

Brazilian시험을 이용한 일축압축강도와 탄성계수의 추정(II)

Estimation of Uniaxial Compressive Strength and Elastic Modulus from Brazilian Test

민 덕 기¹ Min, Tuk-Ki
문 중 규² Moon, Jong-Kyu
노 재 술³ Ro, Jai-Sool

Abstract

Little attention has been paid to Brazilian test for the estimation of uniaxial compressive strength and elastic modulus of rocks as an indirect method despite high availability of civil engineering parameters. This paper employed Brazilian test value to estimate two parameters of igneous rocks (granite, andesite, rhyolite) of Korea. High reliability of Brazilian test has been supported by the conclusions drawn from point load test and Schmidt hammer strike values. It has also been found that this method can be applied easily and rapidly to the estimation of uniaxial compressive strength and elastic modulus of rock cores when direct tests are not available.

요 지

본 연구는 Brazilian 시험결과를 매개로 일축압축강도와 탄성계수를 추정할 수 있는 경험식을 화성암의 대부분을 구성하는 화강암, 안산암 및 유문암을 대상으로 도출하였다. 기존 간편식(점하중 강도지수, Schmidt hammer 타격법)으로 도출된 결과와 비교, 검정을 하여 좋은 상관성과 신뢰성을 확인하였기에 Brazilian 시험은 일축압축강도와 탄성계수를 추정할 수 있는 또 하나의 간접방법으로 사료된다. 특히 지질 조사시 얻은 제한된 코어로 인하여 직접시험이 어려운 경우에도 본 연구에서 제시하는 방법이 효율성이 있을 것으로 사료된다.

Keywords : Andesite, Brazilian test, Correlation, Granite, Uniaxial compressive strength

1. 서 론

암석의 기본 물성중 가장 중요한 일축압축강도와 탄성계수를 간접방법으로 구하는 연구는 지난 반세기 동안 국내외에서 끊임없이 시도되어 왔으며 실용적인 성과도 있었다. 점하중강도 시험법, Schmidt hammer 타격 시험법, 탄성과 속도시험법 등은 쉽고 빠르고 값싸게 일축압축강도와 탄성계수를 추정할 수 있는 방법으로

연구되어 왔으나 암석의 생성배경(화성암, 변성암, 퇴적암)에 따른 특성, 모집단의 규모 및 강도분포의 정규화를 고려하지 않은 이유로 현실과 잘 부합되지 않은 결과를 도출하므로 범용되지 못한 것이 현실이다.

공사설계를 위한 지질조사 성과품인 암석 코어중에는 TCR값과 RQD값이 낮아 직접시험이 어려운 연결암에 대한 시험은 간접시험법으로 추정할 수 밖에 없는 경우도 있다. 또한 코어의 형상과 크기 및 규모에 따라

1 정희원, 울산대학교 공과대학 건설환경공학부 교수 (Member, Prof. Dept of Civil & Environ., Univ. of Ulsan, tkmin@ulsan.ac.kr, 교신저자)

2 정희원, 동명기술공단(주) 부사장, 공학박사, 토질 및 기초기술사 (Member, Dongmyung Eng. Consultant. Co.)

3 정희원, (주)수성ENG, 이사, 토목 시공기술사, 울산대학교 공과대학 박사수료 (Member, Soo Sung Eng. Co. Ltd)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2010년 2월 28일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

어느 특정 간접시험법을 선택해야 할 경우도 자주 있다. 개당 무게가 150~200gr되는 코어의 개수가 25~30개 정도가 된다면 점하중강도 시험법이나 L A 마모율 시험법을 적용할 수 있을 것이며, 20~50mm 두께의 시편 제작이 가능하면 Brazilian 시험법으로 간접추정이 가능할 것이다.

Griffith(1924)는 일축압축강도와 인장강도의 비, 즉 취성도가 8이라는 사실을 이론적으로 증명하였다. 이는 일축압축강도와 인장강도 사이에 일정한 비례가 존재한다는 사실을 제시한 것으로 서로 간에 깊은 상관성이 존재한다는 사실을 암시한 것이다.

이점이 본 연구를 시행하게된 동기이며 이 연구의 일부본인 제1편(민덕기 등, 2008)에서 한국의 퇴적암중 사암과 셰일, 변성암에 속하는 편마암을 대상으로 Brazilian 시험을 매개로 일축압축강도와 탄성계수를 간접적으로 구하는 방법에서 좋은 상관성이 발견되어 후속 연구를 시도하게 되었으며 역시 한국의 화성암을 대표하는 화강암, 안산암 및 유문암을 대상으로 시행된 본 연구에서도 범용성이 있는 방법이란 확신이 서게 되었다. 따라서, 본 고에서는 화강암, 안산암 및 유문암을 대상으로 실험한 성과를 통계적으로 처리한 결과를 평가하여 Brazilian 시험성과를 매개로 하여 일축압축강도와 탄성계수를 추정하는 방법이 기존 방법들과 비교하여 그 실용성이 있음을 입증하고자 하였다.

2. 시료채취 및 가공

2.1 시료채취

한국지질도(한국자원연구소-1995, 1:1000,000)상에 표시된 전국의 대상암을 개략적 면적비례와 등거리 지점을 분할하여 각 암석 특성을 유지하며 전체를 대표할 수 있도록 계획, 채취하였다. 화강암은 불국사계 8개 지점, 123개 브릭을, 대보화강암계 14개 지점, 198개 브릭

표 1. 시료규모

암 종	지점	브릭 수
화강암	불국사	8
	대 보	14
안 산 암	10	127
유 문 암	4	66
전 체	36	514

을 선정 채취하였다. 안산암은 10개 지점에서 127개 브릭, 유문암은 4개 지점의 66개 브릭을 채취하였다. 이들 시료를 표 1에 요약하였다. 선정된 지점에 전개된 공사 현장의 발파, 혹은 절취된 암석중 현장을 대표할 수 있는 신선암과 풍화된 암석의 출토비율에 근접하도록 채취하기 위하여 Schmidt hammer 타격값으로 개략적인 강도분포를 고려하였다.

2.2 시편가공

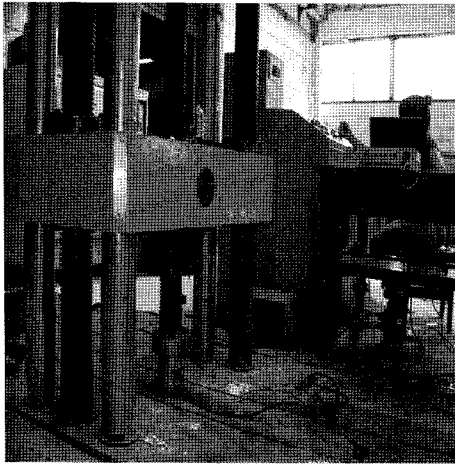
동일 브릭에서 생산된 시료로 일축압축시험, 압열인장시험, 점하중시험을 시행하기 위해 NX 기준 코어로 최소한 30개 이상이 확보되기 위하여 40×50×30cm(약 160kg/브릭)규격을 기준하여 채취하였다. 또한 이들 강도의 상관성 유지를 위하여 길이 28~31cm의 동일 코어에서 각 시험용 시료를 절단 생산하여 시험에 임하였다. 일축압축강도용 시료는 ASTM(D4543-01, D2938-95)과 ISRM(1979)에 따라, 압열인장시험용 시료는 ASTM(D3967-95a)과 ISRM(1978a)에 준하여, 점하중시험용 시료는 ASTM(D5731-95)과 ISRM(1985)의 규정에 따라 가공되었다. 본 연구에 사용된 모든 시료는 공기건조 상태로 각종시험에 임하였다.

