

Shotcrete의 工學的 特性 (上)

申 鉉 澤 譯

<國立工業試驗院>

◆譯者註: 다음 글은 U.S. Naval Civil Engineering Laboratories의 William R. Lorman의 논.....◆
◆.....문인 Engineering properties of shotcrete를 Journal of American Concrete Institute誌에.....◆
◆.....서 翻譯한 것이다.....◆

1. 서 론

1.1 조사 목적

이 조사의 목적은 압착공기로 시공하는 건축용 모르타르 또는 콘크리트類의 물리적 성질에 관한 데이터를 이용할 수 있도록 개선시키는데 있다. 최종적인 조사 결과는 해변의 해군건물을 압착공기로 시공하는 모르타르 또는 콘크리트의 설계서에 사용하는 공학적 데이터를 제공하는데 있다. 미국 해군 토목공학 연구소(NCEL)에서 개인 대피호의 모델건물을 압착공기로 모르타르 또는 콘크리트를 사용하여 시공하였다. 이런 개인 대피호의 건설전에 이미 안내용으로 비교적 간단한 연구가 Webb(1961)에 의해 수행되었고 그는 모르타르 또는 콘크리트 종류의 공학적 성질 등에 관한 자료의 부족을 지적하였다. 따라서 Bureau of Yards and Docks는 압착 공기로 시공하는 모르타르나 콘크리트의 물리적 성질에 관한 응용 정보의 확장을 가져올 수 있는 연구 문헌을 작성하도록 연구소에 지시하였다.

여기에서 주로 고찰된 물리적 성질은 단위 무게(부피 비중), 기공, 강도(접착, 압축, 꺾임, 전단 및 인장), Young률, 수축 및 팽윤, 크립, 축소 및 팽창, 수분흡수, 투수성과 내구성(마모, 내화, 동결 및 융해의 반복) 등이다. shotcrete에 대해서는 다음 의문이 제기된다.

(1) 압착공기로 사용한 모르타르나 콘크리트의 연속적인 박막 사이에 성취된 결합은 만족할 것인가?

(2) 압착공기로 시공한 모르타르 또는 콘크리트의 압축강도는 재래식 콘크리트의 그것과 동일할 것인가?

(3) 재래식으로 시공한 패각상 건물같이 두껍고 튼튼한 탄약고나 개인 대피호의 건물 형체에 있어서 철근 콘크리트의 패각상 건물을 압착공기로 시공하면 보다 더 얇게 시공할 수 있는가?

(4) 창고 및 병사(兵舍)와 같은 해군건축물에 압착공기로 시공한 모르타르나 콘크리트 구조물은 얇은 패각상 건물을 만드는데 적합한가?

1.2 shotcrete와 rebound의 정의

shotcrete는 모르타르나 콘크리트를 압착공기로 시공하는 것을 말한다. 이 용어는 상기한 NCEL에서만 사용하는 것이 아니고 미국 콘크리트 연구소(ACI)에서 승인된 것이다. 그러나 지역에 따라 다른 명칭으로 불리어진다. 이 용어는 Hirschtal(1937)에 의해 1930년경에 미국 철도 공학협회(AREA)에서 최초로 사용하였다.

shotcrete의 정의: 건식(노즐에서 물을 가하는 방법)이나 습식(호스로 들어 가기전에 물을 가하는 방법)이나 어느 것이건 이미 혼합된 제품을 알맞게 준비된 휘지 않은 표면에 고속으로 노즐(보통 손잡이)을 통하여 방출시키거나 또는 호스를 통하여 운반(일정한 공기압력 또는 강제적인 순환 펌프나 스크류)되는 모르타르나 콘크리트를 수직면에서 탈락 또는 천정표면에서 떨어지지 않고 그 자체가 유지되도록 밀착시켜 충분히 굳어지는 것이다.

기본적으로 고운 shotcrete는 모르타르이고 거

친 shotcrete 는 콘크리트이다. 문헌에는 고운 shotcrete 는 역시 분무 모르터, 압력시공모르터 또는 압축시공 모르터이나 흔히 대부분 gunite 로 표시되어 있다. shotcrete 는 다음과 같이 전문 용어로 쓰인다. blastcrete, blocrete, bonact, guncrete, gunite, jetcrete, nacrete, pneukret, spraycrete 및 torkret 등이다.

gunite 는 의심할 여지 없이 가장 잘 알려진 용어이다. 형체를 갖도록 파이프 선을 통하여 콘크리트를 압착공기로 시공하는 것을 재래식으로는 압착공기 콘크리트라고 한다. 펌프의 특수 타입으로 파이프선을 통하여 가압될 때 재래식으로 펌프콘크리트(전문용어로 pmpcrete)라고 부른다.

reboun(d)(반발율)의 정의: 원래 혼합물보다 알갱이가 작거나 굵은 shotcrete 재료에서 소실되는 혼합물 즉 콘크리트 면에 밀착되는 동안 표면에서 반발되어 나온 것으로 본래 혼합물의 백분율로 표시된다.

미국 개간국(USBR)에서 골재의 크기 8.51 mm 이상일때 rebound 가 과량이 되는 것을 발견하였다.

1.3 NCEL 의 과거 shotcrete 연구

연구소의 shotcrete 사용 실적은 탄약고 및 개인 대피호의 모델에 한하였다. NCEL 에서의 shotcrete 에 관한 최초의 조사는 Wiehle(1953) 에 의하여 언급되었다. 8년후 Webb(1961)는 기준 Budock 표준 대피호의 변경을 목적으로 대규모 대피호의 모델, 개인대피호의 모델 개발에 관련시켜 건축 방식으로 습식 shotcrete 즉 미리 혼합하는 형태의 기술을 연구하였다. 그는 실험을 통해 골재의 크기를 포함한 shotcrete 의 사용가능성과 경제성을 명백히 밝혔다.

Allgood(1962) 등은 부수적으로 지하대피호용의 shotcrete 의 시공 설계기준을 추천하였다.

2. shotcrete 시공의 일반적 사항

이절에서는 다른 절에서 논의할 shotcrete 의 공학적 성질을 보다 잘 이해할 수 있도록 충분히 배경을 설명하고자 한다.

shotcrete 는 新콘크리트 構造物, 補修, 復舊

補強 및 防水를 要하는 콘크리트 또는 粗積構造物 등에 利用된다. 또한 鐵筋構造物材, 粗積 및 基盤岩의 保護膜으로 채용되며 터널工事, 運河와 같이 比較的 얇은 內張施工에도 역시 有益하다. shotcrete 는 흘러 내리지 않고 또는 늘어지지 않고 약 3센치의 두께까지 지각이나 단단한 表面에 대하여 분사할 수 있다.

시멘트 분사의 原理는 1907年 美國博物館의 조각가, 博物學者 및 탐험가인 Carl E. Akeley 에 의하여 發見되었다. gunite 라는 用語는 最初로 기술분헌에 1914년, Guncrete 는 1925년, pneucrete 는 1929년, blocrete 는 1953년에 나타났다. gunite, jetcrete, cement-gun 과 기타 유사한 表現들은 전문적인 용어이다. 이들의 사용은 독점적인 方法 또는 장치를 包含할 때에만 적당하다. 이들 用語는 shotcrete 와 마찬가지로 노즐을 通하여 압착空氣로 콘크리트 또는 모르터를 한 장소에 분사 또는 분무하는 것을 나타낸다.

shotcrete 의 특징에 대해서는 Prentiss(1911)가 최초로 언급하였는바 다음과 같은 점을 들 수 있다.

- (1) 저렴한 조작
- (2) 조작의 연속성
- (3) 조작의 신속성
- (4) 적소에 균일한 콘크리트
- (5) 재래식 시공 콘크리트보다 고밀도 등이다.

