

Shotcrete의 工學的 特性(下)

申 鉉 澤 譯
〈國立工業試驗院〉

3.2 밀도

비보강 단미 경화 shotcrete의 평균 단위 무게가 보통 규산질 골재를 사용할때는 2242~2322.6kg/m³ 범위이다. 동일한 골재를 함유하는 단미 경화 콘크리트는 2322.6~2402.7kg/m³ 사이에 든다. 그러나 단미 shotcrete의 밀도 범위는 1922 kg/m³에서 2562.6 kg/m³로 증가되며 그것은 골재의 최대 크기, 최종의 반발량, 혼합 비율, 시공 방법에 따라 변화된다.

Swenson(1913)은 보통 Gunite의 기공량이 재래식으로 시공한 모르타에서 알려진 것보다 50~75% 사이에서 변화된다고 하였다. 일반 경량 골재를 사용하면 경화된 경량 shotcrete가 1441~1922kg/m³이었으나 특수 경량 골재를 사용하면 경화된 단열 shotcrete의 단위 무게가 640.7~1441kg/m³ 범위로 감소된다. 금속골재를 혼합한 경화중량 shotcrete의 단위무게는 2562.9~3684.2kg/m³ 범위에 속하였다.

3.3 반발량

Gillespie와 Culliton(1924)은 강철대들보에 대한 Gunite 분사의 반발량에 대하여 조사하였다. 이들 데이터에 의하면 굵은 모래로 제조한 배합물은 미세한 모래보다 반발량이 많아 4배가 된다고 하였다. 반발량 및 분무작용으로 혼합수의 손실을 가져온다. 즉 Stewart(1933)은 분무작용시 손실혼합수가 3.81cm 지름 노즐을 사용할 때

시멘트 포대당 약 5.48%가 된다고 하였다. 반발량은 호스 압력이 클수록 증가하고 노즐 속도가 클수록 반발량이 증가된다.

건식 shotcrete를 利用하는 머리 위쪽의 작업은 수직면에 시공하는 습식 혼합물보다 비교적 반발량이 더 크다. Studebaker(1939)는 반발량이 보통 shotcrete 주도의 범위내에서 W/C에 역비례함을 발견하였다. 최근 연구(Anon.,(1962)는 이 방면에 정보를 추가한다. 반발량은 시멘트 함량에 따라 반대로 증가하고 골재 등급과는 관련이 없음이 나타났다. shotcrete 방출이 수평이면 방출이 수직일 때보다 반발량이 더 크다. 적소에 shotcrete를 수평으로 방출하면 부서지는 경향이 있고 막층을 5cm 이상 두껍게 하면 시멘트 함량은 낮아진다. 반발량은 원래 혼합 설계시의 변수이다. 원래 C/A가 1:5 또는 1:3이면 적소의 비율 범위는 각각 1:3에서 1:4와 1:2에서 1:2.5이다. 숙련 노즐맨이 혼합수를 조절한다 하여도 적소 shotcrete(건식)의 혼수량은 약 11% 변화된다.

3.4 압축·적입 및 인장강도

shotcrete의 강도와 W/C 사이의 관계는 콘크리트 및 모르타와의 관계와 유사하다. 동일한 C/A를 가진 재래식 시공 모르타를 비교해 보면 고운 shotcrete에서는 압축강도와 적입강도가 더 큰 것을 나타낸다. 그것은 분무방법에서 W/C가 낮은 비이기 때문이다. 1:2:4 혼합 비율의 재래

콘크리트는 재령 28일에 평균 압축강도 140.6~210.9kg/cm²를 나타내고 1:4의 혼합 비율의 재래모르터는 재령 28일에 105.4~140.6kg/cm², 1:4 혼합비율의 고운 shotcrete는 재령 28일에 351.5~492kg/cm²를 나타냈다. Swenson (1913)은 압착공기로 시공한 모르터에서의 압축공기는 20~70%가 더 높았고 인장강도는 보통 모르터 시공으로 얻을 수 있는 것보다 20~25% 높았다고 결론지었다.

Captis (1916)는 부피비로 C/A 비 1:4를 갖는 Gunite의 인장강도 실험을 행하였다. 모르터를 브리켓 틀내에 분사하였고 그 시편을 제작할 때는 수중 양생을 하였다. 평균치는 재령 7일에 112.5kg/cm², 재령 28일에 253.1kg/cm²를 나타냈다. Collier (1918)는 1917년에 McKibben of Lehigh 대학에서 Gunite의 Modulus of Rupture에 관한 연구를 행하였다.

몇개의 평판은 수평으로, 몇개는 수직으로 분사하였고 시멘트—모래비율은 부피비로 1:3과 1:4이었으며 평판의 두께는 5cm와 10cm이었다. 평판을 일층으로 또는 2.54cm 층으로 1시간에서 24시간의 여러 간격으로 분사하였다. 재령 28일 중앙 지점에 하중을 가하여 평균 수평 격임 강도는 147.6kg/cm²와 435.9kg/cm² 사이의 범위를 얻었다. 재령 90일에는 그 범위가 217.9kg/cm²에서 562.4kg/cm²로 증가되었다. 평판의 폭과 스패의 길이에 관한 자료는 구할 수 없다.

1919년 파리에서의 실험실적인 연구에서 손으로 타설한 모르터의 Gunite 특성을 비교하였다. 그 결과는 재령 7일, 28일의 Gunite의 격임 강도가 손 시공한 모르터의 약 3배이었다. 재령 7일, 28일의 Gunite의 압축강도는 손 시공 모르터의 2배이고 재령 28일에는 Gunite 쪽의 비율이 1.2로 떨어졌다. 브리켓 시편편을 사용한 재령 7일 또는 28일의 인장강도 시험은 손 시공 시편과 같이 견고하며 약 1.5배이었고 5×5×20cm 시편을 판넬에서 잘라 사용하였다. 이 shotcrete의 C/A는 부피비로 1:3이었고 최대 골재 크기는 0.95cm이었다. 재령 56일에는 평균 압축강도 527.3kg/cm²이었다.

Oregon에서 다리보수에 사용한 shotcrete의

연구(McCullough, 1933) 시험에서는 20×10cm의 면적을 가진 5개의 4.81cm 두께 shotcrete 평판에 행하여졌다. 각 평판은 약 1.2m 거리의 양쪽 지지대에 위치하고 중앙 지점에 하중을 가하였다. 재령 28일의 평균 압축강도는 562.4kg/cm²이었고 이것은 449.9kg/cm²와 688.9kg/cm²의 범위를 기초로 한 것이다.