3. 시 험

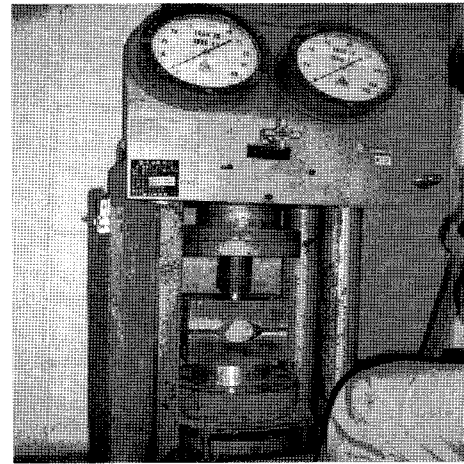
3.1 Brazilian 시험

압열시 가압폭이 원주상에서 약 10mm 정도가 되기 위하여 상, 하부 압축브릭(upper, lower bearing block)의 내부 직경이 95mm가 되도록 스테인강 재료로 제작하여 시험을 시행하였다(ISRM-1978a, ASTM D 3967-95a). 시료의 길이는 54mm를 기준하였고 3개/조로 시험을 시행하여 평균값을 해석에 사용하였다. 수동식 10ton 압축기를 사용하여 5~8분정도(0.2~0.4 ton/분)에 파괴하중에 도달하도록 서서히 가압하였다. 상부 압축브릭과 하중봉 사이에 구형 회전 곡면판(spherical platen)을 삽입하여 축방향 하중전달의 편향을 방지하였다(그림 1(b)). 파괴하중과 시료의 치수에 따라 식 (1)로 압열인장강도를 계산하였다.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi D t} \times 100 \quad (1)$$



(a) 일축압축시험(UTM-MT200S)



(b) Brazilian시험(10ton-수동)

그림 1. 실내시험

여기서, σ_t : 압열 인장강도(MPa)
 P : 파괴하중(ton)
 D : 시료의 직경(cm)
 t : 시료의 길이(cm)

3.2 일축압축강도시험

UTM-200 ton(MT200S, M & T Korea)을 사용하였으며 구형 회전 곡면판으로 축하중의 편심을 방지하였다(그림 1(a)). 공시체를 3개/조로 시험하였는데 분산이 심한 것은 5~7개/조로 추가하여 시험을 실시하였다. 직경 방향 및 축방향 변형율과 재하하중 자료를 1초 간격으로 자료수신 프로그램으로 읽어 자료를 정리하였으며, 제하-재제하 반복은 3~8회씩 실시하였다. 응력-변형율 곡선에서 탄성계수는 마지막 재하의 파괴응력 1/2 지점의 접선 탄성계수로 산출하였다.

3.3 점하중강도시험

ASTM(D 5731-95), ISRM(1985)의 점하중(point load index, $I_{S(50)}$) 시험방법은 직경방향으로 가압하여 지수를 구하고, 시료는 직경이 50mm를 기준하였으며 시편길이/직경의 비가 1.0이상으로 가압하도록 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 직경방향 가압법(PLS/)으로 점하중강도를 산출하였다.

3.4 Schmidt hammer 타격시험

본 연구에서는 암석용으로 제작된 NR hammer(타격

Energy 2.207 Nm-Sanyo Testing Machine-GSR, 자동기록)의 시방에 따라 보정을 한 후 시험에 임하였다. 또한 ASTM(D 5873-05), ISRM(1981b)의 권장에 따라 시험이 시행되었으며 평균 40×50cm의 표면에 6cm간격의 격자를 표시한 후 표면 마모기로 평평하게 갈아서 각 격점에 타격을 하였다. H-빔 좌대 위에 암석 브릭을 클립 밴드로 고정시킨 후 Schmidt hammer의 타격중 브릭의 흔들림이 없도록 하였다.

4. 시험결과

4.1 물리적 성질

안산암은 조직이 치밀하여 단위중량도 높고 흡수율도 낮게 나타나고 있으나 유문암은 그 반대의 성질을 보이고 있다. 또한 안산암에서 일축압축강도와 인장강도의 비인 취성도는 화강암, 유문암보다 높게 나타난다. 화강암도 흡수율과 단위중량을 보면 치밀한 조직임을 보여주고 있다. 이들 시료의 물리적 성질을 표 2에 요약하였다.

4.2 역학적 성질

화강암, 안산암 및 유문암 시료를 대상으로 일축압축

표 2. 시료의 물리적 성질

	단위중량 (ton/m ³)	비중	공극율 (%)	흡수율 (%)	취성도
화강암	2.74	2.709	1.03	0.85	8.78
안산암	2.78	2.744	0.66	0.59	9.14
유문암	2.65	2.731	5.06	4.30	8.38

강도, 탄성계수, 점하중강도, 압열인장강도 및 Schmidt hammer 타격시험을 시행하여 얻은 결과값을 표 3, 표 4, 표 5에 요약하였다.

이는 실험자료가 모집단으로서 해석에 적합한지를 통계적 기준으로 판단하기 위함이다. 즉 각 자료의 분포가 정규분포에 가깝게 전개되었는지, 분산이 과도하여 자료로서의 가치가 있는지를 판단하기 위함이다.

그리고 일반적으로 Schmidt hammer 타격값은 30이하와 60이상에서는 불확실한 값으로 알려져 있으나 본 실험에서 17~87.6에서 표준편차와 변동계수값의 불안정은 없었다. 이는 이 범위내의 값이 실제로 유효함을 의미한다고 볼 수 있다.

본 실험에서 유문암에 대한 Schmidt hammer 타격시험은 시행하지 못하여 이 값의 상호 비교를 할 수 없었다.

세 암석중 안산암의 강도가 가장 크게 나타난다. 이는 표 2에서 공극율이 0.66%로 조직이 치밀하기 때문일 것이다. 유문암은 화강암에 비해서 단위중량과 흡수율도 높으나 강도가 큰 것은 결정질 석영의 용융접합에 기인한 것으로 사료된다.

