

현장제작 공시체와 코어 공시체 간의 강도 및 탄성계수 비교

Compared strengths and modulus of elasticity between field
specimen and core specimen

안지환* · 조윤호**

1. 서 론

콘크리트 구조물의 유지관리와 평가를 위해 비파괴 검사법이 많이 이용되고 있다. 비파괴 검사법은 구조물에 어떠한 손상 없이 구조물의 결함이나 파손정도를 파악할 수 있는데 콘크리트 포장의 경우 포장표층에 코어를 뚫어 강도를 측정하는 방법이 사용되었으나 최근에는 비파괴 검사만으로 포장강도를 추정하는 추세에 있다. 또는 FWD 장비를 이용해 포장의 처짐량을 측정, 역산기법(Backcalculation)으로 포장의 탄성계수를 구하고 이로부터 강도를 추정할 수도 있다. 본 연구에서는 현장에서 포설 당시에 콘크리트 공시체를 제작하고 포장평가 시 기준이 되는 28일 강도를 시험하였다. 그리고 28일째 현장에서 FWD 시험을 통한 탄성계수와 공시체 코어를 뚫어 측정한 강도 및 비파괴 시험을 이용한 콘크리트 탄성계수를 측정하여 시험방법에 따른 탄성계수 결과값을 비교하였다.

2. 시험방법

본 실험에서 압축강도는 KS F 2405, 콘크리트의 탄성계수(Young's Modulus)는 KS F 2438 시험법에 따라 실시하였다

2.1 현장제작

현장제작의 경우 중부고속도로 신갈-안산구간에서 콘크리트 표층 포설작업시 같이 공시체를 제작했으며 50m 간격으로 5지점에서 압축공시체, 간접인장용 공시체, 휨공시체를 각각 3개씩 제작하였다. 현장 콘크리트 배합은 표 1과 같다. 현장에서 제작한 공시체는 28일 습윤양생을 시킨 후 실험을 하였다

* 정희원 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · 02-816-0251(E-mail:heartpave@chollian.net)

** 정희원 중앙대학교 건설환경공학과 조교수 · 공학박사 02-820-5336(E-mail:yhcho@cau.ac.kr)



표 1. 현장 콘크리트 배합표

실계 시중강도 (kg/cm ²)	단위수량 (kg/m ³)	시멘트 (kg/m ³)	굵은골재(32mm) (kg/m ³)	굵은골재(19mm) (kg/m ³)	잔골재 (kg/m ³)	혼화제 (kg/m ³)
$\sigma_{bk}=45$	151	366	574	597	699	0.51

2.2 FWD 시험 및 역산

FWD(Falling Weight Deflectometer)란 충격하중에 의한 포장의 처짐량을 측정하는 방법으로 실제 차량하중에 의해 발생하는 처짐량을 잘 나타낼 수 있는 장비이다. 이 장비를 통해 거리에 따른 포장 구조체의 처짐량을 측정한다. 이 처짐량을 연결한 곡선을 Deflection Basin이라 하는데 이 곡선은 포장체의 특성에 따라 그 모양이 다양하다. 역산은 해석 프로그램의 입력변수인 탄성계수를 다양하게 변화시킴으로써 얻어진 Deflection Basin과 현장에서 FWD 시험으로 얻어진 Deflection Basin을 비교하여 실제에 가장 근접한 탄성계수를 거꾸로 추정하는 방법이다. 본 연구에서는 WESDEF 와 MICHBACK 프로그램을 이용하였다. 그림 1은 FWD를 이용해 표면처짐을 도식화하였다.

