

-shotcrete 품질관리를 위한 현장 압축강도시험법에 관한 연구 A Study on Field Testing Methods of Compressive Strength for Shotcrete Quality Control

장석부¹⁾, Seok-Bue Chang, 홍의준²⁾, Eui-Joon Hong, 문상조³⁾, Sang-Jo Moon

¹⁾ (주)유신코퍼레이션 터널부 이사, Executive Director, Yooshin Engineering Co.,

²⁾ (주)유신코퍼레이션 터널부 대리, Assistant Manager, Yooshin Engineering Co.

³⁾ (주)유신코퍼레이션 터널부 전무, Director, Yooshin Engineering Co.,

요 지 : 터널공사에서 shotcrete는 가장 중요한 지보재 이므로 시공중 품질관리를 위한 압축강도시험은 매우 중요하다. 현장 타설 shotcrete의 압축강도는 실험실조건에 비하여 낮은 값을 갖고 있어 현장강도시험은 필수적이나, 적절한 시험방법의 부재로 인하여 코어채취에 의한 압축강도시험이 적용되고 있다. 이 방법은 적절한 샘플채취와 초기강도 측정에 큰 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 공기압식 편관입시험법을 고찰하였으며, 압축강도시험의 단점을 해소할 수 있는 점하중강도시험법의 적용성을 검토하였다. 또한, 향후 연구계획으로써, 현장강도시험기법으로 선정된 공기압식 편관입시험기의 적정성 평가와 shotcrete 압축강도시험을 대체할 수 있는 점하중강도시험의 적용성 분석계획을 제시하였다.

주요어 : shotcrete, 압축강도, 현장시험, 품질관리, 공기압식편관입시험, 점하중강도시험

1. 서 론

shotcrete는 지하공간건설에 있어서 가장 중요한 지보재 이므로 시공중 안정성 확보를 위한 품질관리는 매우 중요하다. 그러나, shotcrete의 강도와 내구성 등의 성능개선을 위한 연구(마상준 외 3인, 2005)에 비하여 품질관리 기술의 개선을 위한 연구는 많지 않은 실정이다.

현재, shotcrete의 품질관리장소는 실험실과 현장으로 구분할 수 있으며, 실험실에서는 주로 시험배합에 대한 압축 및 휨강도시험이 이루어지며 현장에서는 타설 두께, 면 상태 등과 같이 주로 시공 상태가 관리되고 있다. 구조적 지보재로서 shotcrete와 일반 콘크리트의 가장 큰 차이는 shotcrete는 28일 강도는 물론 초기강도가 터널안정성 측면에서 매우 중요한 품질관리 요소란 점이다. 막장부근의 shotcrete는 타설후 불과 24시간(1일) 이내의 강도로 터널을 지지해야 하기 때문이다. 현장타설 shotcrete의 강도는 채취된 코어에 대한 압축시험으로 측정되고 있으나, 시험에 필요한 적정시료채취의 곤란과 복잡한 압축 시험과정이 단점이다.

따라서, 본 논문에서는 shotcrete의 국내 품질관리현황을 파악하고 shotcrete 현장강도시험기법을 조사하여 가장 적절한 조사기법을 선정하였다. 또한, 향후 연구계획으로써, 현장강도시험기법으로 선정된 공기압식 편관입시험기의 적정성 평가와 shotcrete 압축강도시험을 대체할 수 있는 점하중강도시험의 적용성 분석계획을 제시하였다.

2. 국내 현황

2.1 시공현장 품질관리

본 연구를 수행함에 있어서 현재 국내의 현장시험 및 품질관리의 현황을 파악하기 위하여 시공현장 2 지역을 답사하여 자료를 수집하였다. 자료수집 현장으로 채택된 지역은 영동선 동백산-도계간 철도이설 건설공사 현장(술안터널)과 서울 외곽순환(일산-퇴계원)고속도로 건설공사 현장(사패산터널)으로서 영동선의 술안터널은 본선터널의 단면적이 56.64 m², 확폭구간의 단면적이 159.57 m²으로 확폭 구간은 대단면 터널로 설계 및 시공이 이루어지고 있다. 사패산터널의 경우 총 연장 3.99 km의 전 구간이 단면적 163.09 m² 이상의 대단면 터널이다. 두 터널시공현장에서 슛크리트 현장 품질관리 사항 및 품질관리 기준을 조사한 결과 두 현장 모두 동일한 기준을 적용하고 있으며 그 내용을 요약하면 표 1 및 2와 같다.

