

비파괴기법을 활용한 콘크리트포장의 시공품질관리 기법 제안

Introduction to the quality control methodologies for concrete pavements using NDT

권수안*, 안지환**, 조성호***

Kwon, Soo-Ahn · An, Ji-Hwan · Joh, Sung-Ho

1. 개요

콘크리트 포장에서의 시공 초기 품질관리는 포장의 수명 확보에 있어 매우 중요하다. 이를 위해 현장에서는 시공 당시 포설되는 휨강도 공시체를 제작하여 수중 양생하고, 28일에서의 강도시험을 하도록 되어 있다. [도로공사 표준시방서] 또한 시공 당시 콘크리트의 공기량 확인, 슬럼프 시험 등을 규정에 따라 실시하고 있다. 그렇지만 기존의 방법은 현장에서 생산된 콘크리트의 품질 특성을 파악할 수 있지만, 시공의 품질에 대해서는 파악할 수 없는 단점이 있다. 즉, 양생이 잘되었는지 또는 잘못되었는지를 파악할 수 있는 방법은 되지 못하는 문제점이 있다.

콘크리트 포장에서는 양생의 정도에 따라 시공 품질관리의 정도가 결정되므로, 양생의 상태가 매우 중요하다. 그렇지만 기존의 방법에서는 이를 파악할 수 있는 방법이 결여되어 있어 이에 대한 개선 방안이 필요한 실정이다.

최근 들어 콘크리트 재료를 대상으로 압축강도와 성숙도(Maturity) 개념과의 상관성이 좋은 것으로 입증되고 있으며, 미국의 많은 주에서는 이를 시방 기준으로 사용하고 있다.(권수안 외) 또한 탄성계수와 성숙도와의 상관성 역시 매우 좋은 것으로 입증되었다.(Soheil Nazarian, et al) 이러한 콘크리트 재료의 물리적 특성들 간의 상관성 개발이외에도, 이들 물리적 특성 값을 측정하기 위한 다양한 비파괴 기법들이 개발되고 실용화되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근 개발되고 있는 비파괴 기법들을 활용하여 콘크리트 포장의 시공 품질관리를 체계적으로 실시할 수 있는 기법들을 제안하고, 이를 실용화하기 위한 방법론을 제안하고자 한다.

2. 탄성파 기법 및 성숙도의 개념

2.1 탄성파 기법 개념

파의 속도란 어떤 매개체를 통과하는 속도로 정의할 수 있는데, 실내에서 코아 시료로부터 공진 주파수를 얻게 되면 식 1을 이용해서 코아 시료의 탄성계수를 추정할 수 있다. 실내에서 파로부터 공시체의 공진 주파수를 얻기 위한 실험 방법은 그림 1과 같다. 실험 장비의 구성은 타격을 위한 햄머(Source), 파를 받아들이는 센서(Receiver Sensor) 그리고 센서에서 받아들이는 신호를 분석하는 분석기(Analyzer) 등으로 구분된다. 파의 속도는 공시체의 Stiffness를 직접적으로 추정할 수 있는 지수이며, 파의 속도가 빠르면 높은 Stiffness를 나타내는 것이다.

$$V_{c,s} = f * \lambda$$

(식 1)

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 · 수석연구원 · 공학박사 · 031-910-0174 · sakwon@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 · 연구원 · 031-910-0541 · jenix@kict.re.kr

*** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 031-670-3341 · shjoh@cau.ac.kr



여기서,

f = frequency

λ = 파의 길이(= 2d)

파의 속도를 구하게 되면 식 2를 이용해서 해당 공시체의 탄성계수 값을 산정할 수 있다.

$$E = \rho * V^2 \tag{식 2}$$

여기서,

E = young's modulus

ρ = mass density

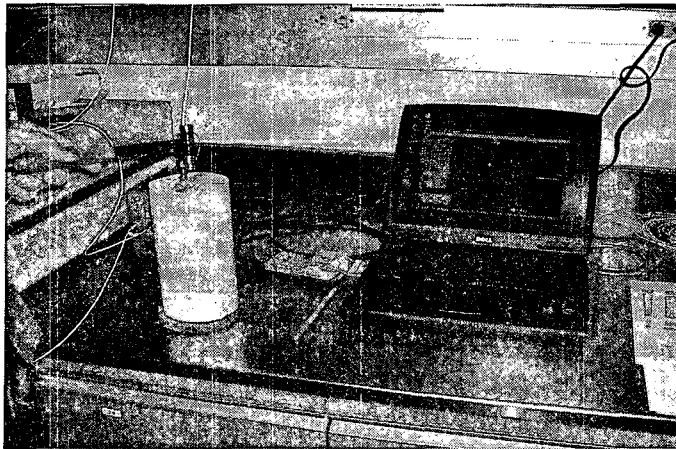


그림 1. 파(Wave)를 이용한 실내 실험 모습

2.2 성숙도(Maturity) 개념

성숙도 개념은 Saul(1951) 등에 의하여 처음 개발된 것으로, 현장에서 적절히 포설되고, 다짐되고, 양생된 콘크리트 혼합물의 강도는 재령과 온도 이력의 함수라는 것이다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같으며, 성숙도라 부른다.(ASTM C 1074)

$$M(t) = \Sigma(T_a - T_0)\Delta t \tag{식 3}$$

여기서, M(t) = 재령 t에서의 Time-Temperature Factor(TTF)

