

암석 시험편의 절리 분포 특성에 따른 동적물성 측정에 관한 연구

황희영, 민준현, 이승중, 최성웅 (강원대학교)

1. 서론

최근 전 세계적으로 지진에 대한 인명 및 재산피해가 증가하면서, 지반 구조물의 내진설계에 대한 중요성이 더욱 부각되고 있다. 구조물의 내진설계에 필수 입력 자료로 사용되는 동적 물성 값은 현장시험 또는 실내시험을 통하여 구해질 수 있으며, 그 중에서도 자유단 공진주 시험은 대표적인 실내시험이다. 일반적으로 공진주파수는 지반 또는 지반구조물이 가지고 있는 고유의 주파수를 의미하며, 지진 등의 외력에 의해 지반 진동이 발생하고 이 진동의 진동주파수가 구조물의 고유 공진주파수와 일치하게 되면 진동이 증폭하여 구조물의 동적 불안정성을 초래할 수 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 암반의 고유 공진주파수 특성을 분석하기 위하여 암석시험편을 대상으로 공진주 시험을 수행하였다. 특히 암반 내에 존재하는 절리의 분포 특성에 따른 동적 물성 값의 변화양상을 분석하기 위하여 인공 절리를 생성하여 공진주 시험을 수행하였으며, 이를 토대로 절리의 분포 특성과 암반의 동적 물성 값의 상호 관계를 분석하였다.

2. 인공절리 시험편의 절리 분포 특성에 따른 동적물성치

2.1 시험편 제작

암석 시험편은 대상지역의 지질조건이 심도에 따라 달라지기 때문에 암종 및 물리적 특성이 시추된 구간마다 다른 특성을 나타낸다. 같은 암종으로 이루어진 지역에서도 천부에서 샘플링된 시추코어와 심부에서 샘플링된 시추코어의 물리적 특성은 절리 포함 유무 및 풍화정도에 따라 다르게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 강원도 인제지역에서 샘플링 된 화강암질 편마암을 대상으로 절리의 경사각과 개수에 따른 동적물성치의 특성을 분석하고자 총 21개의 시추코어에 대한 자유양단 공진주파수 시험을 수행하였다.

샘플링 된 암석코어를 대상으로 30°, 60°, 90°의 경사각을 갖는 인공절리를 생성시켰으며, 각 각도별 암석시험편이 7개가 되도록 각 set를 구성하였다. 또한 각 각도별 절리 개수의 변화는 1개에서 3개까지 포함할 수 있도록 인공절리를 성형하였다. 동일한 암석코어를 대상으로 절리의 개수를 점차 증가시켰으며, 그림 1 (a)와 같이 시료의 중심에서 1개의 인공절리를 갖는 시험편을 제작하여 공진주파수를 측정하고, 그림 1 (b) 및 (c)와 같이 2개, 3개의 절리를 갖는 시험편에 대해 각각 시험을 수행하여 절리의 개수 변화에 따른 공진주파수의 변화를 분석하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 한 암석코어에 대하여 절리의 개수를 점차 증가 시킨 이유는 같은 암종의 암석코어일 지라도 각 시료가 갖고 있는 광물학적 특성 즉, 광물의 조성 및 비율의 변화에 따른 영향을 최소

화 하고자 함이다. 절리의 개수의 증가에 따른 절리의 간격은 모두 등간격이 되도록 수직거리를 2 cm로 유지하였다.

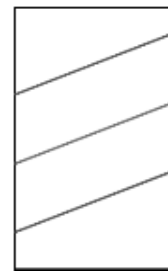
각 시험편의 인공 절리 성형 후 인공 절리를 충전하는 충전 물질로는 일반주입용 A급 석고를 사용하였다. 표준 혼수량 75%, 종결팽창률 0.12%, 건조 시 압축강도 150 kg/cm^2 의 제품을 사용하였으며 표준 혼수량에 맞춰 석고와 물의 비를 1 : 0.75로 맞춰 성형을 수행하였다. 또한, 인공 절리를 성형하기 위해 유실된 커터날의 폭 만큼을 석고로 충전 하였으며, 충전에 따른 길이변화를 최소화하고 시료의 형상 유지를 위해 그림 2와 같은 성형 틀을 제작하였다.