5. 상관성 해석

압열인장강도를 매개로 일축압축강도와 탄성계수와의 상관성분석을 시도하였다. 암석은 지질학적 생성원인에 따라 강도에 대응하는 거동특성이 각기 다르기 때문에 화강암, 안산암 및 유문암별로 압열인장강도를 매개로 일축압축강도와 탄성계수를 추정하는 식을 유도하여 점하중강도법과 Schmidt hammer 타격시험법으로 유도한 추정식들과 비교를 하여 그들의 우월성을 검토하기 위함이다.

5.1 화강암에 대한 상관성 해석

5.1.1 압열인장강도를 매개로 한 상관성

압열인장강도를 독립변수로, 일축압축강도를 종속변수로 하여 상관성 해석을 하면 이들은 직선 회귀분석에 최적의 상관성을 보이고 있다. 변동계수는 0.08로, 상관계수는 0.982로 좋은 결과를 보이고 있다. 이를 식 (2)와 그림 2(a)에 나타내었다.

$$UCS=8.20*BRZ + 4.45 \quad (2)$$

$$(R=0.982, SD=7.1, CoV=0.08, N=321)$$

표 3. 화강암에 대한 역학실험결과

	Unit	No. of Sample	Strength		Standard Deviation	Median
			Range	Mean		
UCS	MPa	321	10.1~168.0	87.0	37.2	85.0
PLS(//)	MPa	321	0.4~12.3	6.2	2.6	6.2
BRZ	MPa	321	1.2~20.3	10.1	4.5	9.5
SCH	Rn	321	20.2~87.6	67.4	13.6	69.8
E	GPa	321	1.3~47.5	21.8	11.3	20.9

표 4. 안산암에 대한 역학실험결과

	Unit	No. of Sample	Strength		Standard Deviation	Median
			Range	Mean		
UCS	MPa	127	30.5~229.9	117.6	47.7	118.0
PLS(//)	MPa	127	0.6~11.3	5.3	2.6	5.3
BRZ	MPa	127	2.9~26.4	13.1	5.6	13.2
SCH	Rn	127	17.0~82.5	56.2	16.2	60.3
E	GPa	127	11.4~103.1	48.9	20.2	50.1

표 5. 유문암에 대한 역학실험결과

	Unit	No. of Sample	Strength		Standard Deviation	Median
			Range	Mean		
UCS	MPa	66	63.2~143.5	105.3	19.7	106.0
PLS(//)	MPa	66	4.0~10.5	7.4	1.5	7.5
BRZ	MPa	66	6.8~18.8	12.7	2.8	12.7
SCH	Rn	66	-	-	-	-
E	GPa	66	15.7~48.4	32.0	7.1	32.7

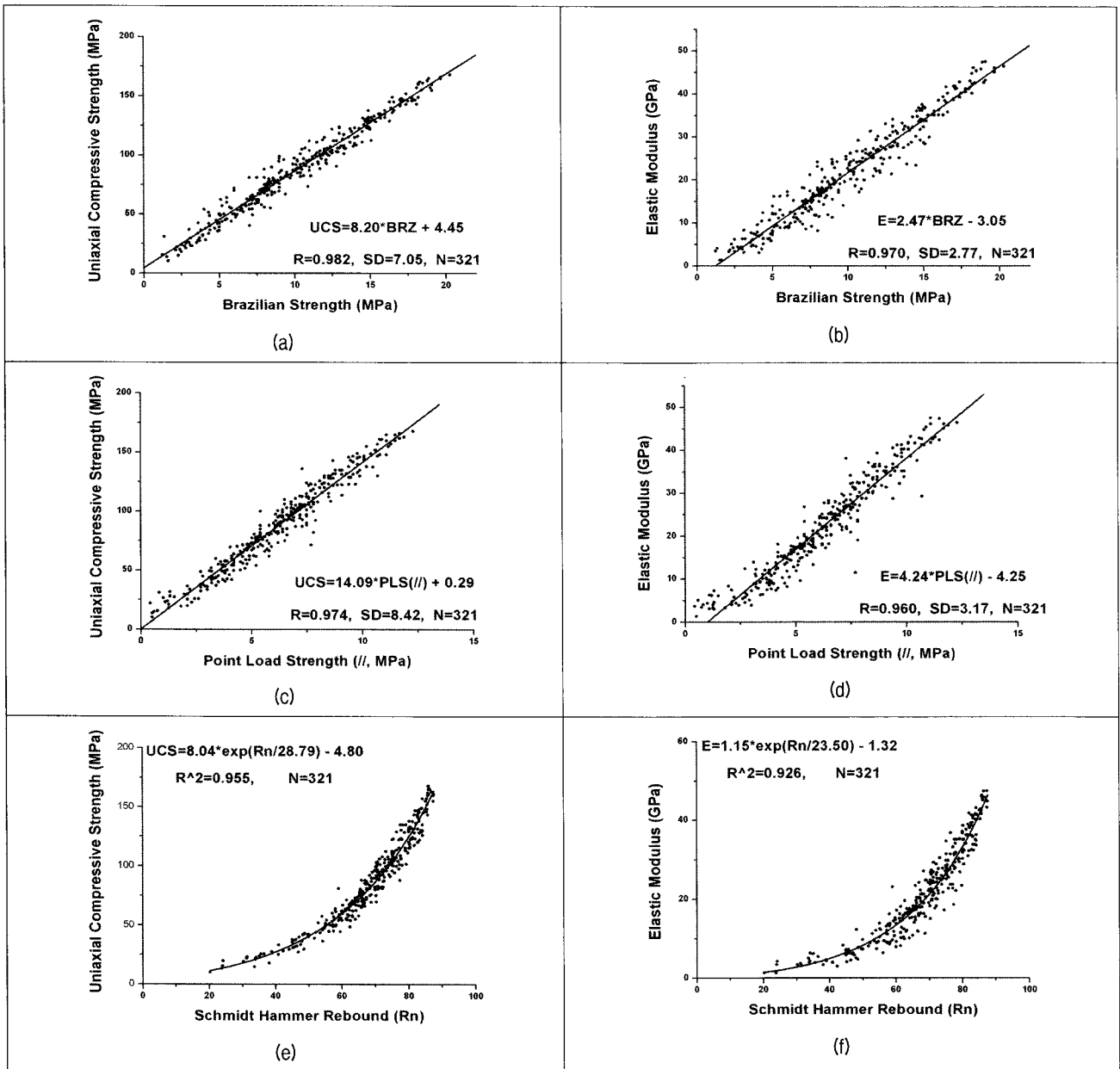


그림 2. 화강암에 대한 상관성 해석결과

탄성계수를 독립변수로 적용한 해석에서는 역시 직선 회귀분석에 좋은 상관계수를 보여주며 변동계수도 0.13으로 적합하게 산출된 것으로 사료된다. 이들을 식 (3)과 그림 2(b)에 제시하였다.

$$E=2.47*BRZ - 3.05 \quad (3)$$

(R=0.970, SD=2.8, CoV=0.13, N=321)

