

탄성파를 이용한 콘크리트 포장의 현장품질관리 논리개발

Development of Concrete Pavement Quality Control Logic using Elastic Wave

안지환* · 남정희** · 권수안*** · 조성호****

An, Ji Hwan · Nam, Jung hee · Kwon, Soo Ahn · Cho, Sung Ho

1. 서 론

도로공사 표준시방서에 따르면 콘크리트 포장에서 시공초기 품질방법으로 현장에서 시공 당시 휨강도 공시체를 제작하여 수중 양생후 28일 강도를 시험하도록 되어있다. 또한 시공 당시 콘크리트 공기량 확인, 슬럼프 시험 등을 규정에 따라 실시하여야 한다. 그렇지만 기존의 방법은 현장에서 생산된 콘크리트재료 자체의 품질 특성을 파악할 수 있지만, 시공의 품질에 대해서는 파악할 수 없는 한계가 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(Shoheil Nazarian, at 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 기법 중 하나인 탄성파를 활용하여 콘크리트 포장의 시공 품질관리를 체계적으로 실시할 수 있는 기법들을 제안하고, 이를 현장에 적용하여 그 가능성을 확인하고자 한다.

2. 비파괴 기법

2.1 탄성파 기법

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 장비는 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.

* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학석사 · 031-910-0541(E-mail:jenix@kict.re.kr)

** 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원 · 공학박사 · 031-910-0190(E-mail: archnam@kict.re.kr)

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 수석연구원 · 공학박사 · 031-910-0174(E-mail: sakwon@kict.re.kr)

**** 정희원 · 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · 031-670-3341(E-mail: shjoh@cau.ac.kr)

$$V_{c,s} = f_{c,s} * \lambda \quad (\text{식 1})$$

여기서,

f = frequency

λ = 파의 길이(= 2ℓ)

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

$$E \text{ or } G = \rho * V_{c,s}^2 \quad (\text{식 2})$$

여기서,

E = young's modulus , G = shear modulus

ρ = mass density

여기서 사용되는 파는 2가지로 Rod 파(비구속 압축파)와 S파(전단파)가 있다.

Rod파를 통해서 영탄성계수(E)값을 추정하며, S파를 이용해서는 전단탄성계수(G)를 추정할 수 있다.

실내에서 실험한 비파파 기법을 도로포장현장에 적용하기 위해서는 S파가 Rod파보다 더욱 효과적이다. 이는 현장 도로포장조건이 구속조건이므로 이러한 조건에 영향을 받지 않는 S파가 적합하다(조성호,2005)

2.2 탄성파 측정장비 개발

본 연구에서는 탄성파측정을 보다 효과적으로 하기위하여 기존 전단파 측정방법(Torsional Shear wave)을 개선한 새로운 전단파 측정장비를 중앙대학교와 협동으로 개발하였다.

새로이 개발한 장비의 경우 그림 2와 그림 3에서와 같이 기존의 Rod파 측정뿐만 아니라 새로운 S파 측정도 함께할 수 있으며 영탄성계수, 전단탄성계수 및 포아송 비를 추정할 수 있다.



그림 1. 개발된 측정장비(중앙대학교 조성호교수)

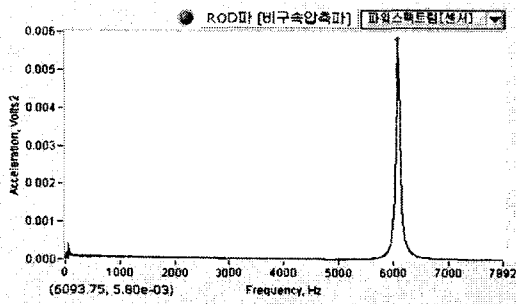


그림 2. Rod파 측정 결과 화면

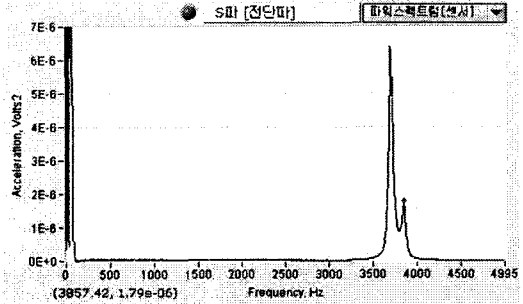


그림 3. S파 측정 결과 화면

3. 품질관리 논리 개발

3.1 강도-탄성계수-성속도와의 상관관계 고찰

Hoi-Keun Lee 등은 파(Wave)의 속도와 콘크리트 초기 재령에서의 강도와의 상관성을 연구하였으며, 물/시멘트비가 0.35를 기준으로 서로의 상관성이 틀려짐을 규명하였고, 플라이애쉬(Fly ash)의 첨가에 따른 상관성은 별 영향이 없음을 나타내었다.(ACI, 2003) 권수안 등은 강도와 탄성계수(Modulus)와의 상관성을 검토하여, 골재의 종류가 틀려지면 상관성이 틀려지는 것을 나타내었다.(한국도로학회, 2005) 또한 텍사스 대학의 Soheil 등은 압축강도와 성속도와의 상관성, 조깅인장강도와 탄성계수와의 상관성, 휨인장강도와 탄성계수와의 상관성 그리고 탄성계수와 성속도와의 상관성 등이 매우 좋은 것을 확인하였으며, 이를 현장에서 적용하기 위해 영향을 주는 다양한 인자들에 대한 검토를 실시하였다.(Soheil, 2003)

