

시멘트 콘크리트 포장확장시 포장하부지반의 강성과 변위발생의 상관성 분석

Analysis of Relation between Foundation Stiffness and Deformation below Widening Portland Cement Concrete Pavement Sections

양성철* · 임유진**

Yang, Sung Chul · Lim, Yu Jin

Abstract

Poor compaction of subgrade soil causes low stiffness and bearing capacity of sublayers so that faulting and differential settlements can be generated between new and old pavement surfaces in case of widening works. However, investigation of verifying the reason of producing the defects in the pavements are not performed in detail. In this study, several in-field tests including PMT and PBT were performed for obtaining stiffness of the sublayers in new and old pavements respectively of an widening project. Then, based on the obtained stiffness values and the measured deformations obtained by specially designed tilt meters, the main reasons of generating different deformations between the old and new pavement sections and the relationship between the deformation and stiffness are verified.

Key words : faulting, widening, concrete pavement, stiffness

요 지

콘크리트 포장 확장공사시 하부지반의 다짐도 부족과 이로 인한 강성 및 지내력 발생차이는 접속부에서의 벌어짐, 단차, 밀림 등을 발생시키지만 이들 상호간의 연관성에 대한 국내연구는 매우 부족하였다. 본 연구에서는 평판재하시험(PBT)과 공내재하시험(PMT)을 이용하여 확장부 및 기존포장부에서 하부기초 강성측정을 각각 시도하고 그 시험결과를 바탕으로 확장부 및 기존도로부의 강성차이의 크기발생 차이를 분석하였으며 아울러 확장구간과 기존구간의 지내력과 강성 차이 및 접속부의 처리방안의 차이에 의한 포장슬래브의 거동을 평가하기 위해 고안된 변위계를 현장에 설치하여 벌어짐, 단차, 밀림의 발생현상을 관찰하고 이들 사이의 상호연관성과 발생 원인을 분석하여 그 원인을 규명하였다.

핵심용어 : 단차, 확장, 콘크리트 포장, 하부층 강성

1. 서 론

고속도로 통행 교통량의 증가로 인하여, 경부선 등 많은 기존 노선에서 확장설계와 시공이 이루어지고 있다. 이러한 확장공사는 신설 공사와는 달리 기존 노선의 통행과 관련하여 많은 문제를 야기한다. 특히 확장부의 하부층 다짐관리는 기존 구간과의 연계성을 충분히 고려하여야 한다. 특히, 콘크리트포장의 편측 및 양측 확장을 위한 접속시 기존 노선의 결함 보수와 덧씌우기, 타이바 접속 등을 고려하여야 한다.

독일, 영국, 미국, 일본의 경우에는 불확장을 전제로 신설을 원칙으로 하고 있으며 도심지역에 한하여 접도구역을 이용하는 것으로 알려져 있다(장명순 등, 1995). 미국의 경우에는

확장시 AASHTO 기준에 준하며, 영국은 DMRB(Design Manual for Roads and Bridges; Highway Agency, 2004)을 따르고 있다.

포장의 확장은 신설되는 확장구간뿐만 아니라 기존포장의 상태를 조사 및 분석하여 콘크리트 덧씌우기 등 보강방안을 동시에 수립하여야 한다. 콘크리트 포장확장시 AASHTO에서 제시하는 기본적인 사항은 ①확장된 신설포장과 보강된 기존구간의 동일한 설계수명, ②확장구간의 포장제원을 기존포장과 가능하면 동일하게 맞추는 원칙, ③그라우팅을 이용한 타이바의 정착방법 및 ④반사균열 방지를 위해 종방향 접속부를 따라 토목섬유를 설치하는 방안이다(AASHTO, 1993).

영국의 DMRB에서는 설계수명 40년을 기준(Highway

*홍익대학교 건축공학부 부교수 (E-mail: scyang@hongik.ac.kr)

**정희원 · 배재대학교 건설환경공학과 부교수(교신저자)

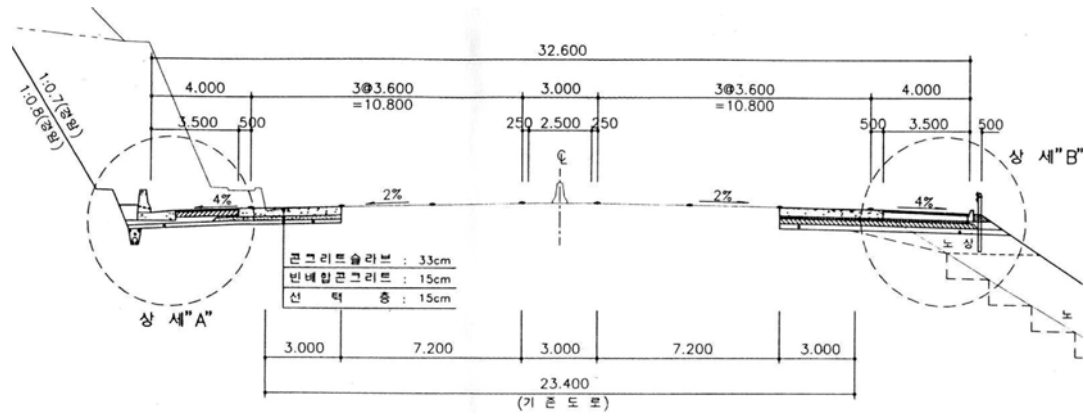


그림 1. 국내 고속국도 단순확장구간 표준도(부산-언양구간 예)