(a) 인공 절리의 개수 1

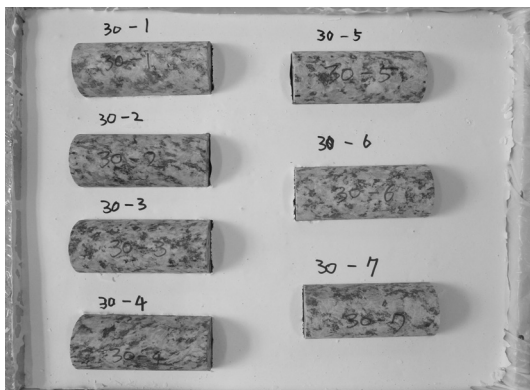


(b) 인공 절리의 개수 2



(c) 인공 절리의 개수 3

그림 1. 인공 절리의 성형



(a) 인공 절리의 성형 틀



(b) 인공 절리 시험편

그림 2. 인공 절리 시험편의 성형

2.2 시험방법

제작된 시험편은 시험편을 양단자유조건으로 유지해주는 기본 Frame과 충격원으로 응력파를 발생시켜주는 충격해머(Impact Hammer), 수신 장치로는 가속도계(Accelerometer)를 사용하였으며, 수신 장치에서 받아들인 파형을 디지털신호로 변환해주는 FFT(Fast Fourier Transform) 기능이 내장된 Data Physic 사의 Dynamic Analyzer를 사용하였다(표 1).

ASTM C215-02(2003)에서 제시된 방법에 따라 시험편의 종방향 공진주파수를 취득하기 위하여 그림 3.(a)와 같이 수신 장치를 시험편의 한쪽 횡단면 중앙에 부착시키고, 반대편 방향으로 타격지

점이 일직선상에 오도록 위치시킨 후 충격해머로 충격을 가하여 공진주파수를 취득하였다. 비틀림파의 측정 또한, ASTM C215-02에서 제시된 방법으로 각 시험편의 공진주파수를 측정하였다.

표 1. 가속도계와 충격해머의 제원(민준현 외, 2011)

Accelerometer		Impact Hammer	
Measurement Range(m/s^2)	$\pm 4,905$	Measurement Range(N)	222
Frequency Range(Hz)	5~60,000	Resonant Frequency(kHz)	≥ 100
Resonant Frequency(kHz)	≥ 95		

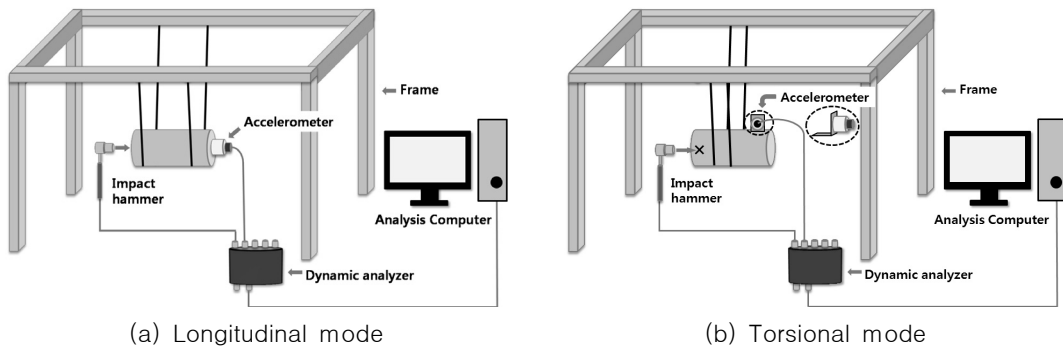


그림 3. 자유양단 공진주 시험의 모식도

2.3 시험결과

인공절리의 경사각과 절리개수의 변화에 따른 자유양단 공진주 시험의 결과를 정리하면 표 2 과 같다. 각 각도별 7개 시험편에 대한 결과값을 평균하여 나타내었으며, 인공 절리에 의한 영향을 분석하고자 각 시료별 절삭 전 단계에서의 동적 물성치를 분석하여 정리하였다.

