

극한지에서의 유체기계를 위한 플랜트 설비구조물의 비파괴 건전도 평가

홍승서* · 김영석*†

Strength Evaluation of the Plant Facility for Fluid Machinery Using Schmidt Hammer in Cold Regions

Seung-Seo Hong*, YoungSeok Kim*†

Key Words : Cold Region(극한지), Plant Facility(플랜트구조물), Schmidt Hammer Test(슈미트해머시험), Uniaxial Compression Strength(일축압축강도)

ABSTRACT

The Schmidt hammer test is one of the best nondestructive tests to measure the strength without breaking structures, which has been used to measure the strength of concrete structures in a simple way at construction sites. However, the future research is needed to apply Schmidt hammer in cold regions. This study is intended to investigate the correlation between unconfined compression test result of the oil storage facilities foundation taken at the King Sejong Antarctic Station and Schmidt hammer test result at the sample-taking site. Also, the equation for uniaxial compression strength using Schmidt hammer rebound value is proposed.

1. 서론

오일샌드 매장지역인 캐나다 지역은 극한지대 (cold region)로 기후가 매우 혹독하고, 유체기계를 포함한 건설 기계의 성능 저하로 건설활동 등의 여건이 매우 열악한 곳이다. 그러나, 이러한 지역에서도 유체기계를 위한 설비구조물은 반드시 필요하며, 구조물 건전도 평가도 간편한 비파괴 평가방법이 적용되는 것이 바람직하다. 현재 구조물의 안정성을 평가하기 위한 비파괴 강도추정 시험법 중에서 가장 많이 사용하고 있는 방법이 슈미트해머 (Schmidt hammer)를 사용하는 반발도법이다. 이러한 비파괴 시험법에 있어서 강도를 추정하는 방법은 미리 구하여 둔 강도와 비파괴 시험값의 상관 관계표나 상관식을 이용하여 강도를 추정하는 방법과 측정 대상 구조물에서 코어를 채취하여 코어의 파괴시험을 통하여 강도를 추정하는 방법이 있다. 강도추정법에 대한 국내의 활용 실태를 보면, 구조물 안전진단 등의 분야에서 콘크리트 강도의 추정을 위한 비파괴 시험법이 많이

도입, 사용되고 있으며 강도를 추정하기 위한 방법으로는 코어를 채취하지 않고 기존의 강도추정식을 이용하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이 경우 이용되는 강도추정식은 외국에서 이미 제안된 식이 그대로 사용되고 있다. 그러나, 이러한 강도추정식은 동일한 비파괴 시험값에 대하여 추정강도가 각각 다르게 나타날 수 있다. 왜냐하면 외국의 사용재료나 기후 등이 사용 현장과 다르기 때문이다 (연길환 등, 1987; 권영웅 등, 2006). 또한, 극한지 구조물에 대해서도 적용 가능한지에 대한 검토연구가 필요하다.

본 연구에서는 극한지에서의 슈미트해머의 적용 가능성을 검토하기 위하여 남극 세종과학기지 유류저장시설의 콘크리트 하부구조물을 대상으로 현장 슈미트해머시험을 실시하였다. 또한, 동일 구조물에서 직접 채취한 코어시료에 대한 일축압축강도시험을 수행하여, 슈미트해머시험으로 유추한 값과의 상관관계를 분석하였으며, 슈미트해머 반발값을 이용한 일축압축강도 추정모델을 제안하였다.