표 1. 슛크리트 현장 품질관리 사항

종별	관리항목	관리내용 및 시험	시험빈도	비고	
일상 관리	배합	배합비 및 사용량의 검사	매 타설시	현장 배합시험을 기준	
	시공상태	핀 등에 의한 관찰	매 타설시		
	두께	스�크리트의 부작, 성상, 반발, 분진발생 등의 관찰	매 타설시		
	변상	변형 및 균열 등의 관찰	매일	현장 계측결과에 따라 대책을 강구	
정기 관리	두께	스�크리트 두께의 검측	터널연장 : 20m 마다	아치부 5개소, 측벽 좌우 각 1개소	
	강도	재령1일강도	압축강도시험	빔 거푸집 : 1회 / 200m ²	
		재령28일강도	압축강도시험 휨강도시험 (강섬유 사용시)	빔 거푸집 : 1회 / 200m ² 코어채취 : 1회 / 1,000m ²	빔거푸집(KS F 2422) 직접 코어채취(KS F 2405)
기타	강도	단기재령 압축강도 장기재령 압축강도	- 공사착수전 - 골재원, 급결제 및 현장	빔거푸집(KS F 2422)	
	반발률	반발률의 측정	배합서계가 바뀔 때마다 1회 - 필요할 때마다		

표 2. 강섬유 슛크리트 품질기준

구 분		품 질 기 준
휨 인 성	기 준	휨인성계수 평균 68% 휨볼드(15 x 15 x 55cm)사용
	빈 도	1회 / 1,000m ² 이상
강섬유 혼입량 시험	기 준	설계 기준량의 90% 이상
	빈 도	1회 / 1,000m ² 이상 (굳지 않은 콘크리트)
코어 압축강도(28일)	기 준	f ₂₈ = 200 kgf/cm ²
	빈 도	3공 / 25m (강섬유 혼입량 시료 사용)

2.2 기존 강도시험의 문제점 분석

위 절에서 조사된 바와 같이 슛크리트 강도시험은 주로 실험실에서 이루어지고 있으며, 현장에서는 코어를 채취하여 실험실로 운반하여 시험을 하고 있다. 이러한 시험방법은 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다.

- 1) 실험실 시험은 갱내에서 타설되는 현장 슛크리트에 비하여 품질이 양호하여 동일 시험조건에서는 더 높은 강도를 갖게 되나, 국내 현장에서는 실험실에서 사용되는 몰드에 의한 공시체와 현장에서 채취된 코어에 대한 구별이 없다. 이는 실험실 시험에서 만족된 배합조건이 현장타설 후 채취된 코어에서는 설계기준 강도를 만족시킬 수 없을 가능성이 있음을 의미한다.
- 2) 현장 코어채취에 의한 압축강도시험은 슛크리트의 초기 및 장기 강도시험에 많은 문제점을 내포하고 있다. 우선, 암반터널에서는 슛크리트가 얇아 압축강도시험에 요구되는 최소 10cm 이상 길이의 코어를 채취하기 곤란하다(Melby, 2001). 이러한 문제점에 대해 도로공사에서는 두께가 충분한 여굴 부위를 측정할 것을 제안하고 있으나, 근본적 해결책으로는 미흡하다(한국도로공사, 2002). 또한, 슛크리트 초기강도를 위한 시험은 코어형성이 되지 않거나 실험실 운반 및 시험 준비로 인한 시간지체로 적절한 시험이 곤란하다.

이러한 문제점을 해소하기 위하여 제시된 슛크리트의 현장강도 시험법은 압축강도를 직접 측정하기보다는 간접적으로 측정하는 방법이 개발되고 있다. 물론, 간접시험방법들이 직접법(일축압축시험)에 비해 정확성은 떨어지나, 가장 큰 장점은 터널공사 특성상 현장에서 쉽고 간편하게 측정하여 신속한 품질관리가 가능하다는 것이다. 기존의 문헌에서 제시된 간접시험방법들은 3절에 소개하였으며, 본 연구에서 검토하고 있는 점하중강도시험법을 4절에서 소개하였다.

3. 기존 슛크리트 현장강도 시험방법(간접시험방법)

3.1 기존 시험방법

3.1.1 인발시험

인발시험(Pull-out test)은 실제 구조물의 콘크리트 강도 또는 슛크리트의 조기강도를 추정하기 위하여 널리 적용되고 있으며 미국의 ASTM C 900과 일본의 JSCE-G561 및 JHS 702에 표준화 되어 있으며 국내에도 한국콘크리트학회의 KCI-SC-103에 표준화 되어 있다. 일본 규정에 따르면 그림 1과 같이 슛크리트 타설 전에 우선 볼트들이 사전에 형틀이나 지반에 부착된 뒤 슛크리트를 타설하고 그 다음 볼트를 잡아당긴다. 이때의 인발력으로부터 전단력을 계산하며 측정가능한 강도범위는 10~300 kgf/cm²이다.