절리의 개수 변화에 따른 동적물성치의 분석 결과 중, 동탄성계수와 동전단계수의 변화는 표 2 과 그림 4~5에서 알 수 있듯이 절리의 개수가 증가할수록 점차 감소되는 경향을 나타내었다. 이는 절리의 개수 증가 즉, 암석시험편의 결합력 감소로 인한 강도저하로부터 나타난 결과이며, 충격원에 의한 응력파의 전달이 인공절리로 표현되는 충전 물질에 의해 감소된 것으로 분석할 수 있다.

또한, 절리의 경사각의 변화에 따른 영향을 분석한 결과, 동탄성계수는 절리의 개수가 증가됨에 따라 30° 경사각을 갖는 시료가 가장 작게 나타났고, 60°, 90° 순으로 감소되는 경향을 확인할 수 있었다(그림 4 (a)). 하지만 동전단계수의 경우, 그림 4 (b)에 나타난 바와 같이 절리의 경사각 변화에 큰 영향을 받지 않고, 절리의 개수가 증가됨에 따라 선형적으로 감소되었다. 이러한 결과는 이옥답 (2011)에 의한 이방성 시료에 대한 동적물성치 분석 결과와 유사한 결과로서, 동전단계수는 이방성 각도나 본 연구에서 수행된 절리의 경사각 변화에 큰 영향을 받지 않는 것을 확인할 수 있다.

중파와 비틀림파의 Damping ratio는 주파수의 특성에 따라 달라지는 값으로서 공진주파수와 공진주파수의 진폭에 0.707배에 해당하는 두 주파수 값의 관계식으로부터 구해진다. 하지만 이 값은

가속도계의 접촉상태 및 충격해머의 타격 상태에 따른 조건 즉, 시험자의 숙련도에 따라 그 최대 진폭을 갖는 공진주파수의 파장이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 자유단 공진주 시험을 위해 제작한 프레임이 충격해머타격 시 진동하여 공진주파수에 영향을 주었다. 이로 인한 영향으로 파장 값이 정밀하게 측정되지 못해, 일정한 경향을 나타내지 못한 것으로 분석된다.

표 2. 인공 절리의 분포 특성에 따른 동적 물성

Joint angle (°)	Joint Number	Average Value of Test Results								
		Longitudinal Mode				Torsional Mode				V _d
		L _v (m/s)	F (Hz)	D _L	E _d (GPa)	T _v (m/s)	F (Hz)	D _T	G _d (GPa)	
30	0	4,317	19,224	0.74	51.02	2,876	12,810	0.31	22.63	0.13
	1	3,481	15,491	0.89	32.72	2,446	10,884	0.52	16.14	0.10
	2	3,212	14,319	0.86	27.54	2,307	10,284	0.69	14.20	-0.03
	3	3,069	13,696	0.93	24.91	1,851	8,261	0.76	9.05	0.38
60	0	4,341	19,453	0.69	51.58	2,877	12,893	0.36	22.62	0.14
	1	3,784	16,926	0.92	38.17	2,476	11,076	0.68	16.33	0.19
	2	3,558	15,923	1.27	33.33	2,206	9,876	0.70	12.77	0.31
	3	3,344	14,976	1.54	29.06	2,103	9,425	0.62	11.47	0.28
90	0	4,425	19,719	0.60	53.96	2,893	12,893	0.39	23.05	0.17
	1	4,293	19,090	0.97	49.81	2,387	10,617	0.88	15.40	0.62
	2	4,305	19,133	1.67	48.01	2,234	9,928	0.60	12.91	0.86
	3	4,261	18,959	1.88	44.92	2,076	9,234	1.48	10.64	1.11