암석질과 유기 불순물이 없는 것이 shotcrete용 모래 선택에 주요한 인자이다. 시멘트—모래비 1:3으로 Pearson (1933)은 한번 세척한 보통 모래를 사용하여 Gunite의 7일 압축강도가 260.1kg/cm²임을 발견하였다. 모든 시험편을 Gunite 평판에서 입방체로 만들었다. 두번 세척한 보통 모래를 사용한 이중 시험은 7일 압축강도가 평균 421.2kg/cm²를 나타냈다. 추가 시험은 두번 세척한 선택된 등급의 모래를 사용하여 행하였고 다른 모든 인자가 동일할 때 7일 압축강도는 평균 703kg/cm²가 되었다. 그는 단미 콘크리트 블록과 철근 콘크리트 지주를 사용하여 더 많은 시험을 하였는데 상당히 여분의 강도를 나타내도록 한 Gunite를 적당한 상자내에 방치하여 비교적 약한 콘크리트를 얻을 수 있었다.

이런 Gunite의 도장은 원래의 콘크리트 구조 설계의 복잡성에 관계 없이 시공할 수 있다. New York에 있는 American Museum of Natural History의 Hayden Planetarium의 돔은 shotcrete 시공을 하였다. 유사한 돔은 Philadelphia의 천문관과 Los Angeles의 Griffith 관측소에 시공하였다. Hayden 천문관의 경우 C/A 1:3을 갖는 Gunite의 요구 규격은 재령 4일에 140.6kg/cm², 재령 28일에 246.1kg/cm²의 압축강도가 발휘되었다.

각각 50×15×4.44cm의 8개의 시험평판(Bertin 1935)은 구조물과 같은 동일 조건에서 양생하였다. 시멘트:모래:콩알 크기의 자갈은 1.0:2.1:1.4(부피비)의 비율이었다. 시험 데이터는 재령 2, 4, 14일에 평균 격임강도가 50.6kg/cm², 45.7kg/cm²와 61.2kg/cm²를 나타냈다. 이들 재령에서 평균 압축강도는 각각 274.1kg/cm², 228.4kg/cm², 및 418.3kg/cm²이었다.

Withey와 Aston (1939)은 1936년 Culbertson

과 Deno가 Wisconsin 대학에서 각각 $7.5 \times 7.7 \times 70\text{cm}$ 크기의 Gunité 각주 53 개에 대한 시험을 행하였다고 언급하였고 C/A는 1:3, 1:4와 1:5를 나타내었다. 격임강도는 재령 28일에 $44.3 \sim 72.4\text{kg/cm}^2$ 범위이었다. 격임강도로 부터 수정 입방체의 시험을 사용한 압축강도는 재령 28일에 $332.5 \sim 780.3\text{kg/cm}^2$ 범위이었다. 모든 시험편은 7일간 습윤 양생하였고 그때 21일 동안 실험실 건조 공기내에 보관하였다.

재령 30일에 약 844kg/cm^2 의 shotcrete 압축강도는 3.6m 스팬을 갖는 두께 5cm 보강 아치로 대규모 실험(Moran, 1938, 1939)을 하였으나 혼합비율에 관한 정보는 인용된 문헌에 나타나지 않았다.

Staley와 Peabody(1946)의 실험에서도 역시 다음 2부제(탄성률과 응력 변화)에 대하여 토의되었고 Gunité와 concrete가 비교되었다. Gunité의 C/A는 1:4였으나 W/C는 결정되지 않았다. 최대 골재 크기 1.8cm를 포함하는 콘크리트는 무게비로 W/C가 0.50이었고 혼합비는 1:2.1:3.2(또는 C/A는 1:5.3)이었다. 재령 28일의 평균 압축강도는 Gunité 지름 10cm, 높이 20cm이고 콘크리트 시험편은 지름 15cm, 높이 40cm 일 때 각각 344.4kg/cm^2 와 316.3kg/cm^2 이었다.

USBR에서 행한 Gunité의 실험실 시험(Crosby, 1948)은 FM 1.18에 해당하는 매우 고운 모래(15% 점토 함유)를 사용하였다. C/A의 각종 값은 무게비로 1:8에서 1:4로 증가되었다.

C/A 1:4에서 재령 7일, 28일 90일의 압축강도는 모래 FM 2.48을 제외하고 동일한 조합 Gunité 시험편으로 얻어진 것보다 33~44% 적었다.

재령 7일에서 703kg/cm^2 의 압축강도는 무게비로 C/A가 1:3(Kelsall, 1951)을 갖는 shotcrete 시험 입방체에서 주어졌다. FM 2.73을 갖는 모래와 C/A 1:4.3(무게비)을 갖고 II종 시멘트를 사용하면 NCEL(Wiehle, 1953)에서의 최초의 구조물 실험에서 사용한 Gunité의 압축강도는 재령 7일에 175kg/cm^2 가 평균이었고 재령 28에 319.2kg/cm^2 가 평균이었다. 두번째 동 구조물 실험에서 압축강도는 재령 1일에 90.6kg/cm^2 ,

재령 7일에 224.2kg/cm^2 , 재령 28일에는 421.0kg/cm^2 가 각각 평균이었다.

대기중에 보관한후 재령 9개월의 shotcrete 구조물에 대한 격임강도는 54.1kg/cm^2 가 평균이었다. 모래 시멘트비는 부피비로 5.5 모래의 FM은 2.81이었다.

한 문헌은 다음과 같이 shotcrete 혼합물과 28일 압축강도에 대응하는 표를 제공한다.

| C/A (부피비) | 압축강도 (kg/cm^2) |
|--------------|------------------------------|
| 1:4.0 | 281.2 |
| 1:4.5 | 210.9 |
| 1:5.0 | 175.7 |
| 1:6.0 | 140.6 |

이 자료에 의하면 28일 이상은 어느 것이나 60%의 적당한 조건하에서 압축강도를 재령 7일에 얻을 수 있었다. 원자력위원회는 FM 1.75, 비중 4.86, 지름 15cm, 길이 30cm인 53개의 시험 공시체를 사용, 자철광 골재를 혼합하여 중량 shotcrete에 관한 실험실적 연구를 하였다. 평균 단위 무게는 $3,760\text{kg/m}^3$ 이었다. 평균 압축강도는 재령 3일, 14일, 28일에 각각 151.1kg/cm^2 , 294.6kg/cm^2 , 314.1kg/cm^2 이었다.

독일(Haas, 1962)에서 행한 shotcrete 시험은 부피비 C/A가 1:3인 7.5cm 입방시험편을 사용하여 평균 인장강도 39.4kg/cm^2 , 재령 1개월에 평균 압축 강도는 527.3kg/cm^2 를 나타내었다. 시멘트 함량이 증가할수록 증가되는 압축강도는 굵은 골재를 shotcrete에 사용할 때 증가함을 나타낸다. 그러나 보다 미세하고 보다 큰 골재를 교대로 사용한 연속막들은 보다 굵은 골재를 사용한 강도의 유리한 점에 대하여 몇가지 불명확한 점이 있다. 분사방향과 막의 수는 압축강도에 아무런 영향을 미치지 못한다. Ostlund 연구에서 재령 28일의 평균 압축강도는 C/A 1:5를 갖는 혼합물이 449.9kg/cm^2 이고 편차는 12%이다. C/A 1:4를 갖는 것은 520.2kg/cm^2 이며 편차 13%이었고 C/A 1:3을 갖는 것은 523.7kg/cm^2 이고 편차 6%이었다.