현재의 시공 기술은 보다 좋은 장비 및 새로운 기술 개발로 신속한 건축을 가능하게 하며 파괴된 구조물의 복구를 가능케 한다. 시공의 용이성 및 틀 작업의 최소화는 shotcrete 의 유용성을 더해 준다. 사용방법은 호스가 도달하는 어느 위치건 유용하다. cement gun 및 gunite에 관한 가장 알기쉬운 논문으로는 Weber(1914)의 것이 있다.

Chicago 에 있는 故 Marshall Field Museum of Natural History 에서 석고 스테코의 도로로 포장된 것이 cement gun 의 최초 구조용의 공학적 시공에 속한다. 1914년 초에 gunite 는 Hawaii, 파나마 운하, Puerto Rico, 뉴욕州의 Croton Aqueduct, California 저수탱크 및 스페

인 코가교에서 사용되었다. Collier(1922)에 따르면 1912년에 Los Angeles Cement Gun Company는 California의 Pasadena gunite 저수탱크를 구축하였다고 한다. 이 구조는 지름 24m 이었고 그 둘은 높이가 3.9m, 벽이 꼭대기까지 3.8cm, 어깨부분의 두께가 5cm로 시공되었다.

gunite의 최초 대규모 시공은 뉴욕市 Grand Central Station의 지하 터미널 광장이었으나 이미 464,515m²의 면적이 1918년 그 건물이 준공되기 전에 포장되었다. Southern California Edison Company는 1917년 이후 각종 수력전기 구조물을 수리하는데 gunite를 사용하였다. 이 같이 Oakland에서도 이런 구조재료는 광범위한 용도가 있었다. 광산에서도 gunite의 구조가 사용되었는바 Pittsburgh 근처 미국 광산국의 시험광산이 1915년에 최초로 사용했다. 당시 그 통로의 벽이 내장되었고 부수적인 실험으로서 목재 지주에 시공한 gunite의 내해특성들을 확인하게 되었다.

중앙 아메리카에서 gunite를 시공한 것은 1925년이었던바 Honduras의 San Juan Cito에서 사용되었다. 1962년 Los Angeles의 gunite 청부인협회에서는 年間 shotcrete의 생산량이 836,127m²라고 集計하였다.

Young(1937)에 따르면 shotcrete는 산발적인 접착의 결합 및 균열이 있음에도 불구하고 그것이 의도하는 목적을 무리 없이 완수할 수 있다고 하였다. 그럼에도 불구하고 Sobiets는 파괴된 콘크리트 구조물을 수리하는 방법으로서 shotcrete의 용도에 대해 확신을 가지고 있지 않았다.

Sedov(1958)에 따르면 shotcrete의 접착성은 특수 금속섬유를 사용했을 때에는 신뢰할 수 없기 때문에 하층에 있는 콘크리트에 대한 shotcrete의 사용은 구조용 콘크리트의 내구성을 높이는 데는 만족스럽지 못하다고 하였다. shotcrete의 구축물은 틀 작업이 간단하고 허용공차에 제한이 없기 때문에 재래 cast-in-place 콘크리트 구축물보다 경제성이 있다고 생각되었다.

그 예로서 New York州에 있는 Rochester의

Eastman Kodak社는 1920년 이후 목재 대신 shotcrete 구조 탱크를 사용하여 상당한 비용절감을 가져 올 수 있었다. 보통 shotcrete는 재래 콘크리트보다 강철 보강 시멘트이건 아니건 접합부분이 아주 없다. Webb(1959)에 의해 설명된 shotcrete 구축방법은 최고 크기 1.91cm의 굵은 골재를 포함한 시멘트 혼합물을 연속적으로 공기분사로서 분무할 수 있다는 것을 보여 준다.

Kidder 및 Parker(1952)에 따르면 gunite는 훌륭한 손 시공이나 콘크리트 또는 모르타르 시공보다 인장강도, 압축강도, 접착력, 투과성, 흡수율 및 기공성이 우수하다는 시험결과를 보여 준다. 1922년 Underwriters Laboratories에서 행한 일련의 시험 결과를 보면 각종 gunite의 벽과 부재는 다음과 같이 시간과 온도에서 안전하였다. gunite 셋기등의 공동 30cm 벽은 3시간, 고체 5cm non-bearing gunite 부재는 1시간이었다.

Troxell 및 Davis(1956)에 따르면 「압착공기로 시공되는 모르타르의 이점은 최소의 형태로 시공할 수 있으며 고강도이고 동결 및 응해에 노출될 때도 좋은 내구성을 가진다는 점이다. 한편 그의 불리한 점은 높은 수축성을 가지며 노즐맨의 숙련에 따라 품질이 광범위한 범위를 갖게 되고 비교적 높은 기공성 및 투과성을 가지며 구조물에 있어서 오래된 콘크리트보다 팽창 계수 및 습기 수축이 다르다는 점이다. 각종 건물의 수리시에 이 방법은 이점보다도 불리점이 더 많다고 생각된다. 과거에도 광범위한 시공을 하였으나 대부분의 경우에는 완전한 공사를 하지 못했다」고 지적하였다.

shotcrete의 이점과 불리점은 ACI 표준 805-51에서 자세히 언급되었다. Linder(1963)에 따르면 shotcrete의 생산은 콘크리트의 어느 다른 현대 형태보다 더 큰 잘못의 원인이 된다고 하였다. shotcrete의 시공시 요구되는 전두께를 얻을 때까지 막층이 증가됨에 따라 퇴적물은 점차적으로 증가된다. 실제적으로 최고 두께는 보통 20cm이며 최소 2.54cm이었다. 그러나 1926년 Oakdale과 South Son Joaguin Irrigation

District 에서의 터널 shotcrete 내장공사는 두께가 45 cm 내지 60 cm 였다는 것은 흥미 있는 일이다.

shotcrete 는 두가지 방법이 가능하다 「습식혼합」 공정은 1962년에 ACI 위원회 805호(현재 506호)에 의해 공식적으로 인정되었다. 그 조성(시멘트, 골재 및 물)은 재래식 혼합기나 압력 탱크내에서 완전히 혼합되고 그 혼합물은 다시 운반 호스와 노즐을 통하여 분사된다. true gun-all 로 알려진 장치가 이 시스템에 이용된다.

「건식혼합」공정은 건조된 시멘트와 모래가 적당한 혼합장치내에서 혼합되고 압축공기로 공급실에 이송되는데 두 입구 노즐의 한 입구에까지 호스를 통하여 건조 혼합물이 공급된다. 둘째 호스는 압력 있는 물을 공급하는데 두 입구노즐의 다른 입구에 연결된다. 여기서 물과 건조혼합물이 결합되고 습윤한 상태로 분출된다. 노즐 조작공은 적당한 반축을 판단하여 shotcrete 의 함수량을 조절한다.

습식혼합 공정은 명백하게 건조혼합 공정에서 한것보다 물 시멘트비(W/C)의 균일한 조절이 가능하다.

shotcrete 를 사용할 때의 틀 작업은 간단하다.

예를 들면 틀 표면의 지지 및 알맞은 강철조직 보강시멘트만이 벽면에 분출될 때 모르타나 콘크리트의 퇴적물을 축적시키는데 필요하다. 그러나 표면은 적당한 접착이 보장되도록 청결히 하여야 된다. 강철 보강 시멘트는 표면에서 2.54 cm 보다 더 짧게 장치하여선 안된다. shotcrete 에 필요한 강철보강 시멘트는 평면 또는 곡면 어느 것이건 모순되어선 안된다. 그리고 항상 높은 인장강도의 강철로 조립된 것으로 비교적 적은 메쉬(2.54×2.54 cm)의 용접사의 조직이어야 한다. 그것은 신속히 장치할 수 있어야 하며 평면이나 변형된 보강 시멘트의 어느 곳이나 이용할 수 있다. 12 번선보다 작은 강철조직 보강시멘트는 너무 고정하여선 안된다. 모래 포켓트는 예리한 모서리에 생성되는 경향이 있고 잠재적으로 약한 부분들이 생기기 때문에 늘어진 급속은 요구되지 않는다. 원래 강철 보강 시멘트(수선하려는 구조에서)가 침식되면 강철 조직에

보다 무거운 철선이 필요하게 되는데 이를 대처하여야 한다. 현존하는 콘크리트나 메이슨리 구조에서 복구, 수선, 강화가 필요한 경우에는 예전의 구조표면에 있는 도장물이나 껍질 같은 모든 다른 물질은 제거되어야 한다.

