

## 아진공 튜브 인프라 기밀성능평가를 위한 균열지수에 대한 연구

## A Study on Crack Index for Partially Vacuumed Concrete Tube Structures

프러카시 데브코타\*, 양진천\*, 박주남\*\*†

Prakash Devkota\*, Qinchuan Yang\*, Joonam Park\*\*†

**초 록** 초고속 운송을 위한 아진공 튜브 인프라는 콘크리트를 주재료로 제작할 경우 우수한 경제성과 시공성을 기대할 수 있으나 내부 기압을 유지해야 하는 시스템의 특성 상 콘크리트의 변형에 의해 발생하는 균열의 영향을 반드시 고려해야 한다. 균열에 의한 기밀성능 감소를 예측하기 위해서는 균열을 정량적으로 나타낼 수 있는 균열지수(Crack Index)의 수립이 필수적이다. 본 연구에서는 Rizkalla 누출률 모델을 활용해서 튜브 시스템에 유입되는 공기의 흐름 방정식을 유도한 후 이 식의 적용에 필요한 균열에 대한 세 가지 정보, 즉 균열의 길이, 개수, 그리고 평균폭을 입력 변수로 하여 시스템의 기밀성능과 높은 상관성을 가지도록 균열지수를 정의하였다.

**주요어** : 진공튜브, 균열, 콘크리트, 균열지수

## 1. 서 론

균열 발생에 의한 기밀성능 감소의 정량적 평가를 위해서는 운송관에 발생한 균열의 정도를 측정할 수 있는 지수(index)를 정의할 필요가 있다. Rizkalla 누출률 모델(Rizkalla et al., 1984)에서 필요로 하는 균열에 대한 정보는 균열의 길이, 개수, 그리고 평균폭 이상 세 가지이다. 앞선 연구(Park et al., 2018)에서 이들 각각 변수의 크기는 시스템의 기밀성과 반비례하는 것을 보인 바 있다. 즉, 위 변수들의 값이 커질수록 운송관 내부 압력이 일정 수준 도달하는 시간은 짧아진다. 이 세 가지 변수들을 독립적으로 균열지수(cracking index)로 정의할 수도 있겠으나 그렇게 되면 설계 기준을 마련하는데 있어 혼란을 초래하게 될 것이므로 이들을 아우르는 하나의 균열지수를 정의하는 것이 설계, 해석의 효율성을 높이는 방법이 될 것이다. 본 연구에서는 시스템 기밀성

을 평가하기 위해 지난 연구(Park et al., 2018)에서 수립한 균열 발생 운송관 내부의 압력 변화 모델을 활용하였으며 위 세 가지 변수를 적절히 변환시켜 가며 기밀성을 확인하는 시산법을 활용해 기밀성과 높은 상관성을 가지도록 균열지수를 정의하였다..

## 2. 균열지수 정의

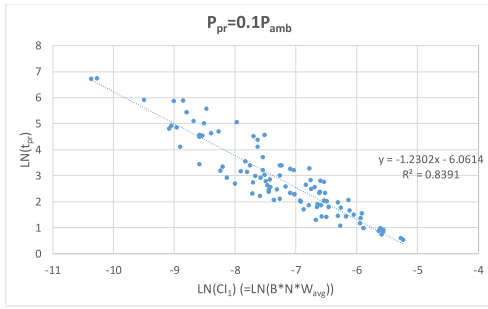
Rizkalla 누출률 모델(Rizkalla et al., 1984)의 입력 시 변수 형태를 고려해 길이와 개수, 그리고 평균폭의 세제곱을 곱한 균열지수를 정의하되 아래 식(1)과 같이 평균폭에 적용하는 지수를 변화시켜 가며 그 적용성을 판단해 보고자 한다.