5.1.2 점하중강도를 매개로 한 상관성

직경방향 재하를 한 점하중강도(PLS(//))값을 독립변수로, 일축압축강도값을 종속변수로 한 해석의 결과는 식 (4)와 그림 2(c)에 표현하였다. 직선 회귀분석에 가장

좋은 상관계수를 보이고 있으며 높은 상관성과 작은 변동계수를 보여주고 있다. 탄성계수 추정식도 같은 방법으로 시행하여 식 (5)와 그림 2(d)에 나타냈으며 이 역시 높은 상관성을 보이고 있으며 만족할 변동계수를 나타내고 있다.

$$UCS=14.09*PLS(//) + 0.29 \quad (4)$$

(R=0.974, SD=8.4, CoV=0.10, N=321)

$$E=4.24*PLS(//) - 4.25 \quad (5)$$

(R=0.960, SD=3.2, CoV=0.15, N=321)

5.1.3 Schmidt hammer 반발값을 매개로 한 상관성
 화강암에 대한 Schmidt hammer 타격값은 $R_n = 20 \sim 90$ 사이에서 유효하게 도출되었다. 그림 2(e)와 그림 2(f)에서 곡선은 전 구간에서 굴곡 없이 부드럽게 상향하고 있고 적점에 전혀 무리가 없이 전개되고 있다. 이는 이 구간내의 각점은 모두 유효하다는 것을 의미한다.

Schmidt hammer 타격값을 독립변수로, 일축압축강도값을 종속변수로 잡아 회귀분석을 하면 지수증가(exponential growth) 함수에 가장 높은 상관성을 보여주고 있다. 이를 식 (6)과 그림 2(e)에 요약하였으며 분산도 매우 작게 나타나고 있다.

또한 탄성계수 상관성도 높은 상관성을 보여주고 있

다. 식 (7)과 그림 2(f)가 이들을 나타내고 있다.

$$UCS = 8.04 \cdot \exp(R_n/28.79) - 4.80 \quad (6)$$

$$(R^2 = 0.955, N = 321)$$

$$E = 1.15 \cdot \exp(R_n/23.50) - 1.32 \quad (7)$$

$$(R^2 = 0.926, N = 321)$$

5.2 안산암에 대한 상관성 해석

5.2.1 압열인장강도를 매개로 한 상관성

압열인장강도를 매개로 하여 일축압축강도를 추정할 식은 직선 회귀분석에서 최상의 상관성을 표출하고 있으며 상관계수는 0.992로 매우 높게 나오며 분산도 상대

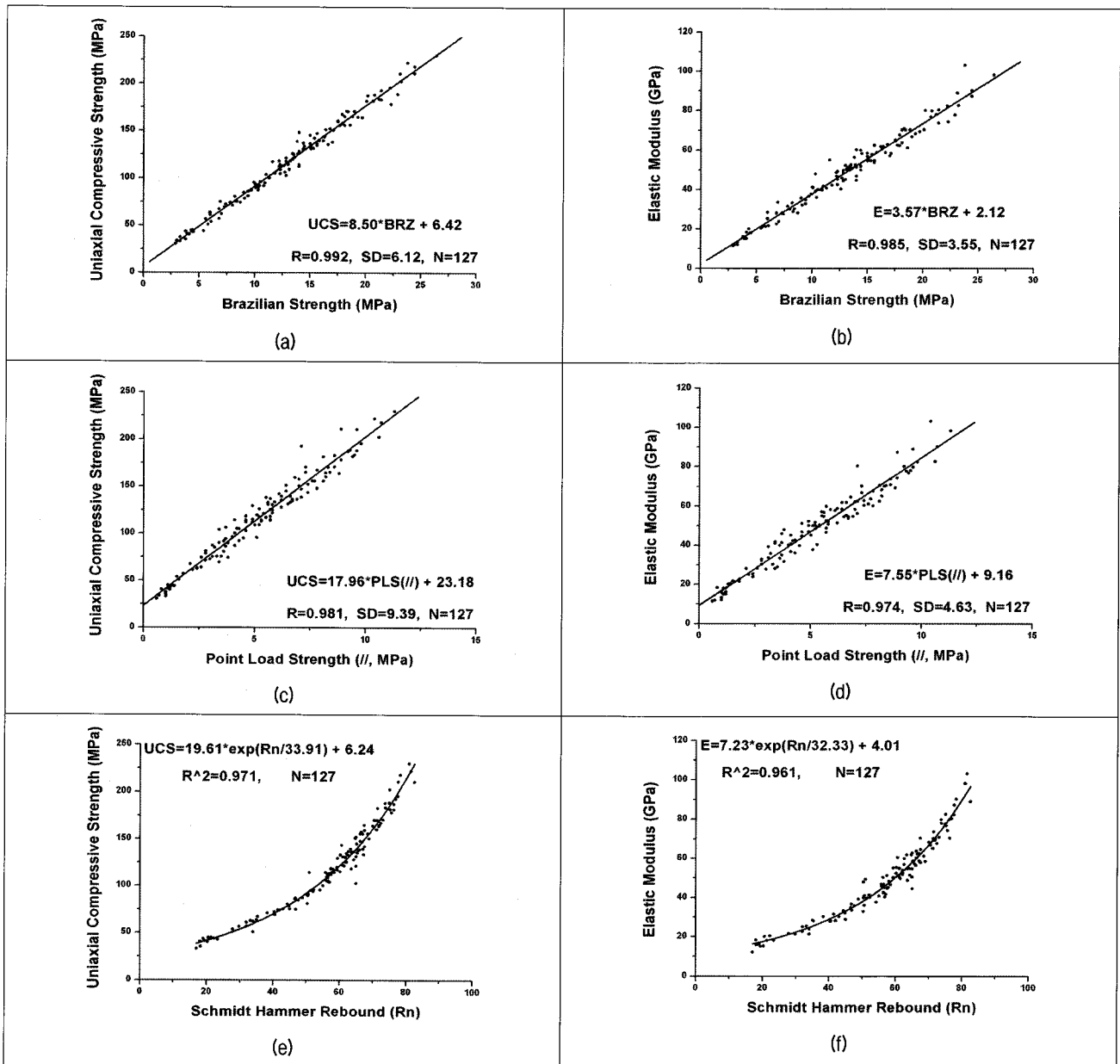


그림 3. 안산암에 대한 상관성 해석결과

적으로 작았다.

식 (8)과 그림 3(a)에 이를 적시하였다.

또 같은 방법으로 탄성계수 추정식도 식 (9)와 그림 3(b)에 제시하였다.

$$\text{UCS} = 8.50 \cdot \text{BRZ} + 6.42 \quad (8)$$

(R=0.992, SD=6.1, CoV=0.05, N=127)

$$E = 3.57 \cdot \text{BRZ} + 2.12 \quad (9)$$

(R=0.985, SD=3.6, CoV=0.03, N=127)

5.2.2 점하중강도를 매개로 한 상관성

직경방향 점하중강도(PLS(//))를 독립변수로, 일축압축강도를 종속변수로 잡고 상관성 해석을 하면 직선 회귀분석에서 가장 좋은 상관계수를 얻을 수 있다.