구조적으로 흠이 없어야 되는 모래분사나 다른 방법으로 거칠어진 구조표면은 알맞은 속널(backing)로 처리되어야 한다.

원래 콘크리트 또는 메이슨리 표면은 주의 깊게 준비되어야 한다. 압착공기 칩핑 합마나 수공장치는 표면을 처리하는데 알맞다. 그러나 그들을 난잡하게 사용하면 거친 표면이 되고 흠없는 매트릭스 아래를 손상시킨다. 동시에 오래된 콘크리트 또는 메이슨리에 대한 shotcrete 의 잠재적인 접착을 해롭게 한다.

표면이 어떻게 생성되건 간에 표면은 지나친 진동이 없이 shotcrete 를 충돌시켜 밀착되게 함으로써 흡수에 충분히 견디도록 한다. 틀 작업시 요철면은 공기 분사물을 쉽게 소비시킬 것이며 그 반발량은 shotcrete 가 침적될 때 자유로이 떨어져 나간다.

shotcrete 를 목재 표면에 시공할 때에는 그 위치에 강철 조직 보강 시멘트를 장치하기 전에 방수 종이 또는 기름을 바른다. 이같이 하는 것은 목재가 신선한 shotcrete 로부터 수분을 흡수하는 경향을 갖기 때문이다. 상당한 먼지가 분사 작업시에 일어나 적당한 결합을 방해하므로 보강시멘트를 함유한 노출면의 먼지를 쓸어내린다.

shotcrete 中 어느 막의 침적이방해를 받으면 그 막은 갈 끝으로 잘라낸다. 그 결과로 생긴 접합점에는 가공표면에 불쾌한 패턴이 생성된다. shotcrete 가 다시 계속되면 계속된 침적의 결합은 아무런 방해가 일어나지 않고 만족스럽게 될 것이다.

콘크리트, 메이슨리 또는 강철의 상부에 보호도장으로서의 shotcrete 가 그 자체무게 이외에 하중 없이 운반된다. 그럼에도 불구하고 이런 shotcrete 는 경화공정이 진행된후에 보통있는 수축에 의한 인장스트레스의 감소에 지배된다. 인장스트레스는 결합면에서 쉼어 스트레스가 일어나기 때문이다. 이와 같이 적어도 수축이 있는

shotcrete 는 가장 내구적일 것이다.

이런 예로서 shotcrete 가 상자내에 있는 구조용재로 사용되는 곳에서 수축은 아직도 활력있는 인자이다. shotcrete 의 수축을 방지하기 위하여 많은 계약자들이 시멘트 1 袋에 6.8 kg 의 철분말을 첨가제로 사용한다. shotcrete 가 경화될 때 철분은 충분히 용적 팽창되어 shotcrete 의 자연 수축을 상쇄하는 역할을 한다. 이런 첨가제가 없으면 그 수축의 가능성은 항상 shotcrete 의 균열을 가져오게 될 것이다.

shotcrete 에 사용되는 시멘트는 포틀랜드 시멘트나 알루미나 시멘트이다. 알루미나 시멘트로 조합된 것은 고수축을 때문에 대체로 신축하게 분사된 shotcrete 가 물로 자유롭게 분사되지 않는 한 shotcrete 와 기초 구조용 재료 사이의 결합이 약해질 것이다. 수선 면적에 바닷가의 조수가 덮이기 전에 초기 응결이 일어나도록 내황산염 (type V) 시멘트 또는 초조강 포틀랜드 시멘트 (type III) 를 포함한 콘크리트를 사용하는 것이 부두에서는 좋을 것이다.

‘보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것은 아주 일반적인 shotcrete 조작 방법이다. 콘크리트, 메이슨리, 강철, 그라스 또는 목재같이 단단한 면위에 shotcrete 의 초기 도장을 할 때에는 시멘트 페이스트의 막이 표면에 부착되고 거의 모든 골재가 반발로 손실된다. shotcrete 의 혼합물 속에서 모래 및 시멘트의 극히 미세한 입자만이 마침내 분산된 매트릭스가 되도록 노출표면에 달라 붙는다.

이런 초기 분무 동안에 보다 굵은 입자들은 함께 결합되지 않고 반발되어 소실된다. 2차, 3차의 도장을 하는 동안에 점차적으로 두꺼운 퇴적물이 표면에 매달릴 수 있게 되어 보다 굵은 입자들이 충분한 가소성을 갖게되어 반발량이 감소된다. 페이스트 막은 방식과 같은 작용을 하며 그것은 점차적으로 보다 두껍게 된다. 부수적으로 shotcrete 의 분사에 따라 시멘트가 도장된 골재 입자는 흡수를 시작한다. 한 입자가 시멘트 페이스트의 매트릭스에 충돌될 때 그 입자 자신은 파물혀 접촉된다. 페이스트에 묻혀지지 않은 입자는 부분적으로 파물혀 입자와 충돌하며 전자는

반발하고 소실된다. 그러나 계속 분사하면 부분적으로 파물혀 입자는 더욱 깊이 들어가고 그 퇴적물 속으로 단단히 들어간다. 이와 같이 보다 큰 충전이 일어난다. 퇴적된 물체가 두꺼워질수록 각 골재 입자의 접근은 신선하게 혼합된 shotcrete 를 충전하는데 작은 다짐대 역할을 한다. 이런 조건 아래서는 연행공기 거품은 성장되지 않는다. 반발량은 압력, 도장하려는 표면으로부터 노즐의 거리, 골재의 입도, 혼합물의 반죽 및 구조부재의 형상에 따라 변화된다. 그 반발물은 시멘트를 거의 포함시키지 않는다. 초기의 퇴적이 일어나는 동안에 원혼합물에서 95% 의 골재가 반발될 것이며 계속 분사하는 동안에 그 반발율은 감소되고 원래 혼합물의 20~50% 가 포함된다. 때때로 석회를 첨가하여 반발을 감소시킨다.

보통 퇴적되기 전의 shotcrete 의 W/C 비는 시멘트 1 袋당 1.36~2.27 kg 사이의 범위이다. 가장 좋은 혼합물은 손으로 쥐어 공 모양을 만들 수 있고 불혼적은 표면막에 나타나게 되는 것이 알맞은 주도이다. 이런 주도는 슬럼프 시험에서 0~2.5 cm 범위에 해당된다.

미리 혼합한 건식 shotcrete 작업시에 흔히 일어나는 잘못은 너무 건조된 모래를 사용하는 것이다. 모래의 수분이 5%일 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있다. 이보다 작으면 노즐에서 먼지가 일게 된다. 이때 shotcrete 혼합물은 긴 호수 내에서 분리되지 않기 때문이기도 하다. 건조된 압축공기가 없는 shotcrete gun 조작은 gun 이나 호스 또는 양쪽에 막히기 때문에 대부분 작업을 중단하게 된다. 즉 이것은 특히 비오는 기후에 중요하다. 미리 혼합된 건식의 고운 shotcrete 에서는 미세한 골재에 5%의 수분이 포함되어 있어야 하며 건식 혼합 입구 노즐에는 적당한 취급을 방해하는 정전기 하전이 제거되어 있어야 된다. 모래가 너무 습윤하면 gun 에 이어진 호스가 막히게 된다.

