

단일 집단의 모평균 검정에 의한 콘크리트의 염소이온 투과시험의 신뢰성 평가

The Evaluation of Reliability of Chloride Ion Penetration the Test of Concrete due to the Population Mean in One Group

민 정 욱* 박 승 범** 이 준* 이 병 재*
Min, Jeong Wook Park, Seung Bum Lee, Joon Lee, Byeong Jai

ABSTRACT

We have studied about chloride penetration test by electrical conductance to 10 specimens made from same test batch. The coefficient of variation of total passed charge(Colombs) was about 24% in same specimens, and we draw a conclusion this method has a low reliability. Owing to complicated reaction ; heterogeneous material, mixing error and error of testing method, then we must consider the scope of the error which is introduced. Specially when you trying to get one test result against one spcimen, you can commit a big error, therefore we recommend that you use mean value against 3 specimens at least.

요 약

전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성 시험방법에 의해 동일 배치의 10개의 콘크리트 공시체의 염소이온 투과시험을 실시하였다. 실험결과 동일한 배합의 시료에 대한 염소이온 투과 시험 결과 변동계수가 24% 정도로 나타나고 있어, 이 방법에 의해 얻어진 데이터의 신뢰성은 그다지 높지 않다는 결론을 도출할 수 있었다. 이러한 오차는 구성 재료 자체의 불균질성, 배합상의 오차, 시험방법 상의 오차 등이 모두 복합적으로 작용하여 일어나는 것으로 얻어진 결과를 활용하고자 할 때 이러한 영향으로 인해 도입되는 오차의 범위를 고려하여야 할 것이다. 특히 1개의 공시체에 대한 1회의 시험값을 토대로 연구결과를 내리는 경우 큰 오류를 범할 수 있음을 주지해야 한다.

* 정희원, 충남대학교 대학원 박사과정
** 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수
*** 정희원, 한국원자력안전기술원 책임연구원

1. 서론

포러스 콘크리트 이외의 일반 콘크리트 재료의 투수성은 상대적으로 아주 작기 때문에 이러한 콘크리트의 투수성을 측정하기 위해서는 Darcy의 법칙을 적용하기 어렵다. 더구나 고강도 콘크리트의 경우 조직이 매우 밀실하므로 별도의 방법을 적용한다. 현재 콘크리트의 투수성을 측정하기 위해 세계적으로 가장 많이 인용하는 규격은 ASTM C 1202이며, 우리나라의 경우도 2002년에 KS F 2711이 “전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성 시험방법”으로 제정되었다. 본 연구에서는 이 방법에 의해 얻어진 데이터의 신뢰성을 평가하기 위해 단일집단의 모평균 검정방법을 이용하여 선행연구에서 얻어진 결과를 동일한 조건의 배합과 비교하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에 사용한 시멘트는 국내 S사 제품의 제 1종 보통포틀랜드 시멘트로 KS L 5201을 만족하며 KS L 5120에 의해 분석한 시멘트의 화학조성 및 물리적 성분도 기준을 만족하였다.

2.1.2 골재

실험에 사용한 잔골재는 천연 잔골재로 KS 규격에 의해 실험한 결과 잔골재의 표면건조 포화상태의 밀도는 $2.60\text{g}/\text{cm}^3$, 굵은골재의 밀도는 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$ 였으며, 잔골재와 굵은골재의 조립률은 각각 2.61, 조립률은 6.63으로 나타났다.

2.1.3 고성능 유동화제

본 실험에서 사용한 고유동화제는 ASTM C 494 Type D 및 G에 적합한 고유동화제이다. 본 실험에 사용된 고유동화제의 밀도는 $1.20\text{g}/\text{cm}^3$ 이며, 염화물을 함유하고 있지 않다.

2.2 배합

본 연구에서 사용한 공시체의 기본 배합은 다음의 표 1과 같으며, 물-시멘트비 44%, 잔골재율 42%로 시방배합에 의해 설계하였다.