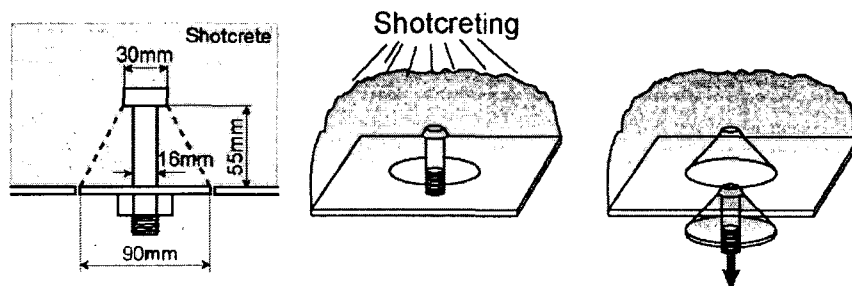


그림 1. 인발시험

3.1.2 핀관입시험

이 시험방법에서 핀(또는 probe)은 규정된 관입력으로 콘크리트에 관입되며, 콘크리트 또는 숏크리트 강도는 관입깊이로부터 추정된다. 본 시험은 방법이 단순하면 낮은 강도에서 고강도까지 숏크리트 강도를 추정할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 문제점도 가지고 있다. 대표적으로 관입력을 발생시키는 방식에 따라 종류를 구분할 수 있으며 각각의 방법에 따른 특징 및 문제점은 다음과 같다.

Windsor probe method

폭약의 폭발력을 사용하여 핀을 관입 시키며 측정 강도범위는 100~400 kgf/cm²이다. 본 시험법은 화약류의 사용으로 인하여 사용할 때마다 총포류 사용허가서와 같은 폭약을 사용하기 위한 공식적인 허가를 받아야 하는 불편함이 있다. Windsor probe의 구성은 그림 2와 같다.

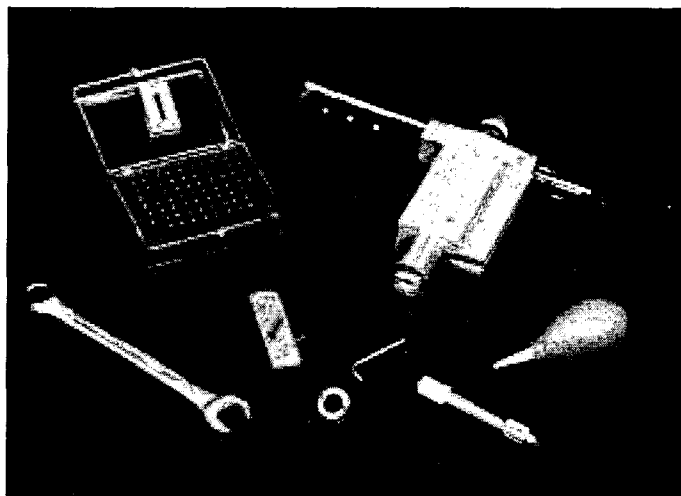


그림 2. Windsor probe method

Spring-loaded method

스프링의 반발력을 사용하여 핀을 관입시키며 최대 측정강도는 276 kgf/cm²이다. 본 시험법의 경우 측정결과가 부정확하다는 단점이 있는데(Shoya 등, 1991) 슈미트해머로 추정할 경우보다 결과의 정확성이 더 떨어지는 것으로 지적되었다.

3.1.3 오스트리아 지침

오스트리아 지침에는 초기 재령 24시간 이내의 강도 시험법으로 penetration needle method 와 bolt driving method가 규정되어 있다. Bolt driving method는 bolt driver(그림 3a)로 숏크리트 벽면에 볼트를 삽입한 후 삽입된 볼트를 인발하면서 그 인발력을 압축강도로 환산하는 방법이다. Penetration needle method에서는 penetrometer를 사용하여 needle을 규정된 깊이, 즉 15 mm 까지 관입시키고 이때 필요한 힘을 측정하여 이를 압축강도로 환산한다(그림 3b). 강도에 따라 끝이 평평한 needle(직경 9 mm) 또는 끝이 뾰족한 needle(직경 3 mm)을 사용한다. 이 시험방법으로 측정할 수 있는 압축강도의 범위는 1~10 kgf/cm²이다.

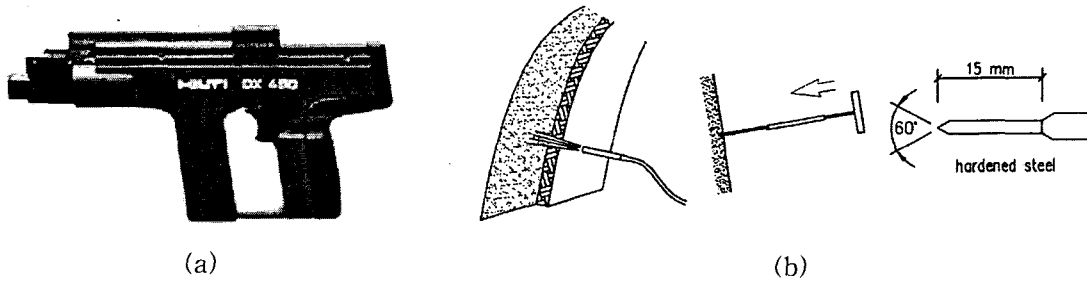


그림 3. 오스트리아 지침의 Bolt driver 와 Penetration needle method

3.2 기존 강도시험 평가

그림 4는 각 현장시험 장비에 대한 강도측정범위를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 초기 슛크리트의 강도 측정범위를 대부분의 시험법들이 만족하고 있으나 인발시험의 경우 시험법 자체에 번거로움이 있으며 오스트리아 지침의 경우 슛크리트 타설 직후의 초기강도 측정에는 유용하나 강도가 증가하면서 시험법을 교체해야하며 정확도도 떨어진다는 문제점이 있다. 각각의 시험법들에 대하여 모두 장단점을 함께 가지고 있으나 핀관입시험이 시험절차가 복잡하지 않고 단일 시험법으로 전 강도범위 측정이 가능하므로 현장에서의 적용성이 높은 것으로 판단된다. 그러나 역시 핀관입시험의 경우에도 앞 절에서 기술한바와 마찬가지로 사용절차의 번거로움 및 부정확성에 대한 문제를 안고 있는 실정이다.