이들 압축강도 값은 228.6cm 입방의 shotcrete 판재에서 20cm 입방 시험체를 취하여 결정하였

다. 경량 shotcrete 는 흔히 강철빔을 포함하는 데 사용되었다. 최근에는 강철골격구조를 시공하는데 사용되었고 마루는 강철 갑판위에 놓았다. 빔들은 강철갑판에 매인 철사조직으로 들렸다. 재령 28일에 최소 압축강도는 210.9kg/cm^2 이었고 시멘트와 팽창혈압 경량 골재 혼합물은 1:4.5 이었다.

1949년의 Jetcrete 연구 이후 육군은 shotcrete 실험 계획만을 수행하였고 거대한 현무암속에 지름 30.48m의 원형 구멍의 내장에 관한 것이었다. 슬럼프 7.5~8.75cm, 보통 모래, III종 포틀랜드 시멘트, 무게비로 W/C 0.54 및 무게비로 C/A 1:3 일때 미리 혼합-습식 고운 shotcrete 를 사용하면 재령 28일에서 5cm입방의 시편 18개의 평균 압축강도는 576.5kg/cm^2 이었다.

육군은 Michigan 의 Sault Sainte Marie 에서 Soo Locks 를 내장(1948, 1965)수선하는데 shotcrete 를 사용하였다. 수문벽의 길이 228.6 m, 높이 15m인 경우에 shotcrete 는 10~12.5 cm 두께로 1회 시공하였다. 그리고 철근 보강은 $10\times 10\text{cm}$ 철사 조직으로 하였다. 혼합 비율은 FM 2.4를 갖는 모래 0.91m^3 당 공기 연행 시멘트 12대였다. 규정에서는 재령 28일에 공기체를 사용한 평균 압축강도가 457kg/cm^2 가 될 것을 요구하고 있다. 보통 시험 데이터는 평균 압축강도 $492.1\sim 562.4\text{kg/cm}^2$ 사이를 나타낸다. shotcreting 한 후 14일 양생 기간은 최초 10일간 충분한 열이 요구되고 다음 4일은 점진적으로 냉각을 한다.

I중 시멘트와 팽창혈압 골재로 미리 혼합한 건식 경량 shotcrete 는 Barnand 와 Tobin(1965)에 의해 연구되었고 골재의 최대 크기는 0.95cm 이고 ASTM 규격 C330-60T에 일치하는 등급이었다.

다음 표에서 재령 28일의 압축강도 범위를 예측할 수 있다.

| C/A (용적비) | 시멘트인자 (포/cuyd) | 수율 (cuft/bag) | 압축강도 (kg/cm^2) |
|--------------|-------------------|------------------|------------------------------|
| 1.0 : 3.0 | 9.8 | 2.8 | 337.4~421.8 |
| 1.0 : 3.5 | 8.9 | 3.0 | 281.2~351.5 |
| 1.0 : 4.0 | 8.0 | 3.4 | 246.1~295.3 |
| 1.0 : 4.5 | 7.4 | 3.6 | 210.9~246.1 |
| 1.0 : 5.0 | 6.9 | 4.0 | 175.8~210.9 |

3.5 탄성

McCullough(1933)에 의해 연구된 판재는 재령 28일에서 평균 탄성률이 $0.2671\times 10^6\text{kg/cm}^2$ 부터 $0.3796\times 10^6\text{kg/cm}^2$ 범위를 기초로 하여 $0.3304\times 10^6\text{kg/cm}^2$ 를 나타낸다. Staley 와 Peabody 에 의해 관찰된 $10\times 10\times 60\text{cm}$ 시험편이 shotcrete 를 연구하는데 귀중한 탄성 데이터이다. Young의 할선율은 하중을 가하는데 발생하는 탄성 스트레인에서 계산되었다. Young의 점선율은 하중을 가하기 전에 음향으로 결정되었다. 높은 스트레스에서 할선율의 범위는 Gunite가 $0.2179\sim 0.3164\times 10^6\text{kg/cm}^2$ 이고 콘크리트는 $0.2109\sim 0.3164\times 10^6\text{kg/cm}^2$ 이었다. 높은 스트레스에서 평균 점선율은 Gunite가 $0.4359\times 10^6\text{kg/cm}^2$ 이고 콘크리트가 $0.3374\times 10^6\text{kg/cm}^2$ 이었다.

Wiehles의 2차 구조물 실험에서 행한 Gunite 의 시험편 Young률은 재령 28일에 동적 상태가 $0.3796\times 10^6\text{kg/cm}^2$, 정적 상태에서 $0.3023\times 10^6\text{kg/cm}^2$ 가 평균치였다. Hass 의 연구에 의하면 시험편 크기를 규정하지는 않았지만 재령 28일에 Young률이 $0.3937\times 0.4640\times 10^6\text{kg/cm}^2$ 이었다.

3.6 용적 변화

Gillespie 와 Culliton(1924)는 Gunite의 팽창 특성에 대하여 조사하였다. 각 시험편은 단면이 $15\times 3.8\text{cm}$ 이고 30cm 길이, 게이지 길이 20m 의 신장계에 맞추어 게이지에 장전하였다. 시편은 5~17일 범위의 각 기간에 수중에 저장하였다. 저장고에서 꺼내어 시편은 팽창률을 측정하였고 그 관찰결과는 다음과 같았다.

| C/A (부피비) | 침지시간 (일수) | 팽창 (in/in) |
|--------------|--------------|---------------|
| 1 : 4.0 | 5 | 0.000185 |
| 1 : 4.0 | 17 | 0.000245 |
| 1 : 3.0 | 9 | 0.000212 |
| 1 : 2.5 | 12 | 0.000195 |

그들은 건조 및 포화 단계의 사이에서 발현된 평균 팽창률이 일반적으로 0.0002in/in 라고 결론지었다.

Staley 와 Peabody (1946) 는 Gunit e 와 콘크리트의 시험편에 프리 스트레스트한 것과 스트레스트를 가하지 않은 것 모두에 수축률과 크립을 조사하였다. 이때 조건을 재령 1년, 상대습도 50%, 온도 39°C 이었다. 10×10×60cm 각각 시험편은 강철봉 위에 강철판을 고정하여 길이 방향으로 압축 하중을 가하였고 봉끝에 고정 나트로 견고하게 하였다. 프리 스트레스트를 조사하는 동안에 균일하게 유지되지는 않았으나 초기 재령은 수축률과 크립에 따라 감소되게 하였다. 재령 10일에 Gunit e 수축률은 비하중 시험편이 콘크리트 수축률의 약 75%이었고 1년 후에 최대 수축률은 Gunit e 가 6.5×10^{-4} in/in, concrete 는 8.7×10^{-4} in/in 이었다. 하중을 가한 시험편은 65.4 kg/cm², 105.5kg/cm², 또는 168.7kg/cm² 로 스트레스트를 가하였다.

