

경주 지역 미고결 각력층의 공학적 특성 분석

An Aanalysis of the Geotechnical Characteristics of the Uncemented Breccia at Kyeongju District

윤성학* 이권* 사상호* 박세주* 라일웅** 친윤철** 조남준***
Yun, Sung-Hak Lee, Kun Sha, Sang-Ho, Park, Sei-Joo Ra, Il-woong Cheon, Yoon-chul Cho, Nam Jun

ABSTRACT

The uncemented breccia consisted of conglomerate and breccia, which are not originated from volcanic clastics, shows wide variation of engineering properties depending on the characteristics of matrix of the uncemented breccia. These uncemented breccia have breccia and matrix irregularly distributed according to their depth and position. Clay minerals are also included in the matrix of these uncemented breccia, so they are expected to show expansive behavior and weakness against weathering process. In this study, the volumetric ratio of breccia on the cores had been calculated using digital image processing technique (*performed on recovered core box and their sections*). The 3-axial compressional strength test had been done with a shaping of rapid cooling method, and the shear strength (c , ϕ) of uncemented breccia due to the breccia content had been calculated by applying BIMROCK model curve suggested by Goodman. A reliable analysis on the engineering properties of uncemented breccia had been also possible by using borehole density logging and borehole loading test for the accurate determination of the unit weight and the deformation constants deformation modulus.

1. 서론

본 지역에서 발견되는 각력층은 단층작용에 의한 단층애(Fault Scarp)를 따라 퇴적된 각력 위주의 인접 돌서령 선상지 퇴적물로서 층 두께는 최소 20m 이상으로 주로 수십 cm 이상의 거력들로 구성되며 지층 형성시기가 짧아 기질부(matrix)의 고결도(cementation grade)가 낮은 미고결의 퇴적층이다. 이러한 각력층은 각력과 기질의 특성에 좌우되며 고결에 이르는 과정에 있어 결합력이 약해 쉽게 파쇄되며 각력 및 기질이 심도별 위치별로 불균질하게 분포하고 있다. 또한 터널 시공시 굴착 대상지반으로서 강도가 약하고 굴착시 각력의 낙반 및 지하수의 대량 유입 등 막장안정에 위험이 있을 것으로 예상되며 기질에 점토광물이 포함되어 있는 경우 팽창성 거동 및 풍화에 취약할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 경주지역을 중심으로 분포하고 있는 각력층에 대한 공학적 특성을 각종 실내시험(물성 및 역학시험)과 현장시험을 통해 파악하여 경주지역 개발에 있어서 안전하고 경제적인 설계와 시공에 참고자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

* (주)EJtech 토목설계부 과장, 정희원 * (주)EJtech 토목설계부 부장, 경희원 * (주)EJtech 상무이사 * (주)EJtech 대표이사
** (주)삼성건설 토목사업본부 차장, ** (주)삼성건설 토목사업본부 상무이사
***국민대학교 건설시스템공학부 교수

2. 각력층의 공학적 특성 파악을 위한 조사항목

도표 1의 시험들을 통하여 각력층의 공학적 특성을 파악하였다.

도표 1. 각력층의 공학적 특성 파악을 위한 조사항목

구분	조사항목	조사내용
현장시험	<ul style="list-style-type: none"> ·공내밀도검증 ·현장투수시험 ·순간수위변화시험 ·S-PS검층 	<ul style="list-style-type: none"> ·시추공을 이용하여 각력층의 현장밀도 산정 ·각력층의 투수계수 산정 ·각력층의 수리전도도 산정 ·각력층의 동적물성치 산정
실내시험	<ul style="list-style-type: none"> ·함수량 시험 ·x-ray회절 분석 ·암석박편 현미경관찰 ·점하중 강도시험 ·삼축압축시험 ·소형일면전단시험 ·대형일면전단시험 	<ul style="list-style-type: none"> ·심도별 함수량 산정 ·각력층의 구성광물 분포 확인 ·각력층 구성광물의 성분 및 함량 확인 ·각력층의 일축압축강도 산정 (습윤, 건조상태 시료) ·각력층의 전단강도 산정 (급속냉각으로 시료성형) ·각력층의 강도경수 산정 ·각력층의 강도경수 산정

3. 시험결과 및 분석

3.1 물리적 특성

3.1.1 기질부 입도분석 및 함수량 시험

각력층의 기질(matrix)에 대해서 체분석과 비중계분석 시험을 통하여 입도분석을 실시하였으며, 현장에서 각력층 시료를 채취하여 함수량 시험을 실시하였다.