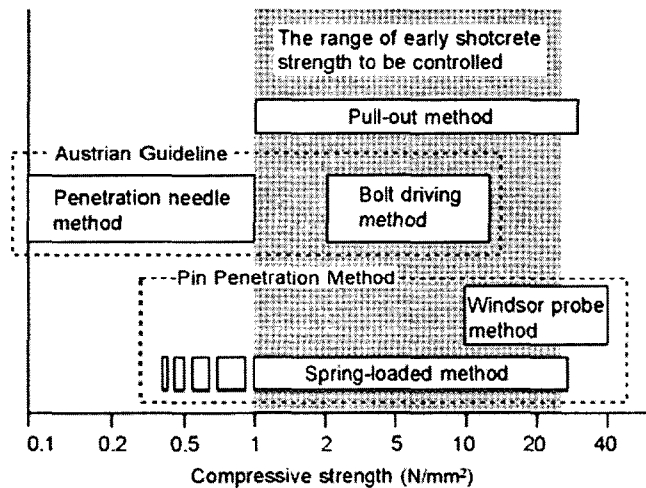


그림 4. 현장강도 시험법의 측정범위

4. 공기압식 핀관입시험

4.1 시험개요

폭약을 사용하는 Windsor probe method는 화약류의 사용으로 인하여 사용할 때마다 허가를 받아야 하는 불편함이 있으며 Spring-loaded method는 핀의 관입에 비교적 낮은 에너지가 사용되므로 슈미트 해머보다 정확성이 떨어지는 단점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 일본에서는 화약의 폭발력 대신 고압의 압축공기를 이용하여 핀을 관입시키는 공기압식 핀관입시험이 제안되었으며 현재 일본 도로공단의 슛크리트 강도시험법으로 규정되어있다(Iwaki, 2001). 공기압식 핀관입시험은 압축공기를 이용하므로 안전하다는 장점이 있으며 강도측정범위에 따라 핀을 교체하면서 시험하기 때문에 슛크리트의 초기강도에서 최대 30 MPa 까지의 넓은 범위를 측정할 수 있다는 장점이 있다.

4.2 장비제원

핀은 일반적인 공기압식 네일러(nailer)를 사용하여 슛크리트에 발사된다. 공기압식 네일러의 작동원리는 그림 5a와 같다. 공기압은 기본적으로 15.0 kgf/cm²로 설정되어 있으나, 시험전에 폴리에틸렌 재질의 테스트 앤빌(anvil)에 대한 검정을 통해 결정된다. 그리고 강도 추정범위를 넓히기 위해 지름과 길이가 다른 핀 A와 핀 B가 사용된다(그림 5b). 시험 후, 깊이 측정기로 핀의 관입깊이를 측정한다. 공기압식 네일러에는 트리거(trigger) 잠금장치뿐 아니라 컨택트암(contact arm)이 대상물에 접촉해야만 작동이 되는 역학적인 안전장치가 있어 사용자의 안전을 확보 할 수 있도록 설계되어 있다.

핀관입시험은 시험할 지점에서 일반적으로 10회 수행하며(그림 5c), 측정된 핀 관입깊이가 평균 관입깊이의 ±5 mm 이상이 되었을 때 이를 이상 값으로 규정하여 소정의 시험회수(표준10회)가 이루어지도록 측정값을 보충할 것이 제안된다.

