보이고 있다.(Fig. 10.)

특히 포아송비는 red shale과 gray shale은 똑같이 $\beta=60^\circ$ 에서 가장 낮은 값을 보이고 있는 반면에 black shale은 $\beta=30^\circ$ 에서 최소치를 나타내고 있다.(Fig. 11.)

Fig. 12.는 응력-변형률 곡선으로 black shale은 변형량이 작고 큰 강도를 보이지만 gray shale은 변형량이 크고 강도는 작게 나타났다. 이것은 고결도의 정도에 기인한 것으로 판단된다.

3. 강도 정수

세 종류 shale의 β 값에 따른 일축 및 삼축시험의 결과와 인장 시험 결과를 이용하여 최대 파괴 강도점에서의 mohr의 응력원과 그 파괴 포락선으로 강도 정수 c, ϕ 값을 산출 하였다. 그 결과 red shale은 $\phi=55\sim59^\circ, c=96\sim146.67\text{kg/cm}^2$, black shale은 $\phi=52.5\sim57^\circ, c=146.67\sim266.67\text{kg/cm}^2$ 그리고 gray shale은 $\phi=44\sim50^\circ, c=43.33\sim105\text{kg/cm}^2$ 으로 나타났다.

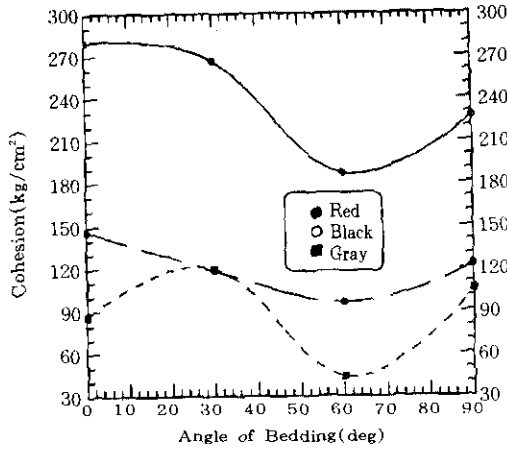
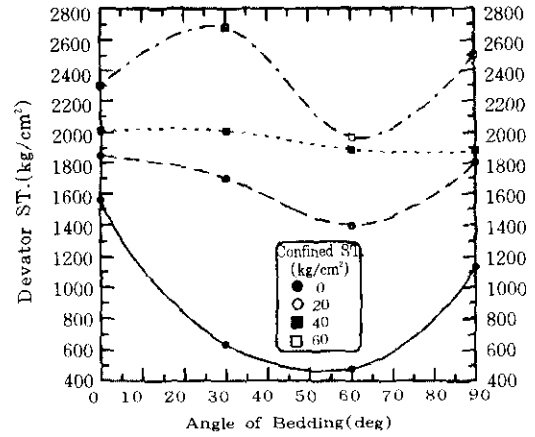


Fig.14 Cohesion of shales



(b) Black shale

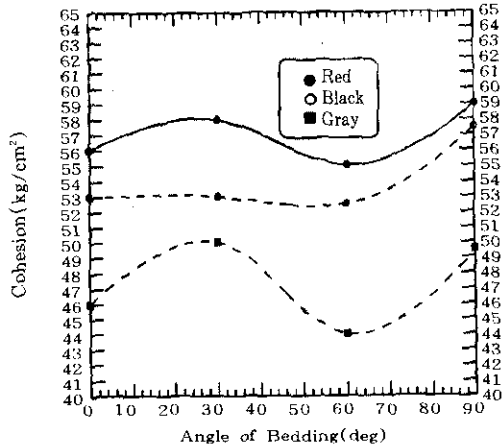
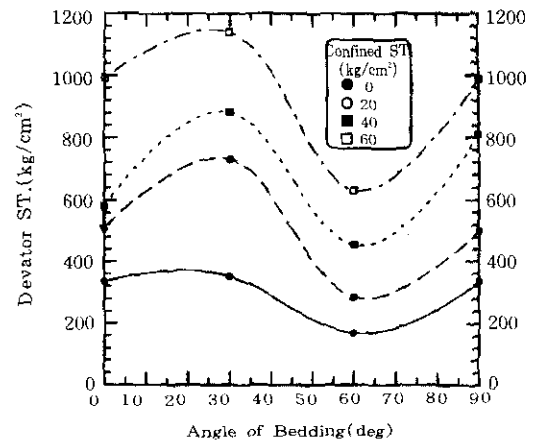
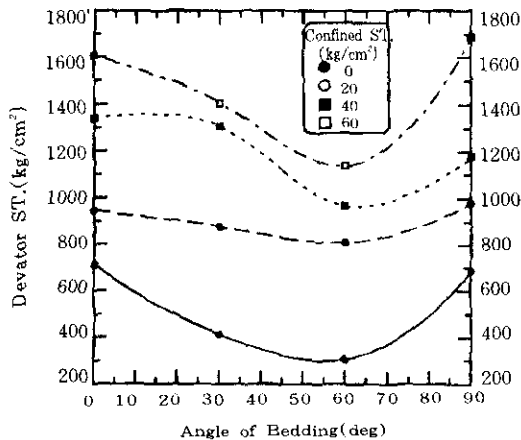


Fig.15 Friction angle of shales



(c) Gray shale



(a) Red shale

Fig.16 Deviator stress by β value

세 종류의 혈암의 강도 정수를 비교해본 결과 마찰각은 red shale이 제일 큰 값을 띠고 점착력은 black shale이 가장 큰 값을 보이고 있다. gray shale은 마찰각, 점착력 모두 제일 작은 값을 나타내었다.