$$CI_n = B \cdot N \cdot W_{avg}^n \quad (1)$$

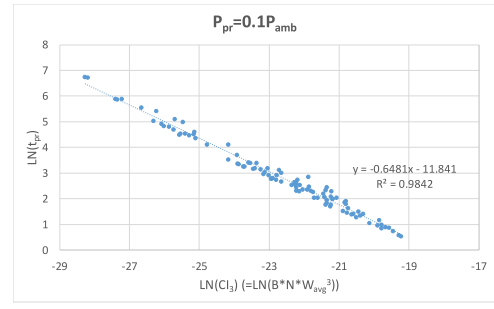
각 균열지수와 기밀성과의 상관관계를 알아보기 위해서 세 변수의 다양한 조합을 구성한 후 각 경우에 대해 운송관의 기밀성을 검토하였다. 기밀성 검토는 여러 단계의 Ppr, 즉 펌프 재가동 압력에 대해 균열지수와 Ppr 도달 시간, 즉 tpr과의 관계를 분석하는 방법으로 이루어졌다. 먼저 각 변수의 범위를

† 교신저자: 원광대학교 토목환경공학과  
(joonam.park@gmail.com)

\* 원광대학교 토목환경공학과



(a)  $\ln(CI1)$  vs.  $\ln(t_{pr})$  for  $P_{pr} = 0.1$  atm



(b)  $\ln(CI3)$  vs.  $\ln(t_{pr})$  for  $P_{pr} = 0.1$  atm

**Fig. 1** Correlation of crack index and system airtightness

정의하였는데, 균열의 총 길이는 운송관 길이 1m 당 최소 0.1m, 최대 0.7m 내에서 균등 분포하는 것으로 가정하였고 균열의 개수는 최소 1개에서 최대 10개로, 그리고 평균 균열폭은 최소 0.1mm에서 최대 1mm 범위 내에서 균등 분포하는 것으로 가정하였다.

각 변수들의 범위 내에서 균등확률로 임의의 수를 추출한 후 세 변수를 조합하는 방식으로 총 100개의 조합을 생성한 후 각 조합에 해당하는 균열 변수의 값을 입력치로 하여 기 정의된(Park et al., 2018) 운송관 프로토타입 단면에 적용하여 시간에 따르는 내부 압력의 변화를 산출하여 그 분포를 나타내 보았다. n 값을 1에서 4까지 변화시켜 가면서 상관성 분석을 수행했는데,  $P_{pr}=0.1$ atm에 대해 그림 1은 균열지수 CI1, CI3와 그에 해당하는  $t_{pr}$ 의 분포를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 CI3가 대수 평면에서  $t_{pr}$ 과 보다 더 큰 상관관계를 가지는 것을 알 수 있으며 이는 다른 균열지수와의 비교에서도 같은 결과가 도출되었다. 따라서 대상 균열지수 중 CI3를 균열지수로 정의하는 것이 가장 합리적인 선택이라고 판단된다.

### 3. 결론

본 연구에서는 시스템 기밀성에 직접적인 영향을 미치는 균열의 성질을 묘사할 수 있는 균열지수를 찾은 결과 균열 길이, 개수, 그리고 균열폭의 세제곱의 곱으로 정의된 균열지수가 시스템 기밀성능과 대수평면 상에서 선형 관계를 가지는 것으로 나타났다.

운송관의 단면, 그리고 목표 압력 및 펌프 재가동 압력이 정해지면 균열지수와 시스템 기밀성능, 즉 펌프 재가동 압력 도달 시간과의 관계를 정량적으로 수립할 수 있으며, 이는 진공펌프의 용량과 설치간격을 결정하는데 필요한 입력자료로 활용될 수 있을 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구로 이에 감사 드립니다(No. NRF-2016R1D1A1B03932109).

### 참고문헌

- [1] Rizkalla, S. H., Lau, B. L., and Simmonds, S. H. (1984) "Air leakage characteristics in reinforced concrete." *Journal of Structural Engineering*, Vol.110, No.5, pp.1149-1162
- [2] Park, J., Song, J. and Park, H-S. (2018). "Analysis of pressure change in concrete ultra-high-speed tube structures with cracks using leakage model." *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.30, No.3, pp.289-295