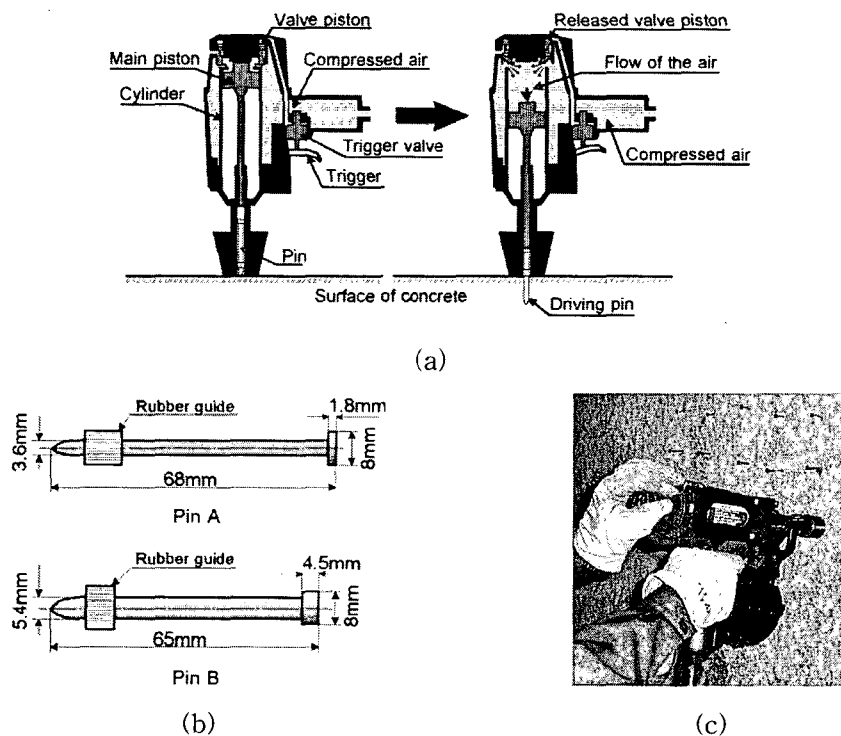


그림 5. 공기압식 핀 관입시험기

4.3 핀관입깊이와 압축강도 상관관계

4.3.1 인발시험과 압축강도 상관성

최근의 연구결과에 따르면(Iwaki, 2001) 그림 6의 그래프와 같이 일축압축강도와 인발시험의 결과는 18 N/mm² 이하의 범위에서 매우 근사한 경향을 나타낸다. 반면에 18 N/mm²~33 N/mm²의 범위에서는 그 근사한 정도가 낮아짐을 볼 수 있다. 이러한 관계는 다음의 식으로 표현이 가능하며 상관계수는 0.96이다.

$$F_{CP} = 2.297F_{UC}^{0.71} \quad (1)$$

여기서, F_{CP} 는 인발강도에 의하여 추정된 압축강도이며 F_{UC} 는 직접 측정된 일축압축강도이다.

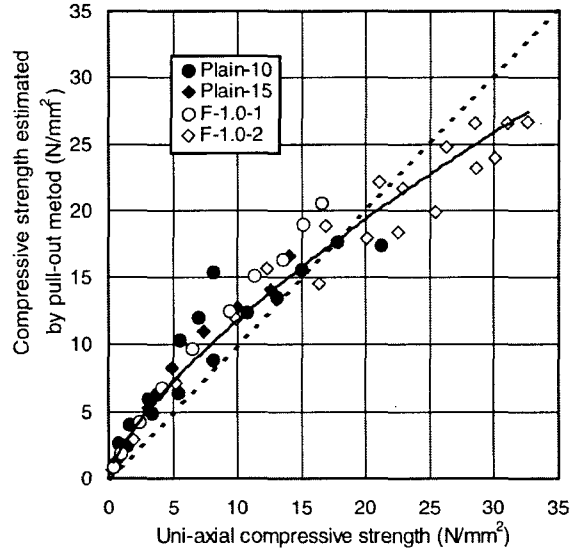


그림 6. 일축압축강도-인발시험으로 추정된 일축압축강도

4.3.2 핀관입깊이와 압축강도

그림 7은 핀 관입깊이와 압축강도 및 인발시험결과의 관계를 나타낸 그래프이다. 그래프의 결과로부터 다음과 같은 숏크리트 강도 추정식이 제시되었다. 그리고 강섬유 사용량이나 최대골재크기와 같은 변수들의 영향은 없으며 숏크리트 타설면의 거칠기도 거의 영향을 미치지 않는다고 결론지었다.

$$F = -0.000246D^3 + 0.051D^2 - 3.66D + 92.4 \quad (\text{핀 A, 강도 } 10 \sim 30\text{MPa}) \quad (2)$$

$$F = -0.000255D^3 + 0.0399D^2 - 2.21D + 45.7 \quad (\text{핀 B, 강도 } 10\text{MPa 이하}) \quad (3)$$

여기서 F는 추정압축강도(MPa)이고 D는 핀의 관입깊이(mm)이다.