표 1 본 연구의 기초 배합

배합조건			단위량 (kg/m^3)			
물-시멘트비	잔골재율	설계기준강도	시멘트	배합수	잔골재	굵은골재
44%	42%		400	176	761	1092

2.3 실험방법

총 투과 전하량을 얻기 위해 28일 동안 수중 양생한 직경 100mm의 콘크리트 공시체를 커터기를 이용하여 길이가 50mm가 되도록 절단한 다음 실험을 수행하기 전까지 상대 습도 95%이상을 유지시켰다. 실험장비의 구체적인 세팅은 ASTM C 1202 및 KS F 2711⁴⁾을 준용하였고, 공시체의 직경이 95mm가 아니므로 규격에 의해 환산하였다. 사용한 데이터로거는 전압측정이 0.1mV까지 가능한 성능을 가졌고, $\pm 0.1\%$ 의 정밀도를 가진 장치로 그림 1의 모식도와 같이 구성하였다.

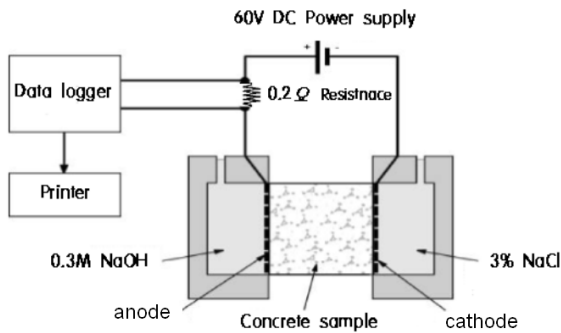


그림 1 전기전도도에 의한 염소이온 투과시험 모식도

여기서, Q = 총통과전하량(Coulombs), I_n : n분 경과 후의 전류(amperes)
 시험편의 직경이 95mm가 아니므로 계산된 통과 전하량은 다음에 의해 수정한다.

$$Q_s = Q_x \times \left(\frac{95}{x}\right)^2$$

여기서, Q_s 는 직경 95mm 시험편에 대한 통과 전하량, Q_x 는 직경 x mm 시험편에 대한 통과 전하량, x 는 비표준 시험편의 직경(mm)이다.

3. 실험결과 및 고찰

기존의 선행 연구에 의해 얻어진 결과¹⁾는 3개의 공시체에 대한 평균값으로 이 값이 과연 얼마만큼의 신뢰성이 있는지 알아보기 위해 이 배합과 동일한 배치로 배합한 10개의 급속 염소이온 투과시험 결과 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 따라서 기존실험을 통해 얻어진 2678Coulomb과 추가로 얻어진 10개의 측정 데이터간의 단일집단의 모평균 검정방법을 이용하여 비교를 하였다.

표 2 전기전도도에 의한 콘크리트의 급속 염소이온 투과시험 결과

공시체 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
총 투과전하량 (Coulombs)	2212	1672	1564	2346	3212	1988	2327	2896	1678	2310
평균 (Coulombs)	2221									
표준편차 (Coulombs)	533									
변동계수	24%									

10개 측정치에 대한 6시간 동안의 총투과 전하량의 평균값은 2221Coulomb이고, 표준편차는 533Coulomb으로 분석되었다. 그러므로 통계적으로 가설을 검정하기 위해서는 다음과 같은 식²⁾을 세울 수 있다.

$$H_0 : \mu = 2678$$

$$H_1 : \mu \neq 2678$$

따라서 귀무가설하에서의 검정통계량의 값은 $T(X) = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} = \frac{2221 - 2678}{533/\sqrt{10}} = -2.7154$ 이다. 표본의 크기 $n=10 < 30$ 이므로 검정통계량 $T(X)$ 는 자유도가 $n-1=9$ 인 t-분포를 따른다. 유의수준 $\alpha=0.05$ 로 할 때, t 분포 테이블에서 자유도가 9인 경우 $P_r(-2.26 \leq t \leq 2.26) = 0.95$ 임을 알 수 있다. 따라서 기각역은

측정한 전압은 다음의 식에 의하여 전류치로 환산한다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0.2}$$

여기서, I : 전류(암페어, A)

V : 전압(volts, V)

R : 저항(ohms, Ω)

염소이온 침투저항성은 30분 간격으로 6시간 동안 측정된 전류를 전하량으로 환산하여 다음과 같이 총 통과 전하량을 산출하였다.