프리 스트레스트를 가한 봉의 스트레인 관찰은 콘크리트와 Gunit e 에서 스트레스트를 계산으로 추정하였다. 1년후 Gunit e 의 스트레스트는 초기 스트레스트의 약 43%이었다. 1년후 Gunit e 의 크립은 초기에 105.5 또는 168.7kg/cm² 로 스트레스트를 가한 시험편을 사용할 때는 콘크리트에 나타난 것의 약 75%이었다. 낮은 스트레스트 시험편의 경우에 Gunit e 의 크립은 재령 1년에 콘크리트의 90%이었다.

Price (1948) 는 FM 2.50을 가진 모래로 제조한 shotcrete가 FM 3.25 를 가진 모래로 만든 shotcrete보다 건조 수축률이 더 크게 나타난다고 언급하였다. Haas (1962) 는 shotcrete 가 재래 모르타르보다 작은 건조 수축률을 나타낸다고 서술하였다.

모르타르의 열팽창 계수는 $5 \times 10^{-6} \sim 7 \times 10^{-6}$ in/in/°F 의 범위이었다. 시멘트 페이스트의 범위는 6×10^{-6} 에서 9×10^{-6} in/in/°F로 증가되었다. Gunit e 의 열팽창 계수에 관한 최초 및 알려진 유일한 연구는 Lehigh대학 Fuller (1925) 가 수행하였다. 시험 시험편은 20×30×3.17cm이고 Gunit e 의 경화 평판에서 절취하여 사용되었다. 이때의 혼합 비율, 시험 재령, 기타 데이터는 이용할 수 없다. 조절 온도의 범위는 31.6~704°C로 증가되었고 온도 차이는 521~670°C사이에서 변화시켰다. 실험 데이터는 열팽창 계수

6.41×10^{-6} 과 6.54×10^{-6} in/in/°F 사이를 나타낸다. 어느 경화 shotcrete 에 관한 일반적인 설명으로서 이들 평균 값은 재래 콘크리트와 동일하다. 그 계수는 암석의 종류에 영향을 받는다. 그래서 몇가지 실례로 백만분의 4내지 7 사이에 놓인다.

Sweet (1948) 는 콘크리트의 열팽창계수가 굵은 골재의 계수에 따라 직접적으로 변화한다고 보여주었다. 더군다나 일반적인 관계는 골재의 근원으로서 암석에서 제공되는 실리카의 양과 골재의 계수 사이에 있다. 즉 실리카 함량이 클수록 암석의 계수도 보다 커진다. 그러므로 골재의 적당한 선택은 경화된 shotcrete 에서 열팽창 계수가 거의 없다는 보장이 된다.

shotcrete 의 열전도도는 부피 비중의 함수이다. 비중의 부수적인 변화는 열전도도의 변화의 원인이 되고 단열 shotcrete 에는 잠재적으로 심각한 일이 된다.

3.7 결합 강도

New York 의 Yorktown Heights 에 급수관을 건설하는데 관련시켜 Swenson (1913) 은 Gunit e 의 접착이 손시공한 모르타르보다 약 25% 우수하다고 결론지었다. 강철 보강 막대의 결합에 관한 Bousquets 시험에서는 일반 시험에서의 Gunit e 의 저항상이 재령 7 일, 28일에 손시공 모르타르한 것보다 2.5배가 더 컸다. Haas (1962) 는 이것을 실증하고 shotcrete 의 결합은 흙손질한 모르타르에서 얻을 수 있는 것보다 2~3 배이었다. 그러나 가장 최초의 결합 강도 데이터는 Gunit e 의 결합이 손시공한 모르타르의 약 3 배이다.

Price (1948) 에 따르면 FM 2.50 의 모래를 함유한 shotcrete 가 FM 3.25 의 모래를 함유한 유사 shotcrete 에서 얻을 수 있는 것보다 약 10% 의 큰 접착력을 가졌다. 그것은 굵은 입자가 고운 입자보다 반발이 작기 때문이다.

3.8 투과성

수영장을 시공하는데 분사 콘크리트의 사용이 증가되는 것은 shotcrete 가 절대적으로 수밀성이 크기 때문이며 이것은 일반인의 신뢰도의 증가 때문으로 보여진다. shotcrete 의 투과성에 관

해 노출된 대부분의 문선은 재래식 방법으로 시공 또는 양생된 잘 충전된 양질의 콘크리트 보다 못하다고는 평가되지 않았다. 그럼에도 불구하고 Swenson (1913)에 따르면 Gunite의 투과성은 손 시공 모르타에 의해 나타난 것의 5~70%이고 Gunite의 흡수율은 손 시공 모르타에 비해 20~50%이었다.

콘크리트나 모르타가 치밀하면 할수록 액체 또는 증기상에서의 흡수는 보다 불침투성이다. 아주 두꺼우면 보통 콘크리트는 실제적으로 수밀성이 되도록 충분한 밀도를 가진다. 비교적 얇은 shotcrete는 수백피트의 수력 낙차에 잘 견딘다.

그 예는 1917년 California 대학에서 행한 시험 (Jorgenson, 1917)이 있다. Gunite의 2.54cm 두께 시험편을 2.5시간에 40.9m의 낙차에서 행하였으나 수분이 통과한 흔적이 없었다. 그래서 그 낙차를 86.4m로 점차 증가시켰더니 그 시험편이 깨어졌다. 시험편 시험은 수분이 1.6cm의 깊이까지 침투되었다.

1929년 Los Angeles에서 Richard J. Neutra가 설계한 개인주택은 강철골격에 매단 3.1cm 두께의 shotcrete 장막을 이용하여 건축하였다. 빌딩 허가증은 벽에 약 146.4kg/m²의 풍력에 견디는 것을 증명하는 시험을 거친후에만 발급되었다. 이런 얇은 벽은 빌딩의 사하중의 감소 및 비용이 적어짐을 의미한다. 사하중의 감소는 지진이 발생하는 곳에 중요한 인자이다.

비교적 얇은 벽을 가진 Los Angeles 시영 관사가 확신시켜 주는 것은 Los Angeles 연구소에서 각종 두께의 스톱 shotcrete에 대하여 시험하였다. 이들 모든 시험의 결과는 이용되고 있지 않으나 그 기록 (Morgan, 1930)은 시험편의 두께 0.95~1.27cm에서 수압 21~48.3kg/cm²를 견디었다고 나타났다. shotcrete 스톱의 두께 2.54cm에 2시간 30분간, 48.3kg/cm²의 수압을 가하였으나 수분의 침투 흔적이 없었다. 수압을 점차 102.9kg/cm²까지 상승시켰으나 그 시험편은 새거나 깨어지지도 않았다.

Scobey (1935)는 가장 치밀한 운하 내장과 역시 가장 거친 표면이 고르지 못한 shotcrete라고 충고하였다. Kuffer 공식에서 "n" 값은 이런

마무리에서 0.017~0.018 범위이다. 흡손 마무리한 shotcrete는 0.0135 값을 가질 것이며 이것은 원형 단면에 0.012 값 또는 그 이하 값을 갖는 프리 카스트 파이프와 유리하게 비교된다. "n" 값 0.014는 거친 조직에서 고른 조직이 분리되고 콘크리트 내장을 따라 수력 유동을 계산하는데 대부분 사용된다.