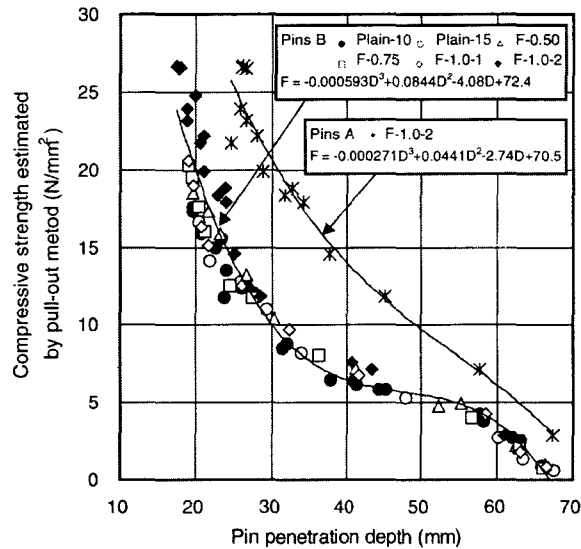


그림 7. 핀관입깊이-추정압축강도

4.4 국내적용사례

국내에서는 최근에 숯크리트의 초기 압축강도에 대한 공기압식 핀관입시험의 적용성을 평가하기 위한 연구가 진행되었다(이석원 외, 2003). 이 연구에서는 공기압식 핀관입시험 및 코어링에 의한 일축압축강도 시험을 동시에 수행하여 상호의 결과비교를 통한 핀관입시험의 적용성을 검토하였다. 시험에 사용한 재료로는 초속경 시멘트와 주문진 표준사를 사용하였으며 각 시험결과에 대한 상관관계 분석결과, 공기압식 핀관입시험으로부터 추정된 숯크리트의 초기강도는 실제 초기 압축강도를 유사하게 추정할 수 있으나 숯크리트의 경화가 계속 진행될수록 실제 강도보다 크게 추정되는 것으로 판단하였다. 이러한 원인으로 크기효과, 숯크리트 표면의 경도, 초기재령 이후에 조골재로 인한 영향 그리고 인발시험으로부터 유도된 관계식 등에 기인하는 것으로 평가하였다.

5. 점하중강도시험법

5.1 개요

5.1.1 시험장비 및 시험방법

시험장비의 구성은 그림 8과 같이 점하중 시험기, 유압잭, 그리고 하중 측정 장치로 구성이 되어있다. 암석을 단단한 강철 콘(cone) 사이에 넣고 하중을 가하여 하중방향과 평행하게 인장 균열이 생기도록 하여 파괴를 유도한다. 이 시험법은 불규칙한 암석의 압축실험의 산물로 형상과 크기의 효과가 상대적으로 적다.

한 시료에 대해 10회의 측정을 통해 그 결과를 평균하여 구하게 되며 시료는 임의의 형상을 가져도 무방하나 점하중 축 상의 시편의 크기를 측정하여 시험 후 그 값을 계산식에 이용한다.

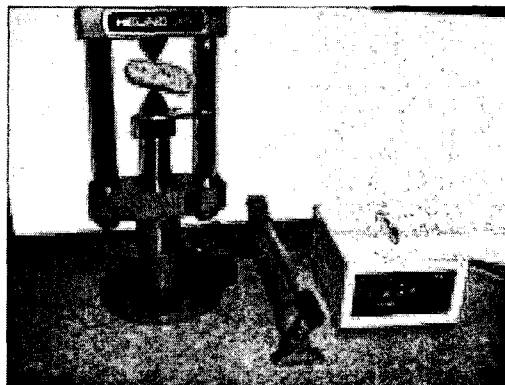


그림 8. 점하중 시험기

5.1.2 시험결과의 정리

암석의 강도를 판단하는 시험은 시험장비와 시편을 준비하는데 매우 조심스럽고 그 결과가 시험법과 하중을 가하는 방식에 따라 매우 민감하다는데 있다. 그러므로, 실험실에서 누구나 간단하게 물성치를 반복해서 측정할 수 있는 지수라는 점에 있어서 유용한 시험으로 평가받고 있다.

이런 측면에서 누구나 간단하게 임의의 시료를 가지고 측정할 수 있는 강도지수(Strength index)로서 점하중강도시험법(Point load test)의 사용이 유용하다고 할 수 있다.

점하중 강도지수(Is)는 다음과 같은 식으로 정의할 수 있다.

$$I_s = \frac{P}{D^2} \quad (4)$$

여기서, P는 파괴시 하중이며 D는 점하중점간의 거리이다.

시험시편의 크기와 모양은 특별하게 지정된 것은 아니나 직경의 1.4배 이상 되는 시편에 대해 이루어져야한다. 실제로 강도/크기 효과는 일반적인 크기에 대한 결과로 보정되어야 한다. 일반적으로 점하중 강도지수는 2에서 3까지 정도이고 이것은 10 mm 에서 70 mm 의 직경의 코어로부터 수행된 결과로 점하중 지수는 50 mm 코어의 점하중강도가 기준이 된다. 이 점하중지수로부터 암석의 압축강도를 추정할 수 있으며 다음과 같은 식으로부터 압축강도의 추정이 가능하다.

$$C_o = 24 I_s(50) \tag{5}$$

여기서, C_o 는 암석의 일축압축강도(직경비는 2대1)이며 $I_s(50)$ 은 직경 50mm에 대해 보정된 점하중강도지수이다. 표 3은 일반적인 암석에 대한 $I_s(50)$ 의 범위이다.

표 3. 일반적인 암석에 대한 직경 50mm에 대해 보정된 점하중지수

Material	Point Load Strength Index(MPa)
Tertiary sandstone and claystone	0.05-1
Coal	0.2-2
Limestone	0.25-8
Mudstone, shale	0.2-8
Volcanic flow rocks	3.0-15
Dolomite	6.0-11

5.2 기존 연구사례 및 기대효과

코어의 크기나 시험 암종 및 절리의 형태에 따라 그 값을 추정하는 관계식에 대한 많은 연구가 여러 연구자들에 의하여 오랜 기간 이루어져 왔다(Grasso, 1992).