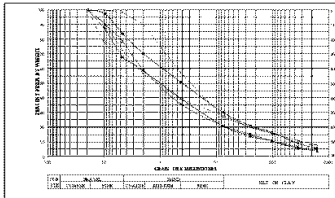


그림 1. 기질부 입도분석시험 결과

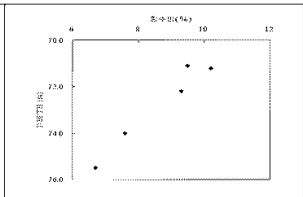


그림 2. 심도별 함수비

각력층의 기질에 대한 입도분석 결과 실트쉬인 모래(SM)로 분류되었으며, 함수비 시험결과 6.7~10.2%(평균 8.7%)의 범위를 보였다.

3.1.2 현미경관찰 및 Modal 분석

각력층에 대한 암석-광물학적 특성 파악을 통해 암석 종류 및 암석명은 결정하고 조암광물 동정 및 구성광물의 발달 상태, 조직적 특징 등의 기재문 통해 암석학적 특성 파악할 수 있었다. 또한 구성광물들의 변질 정도나 파쇄 정도 등을 파악함으로써 암석 및 암반의 정성적 강도 특성을 유추할 수 있으며 풍화와 균열특성을 파악할 수 있었다.

도표 2. 암석파편 현미경 관찰결과(%)

암석명	석영	경장석	사장석	흑운모	회절석	자철석	계
기질부 사암	33.94	22.06	31.26	5.52	2.40	0.49	99.6
화강암역	36.68	28.53	29.80	3.83	0.91	0.07	99.9

a) 기질부 사암

b) 화강암 역

암석파편 현미경 관찰결과 기질부등 대부분 구성하고 있는 광물은 타형의 석영, 경장석, 흑운모 그리고 녹니석과 푼투명광물이었으며, 화강암류의 역은 세립~중립질의 석영, 경장석, 사장석이 주 구성 광물이며, 소량의 흑운모와 푼투명광물이 함유된 것으로 관찰되었다.

3.1.3 X-선 형광분석

X-선 형광분석을 통하여 각역중의 구성하는 주요구성광물에 대한 감광과 질정도에 대한 정보를 정성적으로 판별하고 화산암질 퇴적암류의 기질이나 역암류의 석기 등 육안이나 현미경상에서 구별할 수 없는 미경질 또는 은미경질의 광물에 대한 정확한 정보를 얻고자 하였다.

도표 3. X-선 형광 분석 결과

암 석 명	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	조기손실량	합계
기질부 사암	66.61	12.40	0.38	2.54	0.14	1.81	3.24	2.19	3.46	0.01	6.47	99.24
화강암역	75.41	12.13	0.10	0.93	0.02	0.03	0.29	3.37	4.85	0.01	0.45	97.59

기질부 사암에 대한 X선 형광분석 결과, SiO₂ 함량이 66.61%로 나타나며 화강암 역에 대한 결과 75.41%의 다소 높은 SiO₂함량과 상대적으로 낮은 Al₂O₃함량을 보여 흑운모화강암과 동일한 것으로 보였다.

3.1.4 X-선 회절분석

X-선 회절분석을 통하여 광물의 팽창성 점토질점 함유여부 및 함유량을 분석하여 구조물의 안정성을 판단하는 자료로 활용하였다.

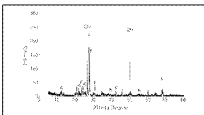


그림 3. X-선 회절분석 결과

구성광물 및 함량비 분석 결과 장석(F) 46.3%, 카올린 나이트(Ka) 45.2%, 석영(Qtz) 7.5%로 나타났다.