Fishburn (1942)은 비바람이 휘몰아치는 것과 유사한 조건에서 5일 동안 물분무로 길이 22.86cm, 두께 101.6cm, 높이 127cm의 마손리 벽에 Gunite를 시공하여 광범위하게 NBS에서 연구를 행하였다. 그는 다음과 같이 결론지었다.

(1) Gunite 시공벽은 물침투에 높은 저항성이 있다. (2) 풍화 4년은 이런 벽에 아무런 균열의 원인이 안된다. Gunite의 투수성에 관해 중요한 영향이 미치지 못한다.

Crosby의 연구에서는 Gunite의 투과성이 분사되는 동안에 압력과 속도에 영향을 받는다고 하였고 W/C에는 전연 영향을 받지 않았다.

Fishburn (1958)은 메이슨리 또는 단단한 콘크리트의 외벽에 두께 1.9cm 또는 그 이상의 shotcrete 마무리 시공을 하면 습기의 침투에 대한 저항성이 크게 증가된다고 언급하였다. shotcreting 도장은 벽의 취약한 이음결의 누출에 대해 밀봉하고 덮는다. 도장 두께는 도장시에 용접 철사 조직 보강 시멘트가 큰 수축 균열의 가능성을 감소시키는 것이 필요할 때엔 5cm 또는 그 이상이다. 벽의 불균등한 정착, 파잉의 건조수축, 지나친 열변화 또는 이들 인자의 몇가지 결합의 결과로 심한 균열이 발생하면 이런 shotcrete 도장은 벽이 누수에 대해 보호되지 못한다.

Haas (1962)는 독일의 시험이 shotcrete가 재래식으로 시공한 모르타보다 습기에 대해 덜 통하게 되는 것을 나타낸다고 서술하였다.

3.9 내구성

Gillespie와 Culliton (1924)는 Gunite의 마모 저항성과 모르타와 콘크리트를 비교하여 시험을 행하였다. 1:3 Gunite 시험 6개, 1:3 손시공 모르타 시험 6개 및 1:2:3 콘크리트 시험 6개를 Deval 마모시험에 Ottawa 모래 4,539kg과 함께 넣어 10,000회전시켰다. 마모 백분율은 다음과

같다. Gunit 7%, 모르타 16%, 콘크리트 11%.

미리 혼합한 건조된 고운 shotcrete를 하는 Jetcrete는 육군(1949, 1951)에 의해 마모 시험이 행하여 졌다. 사용한 시험편의 크기는 60.95×60.95×5.08cm shotcrete 판재이었다. 시멘트 함량은 입방야드당 9.5 포, W/C는 0.43(무게 비), C/A는 1:3(무게비)이었다. 마모 저항성은 아주 좋았고 재령 90 일에 샌드브라스트 시험을 행하였다. shotcrete 속에 연행공기에 의한 기공의 영향에 대한 기술 문헌에 가끔 나타난 설명은 재래 콘크리트보다 더 많은 백분율을 나타낸다.

공기 연행제 없이 만든 재래 콘크리트보다 동결에 잘 견디는 shotcrete가 된다. 이런 설명은 이전의 "shotcrete 구조에 관한 일반적인 사항"을 설명하는 가설과 대조된다. 그리고 오해도 낳고 있다. Jetcrete 역시 동결 응해에 대한 저항성을 조사하였다(1949, 1951). 시험편의 크기는 8.89×11.43×40.64cm 비보강 범이 포함되었다. 그 결과는 동결 응해에 대한 저항성이 아주 빈약하였고 온도 범위는 매일 24 시간에 0~40°F, 재령 90 일에 행하였고 구조적인 원상태는 교대로 동결 응해하여 20 주기 후에 파괴되었다. 그 평균 Young's modulus는 재령 90 일에 $0.47 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 이었다.

Ostlund(Anon, 1962)는 Sweden의 실험실적 시험에서 shotcrete를 공기중에 동결시키고 염화물용액에 응해시킨 것이 적당한 저항성을 갖는다고 설명한다. 그러나 파괴의 종류는 재래 콘크리트보다 다르고 spalling에서보다 shotcrete는 분무 막 사이에 면의 한계 설정에 따라 분리되는 경향이 있었다.

천연 오일은 강철 저장탱크 내에서 심한 침식을 일으키고 그 손상의 대부분은 해수가 담긴 탱크 바닥에 일어나고 윗쪽은 습기가 응축되는 공간에 나타나지 않는다. Gunit 도장은 각종 크기의 유류 저장탱크의 내부에 침식을 방지하는데 가장 효과적(Camp 1948, Brannon 1949)임을 발견하였다.

Gunit 내장은 새 탱크의 비용의 50~60%가 소요되고 그들은 15년 동안 효과적임이 증명되었고 보통 페인트는 시공후 4년이상 보장되지 않는다(Oxley, 1951). Guiteras(1939)가 보고한 것

을 기초로 하면 Anaconda의 경험은 1.905cm 두께 Gunit이 지하 재목의 내화성이 되는데 충분하였고 C/A 1:3은 이런 보호에는 최적인 상태라고 지적하였다.

3.10 구조 설계

얇은 외각 구조물용의 구조 재료로서 특히 shotcrete의 사용은 그 시공방법의 경제성이 증명되어 평범하게 되었다. 그럼에도 구조설계 정보는 미약하다. 5cm 두께의 보통 shotcrete 벽은 1.2m의 스패이 요구된다는 것이 경험으로 알려졌다. 벽은 2.4m까지 스패은 두께 7.5cm보다 적어선 안된다.

NBS 시험(Collier, 1918) 다음에 많은 건축설계사들은 각종 하중하의 각종판재 두께에 요구되는 보강시멘트에 관한 기술자료를 요구하였다. 이들은 1919~1920 년기간 동안에 Lehigh 대학의 Fuller에 의해 지시된 일련의 시험의 결과를 확인하였다. C/A가 무게비로 1:3을 가진 철근 보강 Gunit을 재령 28일에 보여 준 Lehigh 시험은 꺾임 105.45 kg/cm^2 에 스트레스트되면 안전율은 4이었다. 철근 보강시멘트의 인장 작용 스트레스트의 판재의 최고점유 스트레스트는 1406 kg/cm^2 이다. C/A가 부피비로 1:2.5이면 126.54 kg/cm^2 스트레스트를 가하면 안전율은 약 5이었다. 이들 값은 폭이 각각 1.2m인 43개 판재에서 얻어진 결과를 기초로 하였고 스패은 1.2m, 2.4m 및 3.2m에 3점 지지하중을 사용하여 시험하였다. 판재의 두께는 5cm, 10cm를 나타내었다(Anon 1920, 1921, Collier 1919, Strehan 1921).