*L_v: Velocity of Longitudinal wave
 F: Resonant Frequency
 D_L: Damping Ratio of Longitudinal mode
 E_d: Dynamic Young's Modulus
 T_v: Velocity of Torsional wave
 D_T: Damping Ratio of Torsional mode
 G_d: Dynamic Shear Modulus
 V_d: Dynamic Poisson's Ratio

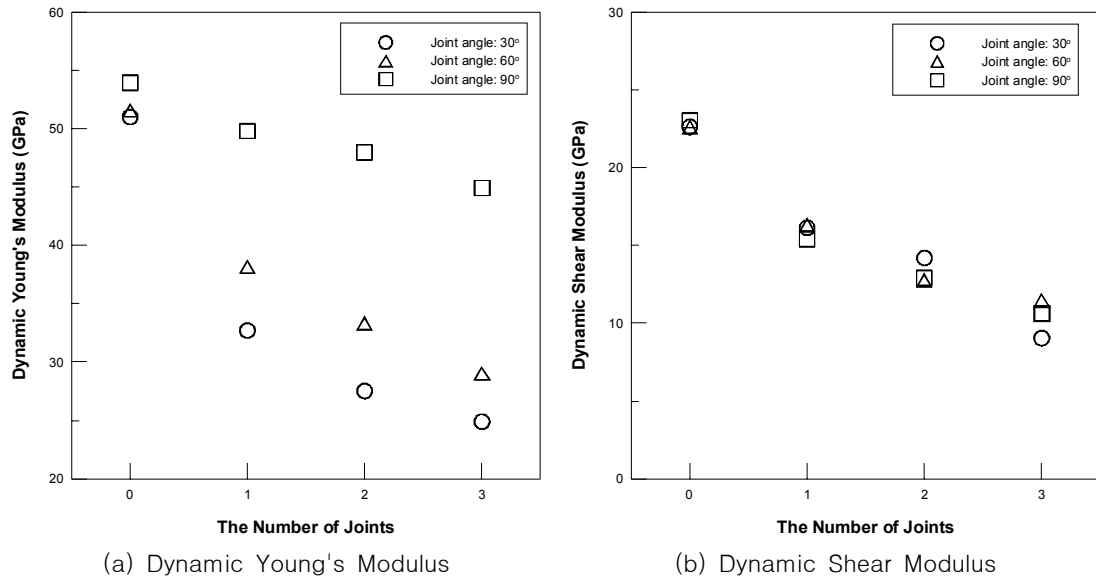


그림 4. 인공 절리의 경사각과 개수의 변화에 따른 동탄성계수와 동전단계수

3. 결론

본 연구에서는 화강암질 편마암 시료를 대상으로 인공절리의 개수와 경사각에 따른 동적물성치 특성을 분석하고자 자유양단 공진주 시험을 실시하였다.

시험결과 절리의 개수가 증가할수록 동탄성계수와 동전단계수는 감소하는 경향을 보이고 절리의 경사각 변화에 따른 결과는 동탄성계수의 경우 30°경사각을 갖는 시료에서 가장 작게 나타나며 60°, 90°순으로 감소되는 경향을 나타내었다. 동전단계수는 이방성의 각도나 절리의 경사각 변화에 큰 영향을 받지 않고, 절리개수에 의한 선형적인 감소가 나타났다.

본 연구에서 분석된 바와 같이, 향후 대표 암종들을 대상으로 추가적인 연구를 통하여 대표암종들의 동적물성치와 절리의 상관관계를 정립한다면, 불연속면의 동적해석 및 내진설계시 기초자료로 사용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 민준현, 이승중, 최성웅, 2011, 콘크리트 시험편의 공진주파수 특성에 관한 연구, 2011 한국 암반공학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 119-122.
2. 이옥탑, 2011, 온양지역에 분포하는 호상편마암을 이용한 평면 이방성 암석의 탄성상수 측정 방법, 이학석사학위논문, 강원대학교 대학원, pp. 57-63.
3. ASTM, 2003, Standard test method of Fundamental transverse, longitudinal, and torsional resonant frequencies of concrete specimens, designation: C215-02