3.2 콘크리트 현장품질관리 논리

기존연구에서 탄성계수, 성속도, 강도와의 상관성이 좋은 것으로 나타나고 있으므로, 세 개의 변수 중에서 두 가지 값을 알게 되면 나머지 한 개의 값을 추정할 수 있을 것이다. 그러므로 현장에서는 온도센서를 이용해서 임의의 시간에 성속도 값을 얻고, 비파괴 방법으로 현장 포장체의 탄성계수 값을 얻으면 강도의 값을 추정할 수 있는 것이다.

따라서 실내에서 이상적인 양생 조건인 습윤 양생을 실시한 시료를 대상으로, 해당 공사 현장에 사용될 재료의 탄성계수와 성속도와의 상관식을 그림 6의 곡선과 같이 1차적으로 작성한다. 그런 후 콘크리트 포장에 포설된 후 비파괴 장비를 이용해서 현장에서의 탄성계수를 얻고, 시공시 설치한 온도센서로부터 성속도의 값을 얻은 후 이 값들을 실내에서 얻은 곡선으로부터 얻은 값과 비교하면, 현장양생이 제대로 이루어 지지 않았다면 낮은 값을 가질 것이라는 것을 추정할 수 있다. 즉, 실내에서 얻은 탄성계수와 성속도와의 관계는 이상적으로 완벽한 시공을 의미하며, 실제 현장에서는 완벽한 양생 조건이 되지 않으므로, 그림 6에서와 같이 동일한 성속도 값에서 실내에서 얻은 탄성계수보다 적은 값을 나타낸다는 것이다. 또한 시공 불량으로 인해 양생이 제대로 실시되지 않을 경우에는 그 차이가 더욱 크다는 것을 유추할 수 있다.

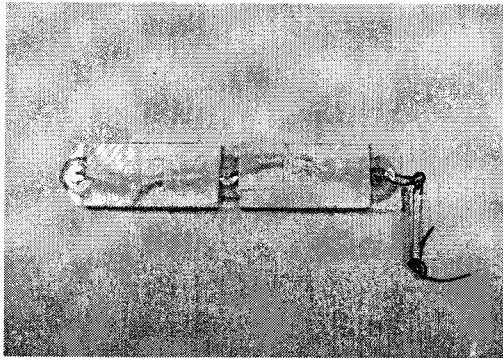


그림 4. I-Button Sensor

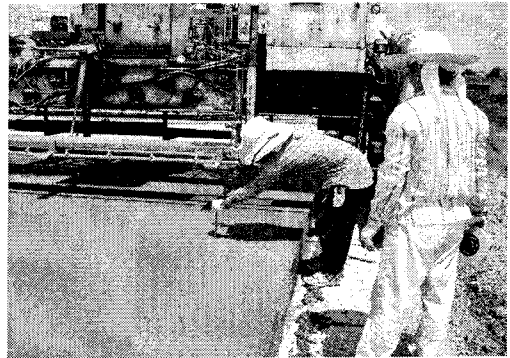


그림 5. 센서를 포장체에 매설하는 모습

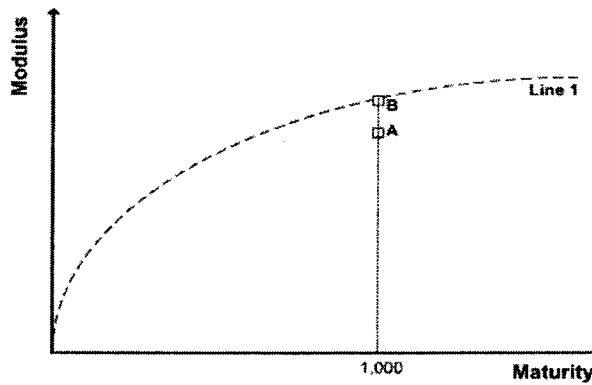


그림 6. 성숙도와 탄성계수와의 상관성 개념도

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 온도센서로부터 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.

4. 실내시험

개발논리 중 압축강도, 탄성계수 및 성숙도의 상관관계 검토를 위하여 콘크리트 포장 현장시험 시공시 공시체를 제작하여 실내양생을 실시하였으며, 각 공시체는 3, 7, 14, 28일을 양생하여 해당일에 시험을 실시하였다.