또 탄성계수를 종속변수로 잡은 상관관계도 직선 회귀분석에서 최적의 상관계수를 보여주고 있다. 두 추정식 모두 절편값이 크게 산출되어 실용상 약간의 문제가 있을 것 같다.

여기서 일축압축강도 추정은 식 (10)과 그림 3(c)에서, 탄성계수는 식 (11)과 그림 3(d)에 표현하였다.

$$\text{UCS} = 17.96 \cdot \text{PLS}(//) + 23.18 \quad (10)$$

(R=0.981, SD=9.4, CoV=0.08, N=127)

$$E = 7.55 \cdot \text{PLS}(//) + 9.16 \quad (11)$$

(R=0.974, SD=4.6, CoV=0.09, N=127)

5.2.3 Schmidt hammer 반발값을 매개로 한 상관성

일축압축강도와 탄성계수를 추정하기 위한 식은 지수증가(exponential growth) 함수에서 최적의 상관성을 보여주고 있다.

여기서 Schmidt hammer 타격값 $R_n = 17 \sim 85$ 사이에서 점진 상향곡선을 보여주고 있으며 전 구간에서 변곡점은 나타나지 않으므로 전구간이 유효구간이라 할 수 있다.

또한 상관성도 매우 높게 산출되었음을 보여주고 있다. 이를 식 (12)와 그림 3(e)에 압축강도 추정을, 식 (13)과 그림 3(f)에 탄성계수 추정식을 요약하였다.

$$\text{UCS} = 19.61 \cdot \exp(R_n/33.91) + 6.25 \quad (12)$$

(R²=0.971, N=127)

$$E = 7.23 \cdot \exp(R_n/32.33) + 4.01 \quad (13)$$

(R²=0.961, N=127)

5.3 유문암에 대한 상관성 해석

5.3.1 압열인장강도를 매개로 한 상관성

유문암의 압열인장강도값을 매개로 일축압축강도와 탄

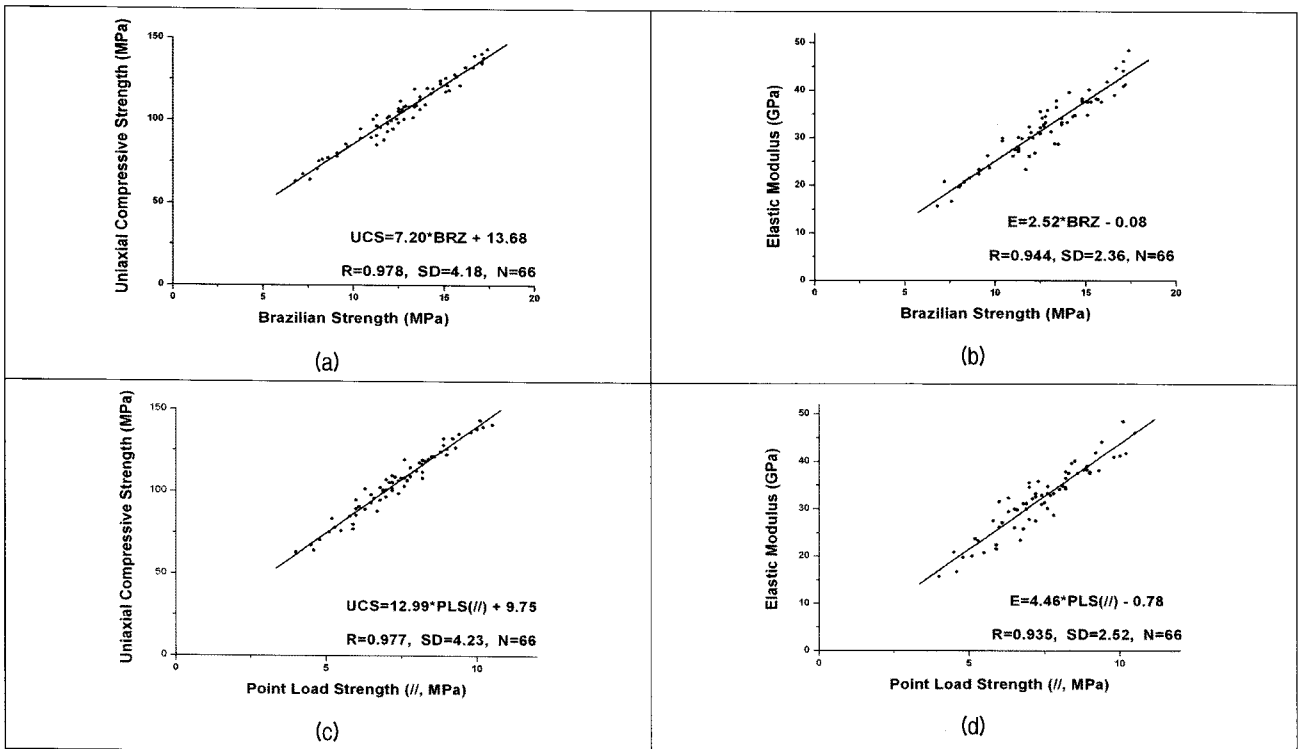


그림 4. 유문암에 대한 상관성 해석결과

성계수 추정을 위한 경험식을 도출하기 위하여 상관성을 해석한 직선 회귀분석에서 최적의 상관성을 보여주고 있다. 도출된 두 식에서 높은 상관성이 있음을 확인할 수 있었다. 이들을 정리하여 일축압축강도 추정식은 식 (14)와 그림 4(a), 탄성계수 추정은 식 (15)와 그림 4(b)에 제시하였다.

$$\text{UCS} = 7.20 \cdot \text{BRZ} + 13.68 \quad (14)$$

(R=0.978, SD=4.2, CoV=0.04, N=66)

$$E = 2.52 \cdot \text{BRZ} - 0.08 \quad (15)$$

(R=0.944, SD=2.4, CoV=0.06, N=66)

5.3.2 점하중강도를 매개로 한 상관성

유문암에서도 직경방향 재하로 얻은 자료값이 분산

이 작아 이를 사용하여 해석하기로 한다.