* 한국건설기술연구원 지반연구소(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

† 교신저자, E-mail : kimys@kict.re.kr

2. 남극 세종과학기지 구조물의 건전도 평가

트해머 시험과 채취한 코어시료의 일축압축강도를 측정하기

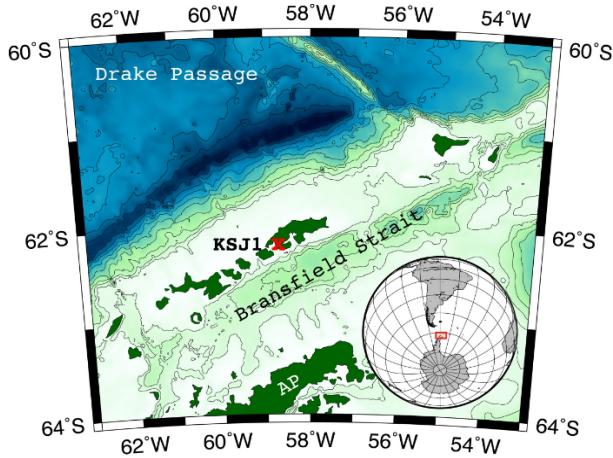


Fig. 1. Location and front view photo of King Sejong Antarctic station



2.1 남극 세종과학기지 개요

남극 세종과학기지는 서울로부터 약 1만 7,240 km, 남극 점에서 3,100 km 떨어진 남극반도 북서단 남셰틀랜드 군도 (South Shetland Islands) 킹조지섬에 위치 (남위 62° 13' 23.45628" , 서경 58° 47' 21.43915")하고 있다 (Fig 1. 참조). 킹조지섬의 면적은 약 1,338 km²이며, 전체 면적의 98%가 평균 100 m 이상 두께의 빙하가 존재한다. 세종 과학기지는 1988년 2월에 준공된 구조물로 노후화가 진행 중이라고 할 수 있다. 또한, 관측된 최저기온은 -28.5°C이다 (김영석 등, 2012).

2.2 시험 대상 구조물 (유류저장시설)

남극 세종과학기지에서 수행한 슈미트해머 현장시험의 대상 구조물인 유류저장설비는 기지 내 장비 보관동 남서방향 100 m 지점에 위치하고 있으며, 혹독한 남극의 자연환경에 노출되어 있다 (Fig. 2 참조).

위해 일축압축시험을 수행하였다. 일축압축시험은 채취 시료에 축방향으로 압축력을 가한 후 파괴시의 하중을 측정하여 일축압축강도를 산정하는 것이며, 슈미트해머 시험은 비파괴시험으로 콘크리트 구조물에 부딪칠 때 반발력을 측정하여 강도를 산정하는 것이다 (Fig. 3 참조). 현장 시험은 4



Fig. 2. Status of oil storage tank



Fig. 3. Schmidt hammer test appearance

2.3 시험결과 및 분석

남극 세종과학기지 유류저장시설에서 수행한 현장 슈미

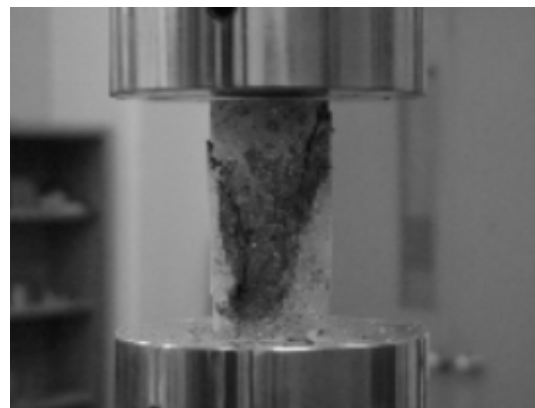


Fig. 4. Unconfined compressive strength test appearance

개 지점 (A, B, C, D)에 대해 총 10회에 걸쳐 수행하였다. 전체 시험횟수는 현장 여건을 감안하여 시험지점의 채취 시료수 (10개 시료 채취)에 따라 결정하였다. Fig. 4는 일축압축강도의 실험모습 보여주고 있다. 일축압축시험은 시료의 측면에 스트레인게이지를 부착하여 축방향 변위 및 횡방향 변위를 측정하여 탄성계수와 포아송비를 측정하였다.