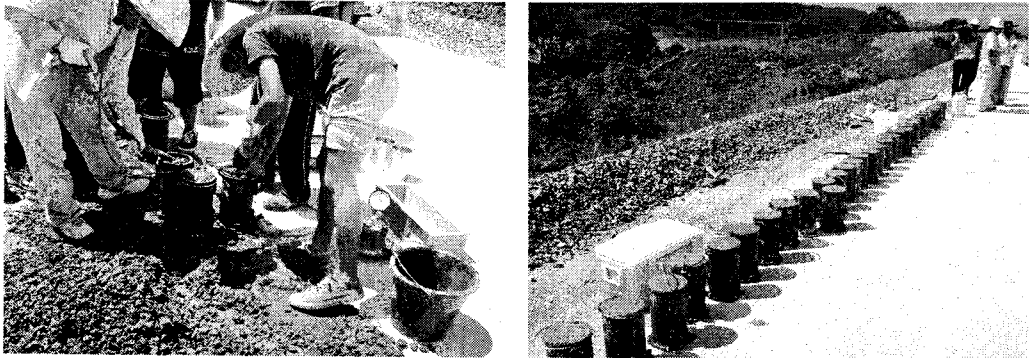


그림 7. 현장공시체 제작

결과비교에서는 재령에 따른 파의 속도변화를 관찰하기 위해서 매질의 밀도를 추정하여야 하는 탄성계수를 사용하지 않고 전단파 속도를 우선적으로 직접 이용하였다.

비교순서는 전단파 속도와 압축강도, 압축강도와 성숙도, 마지막으로 전단파 속도와 성숙도로 비교해 보았다.

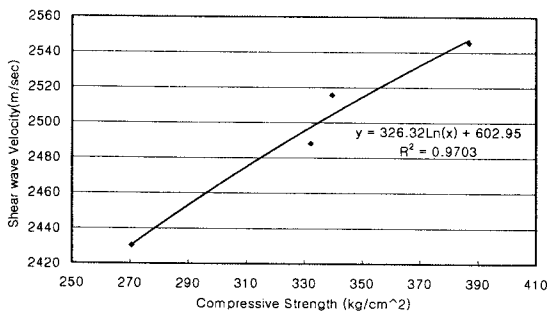


그림 8. 전단파 속도와 압축강도 상관관계

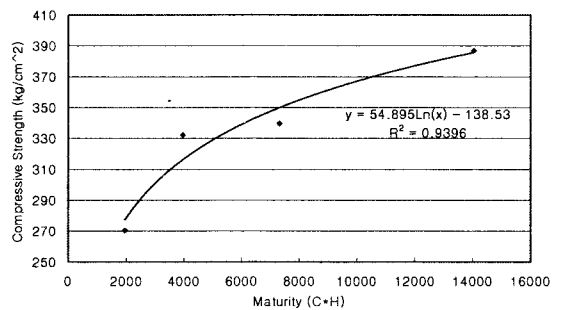


그림 9. 압축강도와 성숙도 상관관계

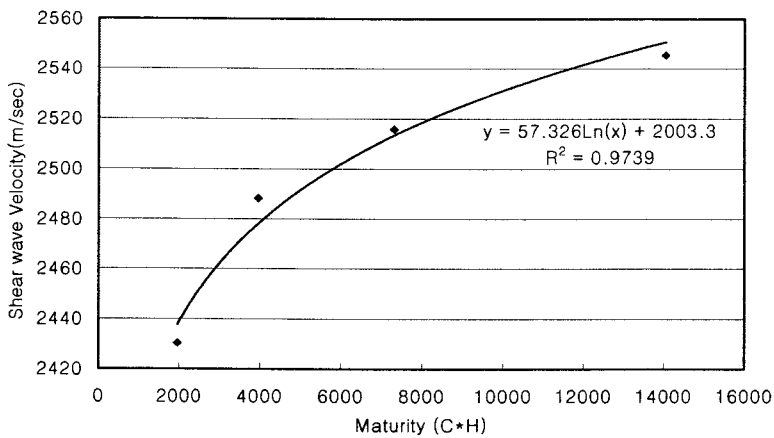


그림 10. 전단파 속도와 성숙도 상관관계



그림 8의 경우 전단파 속도와 압축강도 상관관계를 나타내었는데 R2가 0.97로 상관성이 좋은 것으로 나타났으며 그림 9의 압축강도와 성숙도 역시 R2가 0.93으로 나타났다. 이러한 각 인자들(전단파 속도와 압축강도, 압축강도와 성숙도)간의 상관관계가 높은 것을 근거로 그림 10의 전단파 속도와 성숙도 상관관계를 살펴본다. 전단파 속도와 성숙도간의 상관관계에서도 R2가 0.97로 나타났다.

5. 결 론

현재까지 연구결과를 바탕으로 분명히 전단파 속도와 성숙도간의 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 실내에서 예비시험을 통해서도 상관성을 보였으며 현장제작 공시체에 대해서도 상관성이 좋게 나타났다. 이는 콘크리트 포장에서 비파괴를 통해 포장의 초기시공상태를 확인할 수 있다는 논리에 타당성을 부여한다. 추후로 지속적으로 다양한 양생조건과 배합으로 시험을 실시하여 보다 높은 타당성을 제시하려 한다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 지원하는 “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발”의 세세부과 제입니다. 본 연구를 지원하여준 장수명·친환경 연구단에 감사드립니다.

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.
6. Joh S.H, “Structural Integrity Assessment of Tunnel Concrete Lining by the Resonance Search Technique”, ANDE, 2005.11