

# 급결제 및 혼화제 종류가 슛크리트 내구성에 미치는 영향에 관한 연구

백신원<sup>†</sup> · 권소진\* · 이영수\* · 김의성\* · 신용석\*

한경대학교 안전공학과 · \*현대산업개발

(2003. 3. 22. 접수 / 2003. 8. 18. 채택)

## An Experimental Study on the Effect of Accelerator and Chemical Admixture Type for the Durability of Shotcrete

Shin-Won Paik<sup>†</sup> · So-Jin Kwon\* · Young-Su Lee\* · Eu-Sung Kim\* · Yong-Suk Shin\*

Department of Safety Engineering, Hankyong National University · \*Hyundai Industrial Development Corporation

(Received March 22, 2003 / Accepted August 18, 2003)

**Abstract** : Concrete and shotcrete should withstand the conditions for which they have been designed, without deterioration, over a period of years. But concrete and shotcrete are being deteriorated according to aging by internal and external causes. Recently, many studies on the durability of concrete have been conducted. But the durability of shotcrete is rarely studied. So, in this study, chloride ion penetration test, freeze and thaw test, neutralization test were conducted to examine the durability characteristics of shotcrete with several accelerator and chemical admixture types. These results indicate that shotcrete with alkali free accelerator and with superplasticizer are durable. Therefore, the present study provides a firm base to make high performance shotcrete.

**Key Words** : shotcrete, durability, accelerator, admixture, high performance shotcrete

### 1. 서 론

스틁크리트를 영구적인 터널라이닝으로 사용하려는 시도가 늘어나면서 슛크리트의 내구성에 대한 관심이 크게 증대되고 있다. 하지만 아직까지 슛크리트의 내구성에 대한 정확한 실험적, 이론적 규명이 이루어지지 않은 상태여서 그 적용에 있어 문제가 제기되고 있다.

한편, 국외에서는 슛크리트에 대한 염소이온 투과시험이나 중성화시험은 크게 연구된 것은 없으나 Litvin, Shideler, Schrader, Kaden 등은 슛크리트에 대한 동결융해시험을 통해 적절한 공기연행만 시킨다면 동결융해 저항성을 보인다는 것을 밝힌 바 있다.

스틁크리트는 다양한 혼합물로 구성된 매우 복잡한 재료여서 그 성능과 효과에 영향을 미치는 많은 변수들을 가지고 있다. 대표적인 것으로 급결제, 혼화제 등의 사용재료와 터널 장비의 종류와 상태, 타설

시 압축공기의 양, 타설 노즐의 효율성, 슛크리트 분사 각도 및 거리, 타설 방법, 타설 후 양생방법 등을 들 수 있다. 이 모든 변수들이 슛크리트의 설계 수명과 관계를 가지며 또한 내구성에도 지대한 영향을 미치게 된다<sup>1-4)</sup>.

콘크리트의 내구특성은 여러 가지 방법에 의해 평가될 수 있다. 그 중에서도 가장 널리 쓰이는 방법으로 동결융해, 중성화, 염소이온 투과시험 등을 들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 슛크리트의 내구성능을 평가하기 위해서 위의 세 가지 실험을 기본으로 하고 재령에 따른 압축강도를 측정하였다.

스틁크리트 구성요소 중 가장 필수적이라 할 수 있는 급결제에 대해서는 종래에 이용되던 실리케이트계 및 알루미늄이트계 급결제와 최근 들어 이용이 증가되고 있는 알칼리 프리계 급결제를 변수로 하여 각각의 내구특성을 파악하고자 하였으며, 성능개선을 위해 사용되는 고성능유동화제, AE제, 감수제 등의 혼화제 특성도 실험을 통하여 검증하고자 하였다.

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
paiksw@hnu.hankyong.ac.kr

## 2. 실험변수

숏크리트의 내구성능에 영향을 미치는 다양한 인자의 효과를 평가하기 위하여 크게 두 가지로 분류하여 실험을 진행하였다. 먼저 급결제 내구성능평가를 위해 알칼리 계열의 실리케이트계, 알루미늄이이트계 급결제와 알칼리 프리 급결제를 7%(시멘트 중량 대비) 첨가하여 실험을 진행하였다.