3.2 강도 특성

3.2.1 점하중 강도시험

각역중의 역과 기질부에 대해 점하중 강도시험을 실시하여 각역중의 일축압축강도를 산정하였다.

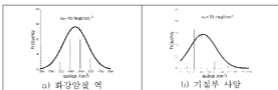


그림 4. 각력층의 역과 기질부에 대한 결하중 강도시험 결과

결하중강도 시험결과 화강암질 역의 일축압축강도는 168 ~ 714kgf/cm²의 범위를 보였으며 평균 451kgf/cm², 기질부 사암은 0.83 ~ 114.97kgf/cm²의 범위를 보였으며 평균 33.1kgf/cm²의 강도를 보였다.

3.2.2 소형일면 전단시험(Matrix)

각력층내 기질부의 성형이 불가하여 재성형 시료를 이용해서 강도경수(c, φ)를 산정하였다.

도표 4. 기질부의 소형일면 전단시험 결과

구분	수직응력	전단응력	응력 - 변형을 곡선	수직응력 - 전단응력 곡선
TB-11	0.5	0.14		
	1.0	0.22		
	1.5	0.37 ²		
강도경수	c : 0.019kgf/cm ² , φ : 12.6°			

3.2.3 대형일면 전단시험(각력층)

역과 기질을 혼합한 재성형된 시료를 이용하여 각력층의 강도경수(c, φ)를 산정하였다.

도표 5. 각력층의 대형일면 전단시험 결과

구분	수직응력	전단응력	응력 - 변형을 곡선	수직응력 - 전단응력 곡선
TB-11	1.0	1.05		
	3.0	2.54		
	5.0	4.01		
강도경수	c : 0.31kgf/cm ² , φ : 35.5°			

3.2.4 삼축압축시험

기질(Matrix)의 삼축압축시험을 위한 시료를 급속냉각으로 성형하여 시험을 실시하였다.

도표 6. 기질부 삼축압축 시험결과

공 번	심도(m)	경각력(kgf/cm ²)	내부마찰각(°)		<ul style="list-style-type: none"> c = 4.13 ~ 7.23kgf/cm² φ = 32.9~36.5°
TB-8	24.2	4.34	32.9		
TB-9	25.0	5.45	35.4		
TB-10	38.2	4.13	35.2		
TB-11	17.2	7.27	36.5		

3.2.5 전단강도(c, ϕ)산정

디지털 영상처리 기법을 활용하여 시추코어로부터 각력층내 각력의 함유량을 측정하였으며 각력의 함유량(부피비)을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{각력함유량(부피비)} = \left(\sqrt{\frac{\text{각력면적}}{\text{시추코어 측면 면적}}} \right)^2 \quad \text{----- (1)}$$

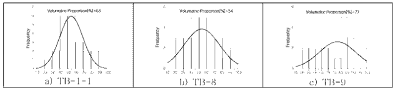


그림 5. 각력의 함유량(부피비) 결과

식 (1)을 이용하여 시추공별도 각력층의 각력함유량 산정결과 54~77%의 범위를 보였으며 평균 63.8%를 나타내었다. 각력함유량 산정결과를 이용하여 Goodman이 제시한 BIMROCK모형곡선을 통해 각력층의 역함유량에 따른 각력층의 전단강도 (c, ϕ)를 산정하였다.

도표 7. 점각력 산정결과

점각력비	구분	점각력비		점각력, c(tf/m ²)		평균
		최소값	최대값	최소값	최대값	
	TB-8	52	98	22.6	42.5	32.6
	TB-9			28.3	53.4	40.9
	TB-10			21.5	40.5	31.0
	평균			24.1	45.5	34.8

도표 8. 내부마찰각 산정결과

내부마찰각비	구분	내부마찰각비		내부마찰각, ϕ (°)		평균
		최소값	최대값	최소값	최대값	
	TB-8	119	155	39.2	51.0	45.1
	TB-9			39.8	51.8	45.8
	TB-10			41.9	54.6	45.5
	평균			40.3	52.4	46.4

각력층은 역의 함유량이 많아질수록 점각력은 감소하고 내부마찰각은 증가하는 경향을 보였으며 안전측의 설계를 위해 점각력은 BIMROCK모형에 의한 값 39.3tf/m², 내부마찰각은 기질부 삼축압축 시험값 35°를 설계정수 값으로 적용하였다.