점하중 강도와 일축압축강도의 일반적 상관관계식은 다음과 같다.

$$C_o = K \cdot I_s \tag{6}$$

여기서, C_o 는 암석의 일축압축강도이며 상수 K에 대하여는 코어의 크기나 시험 암종 및 절리의 형태에 따라 다르다. 상수 K에 대한 많은 연구가 여러 연구자들에 의하여 오랜 기간 이루어져 왔으며 그 내용은 표 4와 같다.

K값의 범위가 매우 넓은 것 같으나, 동일 시험암종에 대해서는 상관계수가 높음을 알 수 있다. 따라서 암석에 비해 쏘크리트는 상대적으로 균질한 재료이므로 압축강도와 점하중지수는 높은 상관성을 가진 K값이 예상되며, 번거로운 일축압축강도시험을 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

표 4. 암종 및 코어조건에 따른 상관관계식

제안자	상관관계식	상관계수	시험암종	비고
D'Andrea et al. 1965	$C_o = 15.3I_{s(25)} + 16.3$	0.95	49 litho. units in all 3 major rock types	크기에 대한 보정없이 25mm 직경의 코어에 대해 실험
Deere & Miller 1966	$C_o = 20.7I_{s(54)} + 29.6$	0.92	28 litho. units 3 major rock types	54mm 직경의 코어에 대해 실험
Broch & Franklin 1975	$C_o = 23.7I_{s(50)}$	0.88	15 litho. units from 3 major rock types	일축압축강도에 대한 크기보정없이 38mm 직경 코어에 대한 실험
Bieniawski 1975	$C_o = 24I_{s(54)}$ $C_o = 21I_{s(42)}$ $C_o = 18I_{s(21.5)}$	unknown	sandstone, quartz, norite(weak), norite(strong)	54, 21, 18mm 직경에 대해 각 암종별로 20번의 실험
Greminger 1982	Broch & Franklin의 상관식		4 litho. units of gneiss, sandstone, slate	34-62mm 직경 ; 보정된 결과 ; 62mm 코어의 Co
Foster 1983	$C_o = (11.8 \sim 17.6)I_{s(50)}$	unknown	5 litho. units of sandstone, limestone, dolostone	1000+test on 34 to 62mm core, but 5 to 7 Co tests per rock
Gunsallus & Kulhawy 1984	$C_o = 16.5I_{s(50)} + 51$ $C_o = 12.4T_o - 9.0$	0.69 0.76	8 litho. units of sandstone, limestone, dolostone	모든 실험은 47.5~54.9mm 코어에 대해 수행
Hassani et al. 1980	$C_o = 29I_{s(50)}$ $C_o = 10.5T_o + 1.2$	0.94	limestone, siltstone sandstone	5개의 직경(12.5~76mm)에 대해 보정된 결과
Khan et al. 1984	$C_o = (25.3 \sim 65.7)I_s$ $T_o = (1.54 \sim 2.62)I_s$	unknown	rocksalt of diff. grain size from 3 U.S. mines	62mm 코어에 시험한 결과; 60회 Co, 159회 Is, 153회 To 시험수행
O'Rourke 1989	$C_o = 21.8I_s + 43.2$	0.77	sandstone, siltst limestone, halite, anhydrite	시편크기 알수 없음
Vallejo et al. 1989	$C_o = 12.5I_{s(50)} - 0.27$ $C_o = 16.0I_{s(50)} + 6.72$ $C_o = 9.4I_{s(50)} + 26.5$ $C_o = 8.6I_{s(50)} + 37.3$	0.62 0.59 0.38 0.46	natural shale, saturated shale, natural sandstone, saturated sandstone	블록에서 채취한 코어에 대해 시험하고 결과는 50mm 직경으로 보정한 것임
Cargill & Shakoor 1990	$C_o = 23I_{s(50)} + 13$	0.94	13 litho. units sandstone, limestone, dolostone, marble, gneiss	암종별로 적어도 10번의 시험 : 모든 시험은 54mm 코어
Tsidzi 1991	$C_o = KI_{s(50)}$ K(n,d)=17~33 K(n,w)=14~29 K(p,d)=21~82 K(p,w)=18~71 n은 ⊥ foliation, d는 건조 p는 foliation, w는 포화		21 litho. units ; amphibolite, gneiss, hornfels, schists, metagreywacke, phyllite and slate	불규칙한 점하중 시편을 적어도 25회 수행, 그러나 오직 암석당 5회의 Co 시험수행

6. 현장강도시험기법 연구계획

현장강도 시험기법 연구절차는 그림 9와 같이 크게 실내실험(A)과 현장실험(B)으로 구성된다. 실내 실험은 다시 압축강도와 점하중강도 상관성분석(A-1)과 점하중강도와 핀관입깊이 상관성 분석으로 구성된다. 현장실험은 점하중강도와 핀관입깊이 상관성 분석(B-1)과 현장시험 지침(B-2)으로 구성된다. 실내실험은 적어도 3종류의 이상의 슛크리트배합에 대하여 수행하고 현장실험은 현장여건이 가급적 상이한 2개소 정도에서 수행한다.