급결제와 더불어 숏크리트에 필수적으로 첨가되는 혼화제의 성능을 분석하기 위하여 감수제, AE제 및 유동화제를 첨가한 숏크리트에 대해서도 내구성능 실험을 실시하였다.

본 연구에서 사용한 각각의 변수와 특징은 아래 Table 1과 같으며, 이 때의 배합은 Table 2와 같다.

Table 1. Experimental variable definition

Series	Contents	Notes
AS	Silicate accelerator	No admixture
AA	Aluminate accelerator	
AAF	Alkali-free accelerator	
CWR	Water-reducing admixture	Alkali-free accelerator
CAE	Air-entrainment	
CS	Superplasticizer	

Table 2. Mixing properties (kg/m<sup>3</sup>)

Variable	w/c	C	W	Aggregate		Accelerator & Superplasticizer
				G	S	
AS	0.40	550	220	785	774	Silicate : 38.5
AA						Aluminate : 38.5
AAF						Alkali-free : 38.5
CWR						Water-reducing : 6.05
CAE						Air-entrainment : 6.05
CS						Superplasticizer : 6.05

## 3. 실험방법

### 3.1. 실험개요

본 연구에서는 현장에서 숏크리트 장비를 이용하여 숏크리트를 패널에 타설 후 24시간 뒤에 시편을 채취하여 수중양생을 실시하였다. 압축강도, 중성화, 염소이온 투과시험에 사용되는 원형 시편은 패널 타설 후  $\phi 10\text{cm}$ 의 코어채취기를 통해 채취하였고, 휨강도 시험 및 동결융해 저항성 시험에 사용되는 직사각형 시편은 패널 타설 후 전면 커팅에 의해 제작하였다.

특히, 최근 사용되는 숏크리트에서는 강섬유나

합성 섬유 등 보강섬유의 혼입이 거의 필수적이거나 본 연구에서는 숏크리트에 사용되는 급결제 및 혼화제의 종류가 내구성에 미치는 영향을 분석하고자 하였기에 섬유에 의한 효과를 배제하기 위하여 배합에서 제외하였다.

### 3.2. 압축강도

각 영향인자의 압축강도의 특성을 파악하기 위해 숏크리트 현장타설후 패널에서  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  원형 코어를 채취하여 수중양생을 실시하였다. 초기 및 중장기 재령에 대하여 압축강도 특성을 파악하기 위하여 재령 7일, 28일, 56일의 압축강도를 측정하였으며, 각 변수별로 3개의 시편에 대하여 측정하였다.

### 3.3. 염소이온 투과시험

염소이온 투과시험은 ASTM C1202-91 electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration<sup>5)</sup>와 AASHTO T259의 방법에 의거하여 수행하였다. 28일 수중 양생한 직경 10cm의 콘크리트 시편을 길이가 5cm가 되도록 절단한 다음 실험을 수행하기 전까지 상대습도 95%이상 유지시킨다. 실험시 시편은 applied voltage cell에 고정시키고 회로 구성을 한다. 이 회로에서 전원은  $60 \pm 0.1\text{V}$ 의 직류를 안정적으로 공급할 수 있어야 한다. 실험을 수행하는 동안 전해질 용액이 세지 않게 하기 위하여 사용되는 sealant는 고무제품이고 무게는 20~40g 정도의 것으로 cell과 시편사이를 고정시킨다.

전류를 측정하는 방법으로는 기지의 저항체를 연결하여 전압을 측정함으로써 얻을 수 있는데 이 때에 사용되는 저항으로는 콘크리트 시편에 적용되는 전압에 영향이 적도록 하기 위하여 가능한 작은 저항을 사용하는 데 본 실험에서는  $0.1\Omega$ 을 사용하였다. 콘크리트 시편의 노출된 부분은 불투수성의 재료로 덮개를 하는데 이는 실험이 진행되는 동안 콘크리트 표면이 건조되어 염소이온의 투과에 영향을 미치는 것을 방지하기 위함이다.