일련의 설계도(Anon, 1920, Williams and Strehan, 1921)는 각종 생하중에 요구되는 강철 보강 시멘트의 양 및 판재 두께를 보여준다. 판재 두께는 3.81~9.52cm이고 보강 시멘트의 백분율은 $146.46 \sim 976.4 \text{ kg/m}^2$ 의 범위에서 생하중을 유지하는데 필요한 강도를 발현시키는 것을 계산하였다.

안전 하중에 관한 표에서 모든 계산은 간단히 1.2~2.4m 범위의 스패에 지지한 것을 기초로 하고 n의 값(예로서 $E_s \div E_c$)은 10으로 가정하였다. 이들 표의 현재 이용도는 현대 강철의 기계적 성질을 개선하려는 관점과 현대 철근 보강

콘크리트 구조 설계를 허락하는 것보다 높은 결합 스트레스에서 보면 의심스러운 점이 있다.

Carl Zeiss와 함께 Dischinger는 광학 렌스 제조자로 1923년에 4각형 평면에 수직트라스에 고정된 이중 곡선의 외형 건물을 설계하였다. 계산의 난점이 매우 커서 그 시스템을 포기하였다. 그리고 그 연구는 양끝에 고정된 단일 곡선인 외각 건물에 관해 집중하였다. 후자는 독일의 Jena에서 1924년에 Carl Zeiss 공장을 시공한 타입이었고 작은 스패의 지붕면을 shotcrete로 한 최초의 것이었다. 28.95m의 스패를 가진 최초의 대규모 계획은 독일 Düsseldorf에서 1926년에 건축된 것이다.

최근 shotcrete는 45.72×106.68m와 같이 큰 면적을 포장하는 패각상 지붕에 보다 많이 쓰인다. 곡면과 모서리는 여분의 비용이 들지 않고 시공된다. 패각상 건물은 5cm의 두께로 시공하는 일은 드물다. 그것은 강도가 필요한 것이 아니고 강철 보강 시멘트의 포장이 필요하기 때문이다.

Snow(1947)에 따르면 인장, 압축 및 전단 스트레스는 패각상 건물의 각점을 계산하고 주 스트레스로 변환시켜야 한다. 이들 주 스트레스의 크기 및 방향이 결정되면 보강 시멘트는 스트레스가 시작되는 방향으로 준비한다. Zeiss의 경우에 채용된 시공방법은 36.58m까지 스패를 이용할 수 있다. 깨지기 쉬운 망상은 똑바로 세우고 적소에 놓여진 강철 보강 시멘트의 부분으로 쓰인다. 그 방법은 요구된 패각상 건물 지름에 강철 섬유로 시공하게 되고 삼각형의 메쉬는 0.029kg/cm²이고 강철판 두께는 0.11cm이다.

지름 0.635cm의 보강 막대는 이들 망상의 양쪽에 놓이고 망상에 철사로 감는다. 그 막대는 스톱바 스트레스를 가지고 있고 특히 이것 때문에 콘크리트가 수축된다. 이들 모든 강철 아래에 번갈아 가벼운 이동식 골격의 비계를 세우고 때로는 망상에 매단다. 재령 28일에 압축강도 210kg/cm²를 가진 shotcrete는 그때 보강 시멘트로 포장되도록 시공한다. 그것을 원자재로부터 보호한다.

콘크리트 치기를 아치 곡선에서 패각상의 건물의 정상까지 집중적으로 행한다. shotcrete가

응결할 때 콘크리트의 테두리는 자신이 지지하며 보강 시멘트는 굳지 않은 테두리의 무게만으로도 유지된다. 정확한 모양을 만든 구조는 그 패각상의 건물이 최소 두께가 되도록 하고 경량부속구조의 사용이 허락되며 명백히 무거운 비계도 사용된다.

팽창 줄눈이 항상 문제이며 주의하여 설계할 필요가 있다. 일직선의 줄눈을 스톱바에 항상 넣을 수 있는 것은 아니다. Snow(1947)에 따르면 누구나 균열이 일어나는 것을 알고 그들이 예측한 곳에 생기는 것을 조절하도록 노력하여야 한다. 콘크리트 패각상 시공에서 팽창 줄눈을 넣을 곳을 알기는 아주 어려운 일이다. Snow는 45.7m의 간격은 너무 길고 팽창 줄눈의 간격은 18.28m 이하로 되어야 한다고 하였다.

1923년 베르린—Dahlem National Bureau of Material에서 연속적으로 지붕을 이은 얇은 패각상 건물의 Gunite의 상태 및 견딤성에 관한 시험을 행하였다. 2.54cm 두께의 철사 보강 스톱바 4개, 두께 50.8cm, 길이 7m 일때 Gunite 뿔칠로 강철섬유 조직에 행하였다. 골재의 최고 크기는 약 0.635cm이었다.

용적으로 C/A는 1:5의 스톱바 2개, 1:7 일때 2개이다. 재령 63일과 77일 사이에 각 스톱바의 스패 거리는 중심과 중심거리가 약 1.8m가 되도록 5개의 작은 지주를 세웠다. 집중된 하중을 가하고 편향을 측정한다. 균열발단은 하중과 상호관계가 있고 하중을 파괴될 때까지 계속 가한다. 스톱바의 하부의 균열은 지지한 지주의 상부에서 보다 늦게 발생됨이 관찰되었다. 특히 C/A 1:5의 스톱바는 70kg/cm², C/A 1:7 일때 77kg/cm²이다. 파괴할 때 평균 꺾임 스트레스는 철사조직이 10개 배열인 스톱바의 경우 134.4 kg/cm²임이 발견되었고 철사조직 배열이 13이면 C/A 값에 관계 없이 177.1kg/cm²이었다. 파괴되기 전의 편향은 4cm 만큼 컸다. 스톱바에서 취한 5cm 입방 시험체의 평균 압축 강도는 C/A 1:5일 때 525kg/cm², C/A 1:7을 갖는 것은 최소 298.9kg/cm²이다. 얇게 보강한 패각상 건물의 shotcrete 지붕 스톱바는 실제적으로 많은 이점을 가진 높은 탄성 피복재료임을 나타낸다.

Schluter의 논문 제 2부분은 Berlin의 창고를

평평한 스투브 지붕으로 시공한 것에 관한 것이며 구조 공학에 흥미있는 데이터가 여러가지 포함되어 있다.

Los Angeles에서 Wallace Neff(1964)는 그가 특히 받은 구슬장식 모양을 shotcrete 하여 사용한 설계기준에 대하여 충고하였다. Neff의 호텔설계는 최근에 압착 공기로 Virgin 섬에 세웠으며 진주암의 콘크리트로 얇은 패각상 건물의 구조를 시공하였다. 4다리는 얇은 조개껍질상으로 지지하였다. 설계인자들은 얇은 패각상의 콘크리트 구조 설계도를 규정한 Bradshaw에게서 얻어진 것이었다.