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

그림 2의 빗금친 부분이며, 귀무가설하에서의 검정통계량의 값 $T(X)=-2.7154$ 는 기각역에 속하므로 귀무가설이 기각된다. 즉, 5%의 잘못 판단할 가능성을 전제로 할 때 얻어진 결과의 평균값이 동일하지 않다고 볼 수 있다. Prakash Joshi, Cesar Chan의 2002년도 연구³ 및 KS F 2711의 해설편⁴)에 의하면 이 실험은 고유의 반복가능성 및 재현특성이 낮아서, 동일한 시험자가 동일 샘플에 실험을 실시할 경우 변동계수가 12.3%에 달했다고 한다. 게다가 동일한 시험자가 동일 배합의 두 개의 샘플에 대해 실험을 할 경우에는 편차가 42%까지 낮다고 보고하고 있다. 본 연구에서는 같은 실험실에서 동일 batch에서 성형한 공시체를 사용하였음에도 변동계수가 24%에 달하고 있으므로, 최소 3번의 실험을 통해 평균값을 취해 결과를 분석해야 한다고 본다.

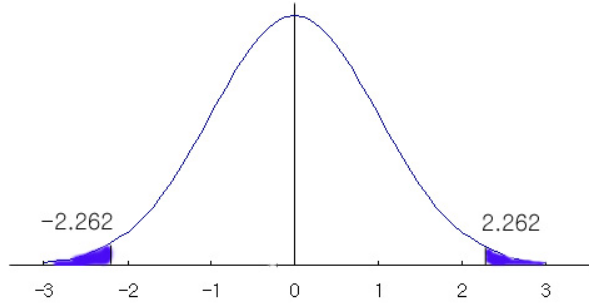


그림 2 자유도 9인 경우의 t-분포 곡선

4. 결론

실험결과 동일한 배합의 시료에 대한 염소이온 투과시험 결과 변동계수가 24% 정도로 나타나고 있음을 알 수 있었다. 따라서 급속 염소이온 투과시험을 통해 얻은 데이터의 신뢰성은 그다지 높지 않다는 결론을 도출할 수 있었다. 특히, 배치(batch)를 달리한 동일 배합의 시료에 대한 실험결과는 단일 집단의 모평균 검정방법으로 통계 처리할 경우 통계적으로는 유의수준 5%에서 동일하지 않다는 결과를 얻었다.

이러한 오차는 구성 재료 자체의 불균질성, 배합상의 오차, 시험방법 상의 오차 등이 모두 복합적으로 작용하여 일어나는 것으로 얻어진 결과를 활용하고자 할 때 이러한 영향으로 인해 도입되는 오차의 범위를 고려하여야 할 것이다. 특히 1개의 공시체에 대한 1회의 시험값을 토대로 연구결과를 내리는 경우 큰 오류를 범할 수 있음을 주지해야 한다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단 특정기초연구지원사업(R-01-2007-000-10692-0)에 의하여 수행된 것으로 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 민정욱, 박승범, 김윤용 : 광물질 산업부산물을 혼입한 콘크리트의 염소이온 투과저항성 개선에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 제24권 제8호, pp.677-688 (2007)
2. 이용구 : 통계학의 이해, 율곡문화사 (2007)
3. Prakash Joshi, Cesar Chan : Rapid chloride permeability testing: a test that can be used for a wide range of applications and quality control purposes if the inherent limitations are understood, Concrete Construction, (2002)
4. KS F 2711 : 전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성 시험방법, 한국산업규격, 산업자원부 (2007)