압열인장강도를 독립변수로, 일축압축강도 및 탄성계수를 각각 종속변수로 잡아 회귀분석을 하면 직선함수에서 최적의 상관계수가 도출된다. 실험 자료의 분산이 작아 좋은 상관계수를 볼 수 있다. 식 (16)과 그림 4(c)에 일축압축강도 해석을, 식 (17)과 그림 4(d)에 탄성계수 추정식을 표현하였다.

$$\text{UCS} = 12.99 \cdot \text{PLS}(\parallel) + 9.75 \quad (16)$$

(R=0.977, SD=4.2, CoV=0.04, N=66)

$$E = 4.46 \cdot \text{PLS}(\parallel) - 0.78 \quad (17)$$

(R=0.935, SD=2.5, CoV=0.08, N=66)

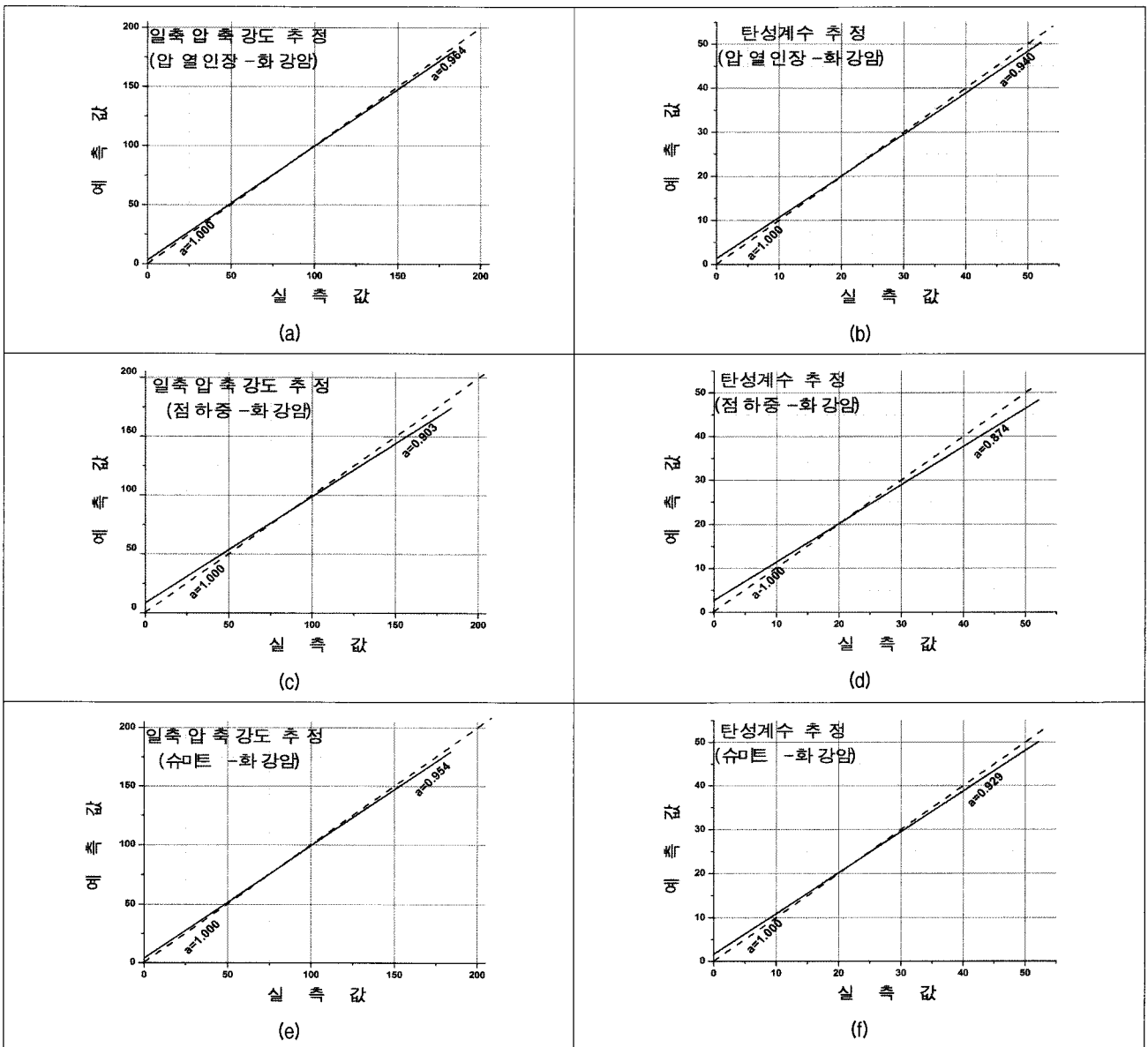


그림 5. 화강암의 예측값과 실측값 대비

6. 해석결과의 평가

압열인장강도 시험값을 매개로 하여 일축압축강도와 탄성계수를 추정할 수 있는 경험식을 유도하였다. 압열인장강도, 점하중강도 및 Schmidt hammer 타격법으로 추정된 값들 중 어느 방법이 참값에 가장 가까운 값을 제시할 수 있는지를 비교 평가해 볼 필요가 있다. 여기서 각 시험방법과 암종에 따라 참값과의 근접성(Closeness, CN)을 대비하였다. 추정값에 대하여 실측값과 대비를 하여 발생한 오차 범위의 크기로 그 유용성을 평가할 수 있을 것이다. 실측값을 횡축에, 예측값을 종축에 적절하여 그 값이 실측값과 일치하면 평면좌표에서 $Y=ax+b$ 의 직선식 기울기값 $a=1.000$ 에 일치할 것이나 그렇지 않을

경우는 예측값 직선이 $a=1.000$ 과 차이가 날 것이다. 그 차이가 오차범위로 간주될 수 있을 것이다.

6.1 화강암에서 상관성 해석결과의 평가

화강암을 대상으로 압열인장강도값을 매개로 일축압축강도와 탄성계수를 추정할 수 있는 경험식으로 추정된 예측값과 실제로 본 연구에서 실측한 값으로 예-실대비를 한 것이 그림 5(a)와 그림 5(b)로 나타났다. 여기서 일축압축강도값의 근접성은 0.964, 탄성계수값의 근접성은 0.940으로 이는 참값과의 추정 오차가 3.6%와 6.0%란 의미다. 이는 본 연구에서 도출된 식 (2)와 식 (3)은 매우 신뢰성이 높다는 것을 의미한다.