β 값의 변화에 따른 혈암의 강도 정수는 모두 60° 에서 가장 작은 값을 나타내고(Fig. 14, 15.) 있고 축차응력의 변화는 구속압이 증가함에 따라 응력도 증가하는 비례관계에 있다. 구속압(σ_3)에 따른 변화폭은 red shale에서는 20, black에서는 40, gray에서는 0일때가 가장 적

계 변화되는 것으로 나타났다.(Fig. 16.)

참 고 문 헌

4. 결 론

대구지역에 주로 분포하고 있는 red shale, black shale과 gray shale에 대하여 각종 물성과 역학적 특성을 층리면의 경사각에 따라 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 단위중량, 각종 겉보기 비중은 β 값이 커질수록 감소하고 이와 반대로 간극률과 흡수율은 증가하는 경향을 띠고 있다.
- ② 암석의 탄성과 속도는 밀도가 커지면 증가하고 간극률이 증가하면 저하 되는 것이 일반적이지만 퇴적암에서는 β 값에 따라 크게 영향을 미친다.
- ③ 각종 시험결과 3종류 혈암의 탄성과 속도와 탄성계수는 β 값이 0° 에서 30° 사이는 증가하고 30° 부터 60° 까지는 감소되다가 다시 90° 까지는 증가하는 물결 모양의 파형을 띠고 있고 30° 에서 최대치를 나타내었다.
- ④ 인장강도, 일축압축강도, 축차응력 그리고 강도정수는 β 값이 60° 에서 가장 작은 값을 나타냈다.

1. 송무영(1994), 불연속성 암반의 지질공학, 창우출판, 서울, pp.1 - 352.
2. 윤지선(1991), 암석, 암반의 조사와 시험, 구미서관, 서울, pp.1 - 663.
3. 한봉희(1986), X선 회절의 기초, 동명사, 서울.
4. 여산장학문화재단(1996), 퇴적암의 공학적 특성 연구(대구, 경북지역을 중심으로), 대구.
5. Hoek, E. and Brown, E.T.(1980), Underground Excavations in Rock, Stephen Austin and Sons Ltd., Hertford.
6. Jaeger, J.C. and Cook, N.G.W.Cook(1976), Fundamentals of Rock Mechanics, Chapman and Hall, London.
7. Marek, A. Kwasniewski(1993), "Mechanical Behavior of Anisotropic Rocks", Comprehensive Rock Engineering, Vol. 1-12, pp 285-312.
8. Richard, E. Goodman(1989), Introduction to Rock Mechanics, John Wiley & Sons, New York, pp55 - 99.
9. Ramamurthy, T., "Strength and Modulus Responses of Anisotropic Rock", Com Rock Eng., Vol. 1-13, pp313 - 329.
10. Ramamurthy, T., Rao, G.V. and Singh, J. (1988), "A Strength Criterion for Anisotropic Rocks", Fifth Australia-New Zealand Con. on Geomechanics Sydney, August., pp 253-257.

(접수일자 1998. 1. 15)

부 록 1



(a) Red shale

(b) Black shale

(c) Gray shale

Photo.1 SEM test of shales

부 록 2

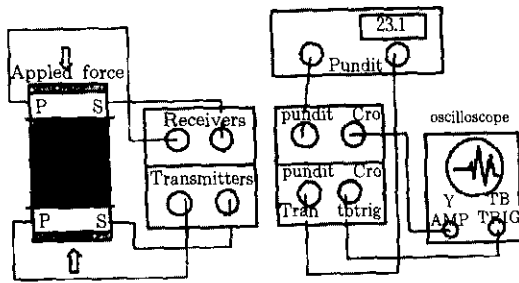


Fig.17 P & S wave velocity test equipment

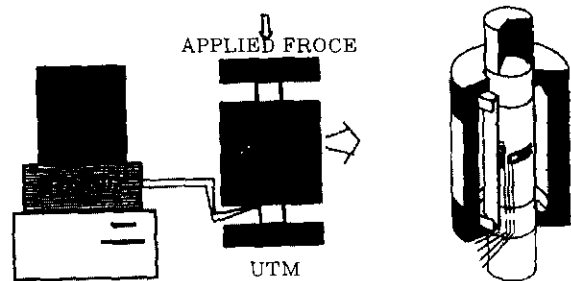


Fig.18 Triaxial test apparatus