현재의 혼합비는 보통 무게 기준으로 한다. 시멘트—골재비 (C/A) 는 배합전에 보통 1:3 또는 4:4, 1:5 사이이다. 노즐을 떠나는 혼합물의 비율이 1:3.5면 퇴적된 혼합물의 비율은 약

1:2.5인데 이는 골재의 반발 손실 때문이다.

퇴적물의 실제비율은 분사되는 표면 즉 수평, 경사 및 수직면의 방향에 의존하게 된다. 현재 실용되는 최대 크기의 골재는 1.27 cm이다. 명목상으로 shotcrete의 C/A는 1:4이지만 작업 환경 및 구조 조건에 따라 1:2.5 내지 1:5로 변화된다. 분사하기전에 C/A가 무게비로 1:3이었다면 퇴적된 혼합물의 최종 감소비는 약 1:2이다. 부배합물은 빈배합물보다 수축 스트레스가 더 발달하고 부수적으로 잔균열이 생성될 경향이 있다. 반대로 혼합물이 빈배합물일수록 반발량이 더 커진다. 이와 같이 C/A는 실제적인 한계가 있다. shotcrete가 유용하다면 이들은 일치되어야 될 것이다. shotcrete의 내구성에 있어서 모래의 품질과 등급이 중요한 인자라는 것이 경험적으로 알려졌기 때문에 모래의 주의 깊은 선택이 근본적으로 필요하다. 사용된 모래의 형태는 gun의 작업에 영향을 미친다. 즉 고운 모래는 분사기를 막히게 하는 원인이 되고 너무 굵은 입자들은 장치 통로를 윤내고 깨끗하게 한다. 전식 혼합 공정에서 노즐 입구의 시멘트 및 골재 혼합물의 공기 압력 공급은 노즐 출구의 크기에 의존되며 2.46~4.92 kg/cm²의 범위이다. 노즐의 다른 입구의 물압력은 적어도 0.7 kg/cm² 이상이다. 보통 공기 압력보다 약 1.4 kg/cm²가 더 크다. 보통 호스의 길이는 15~45 m 범위이며 조작성에 따라 다르다. 노즐은 그 작업으로부터 0.9~1.5 m 잡고 도장해야 할 표면에 수직으로 거둔다.

공기 소요량은 굵은 shotcrete에서는 약 236 l/sec으로 대량이다. shotcrete의 막층은 주도, 규격, 작업자의 판단에 따라 다르나 2.54~7.62 cm의 두께이다.

최종 막은 두께에 따라 0.32~0.64 cm로서 마감도로로 도장한다. 최초의 도장은 1.74~10 cm 범위이나 분사기의 한번 분사로 연속적인 시공이 가능한 가장 두꺼운 두께는 약 5 cm 막이다. shotcrete 혼합물 0.765 m³는 한 장소에 shotcrete 0.383 m³를 가져온다. 각 막의 최대 실제 두께는 수평면 위가 5 cm, 수직면 위가 2.54 cm라고 몇몇 권위자들이 주장하고 있다. 그러나

shotcrete를 수직에서 아래 방향으로 분사시킨다면 반발물의 이동은 매우 심각한 문제에 달하게 된다. 수직면에 일층으로 시공할 때의 신선한 콘크리트의 최대 크기는 7.62 cm 이하가 되어야 하고 그 시공시는 혼합물이 이장되지 않아야 한다고 다른 권위자들이 주장하고 있다.

경화 콘크리트표면의 모양은 특징적인 물결 무늬가 있으나 물결무늬의 정도는 노즐면의 숙련도가 증가할수록 감소된다. 재래 콘크리트와 같지 않게 shotcrete는 신속히 응결된다. 목재에 사용할 때는 퇴적한 후 30 분내에 완성되어야 한다. 강철 표면에 shotcrete를 퇴적시킬 때에는 내구성 및 강도가 목재에 사용할 때와는 반대의 영향을 미쳐 좋은 대조를 이룬다.

최대 밀도에서 shotcrete는 시공 순간에 약하게 반짝반짝하는 외관을 나타낸다. 이것을 성취하는 작업자의 숙련도는 shotcrete 구축물의 중요한 한 인자가 된다. 최대 밀도 및 최소 수축 균열에서 고압충전 및 낮은 W/C가 양립될 수 있다. 너무 많은 물을 사용하면 그 조성은 씻겨 내려간다. 너무 적게 물을 사용하면 그 혼합물은 접착이 될 수 없다. 모래의 수분 함량이 적당치 않고 혼합물에 비교적 많으면 모래의 수분 변화에 따라 shotcrete의 주도에서 귀찮은 변화가 발생된다.

압축공기 분사기로 적소에 모르타 또는 콘크리트를 충전시킬 때의 shotcrete 시공은 재래식 구축물에서의 것보다 낮은 W/C가 요구된다. 주어진 밀도 및 굵은 혼합물은 재래 틀 작업없이 여러가지 형태의 건축을 가능케 한다. 예를 들면 다음과 같다.

- (1) 얇은 벽류
- (2) 콘크리트, 메이슨리 및 강철 표면 도장
- (3) 내화용 구조강철의 포장
- (4) 철근보강 콘크리트 구조물의 수리

shotcrete의 중요 利點은 비교적 작은 포타블 공장이 가능하다는 점이다. 경제적으로 시공되기 위하여서는 shotcrete가 숙련 노동자에 의해 시공되어야 한다. 왜냐하면 그 제품의 표면조직, 강도 및 내구성은 그 작업 기술에 영향을 받기 때문이다.

Barron(1958)에 따르면 shotcrete 구축물에서 호스 길이의 보통 한계는 약 33 m 이나 150 m 길이의 호스까지 사용되고 있다고 한다. 호스 길이의 실제적인 한계는 장치로부터 수직 60 m, 수평으로 150 m 라고 하는 사람도 있다. 적당한 노즐 압력은 1.76~5.27 kg/cm² 이나 무거운 구축물에서는 보다 더 알맞은 고압이 요구되고 있다.

빌딩의 종류 및 빌딩 관례법에 따르면 높이 5.2~12 m, 두께 12.5~20 cm 의 벽을 갖는 shotcrete 구조물에 많다. 원주 및 빔 크기는 구조설계 및 운반하중에 따른다.

재래 콘크리트용의 보통 벽 양식에서는 이중 양식의 경우 속널이 14,160 cm³ 가 될 것이 요구되나 shotcrete 벽의 속널은 표면 930 cm³ 을 만드는데 3,540 cm³ 가 되어 이것은 약 75%의 목재를 절감하는 양이 되고 셋기등을 보다 작게 사용하게 한다. 2.54 cm 두께의 재목이 사용되는 곳에서는 재래 콘크리트의 경우에 요구되는 보다 가까운 공간 대신에 셋기등이 70 cm 떨어져 위치한다. 합판판넬이 속널에 사용되는 곳에서는 셋기등의 거리가 75~90 cm 이다. 콘크리트 양식의 구축물에 사용되는 무거운 요판이 제거된다. 가벼운 요판은 극히 높은 경우를 제외하고 바닥 중간 꼭대기에 위치한다. 속널은 필요한 곳에서 5×10 cm 의 경사 지주를 가진다.

몇년전에 고운 shotcrete 를 사용하여 18 개의 탄약고를 건설하였는데 재래 콘크리트에서 요구되는 것보다 작은 틀 작업에 따라 절감된 가격은 40%였다.