A.V. Cell의 (-) 전극에 3.0%의 NaCl 용액을 채우고 (+) 전극 쪽에는 0.3N의 NaOH 용액을 채운다. 3% NaCl 용액은 물 900ml 에 NaCl 30g을 용해시킨 후 물을 가하여 1000ml의 용액을 만들고 0.3N NaOH는 물 1L에 NaOH 12g을 용해시켜 제조한다. 실험시 용액의 초기 온도는 20~25°C를 유지하도록 한다. 또한 시험 중 용액의 온도는 90°C이하가 되도록 한다.

시험중 30분마다 0.1Ω의 저항에 걸리는 전압을 data logger로 측정하여 기록한다. 이 때 전압은 0.1mV까지 측정 가능해야 하고 ±0.1%의 정도를 가진 장치이어야 한다. 측정된 전압값은 다음 (1)식에 의하여 전류치로 환산한다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0.1} \quad (1)$$

여기서, I = 전류(Amperes, A)  
 V = 전압(Volts, V)  
 R = 저항(Ohms, Ω)

염소이온 투과실험은 매 시편마다 6시간이 소요되고 30분 간격으로 전압값을 측정한다. 측정된 전압을 전류를 환산하여 다음 (2)식을 이용하여 회로를 통과한 총 전하량을 산정한다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

여기서, Q = 회로를 통과한 전하량(Coulombs)  
 I<sub>n</sub> = 실험시작후 n분이 경과하였을 때의 전류(Amperes)

### 3.4. 동결융해 시험

동결융해 시험은 KS F 2456 급속동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법의 규정에 의해 수행하였으며, 시편은 현장타설 숏크리트 블록으로부터 채취한 8×10×40cm의 각주형 공시체를 14일간 기건 양생한 후 동결융해 시험을 300 사이클까지 수행하였다. 구체적인 시험은 두 가지 과정으로 수행할 수 있는데 시험방법 A는 수중급속 동결융해시험, 시험방법 B는 공기 중에서 급속동결하여 수중에서 융해하는 방법이다. 두 방법 모두 특별히 규정된 시험절차에 의해 콘크리트의 동결융해저항성에 대한 콘크리트 특성의 변동성을 결정하는데 그 의도가 있으나, 직접적으로 특정한 콘크리트 구조의 사용연한에 대한 정성적인 예측을 의도하는 것은 아니다. 일반적으로 수중급속 동결융해 시험법이 공기 중 급속 동결융해 시험법보다 더 큰 성능저하를 유발하는 것으로 알려져 있다. 본 실험의 경우 수중급속 동결융해 시험법에 따라 수행하였다. 이 동결융해실험 규준은 콘크리트가 충분히 포화되어 있지 않고(즉 임계포화도보다 낮은 포화도로 동결융해손

상을 받지 않을 정도), 동결융해에 대한 충분한 저항성을 가진 골재가 사용되어 있을 경우, 심각한 동결융해에 의한 손상이 일어나지 않는다는 가정이 내포되어 있다.

### 3.5. 중성화 시험

촉진중성화는 촉진중성화 시험기를 사용하여 수행하며 CO<sub>2</sub> 농도 10%, 온도 40℃, 상대습도 60%로 시험 조건을 설정하였다. 시편은 염수침지시편과 같은 것을 사용하며, 역시 이산화탄소의 침투가 일방향이 되도록 옆면은 에폭시로 코팅한 후 1주간 촉진중성화하고, 1주간 기중 방지하는 방법을 택하였다.

콘크리트의 중성화를 진단하는 방법으로는 여러 가지가 제시되어 있으나 페놀프탈레인 용액 분무법을 사용하는 것이 일반적이다. 이 방법은 콘크리트의 절단면에 페놀프탈레인-알코올 용액을 분무기 등으로 분사하여 자적색으로 변하지 않는 부분을 중성화한 것으로 보고 깊이를 재는 것으로 이 방법을 사용할 경우에는 수산화 칼슘이나 탄산칼슘 등 생성물의 일부가 유실되거나 가수분해되는 것을 피하기 위해 할렬면을 이용하는 것이 좋다.