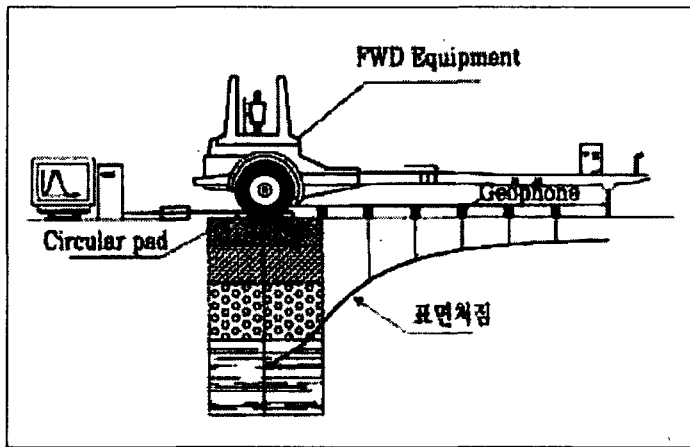


그림 1. FWD를 이용한 표면처짐

2.3 Impact Echo

Impact Echo 시험은 시험체 표면에 충격을 주어 발생된 파가 시험체 매질간의 경계면에서 반사되어 오는 파형을 이용하여 시험체의 특징을 알아보는 시험방법이다. 이 시험에 사용된 파는 Rod파인데 Rod파는 압축파의 일종으로 파의 진행방향으로 입자가 압축-수축의 과정을 반복하는데, 이런 특징은 P파와 같다. P파와의 차이는 파장인데, Rod파의 파장은 매우 크고 P파는 몇 cm에 지나지 않을 정도로 작다.

Rod파 속도를 측정하기 위해서 그림 2 처럼 공시체 한 쪽 면에 센서를 부착하고 바로 옆에서 해머와 같은 발진기로 충격을 주어 파를 발생시킨다. 수직방향으로 발생된 파는 반대쪽 자유단에 도달하



게 되고, 도달한 이 파는 반사되어 처음 충격을 준 자유단으로 되돌아간다. 이때 시간에 따른 진폭을 측정하여 이를 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하여 주파수에 따른 진폭값으로 전환하는데, 이 과정에서 주파수 변동을 측정한 파워스펙트럼(power spectrum)이 나타나는데 이중에서 진폭이 가장 클 때의 공진 주파수(f_R)를 사용한다. 그림 3은 시간에 따른 진폭측정결과와 이를 FFT한 주파수영역결과이다.

$$V_c = f_R \times \lambda = f_R \times 2l \quad (1)$$

여기서, f_R : 공진 주파수

l : 공시체 길이

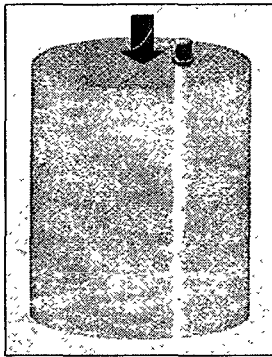


그림 2. Rod-파 속도 측정을 위한 실험 구성

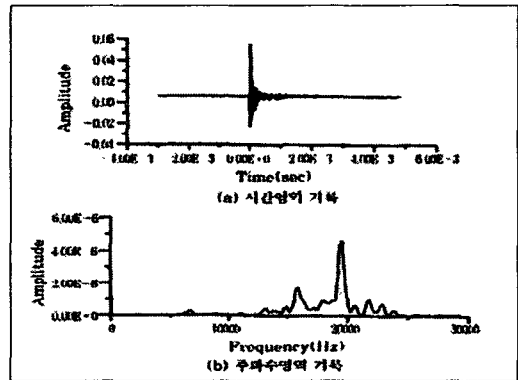


그림 3. 시간영역기록과 주파수영역기록

3. 결과 및 고찰

우선 현장제작 공시체, FWD측정, 코어를 통해 나온 탄성계수 값을 비교하였다

표 2. 각 시험방법에 따른 탄성계수 값(psi)

	WESDEF	MICHBACK	비파괴 (현장제작)	탄성계수 (현장제작)	비파괴 (코어)	탄성계수 (코어)
section 1	3,752,363	3,698,736	6,487,040	-	5,755,810	2,145,855
section 2	3,442,984	3,458,578	6,660,800	1,866,917	5,864,410	2,299,705
section 3	3,321,095	3,223,521	6,602,880	2,026,899	5,705,129	3,323,283
section 4	2,956,967	3,322,561	6,757,333	2,402,654	5,835,450	2,719,712
section 5	3,706,594	3,890,210	6,245,707	1,401,180	5,828,210	-

위의 값을 T-test한 결과 역산한 탄성계수 결과 값에는 차이가 없는 것으로 나타났으나 현장제작한 공시체와 코어를 뚫은 공시체를 Impact Eco 시험을 한 탄성계수의 결과 값에는 차이가 있는 것으로 나타났다.