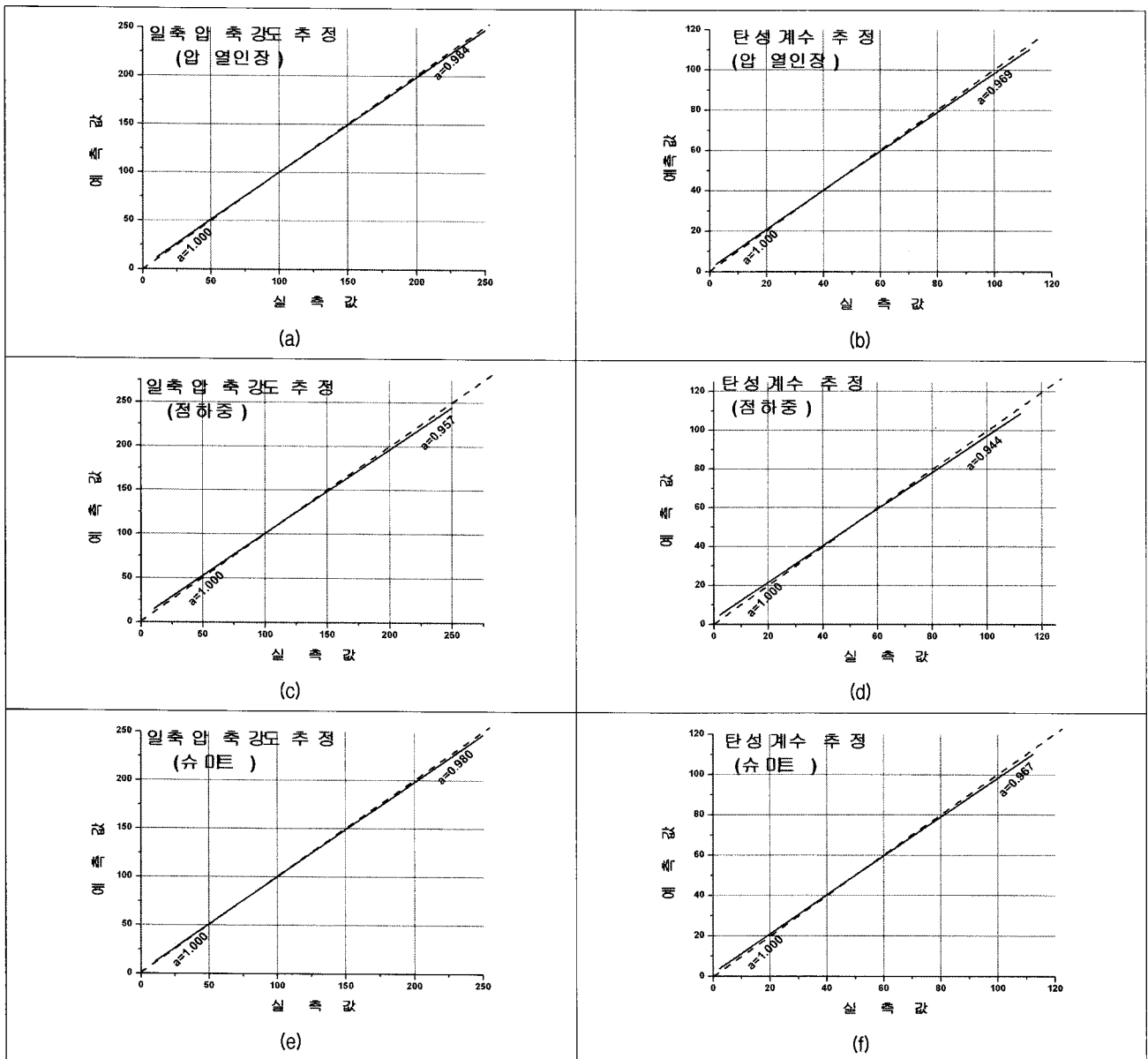


그림 6. 안산암의 예측값과 실측값 대비

점하중강도값을 매개로하여 위와같은 방법으로 그림 5(c)와 그림 5(d)를 도시하였다. 여기서 일축압축강도값의 근접성은 0.903, 탄성계수값의 근접성은 0.874로 이는 참값과의 추정 오차가 9.7%와 12.6%란 의미일 것이다. 이 결과는 압열인장강도로 추정한 오차의 2배가 넘는 수준이다.

또한 Schmidt hammer 타격법으로 도출한 식 (6)과 식 (7)을 사용하여 예-실대비를 하여 그림 5(e)와 그림 5(f)를 도시하였다. 여기서 일축압축강도값의 근접성은 0.954, 탄성계수값의 근접성은 0.929로 이는 참값과의 추정 오차가 4.6%와 7.1%란 의미다. 이 결과는 압열인장강도로 추정한 오차를 미세하게 넘는 수준이다.

6.2 안산암에서 상관성 해석결과의 평가

안산암에서 압열인장강도를 매개로 하여 추정한 식으로 예-실대비한 결과를 일축압축강도는 그림 6(a)에, 탄성계수는 그림 6(b)에 나타냈다. 여기서도 근접성이 0.984와 0.969로 각각 산출되었다. 즉 일축압축강도의 추정오차는 1.6%, 탄성계수 추정오차는 3.1%로 참값과 매우 근접한 값을 추정할 수 있다는 것을 의미한다.

점하중강도를 매개한 추정식으로 예-실대비한 결과를 그림 6(c)에 일축압축강도를, 탄성계수는 그림 6(d)에 나타냈다. 근접성이 0.957과 0.944로 각각 산출되었다. 추정오차는 일축압축강도에서 4.3%, 탄성계수에서 5.6%로 산출되었다.

Schmidt hammer 타격법으로 도출된 자료로 예-실대비를 하여 그림 6(e)와 그림 6(f)를 제시하였다. 여기서 일축압축강도값의 근접성은 0.980, 오차는 2%로, 탄성계수값의 근접성은 0.967, 오차는 3.3%로 산출되었다. 이 역시 높은 신뢰성을 보여주고 있다.

6.3 유문암에서 상관성 해석결과의 평가

압열인장강도를 매개로 하여 유문암을 대상으로 추정한 식으로 예-실대비를 하여 그림 7(a)와 그림 7(b)를 도시하였다. 일축압축강도값의 근접성은 0.980, 탄성계수값의 근접성은 0.938로 산출되었으며 오차도 2.0%와 6.2%로 각각산출되었다.

점하중강도를 매개로 한 예-실대비의 결과를 그림 7(c)에 일축압축강도를, 탄성계수의 대비를 그림 7(d)에 나타내었다.