건물을 시공하는데 있어서 總力을 기울여야 할 점은 모든 표면이 완전히 평평하게 되도록 단단하여야 하고 shotcrete 를 유지할 수 있도록 무거워야 한다는 점이다. 발판은 전기공, 플라스틱공, 기타 속련공에도 필요하지만 분사 작업을 하는 동안에도 발판이 필요하다. 발판 조립은 시공에 어떤 비용을 추가시키지 않는다. 강철 설계시에는 재래 콘크리트에 사용되는 것과 일치한다. 강철 칸막이는 단일벽 속널로 지지하고 단단하게 고정된 강철은 진동을 제거하며 shotcrete 에서 적당한 매물을 보장하는 것이 생명이다.

원주 및 맴 강철은 벽체 강철과 같이 동시에 적당한 장소에 놓는다. shotcrete 가 균일한 벽두께 및 바른 배열을 갖게 하기 위하여 벽면을 따라 20 번 강철 피아노선으로 짜인 수평 및 수직 배열을 펼쳐 놓는다.

shotcrete 는 단층 강철 골격인 공장 빌딩에서 벽을 시공하는데 흔히 사용된다. 이런 빌딩의 벽에 있는 원주는 보통 4.8 m 간격이며 벽의 방향으로 평행하게 펼쳐 양 태두리에는 강철 H부분이 있다. 그리고 보통 들보설계 및 강철트라스의 지붕조적을 지지한다. 보통의 벽설계는 바닥 수평면에서 창문의 바닥까지 이어진 shotcrete 의 수평대를 포함한다. 이것은 각종 높이의 창사쉬의 수평대까지 연결된다. 벽의 상단면은 지붕축선까지 연장되어 Shotcrete 의 다른 수평대를 이룬다. 공장빌딩의 대표적인 shotcrete 벽 두께는 5 cm 두께이다. 벽에 사용되는 합판형식은 보통으로 콘크리트 구축에 규정된 것보다 상당히 경량일 것이다. 그 이유는 shotcrete 는 그 형식의 상당한 면적이 얇은 막으로 퇴적되었기 때문이다. 이것은 shotcrete 의 잔류물이 한 위치에 분사되기 전에 그 틀을 단단하게 하는 경향이 있기 때문이다. 그 형틀은 구조적인 지지 부재 사이에 놓여진다. 그들은 10번 이상 재사용되고 만족한 벽 표면조적을 보장한다. 관습적인 조적의 철근 보강시멘트는 8 번선 10×10 cm 메쉬 또는 10 번선 7.5×7.5 cm 메쉬이다. 이들 철근보강 조적은 일반적으로 전기 도금한 강철이다.

벽시공에 있어 shotcrete 는 중간벽이 우묵한 곳이나 널판조각에 분사하기 전에 초기 수축이 허락되도록 약 12 cm 폭으로 교대하여 시공하여야 한다. 건축중에 비가 오면 shotcrete 는 이동목재 또는 금속골격판 위에 방수포를 깔 후 그 아래에서 작업을 해야 한다. 벽구축 접합은 약 30 cm 떨어진 위치에서 하루의 shotcrete 작업이 끝날 때에 행하여야 한다. 다음날 아침 새로운 작업은 젖은 판자끝을 완전히 깨끗하게 한후 이전의 작업을 계속한다.

노즐이 90° 보다 상당히 작은 각도에서 분사하면 shotcrete 는 모래 많은 강바닥과 같이 구김살이 많은 시공이 된다. 그리고 치밀성이 균

일하지 않고 그 결과로 역시 과량의 반발물이 생긴다. shotcrete 벽부재는 항상 가능하지 않지만 막 하나의 보강시멘트를 갖는 것을 원한다. 철사조직 보강은 강철막대보다 낫다. 막대를 사용하면 그들은 반발되고 입방체 막대는 막대의 뒤에 인접한 반발재료의 층을 만드는 경향이 있다. 이런 층은 실제적으로 시멘트가 포함되지 않는다.

막대 보강시멘트가 상자내에 있으면 그 노즐은 두 방향에서 막대의 뒤에 shotcrete 가 직접 닿도록 한다. 막대의 양쪽은 단독으로 분사된다. 반발물은 공기분사와 같이 날라 간다. 작업시에 갈라진 틈에 축적되어 반발물이 없도록 하여야 한다. shotcrete 막을 연속적으로 시공할 때 각 막은 다음 막의 완전한 결합을 위하여 가볍게 솔질한다. 경화된 하부 막은 주의 깊게 깨끗이 하고 다음 막을 시공하기 전에 축축하게 한다. 15 cm 두께의 벽은 적어도 2층의 shotcrete 가 요구되고 더 두꺼운 벽일수록 3회 시공 또는 그 이상 시공이 요구된다.

적당한 양생이 생명이다. 강풍이나 태양열에 의한 건조를 방지해야 한다. shotcrete 가 퇴적된 후 적어도 7 일 동안 습윤 양생이 필요하다. 이것은 분사한 후 최소 16 시간 또는 그 이상에서 부드러운 물의 분무로 성취할 수 있고 건조를 막도록 보호막을 사용하였다더라도 즉시 액체 양생 콤파운드를 사용해야 한다. 양생콤파운드를 시공할 때 작업은 습윤 하게 해야 한다. 새로 퇴적된 shotcrete 의 표면 조적을 수정하기 위하여 물분무를 사용하는 것은 마땅치 않다. 건조 방지용 삼베를 표면에서 제거하였다면 계속적으로 적어도 7 일간 습윤시켜야 한다. 새 shotcret 작업시 건조 방수포의 포장은 습윤 양생의 구성 조건이 아니다.

늘어짐 또는 이장이 없는 수직 또는 수평형체 표면에 shotcrete 가 퇴적되는데 실제적인 두께는 강철조직 보강시멘트에 제공되는 지지대에 의존한다. 포장해야 할 표면의 전후에 분사함으로써 한번의 연속 조작으로 7.5 cm 두께층의 배열이 항상 가능하다. 포장하여야 할 앞뒤 면에 분사하는 한번의 연속적인 조작으로 7.5 cm 두

께층의 배치를 항상 가능하게 한다. 7.5 cm 이상 도장 작업이 요구되면 조작공은 약 6.3 cm의 shotcrete 의 시공을 한 후 다른 지역으로 이동한다. 떨어짐 또는 이장 같은 모든 위험성이 제거되도록 충분히 응결된 shotcrete 를 한후 최초로 작업한 장소에서 다시 시작한다.

평평한 면의 shotcrete 는 7.5 cm 두께 층이 갖는 반발량의 정도에 따라 시간당 15.29~26.76 m²의 속도로 보통 장치를 갖고 시공할 수 있다.

분사되는 보강섬유조직은 반발량이 없기 때문에 바닥에서 위로 벽면적에 분사돼야 한다. 경사진 곳 또는 벽에 수직으로 인접한 바닥면적에 shotcrete 할 때의 가장 좋은 실례는 벽이나 경사면에서 적어도 0.9 m 거리에서 분사하는 것이다. 이 방법은 벽과 바닥의 교차점을 따른 줄눈에의 빈약하게 결합 부분이 제외되며는바 이는 반발량이 겹쳐진 부분이 있는 지점 아래로 떨어지기 때문이다.

shotcreting 은 주위 온도가 3.3°C 이하일 때 시공해선 안된다. 저온에서 shotcrete 작업을 할 때에는 동결되지 않도록 방수포로 씌워야 한다. 저온에서 작업할 때 하루전에 분사한 shotcrete 에 서리가 없어야 하며 새로된 Shotcrete 가 접촉되도록 세심한 주의를 한다. 이어 시공된 콘크리트는 겨울 빌딩 공사에서 하는 여러가지 방법으로 보온하여야 하고 찬 콘크리트 표면은 따뜻한 콘크리트가 되도록 준비되어야 한다.