Δt = 측정 시간 간격

T_a = 측정 시간 간격 내에서의 콘크리트 평균 온도

T_0 = Datum Temperature

3. 강도-탄성계수-성숙도와의 상관관계

Hoi-Keun Lee 등은 파(Wave)의 속도와 콘크리트 초기 재령에서의 강도와의 상관성을 연구하였으며, 물/시멘트비가 0.35를 기준으로 서로의 상관성이 틀려짐을 규명하였고, 플라이애쉬(Flyash)의 첨가에 따른 상관성은 별 영향이 없음을 나타내었다.(ACI, 2003) 권수안 등은 강도와 탄성계수(Modulus)와의 상관성을 검토하여, 골재의 종류가 틀러지면 상관성이 틀러지는 것을 나타내었다.(한국도로학회, 2005) 또한 텍사스 대학의



Soheil 등은 압축강도와 성숙도와의 상관성, 쪼갬인장강도와 탄성계수와의 상관성, 휨인장강도와 탄성계수와의 상관성 그리고 탄성계수와 성숙도와의 상관성 등이 매우 좋은 것을 확인하였으며, 이를 현장에서 적용하기 위해 영향을 주는 다양한 인자들에 대한 검토를 실시하였다.(Soheil, 2003)

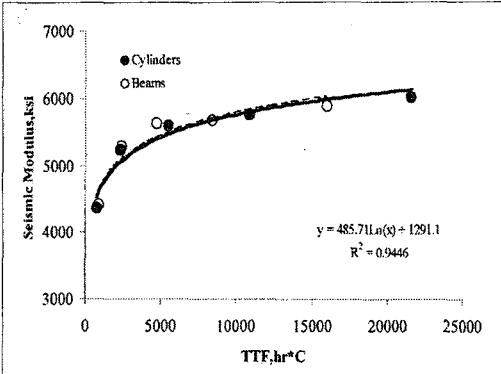
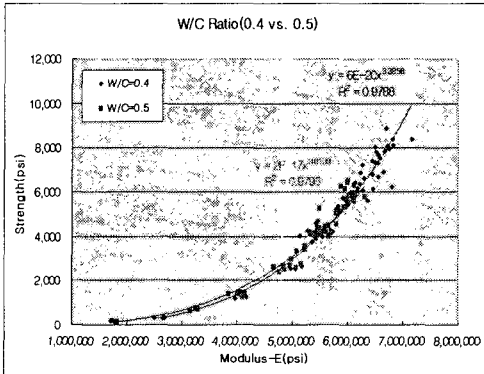


그림 2. 압축강도와 탄성계수와의 상관관계 예 그림 3. 성숙도와 탄성계수와의 상관관계 예

4. 품질관리 기법 제안

탄성계수, 성숙도, 강도와의 상관성이 좋으므로, 세 개의 변수 중에서 두 가지 값을 알게 되면 나머지 한 개의 값도 저절로 알 수 있다. 그러므로 현장에서는 I-Button이라는 센서를 이용해서 임의의 시간에 성숙도 값을 얻고, 비파괴 방법으로 현장 포장체의 탄성계수 값을 얻으면 강도의 값도 자연적으로 얻을 수 있다.

따라서 실내에서 이상적인 양생 조건인 습윤 양생을 실시한 시료를 대상으로, 해당 공사 현장에 사용될 재료의 탄성계수와 성숙도와의 상관식을 그림 3의 00곡선과 같이 1차적으로 작성한다. 그런 후 콘크리트 포장이 포설된 후 비파괴 장비를 이용해서 현장에서의 탄성계수를 얻고, 시공시 설치한 I-Button으로부터 성숙도의 값을 얻은 후 이 값들을 실내에서 얻은 곡선으로부터 얻은 값과 비교하면, 실내에서 얻은 곡선보다 약간 낮은 값을 갖을 것이라는 것을 추정할 수 있다. 즉, 실내에서 얻은 탄성계수와 성숙도와의 관계는 이상적으로 완벽한 시공을 의미하며, 실제 현장에서는 완벽한 양생 조건이 되지 않으므로, 그림 3에서와 같이 동일한 성숙도 값에서 실내에서 얻은 탄성계수보다 적은 값을 나타낸다는 것이다. 또한 시공 불량으로 인해 양생이 제대로 실시되지 않을 경우에는 그 차가 더욱 크다는 것을 유추할 수 있다.