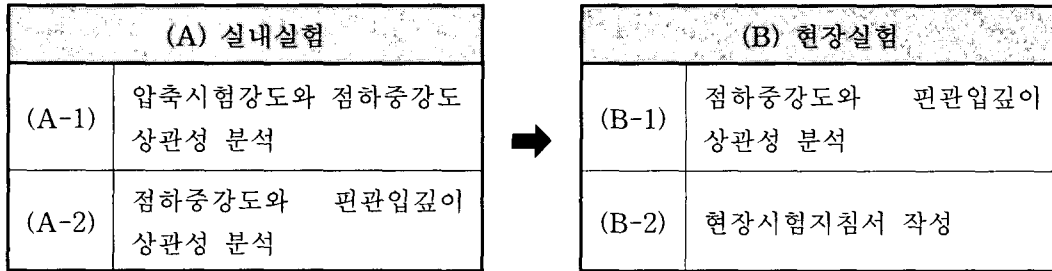


그림 9. 연구절차

(A-1)에서는 압축시험강도와 점하중강도 상관성 분석을 수행하여 점하중강도시험의 신뢰성을 검토한다. 점하중강도시험의 신뢰성이 높은 경우, 현장실험시 공기압식 핀관입깊이에 대한 슛크리트 강도기준치 측정에 사용한다.

(A-2)에서는 점하중강도와 핀관입깊이의 상관관계를 분석하여 현장 실험전에 핀관입깊이에 미치는 슛크리트의 주요 특성인자(골재배합조건, 혼화제사용량)를 파악한다. 본 실험에서도 상관성 분석을 수행하여 Iwaki(2001)는 강도범위에 따라 2개의 핀사용을 제안하였으나, 보다 단순화할 수 있는 방안을 검토한다.

(B-1)에서는 실내실험결과 및 경험을 토대로 핀관입깊이에 따라 슛크리트 압축강도를 산출할 수 있는 관계식을 작성한다. 본 실험에서는 터널측벽과 천정부 등과 같이 타설각도 차이에 따른 슛크리트 강도를 평가하고 점하중강도시험의 현장 적용성을 평가한다.

(B-2)에서는 (B-1)단계에서 만족할 만한 상관식을 얻는 경우, 적절한 시험회수, 이상치 처리방법, 적절한 시험방법, 시험기 기준제원 등을 정리하는 것으로 마무리된다. 단, 현장조건에 따라 핀관입깊이가 동일강도에 대해 큰 차이를 보이는 경우에는 점하중강도시험값을 보정치로 활용하는 방안을 검토한다.

7. 결 론

국내 터널분야에서 슛크리트에 대한 관심이 고조되고 있으나, 고성능재료 개발에 대한 연구에 비하여 실제 현장에서 품질관리에 활용될 수 있는 강도시험기술 개발은 미진한 실정이다. 이에, 본 논문에서는 국내 터널현장에서의 슛크리트 품질관리 현황을 분석하여 현장강도시험의 문제점을 고찰하였으며, 국외에서 사용되고 있는 현장시험기법들을 조사하였다. 그 결과, 공기압식 핀관입시험기법이 사용이 단순하고 용이하며 넓은 범위의 강도시험에 적합한 것으로 분석되었다. 또한, 현재 코어채취에 의한 압축시험을 대체할 수 있는 대안으로 점하중강도시험법을 검토한 결과, 기존 문헌연구 사례에 의하면 충분히 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

현재 연구가 초기단계이므로 새로운 시험기법의 현장적용을 위한 연구계획을 소개하였으나, 앞으로의 연구성과는 다음 지면을 빌어 소개토록 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호 : 04핵심기술 C01)에 의한 것으로 관계당국에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 마상준, 최재석, 김동민, 김재신 (2005) 국내 슛크리트 품질성능향상을 위한 현장적용실험과 제안, 한국지반공학회, 춘계학술발표회, pp.1307-1315
2. 이석원, 배규진, 장수호, 박해균, 이명섭, 김재권 (2003),“스�크리트의 압축강도를 추정하기 위한 공기압식 pin관입시험의 적용성 평가”, 대한토목학회 정기학술발표회, pp.4723-4728
3. 한국도로공사(2002) “터널지보공 관련 품질기준 개정(잠정) 및 시공시 유의사항”
4. Betonverein, O. (1999), “Sprayed concrete Guideline”
5. Brown, E.T. (1991),“Rock characterization testing & monitoring”, ISRM
6. Grasso, P., et. al.(1992), “Problem and promises of index testing of rocks”, Rock Mechanics, Tillerson & Wawersik(eds), pp.879-888
7. Iwaki, K, A. Hirama, K. Mitani, S. Kaise, K. Nakagawa. (2001) “A quality control method for shotcrete strength by pneumatic pin penetration test”, NDT & E International 34, pp.395-402
8. Melbye, T.(2001),“Sprayed concrete for rock support”, MBT International, pp.154-155