보통 벽 건축에 있어서 shotcrete 는 11.47~15.29 m²/日의 비율로 시공한다. 약 76.46 m²의 shotcrete 가 요구되는 보통 크기의 빌딩의 벽, 지주 및 빔에는 정상적으로 약 2주가 소요된다. shotcrete 치기는 재래 콘크리트보다 단위 m² 당은 비싸다. 그리고 재료는 절약되고 노동력이 감소된다. 또한 shotcrete 공정은 평균적으로 벽 빌딩 작업의 전비용중에서 적어도 20%의 순절감을 가져올 것이 확실하다.

더군다나 shotcrete 건축의 속도는 비게 절근 잇기 단일형을 세우는데만 청부업자가 5 일 내지 10 일간을 소모한다. 그러나 그 작업원은 다른 일에 지장을 주지 않는다. shotcrete 가 시공면에 분사된 후 틀은 약 48 시간 후에 제거된다.

재래 콘크리트 시공의 경우에는 청부업자의 작업원이 항상 그일에 매달려 있다. 콘크리트공이 형틀에 콘크리트를 칠때 다른 인부는 이에 타설된 벽에서 형틀을 제거하거나 더 높은 벽에 부가 형틀을 세우거나 하지 않으면 안된다.

난연성의 수단으로서 빌딩의 철근구조에 shotcrete 를 시공하는 것은 가치 있는 일이다. 이런 보호재료는 화재시 거의 손상되지 않으며 시공도 쉽고 값싸게 할 수 있다. 비교적 얇은 막은 무겁지 않다는 것을 의미하고 불력이나 타일의 표면을 보호하는데 필요한 재료 및 노동력이 적다는 것을 나타낸다. 무게가 가벼우면 구조 골격을 유지하는 사하중이 감소되고 사하중이 감소되면 보다 경량의 빔, 지주 및 보다 적은 기초로서 가능하다. 철근구조를 shotcrete 로 포장하는 다른 이유는 강철의 침식을 보호하는 것이다. 구조부재에의 표면에 분사충전만으로서도 shotcrete 의 훌륭한 접착은 보증된다. 한편 재래식으로 시공된 콘크리트에서 항상 발생하는 연행 공기막의 발달이 배제된다. 시멘트 페이스트의 매트릭스와 미세 골재 입자는 접근 재료의 입자가 계속적으로 다져짐으로써 강철의 표면을 약간 거칠게 하거나 치밀하게 되도록 분사된다.

이론적으로 각 골재입자는 매트릭스내로 보다 깊이 분사되는 다짐 작용을 하며 이것은 재래식으로 시공된 콘크리트보다 투수성을 감소시키는 shotcrete 가 되고 동시에 반복되는 동결 및 융해로 파괴작용에 대한 저항성을 증가시킨다.

1920년에 Philadelphia 에서 8층의 Traylor Building 이 shotcrete 로 시공되었다.

외부공동이 있는 30 cm 두께의 shotcrete 판넬은 내부와 외부각으로 구성되었고 두께는 5 cm 이상이었으며 각 판넬에는 4 shotcrete 셋기둥이 있었다. 그 설계는 Underwriters Laboratories 에서 추천한 것이다. 이 빌딩에서의 내부 부재는 모두 shotcrete 로 시공되었다. 30 cm 두께의 shotcrete 공동 부재를 세우는데 든 비용은 42.5 cm 두께의 보통벽돌 부재보다 약 40%가 저렴하였다.

Moran(1938)에 따르면 평방 m 당 gunite 의 비용은 콘크리트의 약 3 배이나 안전 압축 스트

레스도 역시 콘크리트보다 3 배나 된다. 이와 같이 압축 부재는 동일한 강도와 비용으로 설계할 수 있으며 무게는 1/3 이다. 좋은 환경에서 cement gun 의 포장 능력은 gunite 두께 2.54 cm 당 1 일에 57.34~76.45 m² 라고 그는 설명하였다. 그는 역시 m² 당 비용이 아주 높기 때문에 gunite 는 보통 빌딩 건축에는 쉬운 방법이 아니라고 발표하였다.

복잡한 구조물의 수리 수단으로서 shotcrete 를 대치 사용하는 경우 금전적으로는 gunite 의 수리 비용은 재래식 비용의 약 7 배이지만 그 구조물의 근본적인 결함인 고장의 재발이 방지된다.

Hoffmeyer(1965)에 따르면 미리 혼합된 습식 shotcrete 가 벽두께 10 cm, 또는 그 이하일 때 재래 콘크리트보다 단위 m 당 더 저렴하지만 재래 콘크리트는 벽의 두께 25 cm 또는 그 이상일 때에만 더 저렴하다. 철근보강 시멘트를 포함한 미리 혼합된 습식 shotcrete 는 입방야드당 45弗이나 재래식 콘크리트는 최근 미네소타州의 한 교회의 시공에서 보여준 바와 같이 입방 야드당 20弗이었다. 자철광 골재를 함유한 shotcrete 는 Washington 의 Hanford 에서 방사선 차단체를 시공하는데 사용되었다. 단위면적 133.8 m² 의 비교 연구 결과 중량 shotcrete 의 비용은 평방야드당 232弗이었고 재래 콘크리트 구조 또는 프리펙트 콘크리트 구조는 입방 야드당 242弗이 소요되었다.

3. 공학적 성질

shotcrete 는 반세기 전부터 사용되었으나 그것의 시공 특성에 관한 의견은 상당한 차이점이 있다. 구조물이나 시험판자에 뚫은 구멍이나 철물—직포 틀에 분사시켜 만든 원통 시험판에 관해서는 좋은 싫든 간에 의견의 차이점이 있다.

Thos. J. Reading(1965)은 다음 값은 재령 28 일에 경화 shotcrete 가 된다고 설명하였다. 압축강도 보통 281.2 kg/cm², 최대 421.8kg/cm², 꺾임강도 보통 175.7kg/cm², 흡수율 보통 6~7% (중량비).

Harald Omsted(1963)에 따르면 210.9kg/cm² 의 압축 강도를 갖는 shotcrete 는 재래 콘크리

트와 동등한 강도와 물리적 성질을 가진다고 가정하였다. 이런 가정은 그것이 아주 현실적이라 하더라도 믿을 수 없다고 여러 사람들은 말하였다. 그들이 의심한 것은 강철과 shotcrete 사이의 결합은 강철과 재래식 주입 콘크리트 사이의 결합보다 작을 것이라는 점이었다. 왜냐하면 가벼운 층이 반발의 결과로서 강철 보강 시멘트 이면에 shotcrete 를 형성하는 경향 때문이었다.

3.1 중요한 시험 데이터

shotcrete 시공을 취급하는 기술논문은 많지만 경화 shotcrete 의 기초 物理的 성질에 관한 논문은 찾아 보기 힘들다. 그에 관해서는 괄목하게 생각되는 6 개의 포괄적인 연구가 있는바 다른 연구 결과가 나오기 전의 이 실적에 관해 연대순으로 고찰하고자 한다.

gunite 의 물리적 특성에 관한 최초의 실험실적 연구는 1911년에 행해졌다. gunite 의 접착, 강도(압축 및 인장)는 재래식으로 시공한 모르타의 대응 성질보다 크고 투과성, 기공율 및 흡수율은 보다 적었다는 시험 데이터를 보여준다. 각종 혼합물의 시멘트-골재비(C/A)는 용적비로 1:3 에서 1:9 의 범위이고 최대 입자 크기는 3.1 mm 의 모래를 사용하였다. 시험 재령은 7·28 ·60일이었다. 공학적 성질에 관련하여 경화된 각 시공 모르타를 비교한 경화 gunite 의 대표적인 값을 보면 각 경우에 따라 처음으로 기록된 gunite 는 다음과 같이 나타나고 있다.

이들은 재령 28일에서 얻어진 실험실 결과를 사용한 것이며 기공율 데이터는 재령 60일이다.