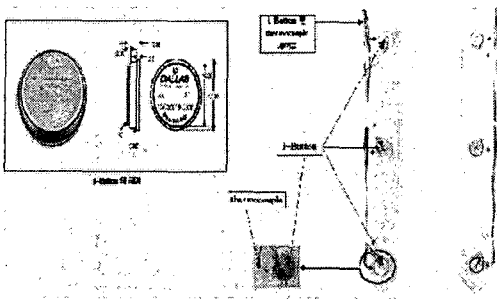


그림 4. I-Button Sensor

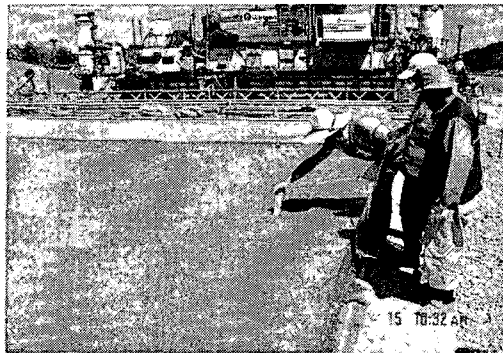


그림 5. 센서를 포장체에 매설하는 모습

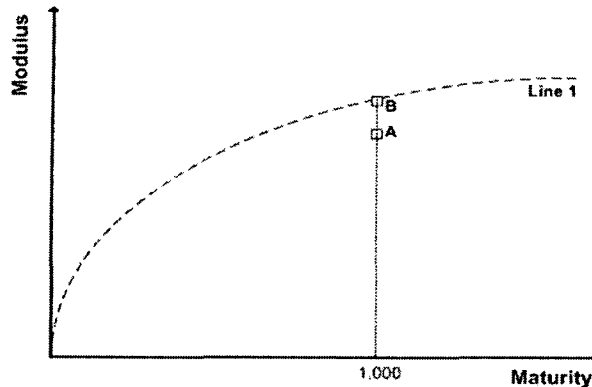


그림 6. 성숙도와 탄성계수와의 상관성 개념도

5. 현장 적용 방안

현장에서의 시공 품질관리를 합리적으로 수행하기 위한 방안으로 비파괴 기법을 활용한 방법을 제안하였다. 이 방법은 기존 연구에서 보게 되면 골재의 종류 및 혼화제의 종류 또는 다양한 배합의 여건에 따라 상관성이 차이가 있게 된다. 따라서 매 현장에서 사용하는 재료를 대상으로 실내에서 탄성계수와 성숙도와의 상관성을 작성하고, 현장에서는 I-Button으로부터 성숙도 값을 얻고, 비파괴 장비로부터 탄성계수 값을 얻는 절차로 실시한다. 실내에서 얻은 상관식과 현장에서 얻은 자료들을 비교함으로써 시공의 품질관리 정도를 파악하도록 한다. 다만, 현장에서 재료가 변경될 경우에는 실내에서 얻고자 하는 탄성계수와 성숙도와의 상관관계식을 별도로 작성해야 한다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

현재 사용 중인 콘크리트 포장의 품질관리 체계에서는 시공의 품질관리를 확인할 수 있는 방법이 결여되어 있어, 이를 개선하기 위한 방안으로 탄성과 기법을 활용하여 시공의 품질관리를 파악할 수 있는 논리를 제안하였다. 향후 이들 논리를 실용화하기 위해서는 현장에서 탄성계수를 얻기 위한 탄성과 측정 장비의 개발, 이들 기법이 현장의 조건에 따라 변화되는지 여부, 배합의 조건에 따라 변경되는지의 여부 등을 고려하여 이들 내용이 검토된 시방 기준이 작성되어야 한다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단의 해외 Post-Doc의 연수 결과로 수행되어진 내용입니다. 본 연구를 위해 도움을 주신 미국 텍사스 대학교 연구 교수인 원문철 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, “도로공사 표준시방서”, 한국도로교통협회, 2003.
2. 권수안 외 3인, “Wave Propagation 기법을 이용한 콘크리트, 압축강도 추정”, 한국도로학회 논문집, 2005. 9.
3. Soheil Nazarian, Deren Yuan, “A Methodology for Optimizing Opening of PCC Pavements to Traffic,” Texas DOT, Research Report 4188-2, 2003.
4. Hoi-keun Lee, Hyunjune Yim and Kwang-Myong Lee, “Velocity-Strength Relationship of Concrete by Impact-Echo Method,” ACI Material Journal, V.100, No. 1, January-February, 2003.
5. ASTM C-1074, “Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method,” Annual Book of ASTM Standards, Vol 0402, Concrete and Aggregate.