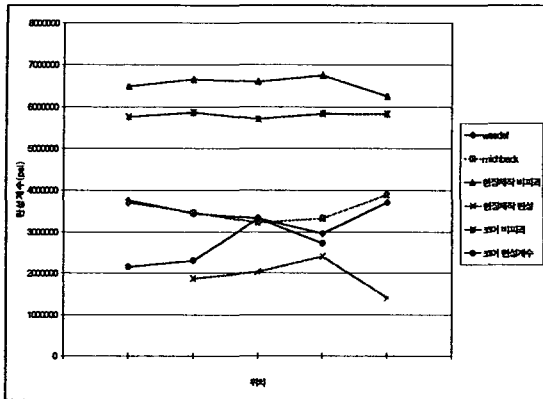


그림 4. 각 시험방법별 탄성계수

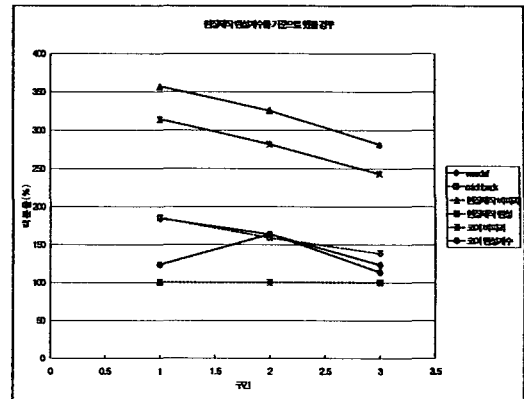


그림 5. 현장제작 탄성계수를 기준으로 비교했을 경우

표 3. 각 시험방법간 상관계수

	WESDEF	MICHBACK	비파괴 (현장제작)	탄성계수 (현장제작)	비파괴 (코어)	탄성계수 (코어)
WESDEF	1.000	0.807	-0.816	-0.988	-0.147	-0.539
MICHBACK	-	1.000	-0.870	-0.861	0.275	-0.899
비파괴 (현장제작)	-	-	1.000	0.926	0.068	0.289
탄성계수 (현장제작)	-	-	-	1.000	-0.129	0.191
비파괴 (코어)	-	-	-	-	1.000	-0.536
탄성계수 (코어)	-	-	-	-	-	1.000

그리고 현장제작 공시체와 코어를 뚫어 측정된 압축강도를 비교하였다

T-test와 AVOVA를 이용 분석한 결과 유의수준 0.05에서 현장제작 공시체와 코어를 뚫은 공시체간의 압축강도는 차이가 없는 것으로 나타났다. 본 실험결과로 볼 때 신설포장의 강도를 평가할 때 코어를 뚫어 강도를 측정하는 시험방법보다 시공시 공시체를 제작함으로써 강도를 측정하는 것이 포장에 손상을 미치지 않고 포장을 평가할 수 있으리라 판단된다.

표 4. 현장제작 공시체와 코어공시체의 압축강도(kPa)

	section 1	section 2	section 3	section 4	section 5
압축강도 (현장제작)	25605.48	20896.57	21233.82	24831.07	22888.38
	16799.70	18048.20	21533.59	22776.39	15663.06
	25424.37	20134.65	20072.20	25580.50	21837.83
압축강도 (코어)	20646.23	20465.65	22720.18	20396.95	-
	22955.55	21371.83	-	-	-
	-	-	-	-	-



4. 결 론

본 연구에서 FWD를 이용한 탄성계수 추정, Impact Eco 시험을 통한 탄성계수 추정, 파괴시험을 통한 탄성계수 추정 및 현장제작 공시체와 코어를 이용한 공시체간의 강도비교를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

1. 두가지 역산 프로그램간 차이는 없으며 현장제작 탄성계수와 비교해서 약 1.3~1.8배 값을 가진다
2. 비파괴를 통한 탄성계수값은 현장제작 탄성계수와 비교해서 약 2.5~3.5배의 값을 가지는 것으로 보인다
3. 현장제작 공시체와 코어를 뚫은 공시체간의 28일 강도에는 차이가 없는 것으로 나타났으나 탄성계수 값에는 차이가 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2000년 한국도로공사의 공모과제인 "콘크리트 포장의 잔존수명 추정을 위한 기초물성 연구"의 수행결과의 일부로 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 원태연 외 1 (1998) "통계조사분석" SPSS 아카데미
2. US DOT, (1994) "Pavement Deflection Analysis" FHWA-HI-94-021
3. 김동수 외 1, (1998) "탄성파를 이용한 콘크리트 구조물의 비파괴 검사" 콘크리트 학회지 제10권 2호