성 질	C/A	값	備 考
인장 강도	1:3	1.74	
	1:4	1.80	
압축 강도	1:3	1.70	
	1:4	2.40	
기공율	1:3	0.66	
	1:4	0.67	
투과성	1:3	0.15	
	1:4	0.05	
흡수성	1:3	0.72	
	1:4	0.53	
강철 결합력	1:3	—	
	1:4	1.27	
벽돌 결합력	1:3	—	
	1:4	1.27	

1918년 U.S Shipping Board 와 NBS 의 공동 연구에서는 거룻배와 배의 외피를 결정하는 시험을 행한바 이는 압축 강도와 탄성율의 범위를 결정하는 것이었다. 각종 혼합 비율을 나타내고 수평으로 또는 수직으로 분사된 평판을 384 기둥으로 잘라 재령 90일에 시험하였다. 몇개의 평판에는 골재의 크기가 1.74 cm 로 큰 것을 혼합하였다. 최대 골재 크기 0.87 mm 를 가진 잘 혼합된 혼합물이 보여준 연구는 가장 좋은 결과를 가져왔다. 재령 90일에서 shotcrete 의 압축강도는 C/A(부피비)가 1:2 일때 340 kg/cm², C/A 비가 1:2.5 일때 315 kg/cm², C/A 비가 1:3 일때 280 kg/cm² 를 데이터에서 보여준다. 탄성율(E)은 재령 90일에서 평균값이 다음과 같이 나타난다.

C/A(부피비)	평균(E) (kg/cm ²)
1:2.0	37.965×10 ⁶
1:2.5	33.747×10 ⁶
1:3.0	33.044×10 ⁶

Stewart(1931)에 의한 실험실 및 현장시험 데이터를 보면 gunite 강도는 1.9 cm 또는 2.54cm 지름의 노즐을 사용하여 분사하는 노즐 속도와 일정한 관계가 있다고 하였다. 최대 강도는 114.3 m/sec 일때 나타났다. 그는 물 시멘트비(W/C) 0.55는 혼합물을 굳게하고 분사하는 것이 실제적으로 보장되는 것을 발견하였다. W/C는 무게비로 0.55~0.65 범위를 추천하였다. 역시 모래의 조립율은 강도와 일정한 관계가 있다.

500 개 이상의 시험편 시험 결과에서 나타난 바와 같이 강도, 흡수율 및 반발량 등 이들 3개 인자의 영향은 Stewart 의 논문에서 도식적으로 나타나고 있다. 공칭 C/A 가 1:3.5이며 좋은 품질의 모래를 사용하면 재령 7일에 압축강도의 최소한계는 281 kg/cm²이다. 3.3 cm 지름의 노즐을 사용한 Stewart(1933)의 부수적인 관찰에 따르면 gunite 의 최대 강도 및 밀도는 공기속도가 153 m/sec 일 때이며 노즐은 작업지에서 약 1.2 m 떨어졌을 때였다. 평균 혼합 비율은 부피로 1:3.8이며 모래의 함유수분은 무게비로 4% 이었다. gunite 의 강도는 수분량이 증가함에 따

라 감소하나 혼합물의 건조도에 대한 실질적인 한계가 있다. 袋당 15.1l에 해당되는 10% 함수량은 강철보강 시멘트의 gunit에서 실재 최소치이다. 袋당 13.2l에 해당되는 9% 수분은 보강시멘트의 gunit에서는 실제치이다. 재령 7일에서 평균 압축강도는 C/A 1:6에서 281kg/cm², C/A 1:3에서 492 kg/cm²이다. 특히 C/A가 1:3.5로 한 견고한 모래를 사용할 때 7일 압축 강도는 492~703 kg/cm² 사이에 속한다.

USBR 실험은 1937年~1939年 사이에 행해진 바 Studebaker(1939)의 Arrowrock Dam의 방수로 바닥을 gunit으로 시공하였는데 품질관리 개선을 통해 행하였다. C/A가 무게비로 1:4.5이었고 혼화제로서 규조토 3%를 사용했다. 방수로 측면(0.5:1의 경사)의 내장에 사용된 gunit은 W/C 무게비로 0.57이었다. 수직면과 돌출 부분의 gunit의 W/C는 0.5이었다. 그는 연구를 통해 다음 사항을 유도해 냈다.

(1) gunit의 조절을 통해 강도 시험을 한다는 것은 여러가지 난점이 있다. 그것은 gunit의 경제성, 내구성, 강도 사이에 어떤 함수 관계가 없다는 것이 발견되었기 때문이다. 또한 강도 데이터에 따르면 shotcrete에서 침식작용이 너무 늦게 일어나기 때문에 정확한 강도 데이터를 찾는다는 것은 어려운 일이다.

(2) gunit 시험편의 W/C는 정확히 결정할 수 없다.

(3) 품질관리 인자보다도 gunit 시험편 성형의 불규칙성이 강도에 더 큰 영향을 준다.

(4) 경화 안된 gunit로부터 균일한 지름의 작은 원주시험편의 조각이 비실제적이며 항상 시험편의 조각이 생기기 때문이다.

(5) gunit의 건조수축은 혼합물속의 수량 백분율에 직접 비례하고 반대로 시멘트에 비례한다

(6) 내구성은 낮은 함수량과 고시멘트량에 따라 증진된다.

(7) 혼화제로서의 규조토는 주어진 주도에 추가 함수량의 사용을 요한다. 동시에 수축이 더 크므로 추천되지 않는다.

(8) 조립물(FM) 2.50을 갖는 미세한 모래를 넣은 빈 혼합물은 굵은 모래(FM, 3.36)를 넣은

부배합보다 수축이 더 크다.

(9) 일정한 주도 및 주어진 모래로 수율(공칭 혼합물 파운드당 gunit의 파운드)은 혼합 비율에 관계 없이 실질적으로 일정하다.

(10) 주도가 일정하게 유지되면 미세한 모래 혼합물은 굵은 골재 혼합물보다 수율이 더 큰 것이 보증된다.

(11) 신선한 gunit의 적당한 주도는 굵은 모래 혼합물로 얻은 것이다.

(12) 일정한 주도에서 주어진 모래(FM 2.49, 2.96, 또는 3.26)를 사용하면 반발량의 백분율은 C/A(1:3~1.6 무게비)에 관계 없이 거의 일정하다.

(13) 보통 주도 범위 내에서 모든 다른 조건이 일정하면 반발량의 백분율은 반대로 W/C에 비례한다.

(14) 높은 W/C 비는 시멘트 양과 반발량의 백분율을 감소시킴으로써 경제성이 증진된다.

(15) 경제성을 최대로 하기 위하여 gunit은 유해한 이장이 없는 W/C로 분사해야 할 것이다.

(16) 강도와 내구성의 요구가 양립되지 않은 W/C가 주어지면 초기 혼합 비율은 분사면에 알맞은 주도로 분무할 때 W/C를 적당히 배합해야 할 것이다.

(17) 끝으로 내구성이 크면 클수록 재료비는 더욱 커진다.

1940년에 Campbell 등은 California 대학에서 gunit의 物理的 성질에 대하여 연구하였다. 시멘트의 종류, 시멘트 골재비율, 골재등급, 신선한 gunit의 주도과 경화된 gunit의 썩임강도 수축에 관한 영향 등이 그 연구의 주대상이었다. 골재등급의 변화 및 설계된 공칭량에서 분사후 실제량에까지 혼합비율은 연구 분야로서 고려되었다. cement gun의 노즐 속도(120/sec)와 양생 상태(습윤양생 28일)가 일정하고 시험할 때까지 28일 이상된 시험편은 상대습도(RH) 50%에서 저장하였다. 수축률 비교는 108개의 길이 변화 시험편을 사용하여 재령 60일에 행하였다. 데이터 분석에서 표시하는 것은 모래의 원래의 조립물(FM)에 관계 없이 실제 골재 등급은 공칭등

급보다 약 20% 더욱 미세하였다. 사용된 모래는 굵은 것(FM 2.96), 중간 것(FM 2.66)과 가는 것(2.35)이었다.