여기서 근접성이 0.920, 오차가 8.0%와 탄성계수의

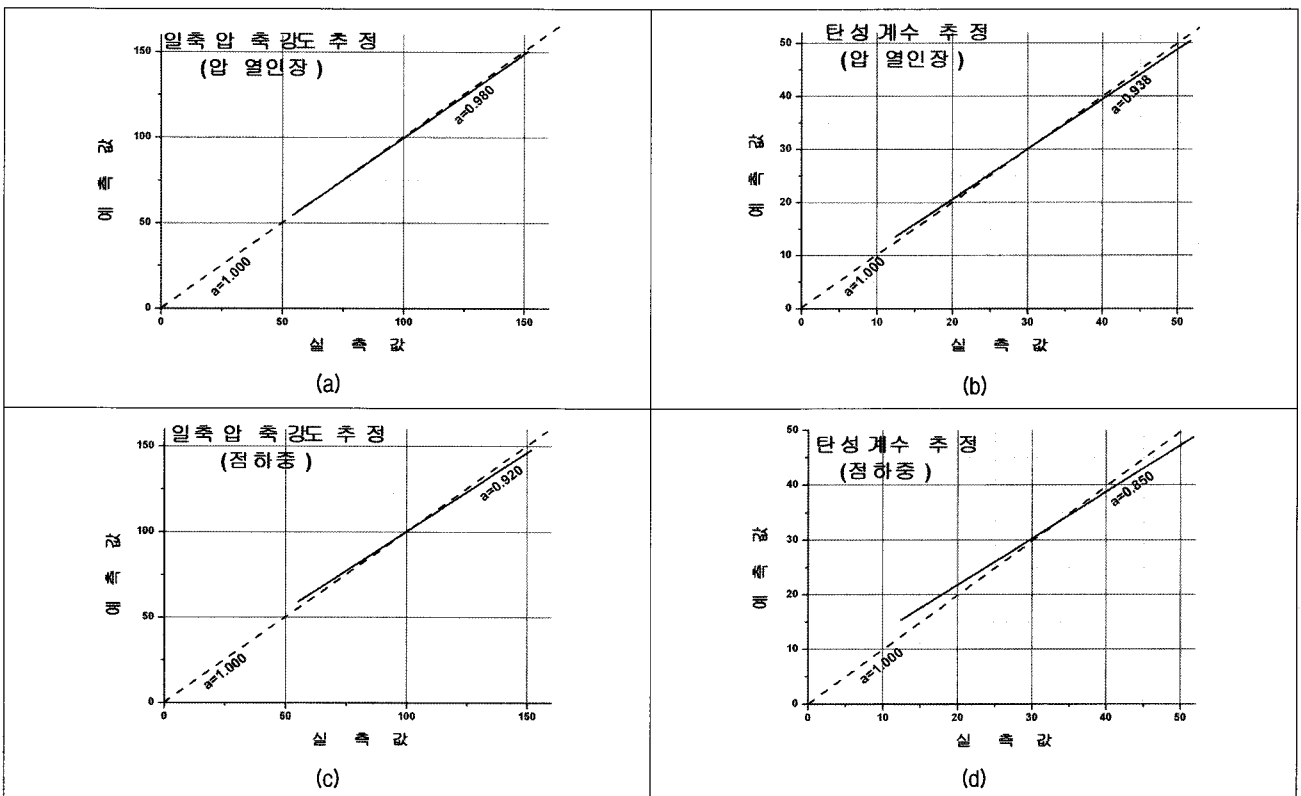


그림 7. 유문암의 예측값과 실측값 대비

표 6. 화성암의 추정방법별 결과

구 분		일축압축강도 추정			탄성계수 추정		
		R	CN	CoV	R	CN	CoV
압열인장강도	화강암	0.982	0.964	0.08	0.970	0.940	0.13
	안산암	0.992	0.984	0.05	0.985	0.969	0.03
	유문암	0.978	0.980	0.04	0.969	0.938	0.06
	평균	0.99	0.97	0.06	0.98	0.949	0.07
Schmidt Hammer	화강암	0.977	0.954	-	0.962	0.929	-
	안산암	0.985	0.980	-	0.980	0.967	-
	유문암	-	-	-	-	-	-
	평균	0.981	0.967		0.971	0.948	
점하중강도	화강암	0.950	0.903	0.10	0.936	0.874	0.15
	안산암	0.978	0.957	0.08	0.972	0.944	0.09
	유문암	0.960	0.920	0.04	0.922	0.850	0.08
	평균	0.97	0.927	0.07	0.963	0.889	0.11

주: R(상관계수), CN(근접성), CoV(변동계수)

근접성이 0.850, 오차가 15.0%로 신뢰성이 낮게 도출되었다. 유문암을 대상으로 Schmidt hammer 타격시험은 시행하지 못하였으므로 이의 대비를 할 수 없었다.

6.4 압열인장강도를 매개로 한 해석결과의 평가

화성암군인 화강암, 안산암 및 유문암을 해석한 상관성 자료, 예측값과 실측값을 대비한 자료 및 통계적 신뢰성의 척도인 변동계수 자료를 정리하여 표 6에 요약하였다. 압열인장강도를 매개로 하여 일축압축강도를 추정하는 각 암종별 식의 평균값에서 상관계수가 0.984, 근접성이 0.976, 변동계수가 0.06으로 산출되었다.

탄성계수 추정식에서는 상관계수가 0.975, 근접성이 0.949, 변동계수가 0.07로 나타났다. 점하중강도의 일축압축강도 추정식의 상관계수가 0.963, 근접성이 0.927, 변동계수가 0.07로 산출되었으며 탄성계수 추정식에서는 상관계수가 0.943, 근접성이 0.889, 변동계수가 0.11로 산출되었다.

Schmidt hammer 타격법으로 일축압축강도를 추정하는 식에서는 상관계수가 0.981, 근접성이 0.967로, 탄성계수 추정식에서는 상관계수가 0.971, 근접성이 0.948로 산출되었다.

세 가지 방법의 추정식에서 상관성, 근접성 및 변동계수는 매우 만족스러우며 그 중에서 압열인장강도를 매개로 일축압축강도와 탄성계수를 추정하는 방법은 신뢰성이 높은 또 다른 간접방법임을 확인 할

수 있다.

7. 결 론

우리나라에 산재한 화성암을 대표하는 화강암 321개 브릭, 안산암 127개 브릭, 유문암 66개 브릭을 대상으로 각종 역학시험을 시행하여 압열인장강도를 매개로 하여 일축압축강도와 탄성계수를 추정할 경험식을 암종별로 유도하여 검증한 결과 압열인장강도를 매개로 하여 일축압축강도와 탄성계수를 추정한 식은 기존의 방법에 비해서 상관성과 신뢰성이 높게 도출되었음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 민덕기, 문종규, 노재술 (2008), "Brazilian 시험을 이용한 일축 압축강도, 탄성계수의 추정", *한국지반공학회 논문집*, 제24권, 10호, pp.131-146.
2. ASTM (D 2938-95), "Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens", *Annual Book of ASTM Standards 2005*.
3. ASTM (D 3967-95a), "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens", *Annual Book of ASTM Standards 2005*.
4. ASTM (D 4543-01), "Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances", *Annual Book of ASTM Standards 2005*.
5. ASTM (D 5731-95), "Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock", *Annual Book of ASTM Standards 2005*.
6. ASTM (D 5873-05), "Test Method for Determination of Rock

- Hardness by Rebound Hammer Method”, *Annual Book of ASTM Standards 2005*.
7. ISRM (1978a), “Suggested Methods for Determining Indirect Tensile Strength by the Brazilian test”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol.15, pp.99-103.
 8. ISRM (1979), “Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials”, *Int. J. Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol.16, No.2, pp.135-140.
 9. ISRM (1985), “Suggested Method for determining Point Load Strength”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, Vol.22, pp.53-60.
 10. ISRM (1981b), “Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, Vol.15, pp.89-97.
 11. Griffith, A. A. (1924), “Theory of Rupture”, *Proc. 1st. Int. Congr. Applied Rock Mechanics*, Delft, pp.55-63.

(접수일자 2009. 4. 16, 심사완료일 2009. 8. 3)