Bradshaw(1964)에 따르면 그의 shotcrete 구조 설계는 제령 28일의 압축강도를 기초로 한다. 패각상 건물의 두께는 강도 성질이 가장 중요하다. 그는 열팽창 계수, 인장에 대한 결합 저항성, 건조 수축 또는 꺾임강도와 같은 인자에는 주의를 하지 않는다. 그것은 그의 경험이 이런 데이터가 얇은 패각상 건물의 구조 콘크리트 설계에는 불필요한 것이 명백하기 때문이다. Bradshaw는 노즐 맨의 판단과 기술이 설계 데이터의 잠동사니보다 더 중요하다고 믿는다. Bradshaw의 의견은 숙련공의 숙련도가 shotcrete 성공의 비결이라는 것이다.

2차 대전이 종말을 고한 이후 많은 Gunitex 조립식 간이 주택이 주택이 India(Venkataram, 1950)에 건설되었다. Gunitex의 적당한 압축강도는 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ 이며 전단 및 응력의 적당한 강도는 $42\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. C/A 값은 벽 스투브에는 1:6, 지주, 지붕 스투브 및 바닥스투브에는 1:4이다. 모드 스투브는 5.08cm 두께이며 그 벽들은 이중 스투브이다. 1952년 그 방법이 India에서 사용되었다. 보강 shotcrete 스투브는 폭 30.48cm, 두께 5.08cm, 스패의 거리 3.6m까지 사용되었다.

Federal Housing Administration 규정에서는 주택구조용의 벽에 사용하는 shotcrete는 제령 28일에 적어도 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압축 강도가 요구된다.

구조 설계사가 규정한 것은 철사 조직 보강 시멘트가 각 방향의 단면적이 shotcrete 구조부분의 횡단면의 0.0025 배가 되어야 한다고 하였다. shotcrete의 포장으로 건물의 지진과 충격

에 대한 저항성은 아마도 강화될 것이다. 매몰된 빔의 전단 및 접착 능력의 설계 한계는 shotcrete에 대해 계산한 것은 없으나 빔의 견고성은 빔의 크기에 따라 20~60% 증가된다.

Cowan(1956)은 경화된 shotcrete의 스트레스트를 계산하는 방법을 보여주고 원주형의 프리스트레스트된 콘크리트 저장 탱크를 액체로 충전하기 전후에 응용하였다. 그의 설명은 shotcrete의 크립과 수축을 고려한 것이며 이들 인자를 수학적으로 이용하는 방법을 보여준다.

Preload Company에서 프리 스트레스트한 콘크리트를 설계하고 건립하였고 그 바닥을 shotcrete 시공(Closner, 1958)하면 줄눈이 팽창하지 않았다. 정상적으로 재래 콘크리트 바닥은 시공에 지장이 없도록 판넬로 다시 세분하였고 모든 구조 줄눈은 마침내 고무 물마개를 요하는 팽창 줄눈이 되었다. 1,325,000l 탱크의 바닥 두께는 재래식 콘크리트로 시공하면 10cm, shotcrete로 시공하면 5cm이다. 어느 경우에도 각 방향에는 0.05%의 강철 보강 시멘트는 관례적으로 한다. shotcrete 벽은 탱크벽 두께가 15cm 또는 이하이면 관계적이고 재래 콘크리트는 그 벽들이 더 두꺼우면 행한다. 고무 물마개는 모든 수직줄눈에 사용되었다. 주위의 철사를 알맞게 외부 프리스트레스트를 가한 후에 shotcrete는 벽에 철사들이 접착하도록 외부의 벽에 분사한다. 아마도 1.91cm보다 두껍지 않은 외부 뿔칠은 프리스트레스트한 보강 시멘트의 침식에 대하여 충분한 보호를 받게 된다.

Boston의 National Gunitex Corporation에 따르면 프리 스트레스트한 콘크리트 탱크벽의 시공은 압축 강도 $127\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 shotcrete 설계 기준으로 하였다. 주위의 철사는 설계된 인장 스트레스트가 $9,842\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 기준한다.

수직 줄눈에서 고무 물마개 대신에 연속적인 강철격막은 벽을 통하여 사용된다. shotcrete는 바닥 두께 5cm에 대한 패각상 등은 두께 5cm, 지름 45.72m로 한다. Crowley(1958)에 따르면 현대 프리 스트레스트한 콘크리트 탱크는 초기 프리 스트레스트한 탱크보다 가격은 상당히 낮다. 강철봉과 꺾쇠를 사용한 고전 스타일의 프리 스트레스트한 콘크리트 탱크에 요구되는 보강 시멘트의

량은 최근 철사로 짠 탱크에서와 같이 11배이고 대부분의 shotcrete 에 요구되는 것보다 보강 시멘트의 양은 3배 이상이다.

4. shotcrete 규격

shotcrete 에 대한 규격의 하나가 AREA 에서 발행한 것이다. 이 규격에서는 메이슨리 보수용과 구조용 강철의 보호용으로 shotcrete 가 이용된다. shotcrete 에 대한 ACI 506 위원회의 제 4차 초안은 shotcrete 구조에 관한 현행 실용을 반영한 최초의 문헌이다.

이 서류는 건식 혼합법과 습식 혼합법에 대하여 기록하였고 구조물에 각종 shotcrete 의 용도를 명문화한 것이다. 즉 shotcrete 의 배합비율과 정량시험, 필요장치, 기술자의 자격과 의무 및 각종의 다른 요구 사항이 포함되어 있다. 고운 shotcrete 의 많은 규정은 혼합물이 부피 비율로 시멘트 모래 비는 1:3이어야 하고 분사기에 도착되기 전에 미리 건조 혼합된 것이어야 한다.

용어 "dry"는 모래가 수분 함량 4~8%임을 내포한다. 평균 수분 함량 6%인 모래는 전기로에서 건조할 때보다 약 $\frac{1}{3}$ 용적이 더 크다. 용적 때문에 1:3 혼합물 63.7l 대신에 그 용량이 전기로에서 건조된 모래는 실제로 63.7l이다. 고속도로 분사기를 통하여 그 제품이 분사될 때 모래의 한부분은 단단한 表面에서 튀어 떨어지고 잔류물로서 시멘트 페이스트가 대부분 남는다. 고운 shotcrete 의 반발량을 고려하면 거의 모두가 모래이고 전기로 건조 모래의 63.7l는 25% 감소한다. 이와 같이 shotcrete 침전물은 전기로 건조 모래의 63.7l인 75%가 포함된다.

그러므로 침전물의 시멘트 모래비는 용적비로 1:3.00 대신에 전기로 건조 용적비로 1:1.69가 된다. 모래 용적의 가변성 때문에 shotcrete 의 규정은 모래내의 수분의 규정된 백분율의 짐착이 요구 되지 않는다. 대신에 청부업자에게 침전된 shotcrete 는 요구된 시멘트 모래비를 가지도록 각종비율이 허락된다. 이것은 그 규정이 다음과 같은 내용이 결합된 것을 의미한다. 모래의 비율은 작업지 모래 용적의 증가가 필요하면 전기로 건조할 때 동일 모래의 용적이 초과되도록 변화

시킨다.