3.3 변형 특성

각력층의 변형특성을 파악하기 위해 공내재하시험을 이용하여 변형계수를 산정하였다.

도표 9. 각력층의 변형특성

구분	변형계수(tf/m ²)	탄성계수(tf/m ²)	평균(tf/m ²)
각력층	1.19x10 ⁴ ~ 7.08x10 ⁴	2.61x10 ⁴ ~ 1.31x10 ⁵	3.56x10 ⁴

3.4 투수 특성

각력층의 투수계수 측정을 위해 현장투수시험과 순간수위변화시험을 실시하였다.

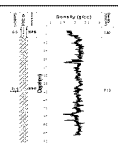
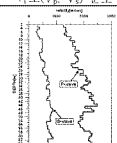
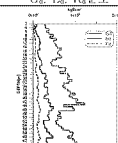
도표 10. 각력층의 투수특성

구분	현장투수시험 (cm/sec)	순간수위 변화시험(cm/sec)	
		Hvorslev	Bouwer & Rice
범위	$2.61 \times 10^{-6} \sim 6.31 \times 10^{-4}$	$1.15 \times 10^{-6} \sim 1.67 \times 10^{-5}$	$4.55 \times 10^{-6} \sim 1.52 \times 10^{-5}$
평균	8.00×10^{-6}	5.75×10^{-6}	5.24×10^{-6}

3.5 동적특성

각력층의 단위중량을 측정하기 위해 공내밀도 검증을 실시하였으며, 그 단위중량값을 이용하여 각력층의 내진설계에 필요한 동적분성치 산정을 위해 S-PS검증을 실시하였다.

도표 11. 각력층의 동적특성

공내밀도검증	S-PS검증	
	속도(V_p, V_s) 분포	G_d, E_d, K_d 분포
		
$\gamma_s = 2.0 \sim 2.2 \text{ tf/m}^3$ (평균 2.11 tf/m^3)	$V_s = 310 \sim 860 \text{ m/sec}$ (평균 820 m/sec)	$G_d = 2.000 \sim 16.870 \text{ kgf/cm}^2$ $E_d = 5.890 \sim 47.770 \text{ kgf/cm}^2$

4. 결 론

역 및 기질이 충분히 단단하면 토목, 일반구조물의 기초 일반적으로 양호하지만(중경질~경질한 것은 건조 일축압축강도가 500~800kgf/cm², 유효간극률 3~10% 정도) 경주지역의 각력층은 기질부가 극단적으로 연결한 경우로 도두 및 시주층에서 육안관찰시 점토재물이 다량으로 포함되어 있어 팽창성 암반 상태를 유지하고 있다. 또한 경주지역의 각력층은 토사의 암면영역으로부터 고결작용(cementation) 영역에 이르는 과정에 있으며 역과 기질 사이의 틈, 각력층 자체의 결리듬도 비교적 발달하고 있는 상태이며 이들 각력층 사이에는 사암과 암반층들이 협재되어 있고 이 방성은 모인다. 비교적 각력층은 함수에 의한 강도저하 현상, slaking, swelling 현상을 일으키기 좋은 조건으로 지하수 영향에 대한 분석이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부 부산국토관리청 (2004년), "경주지역 국토건설공사 일반모교서", pp.113-174
2. 부경대학교 지질환경연구소 (2003년), "경주-삼포 일원에 대한 지질구조분담 연구 모교서"
3. Medley E. Goodman RE (1994), "Estimating the block volumetric portion of melanges and similar block-in-matrix rocks(bimrocks)", Proceedings of the First North American Rock Mechanics Conference (NARMS). Austin, Texas., Laubach SE, editors