## 4. 실험결과

### 3.1. 압축강도

Fig. 1에서 보는 바와 같이 급결제의 성능 비교를 위한 실험에서는 알칼리 프리 급결제가 초기 7일 강도에서 다른 두 가지 알칼리게 급결제보다 강도 면에서 약 25% 정도 높은 성능을 보였다. 또한 28일과 56일의 중장기 강도에서는 알칼리 계열의 급결제인 알루미늄이트, 실리케이트 급결제를 사용한 경우 7일 강도와 거의 비슷한 강도를 나타내고 있어 7일 이후에는 거의 강도발현이 없는 것으로 판단된다. 하지만 알칼리 프리 계열 급결제의 경우에는 56일 강도에서도 28일에 비해 약 30%정도의 강도 증진 효과를 보이고 있어 내구성 측면에서 알칼리 프리 급결제를 사용하는 것이 훨씬 유리함을 보여준다고 할 수 있다.

숏크리트에 포함되는 다양한 혼화제의 특성을 비교하기 위한 실험에서 압축강도 결과를 살펴보면 혼화제에 따라 성능에 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 압축강도 측면에서 보면 공기연행제와 고유동화제가 감수제보다 유리함을 알 수 있다. 또한 56일 강도를 보면 고유동화제가

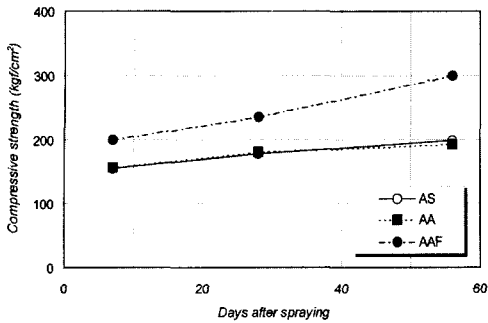


Fig. 1. Compressive strength for different accelerators

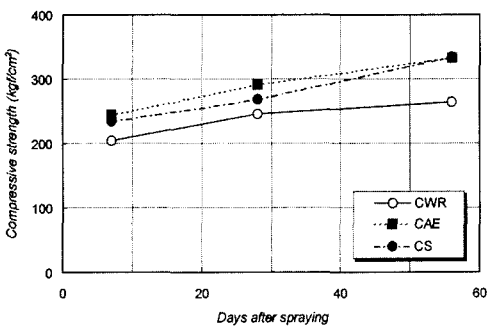


Fig. 2. Compressive strength for different chemical admixtures

조금 더 높은 강도를 보이고 있으며 이러한 추세로 유추해 보건데 내구성 측면에서는 고유동화제가 더 유리할 것으로 판단된다.

### 3.2. 염소이온 투과시험

Table 3은 염소이온 투과시험의 결과로서 전반적으로 일반적인 콘크리트 결과보다는 상당히 큰 값을 보임을 알 수 있다. 이는 숏크리트의 제작 특성상 피할 수 없는 특성 때문인 것으로 생각된다.

전체적으로 각 변수당 3개의 시편을 제작하여 실험을 수행하였다. 급결제 종류에서는 알카리프리게 급결제가 가장 낮은 투수율을 보였고, 혼화제 종류에서는 거의 비슷한 투수율 결과를 보였다.

Table 3. Chloride ion penetration test results

Series	Charge passed (Coulombs)	Remarks
AS	12,283	
AA	19,061	
AAF	6,491	
CWR	14,255	
CAE	13,926	
CS	11,872	

Table 4. The results of freeze and thaw test

Specimens	Initial Value (Hz)	300 Cycles (Hz)	Relative Dynamic Modulus (%)
AS	1632	1557	91.0
AA	1732	1662	92.1
AAF	1820	1790	96.7
CWR	1846	1754	90.3
CAE	1698	1666	96.3
CS	1695	1559	84.6

### 3.3. 동결융해 시험

기존의 연구결과를 보면 동결융해 저항성 증진을 위해서는 콘크리트 내의 공기량을 증가시키는 방법이 가장 보편적인 것으로 보고되고 있다. 본 실험에서 사용된 숏크리트 배합의 경우 단위 시멘트량이 550kg으로 상당히 많아서 강도 특성 면에서도 상당한 수준을 확보하고 있어 숏크리트의 동결융해 저항성의 경우 일반 콘크리트에 비해 전체적으로 상당히 높은 성능을 보여주고 있다.