5 시험 시편의 제작

경화 콘크리트의 공학적 성질들은 혼합물의 조성, 예비혼합 방법, 시공 공정에 따라 증대하게 변화한다. 만족스런 분사 및 최종 품질은 사용된 장치의 종류 및 노즐 맨의 기술에 따라 광범위하게 변화된다. 혼합 비율 및 예비 혼합공정 이외의 다른 인자는 shotcrete 작업에서 중요하다. 이들 인자는 기후, 작업장조건, 비계배열, 노즐의 지름과 압력, 분사된 표면에서 노즐의 거리, 노즐 맨의 경험 및 침적후 shotcrete 의 처리 등이 포함된다.

경화 shotcrete 의 보통 물리적 성질의 결정은 만족한 시험편을 획득하는 데 있다. 작은 판넬로부터 튼질 또는 구멍을 뚫은 시편이나 특별히 시험용으로 제작한 시편 또는 shotcrete 조작공이 만든 시편은 이상적인 시험편이 될 것이며 층판, 분리 및 기공과 같은 결점은 부정확한 분사, 부적당한 혼합 비율 또는 돌이 합한 경우들이다.

shotcrete 시험편을 제작하는 방법이 기술문헌(Crom, 1964)에 서술되어 있다. 그러나 정확히 대표적인 시편을 만드는 방법에 관련된 의견은 차이점이 있다. 이런 상태는 아마도 표준방법이 아직까지 수립되지 않은 이유일 것이다. 반발량 문제는 목재보드 위에 세운 15 cm 지름의 원통을 강철 철망의 철갈 구조에 shotcrete 분사로 만든 시험편의 신뢰성에 의심이 제기되었다. 양쪽이 개방적인 목재 틀은 시험편 제작하는 방법으로 입방체와 장방형 평행 육각형이 가장 요구되는 것이다. 분사하는 동안 개방된 상면은 구조벽과 유사하게 수직이며 경사진 구조 표면에 유사한 경사이고 shotcrete 바닥에 유사한 수평이 될 것이다. 이들 시도는 후에 추천된 실험계획의 한 부분을 구성한다.

USBR 연구소가 Grand Coulee Dam 에서 연구한 것은 shotcrete 의 원통형 시편(지름 7.5cm, 길이 15cm)을 Bondact 장치를 사용하여 수평으로 분사하였다. shotcrete 는 용적으로 C/A는 1:4 이었다. 외관은 더 좋아 보였고 수직 아래로 분사한 것 보다 모래는 줄 무늬가 적었다. 철갈

구조틀로서 1.27cm 평방메쉬의 강철철망을 사용한 것보다 재령 28일에서 압축강도는 더 높았다.

Uniform Building Code 2605 section 에는 shotcrete 원통 시험에서의 공기 방출이 성분을 치밀하게 한다고 하였다. 이런 시험편은 콘크리트가 분사되는 어느 곳이건 만들어진다.

Linder(1963)에 따르면 shotcrete 구조물에서 채취한 시험편의 압축강도는 하중이 분사된 층의 방향에 직각 또는 평행이건간에 거의 同一하였다.

6. 결 언

기술 문헌을 검토하면 shotcrete 는 재래식 콘크리트보다 강하고 보다 치밀하고 보다 파괴에 대한 저항성이 있다고 실험적인 데이터를 근거로 둔 많은 주장이 있다. 항상 shotcrete 의 이점은 의문의 여지를 갖진 안갖진 간에 그 품질은 주로 노즐 맨과 검사자에 달려 있다. 미리 혼합 건식 shotcrete 는 1910년 이후 사용되었고 Guniting 로서 소개되었다.

미리 혼합 습식 shotcrete 는 1955년 이후 사용된 것으로 최근 개발되었다. 1.86cm 와 같이 큰 골재는 1960년에 최초로 사용되었다. 미리 혼합 습식 shotcrete 의 사용은 미리 혼합 건식 shotcrete 이외에 다음과 같은 이점을 제공한다.

① 골재는 어떤 습윤 조건에서도 혼합기에 운반할 수 있다.

② 일정한 물 시멘트 비는 골재의 수분 함량을 보정한 후 보장된다.

③ 각 성분은 분사기로 운반전에 완전히 혼합한다.

④ 노즐 맨은 shotcrete 를 시공면에 적당히 분사한다.

경화된 콘크리트의 물리적 성질에 관한 출간된 기술적인 데이터는 광범위한 범위의 가치를 나타내지만 잘 경화된 보통 shotcrete 는 같은 혼합비율로 잘 충전되어 경화된 보통 모르타르나 콘

크리트는 보편적으로 아주 유사하다. shotcrete 의 물시멘트 비는 무게비로 0.31~0.53 범위이고 포대당 각각 13.2~22.71이다. 평균 shotcrete 의 평균 수축률은 0.05~0.15% 사이에서 변화되고 재래 콘크리트나 모르타르는 0.05~0.08% 범위이다. 미리 혼합된—습식 고운 shotcrete 의 최종 크립은 미리 혼합된—건식 고운 shotcrete 의 것보다 약 7배이다. 이때 유지된 압축 스트레스는 재령 28일에 98kg/cm²이다.

미리 혼합한 건식 shotcrete (미세한 것과 거친 것)의 평균 내구성은 미리 혼합된 습식 shotcrete (미세한 것과 거친 것)의 약 2배이다. 내구성은 동결 용해를 주기적으로 반복시켜 파괴를 일으키는 저항성을 말한다. 재령 28일에 압축 및 꺾임 강도는 910kg/cm² 및 98kg/cm² 이고 인장강도는 거의 42kg/cm²에 달할 것이고 탄성률은 0.175×10⁶~0.455×10⁶ 사이의 범위이다. shotcrete 의 배합 설계 및 생산 방법에 따라 변한다.

shotcrete 의 강도는 다른 모든 인자와 同一하게 분사가 일어나는 속도의 함수이다. shotcrete 는 고 실리카 시멘트의 경우 균열이 보다 작고 크립은 보통 또는 고 조강 포틀랜드 시멘트로 만든 것은 보다 크다. 경화 shotcrete 의 평균 단위 무게는 보통 골재이면 683.2~707.6kg/m³ 범위이다. shotcrete 를 정확하게 시공면에 분사하면 강철에 대한 접촉은 재래식으로 시공한 모르타르나 콘크리트의 접촉보다 크다.

보통 골재를 사용한 미리 혼합된 건식 고운 shotcrete 의 열팽창 계수는 재래식 콘크리트나 모르타르의 것과 거의 똑같이 5×10⁻⁶ 과 7×10⁻⁶ in/in/°F 이다. 재령 1주에서 미리 혼합된 건식 고운 shotcrete 가 습기를 받았을 때 평균 팽창률은 약 2×10⁻⁴ in/in 이다. 경화된 미리 혼합 건식의 고운 shotcrete 의 내마모성은 대응되는 물시멘트비로 만든 경화된 재래 콘크리트나 모르타르의 것보다 크다. 경화 shotcrete 의 투과성은 충분히 충전되고 적당히 양생된 재래 콘크리트와 같다.