Table 1은 일축압축시험으로부터 얻은 일축강도, 탄성계수, 포아송비를 보여주고 있다. 실험시료는 A~D의 콘크리트 코어시료를 사용하였으며, 측정시료의 일축압축강도와 탄성계수, 포아송비를 측정하였다.

실험결과, 대상 구조물 하부구조의 일축압축강도는 19.55~126.02 MPa의 분포를 보이고 있으며, 탄성계수는 14.21~69.07 GPa, 포아송비는 0.11~0.27의 분포를 보이고 있다.

Table 1. Uniaxial compression test results

Sampling point	Sample No	Uniaxial Compressive Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio
A	A-1	126.02	29.33	0.27
	A-2	70.59	22.34	0.24
	A-3	102.38	41.90	0.18
	A-4	92.56	54.06	0.11
	A-5	98.54	25.25	0.25
B	B-1	19.55	14.21	0.27
C	C-1	60.16	69.07	0.18
	C-2	76.96	52.78	0.21
D	D-1	81.12	63.47	0.17
	D-2	84.47	27.74	0.19

일축압축시험 결과, A 지점의 채취시료의 강도가 가장 크고 (92.56~126.02 MPa), D 지점 (81.12~84.47 MPa), C

지점 (60.16~76.96 MPa), B 지점 (19.55 MPa) 순으로 나타났다. 이는 건설당시의 콘크리트 타설조건 등의 영향으로 판단된다.

Table 2는 현장에서 측정된 슈미트해머의 반발값을 측정 지점별로 정리한 결과이다. 현장 슈미트해머 시험은 측정하려는 하부구조 콘크리트의 평평한 면에 슈미트해머를 수직으로 타격하며, 타격은 한 곳에서 슈미트해머 직경의 1.5배 되는 거리를 이동하면서 20회 이상을 수행하였다. 20회 타격에 의해 얻어진 값 가운데 낮은 값 10개는 제외하고, 나머지 상위 10개 값의 평균값을 구하여 슈미트해머의 반발값이 도출하였다. Table 2와 같이 남극 현장에서 수행한 슈미트해머 시험의 평균 반발값을 살펴보면 A 지점은 52.5~60, B 지점은 28.7, C 지점은 49~53, D 지점은 54.2~55로 나타났다. Hudson과 Harrison (2000)가 제안한 일축압축 환산도표를 적용하여 슈미트해머 반발값을 일축압축강도로 환산하면 A 지점은 92.56~126.02, B 지점은 92.56~126.02, C 지점은 92.56~126.02, D 지점은 92.56~126.02로 나타났으며 일축압축강도는 A 지점이 가장 크고 D 지점, C 지점, B 지점 순으로 나타났다.

Fig. 5는 채취한 콘크리트 시료의 일축압축강도와 슈미트해머 반발값의 관계를 도시한 것으로 이들 관계를 회귀분석을 통하여 지수함수로 표현하였다. 콘크리트의 일축압축강도 산정식은 식 1과 같은 형태로 나타냈다.

$$\sigma_s = 3.72 e^{0.058 R} \tag{1}$$

여기서, σ_s : 일축압축강도 추정값 (MPa), R : 슈미트해머 반발값

식 1과 같이 슈미트해머 반발값을 이용한 일축압축강도 산정식의 신뢰성은 96.39%로 매우 높게 나타났으며, 저온

Table 2. Schmidt hammer test results

Sampling point	Sampe No.	Value of repulsion										Average	Schmidt hammer Equivalent strength (MPa)	Unconfined compressive strength (MPa)
		54	55	56	64	61	63	59	61	65	62			
A	A-1	54	55	56	64	61	63	59	61	65	62	60	158	126.02
	A-2	60	50	45	48	46	41	50	55	49	54	49.8	85	70.59
	A-3	52	48	63	56	64	50	58	60	54	56	56.1	121	102.38
	A-4	50	48	50	60	61	64	58	60	53	60	56.4	125	92.56
	A-5	58	51	48	49	42	54	55	56	55	52	52	98	98.54
B	B-1	26	30	30	38	40	28	25	24	15	29	28.5	34.0	19.55
C	C-1	44	46	46	52	55	51	52	55	44	48	49.3	84	60.16
	C-2	58	48	53	52	51	53	55	50	56	54	53	108	76.96
D	D-1	52	50	56	53	52	54	51	60	52	64	54.4	111	81.12
	D-2	52	48	60	55	51	53	61	57	56	56	54.9	116	84.47