2.96에서 2.35까지 FM의 공칭등급의 변화는 시공면의 gunite의 실제 W/C의 변화에 비교적 실질적 효과를 내지 않는다. FM의 범위, C/A 변화, W/C 또는 시멘트 종류는 시공면의 gunite의 실제 등급에 큰 영향을 미치지 않는다. 반발량은 시멘트 페이스트 소량을 수반하며 시공면 혼합물은 공칭 혼합물보다 더 많다. 즉 실제 C/A는 원래 계획된 것보다 크다. 항상 실제 W/C와 실제 C/A 사이의 관계는 미리 혼합된 건식 shotcrete를 사용할 때에만 반대이며 그것은 노즐맨이 실제 C/A가 증가함에 따라 수량이 변화되며 시각적으로 균일한 주도를 유지하도록 하기 때문이다. I종 또는 III종시멘트중 어느 것을 사용하건 실제 W/C는 공칭 W/C보다 약간 더 높다. 그러나 高질리카 시멘트를 사용하면 실제 W/C는 공칭비보다 더 적다.

실제 C/A가 반발량 때문에 증가하면 3가지 시멘트 사용에 관계 없이 더 건조될수록 분사된 혼합물이 높아진다.

고질리카시멘트로 만든 단미 gunite는 I종 또는 III종 시멘트로 만든 조합 gunite보다 수축이 적은 것을 나타내며 수축은 W/C나 C/A가 증가할수록 증가한다. 고질리카 시멘트로 제조한 보강 shotcrete는 I종 또는 III종 시멘트 어느 것으로 제조한 조합 gunite보다 다소간 서서히 균열이 생긴다. 재료의 수축이 적으면 미소한 균열이 발생한다. I종 또는 III종 시멘트를 포함한 gunite에서는 stress의 해제가 비교적 갑자기 일어난다. 단미 gunite의 648개의 빔의 꺾임강도는 몇가지 변화에 따른 영향을 비교하여 재령 28일에 시험하였다. 어느 시멘트를 사용하건 뛰어난 강도의 발현이 된다고 데이터에 나타났다. W/C가 감소되거나 C/A가 증가되면 꺾임강도도 증가되었다.

포틀랜드 시멘트 협회(Litvin and Shidder 1965)는 1960년이후 shotcrete에 관해 광범위한 연구를 행하였다. 그때까지 2분야의 연구가 진행되었고 38 shotcrete 조합물이 준비되었다. 첫

째 분야는 여러 부지에서 shotcrete walleter를 생산하여 PCA 시험실로 운반하고 실험실 데이터를 구하였다. 두번째 분야는 각종 혼합비율, 3등급의 골재 및 몇가지 혼화제에 몇가지 종류의 장치를 사용하여 PCA 실험실에서 walleter를 분사시켰다.

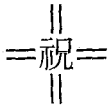
그때까지 연구된 비보강 shotcrete의 공학적 성질은 강도(압축 및 꺾임), Young율, 수축, 크립, 흡수율, 동결융해, 저항성 및 투과성이 있었다. 시험 데이터는 물리적 성질을 바탕으로 다음과 같이 2 그룹으로 조합물의 구분을 나타냈다.

- (1) 무게비로 C/A 1:3.0과 부피비로 1:3.0, 1:4.5 또는 1:6.0을 갖는 습식 혼합 모르타와
- (2) 부피비로 C/A 1:3.0, 1:4.0, 1:5.0 또는 1:6.0을 갖는 건식 혼합 모르타, 부피비로 1:4.0과 무게비로 1:4.26 또는 1:6.08을 갖는 건식 혼합 콘크리트, 부피비로 C/A 1:4.0을 갖는 습식 혼합 콘크리트와 무게비로 C/A 1:2.72, 1:2.79, 1:2.87 또는 1:4.65를 갖는 습식혼합 콘크리트, 최대골재 크기는 0.63mm였다. 제 1 그룹에서 습윤상태의 7.5 cm 입방시편의 평균 28일 압축강도는 217.9~555.4kg/cm² 범위이었고 제 2 그룹에서는 428.8~906.9kg/cm²의 범위이었다. 습윤 상태에서 양생된 7.5×7.5×30 cm 각주의 평균 28일 꺾임강도는 제 1 그룹이 40.8~54.8 kg/cm² 이고 제 2 그룹이 42.2~98.4 kg/cm² 사이의 범위이었다.

제 1 그룹은 습윤 상태에서의 Young 율이 14,481×10⁶과 30,932 kg/cm² 범위이고 제 2 그룹은 22,496과 40,774 kg/cm² 사이의 범위이다. 재령 28일에 Young 율과 습윤상태 압축강도(211~773.3 kg/cm²) 사이의 관계는 첫 분야 연구에서 어느 조합물이나 거의 직선적임을 발견하였다. 재령 28일에서 습윤상태를 기초로한 제 1 그룹 조합물의 꺾임강도는 압축 강도의 12~21% 사이였고 제 2 그룹의 범위는 7~11% 사이였다. 압축강도와 경미 W/C의 관계는 두 분야 모두 곡선임을 발견하였고 W/C가 낮을수록 보다 높은 강도를 나타냈다. 재령 6개월의 첫번째분야에서 제 1 그룹 시편의 수축률은 0.135~1.500% 사

이에서 변화된다. 제 2 그룹은 0.060~0.105%의 편차범위이다. 이들 값은 재래 콘크리트에서 항상 일어나는 것보다 높은 값이다. 제 1 분야에서 제 1 그룹 shotcrete 의 크립 속도는 제 2 그룹의 것보다 큰 것이 발견되었고 재령 28일에 시작되는 70.3 kg/cm²의 압축 스트레스의 유지로 인한 최종 크립은 제 2 그룹 shotcrete 의 것보다 약 7 배이다. 높은 W/C 는 높은 크립의 shotcrete 가 된다. 일반적으로 건식 혼합공정에 의해 생산되는 shotcrete 는 습식 혼합 공정에 의해 생산된 것보다 동결 용해 시험에서 보다 큰 내구성을 나타낸다고 설명된다. 그럼에도 불구하고 제 1 분야의 습식 혼합 모르타(제 1 그룹)에서 약 10%를 공기의 의식적인 연행으로 생산할 때 약 2%의

공기를 포함하고 있는 shotcrete 조합물에서 얻어진 저항보다 동결 용해를 350 회 교대 시험한 후 4~14 배가 되었다. 흡수율 백분율과 건조 단위 무게(돌대 재령 7일)는 shotcrete 의 보편적인 실행의 좋은 지시자이다. 제 1 분야에서 제 1 그룹의 평균 습기 흡수율은 13%, 제 2 그룹은 6%이었고 건조상태에서 대응 평균 밀도는 1986.3 kg/m³ 와 2194.5 kg/m³ 이었다. 두 분야를 고려하면 제 1 그룹에서 평균 흡수율은 10%, 평균 밀도는 2018.3 kg/m³, 제 2 그룹에서의 대응 값은 7%, 2194.5 kg/m³ 이었다. 투과시험데이터는 의미심장한 잘못이 있었다. 굵은 골재를 혼합한 건식 혼합 shotcrete 에서는 반발량의 결과 8 과 21% 사이의 FM 이 감소되었다.



發 展

東洋세멘트工業株式會社
 雙龍洋灰工業株式會社
 韓一시멘트工業株式會社
 現代시멘트株式會社
 亞細亞시멘트工業株式會社
 星信洋灰工業株式會社
 高麗시멘트製造株式會社
 株式會社 유니온