모든 시편이 300회까지 상대동탄성계수가 60%이하로 떨어지지 않았으며 300회에서 측정된 상대동탄성계수가 85~95%를 상회하고 있는 것으로 나타났다.

### 3.4. 중성화 시험

실험결과에 나타난 중성화에 대한 급결제의 영향은 Fig. 3에서 보듯이 알루미네이트계 급결제를 제외하고는 거의 비슷한 결과를 보여주고 있다. 알칼리 프리 계열의 급결제의 경우 중성화 깊이가 6mm 정도로 양호한 결과를 보여주고 있다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 혼화제의 사용에 따른 영향을 살펴보면 감수제를 사용한 숏크리트에서 중성화 깊이가 약 11mm 정도로 높게 나타났으며 공기 연행제와 고유동화제의 경우는 그보다 약간 작은 9mm, 8mm 정도로 나타났다.

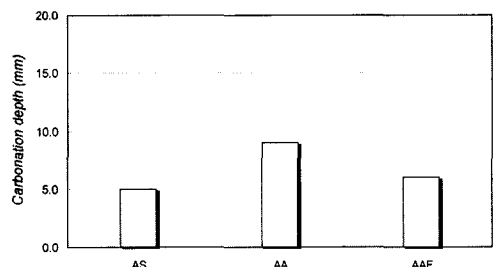


Fig. 3. Carbonation depth for different accelerators

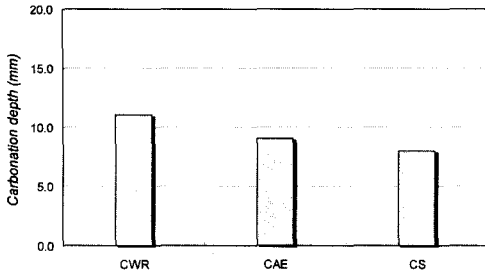


Fig. 4. Carbonation depth for different chemical admixtures

#### 4. 결론

본 연구에서는 슛크리트의 내구특성을 알아보기 위해 급결제와 혼화제의 종류에 따라 슛크리팅을 하여 압축강도, 염소이온 투과시험, 동결융해시험, 중성화촉진시험 등을 광범위하게 수행하였다.

따라서, 이러한 연구결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었으며, 이러한 결과들은 고내구성의 고성능 슛크리트를 만드는데 있어 기초자료로 제공될 수 있을 것으로 사료된다.

1) 현재 습식 슛크리트에 사용되는 급결제 중 알칼리실리케이트계, 알칼리알루미늄에이트계, 알칼리프리카의 세 가지 종류에 대하여 내구성 실험을 수행한 결과 알칼리프리카계의 급결제를 사용하는 것이 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도 등의 강도측면에서 초기 및 장기 모두 유리한 것으로 나타났고, 내동해성, 투수저항성, 중성화 등의 내구성 측면에

서도 기존의 알칼리 계열 급결제에 비해 우수한 것으로 나타났다.

2) 습식 슛크리트는 노즐을 통해 콘크리트가 분사되므로 유동성이 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 이러한 슛크리트의 유동성을 확보하기 위해 사용되는 혼화제로는 고성능 감수제, 공기연행제, 고유동화제 등을 들수 있는데 본 연구의 실험을 통해 분석한 결과 강도 및 내구성 측면에서 고유동화제가 가장 효과적인 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

- 1) (주)대우 건설기술연구소, "SHOTCRETE 성능개선 연구", 1992.
- 2) 현대건설기술연구소, "강성유보강 슛크리트의 적용성에 관한 실험적 연구", 1995.
- 3) SK건설연구소, "고품질 슛크리트 개발 연구", 1999.
- 4) ACI Committee 506, "Guide to Shotcrete", ACI Manual of Concrete Practice Part5, 1995.
- 5) Annual Book of ASTM Standard, C1202, "Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration", 1990.
- 6) C. Andrade, M. Castellote, C. Alonso, C. Gonzalez, "Relation between colourimetric chloride penetration depth and charge passed in migration tests of the type of standard ASTM C1202-91", Cement and Concrete Research, 1999.