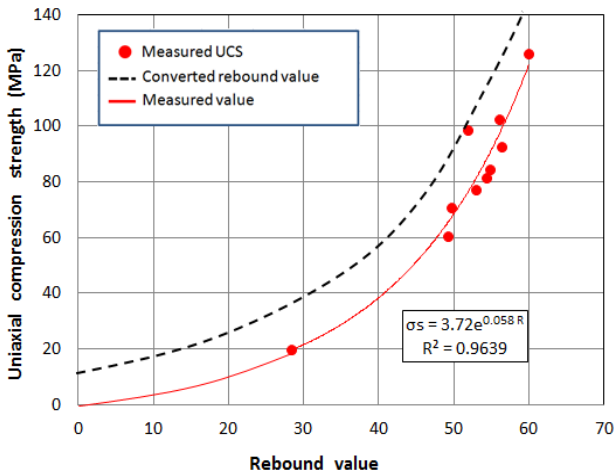


Fig. 5. Schmidt hammer and the correlation curve of uniaxial compressive strength

환경에 노출된 구조물에서는 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 5에서 일축압축시험으로부터 측정된 일축압축강도와 슈미트해머 시험으로부터 환산한 일축압축강도를 살펴보면 슈미트해머로 환산한 일축압축강도가 일축압축강도시험으로부터 측정된 강도보다 크게 나타나 슈미트해머로 환산한 강도가 실제 일축압축강도보다 과다 산정되었음을 알 수 있었다.

3. 결론

유체기계 등을 위해 필요한 극한지 구조물을 대상으로 슈미트해머 시험을 수행하고, 그 적용가능성을 확인하였다. 특히, 극한지에 위치한 남극 세종과학기지 유류저장실비하

부구조물에서 수행한 슈미트해머 시험과 채취시료에 대한 일축압축강도의 상관관계를 회귀분석을 통하여 지수함수로 도출하였으며, 일축압축강도 산정식은 $\sigma_s = 3.72 e^{0.058R}$ 로 나타났다.

상기의 결과를 바탕으로 극한지 플랜트 구조물 건설 현장 하부구조에 대한 강도 추정을 간편하게 산정할 수 있으며, 이를 통해 플랜트 구조물 건전도 평가에 필요한 정보를 현장에서 신속하게 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

향후, 다양한 극한지 구조물을 대상으로 관련 데이터를 축적하여 제안한 산정식의 적용범위 및 정밀도(신뢰도)를 향상시킬 필요가 있다.

후 기

본 연구는 국토교통부 플랜트연구개발사업의 연구비지원(151FIP-B089069-02)에 의해 수행되었습니다.

References

- (1) 연길환, 윤석천, 송인춘, 1987, “반발도법과 초음파속도법의 복합법에 의한 콘크리트 압축강도의 추정,” 대한건축학회지, Vol. 3, No. 3, pp. 161~169.
- (2) 권영웅, 박송철, 김민수, 2006, “슈미트 해머 시험에 의한 고강도 콘크리트의 강도 추정식,” 한국콘크리트학회논문집, Vol. 18, No. 3, pp. 389~396.
- (3) 김영석, 이종섭, 홍승서, 2012, “남극 세종기지 방문기,” 한국지반공학회지, Vol. 28, pp. 8~19.
- (4) Hudson, J. A. and Harrison, J. P., 2000, Engineering Rock Mechanics - an introduction to the principles, Pergamon, pp. 177~181.