Agency, 2004)으로 기존포장의 평탄성과 미끄럼저항성 외 기존포장 하부의 지반상태 및 지내력에 대한 조사데이터를 이용하여 확장포장구간의 지내력을 추정하여 설계에 반영하도록 한다. 장명순 등 (1995)은 확장시 접합부의 연결방법에 따른 장·단점 분석과 접합부의 접속 불량 및 부등침하의 문제점 등을 확인하고 부등침하의 원인으로서는 지반의 지지력부족, 다짐불량, 접속부 취약, 초기침하 미완료 상태에서의 포장시공, 포장체의 균열을 통한 침투수 유입을 지적한 후 다짐도 차이가 부등침하의 가능성을 높여 접속부에서 분리, 단차, 기울어짐 등이 발생할 수 있음을 지적하였다. 정진훈 등 (2004)은 콘크리트포장 확장공사시의 기존구간과 확장구간의 지내력 차이, 현행 타이바 설치 방법, 평탄성 관리 측면 및 서로 다른 포장형식을 접속하는 방법 등의 문제점을 제기하고 그 대안을 모색하였다. 또한 콘크리트포장 확장접속부의 시공 및 설계상의 문제점을 분석(양성철, 2006)하거나, 천공 후 타이바 설치방법의 개선방안(황인규 등, 2006)이 제시된 바 있다. Cable 등(2005)은 화이트토퍼를 이용한 덧씌우기와 콘크리트 확장공사에 관한 설계 및 시공에 관한 연구를 수행하였으며 노후화된 기존의 아스팔트 포장층에 FWD를 통한 처짐 데이터와 매설된 스트레인 게이지를 통한 변형률 데이터를 사용하여 기존 포장층의 물성을 역계산, 확장 신설되는 콘크리트포장의 시공에 반영하는 절차를 제시하였다.

한편 독일의 경우는 확장되는 신설 구간에 저소음포장이나 투수성포장과 더불어 배수성 보조기층을 도입하여 운용하기도 한다. 이는 국내의 설계관행 즉, 표층 또는 보조기층에 침투한 물의 별도배수를 고려하지 않는 것과 상이한 개념이다. 현재 국내에서 고려하고 있는 배수 요소는 횡단구배를 통한 노면 배수와 지하수위 저하 및 포장 측면으로부터의 침투수를 처리하는 측면배수공 설치가 전부이다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 현재 확장공사시 가장 큰 문제가 될 수 있는 다짐도 차이와 이에 따른 강성 및 지내력 차이, 그리고 접속부의 처리방안 부족으로 인해 발생하는 벌어진, 단차, 밀림 등이 상호 밀접하게 연관되어 있으나 이에 대한 충분한 검토와 대책수립이 미흡한 것으로 판단하여 본 연구에서는 평판재하시험(PBT)과 공내재하시험(PMT)을 이용하여 확장부 및 기존포장부에서 하부기초 강성측정을 시도하고 시험결과를 바탕으로 확장부 및 기존도로부의 강성차이의

크기발생 차이와 발생 원인을 밝히고자 하였다. 아울러 확장구간과 기존구간의 지내력과 강성 차이 및 접속부의 처리방안의 차이에 의한 포장슬래브의 거동을 평가하기 위해 특별히 고안된 변위계를 현장에 설치하여 벌어진, 단차, 밀림의 발생현상을 관찰하고 변위발생과 강성차이와의 상호연관성을 분석하였다.

2. 국내 확장구간 기준 및 현황

2.1 국내 고속도로 중·횡단 확장기준

고속도로의 확장방안으로는 종단 조정 유무에 따라 단순확장구간 및 종단조정구간으로 구분하고, 횡단면을 확장하는 방안으로 편측확장과 양측확장이 있다. 다음 그림 1은 국내 고속도로 단순확장구간의 표준도를 보여준다(한국도로공사, 2003).

횡단면의 단순확장방안 중 편측확장과 양측확장의 장·단점을 비교하면 표 1(내송-구서 확장공사 실시설계 일반보고서)과 같다.

2.2 콘크리트포장 확장 현황

2000년 이전까지 국내 고속도로 중 확장된 구간으로는 경인선 등 총 45개 구간이며 2000년 이후에 건설된 확장노선 건설현황은 표 2와 같다.

표 1. 횡단 확장방법에 대한 장·단점 비교

구분	편측확장	양측확장
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 단계시공횟수 최소로 시공성 및 교통 처리 양호 · 가시성 최소화 등으로 목적물 이외의 공사비 저감 · 출입시설구간 시공성 및 교통처리 양호 · 공사비저렴 	<ul style="list-style-type: none"> · 도시계획 구간 및 시가지 구간에 적용 · 폐도발생이 없음
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 폐도발생구간 다수 발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 종단조정구간 단계시공 횟수가 많고 가시성 필요 · 출입시설 구간 연결로 개량으로 시공성 및 교통처리 다소 곤란 · 공사비 고가

표 2. 2000년 이후 확장노선 건설현황

노선	구간	연장(km)	차선	착공	준공	콘크리트포장 단순확장여부
동해선	강릉-동해	56.1	2→4	'98	'04	
경부선	부산-언양	40.5	4→6,8	'01	'05	○
	경주-동대구	54	4→6,8	'01	'06	
	영동-김천	34.3	4→6	'01	'06	
	증야-옥천	5.8	4→6	'01	'05	○
	구미-김천	12.9	4→6	'02	'06	
88선	옥포-성산	12	2→6	'01	'06	
	고서-담양	17	4→6	'01	'06	

표 3. 경부고속도로 부산-언양, 경주-영천간 확장공사 형태별 현황 (단위, km)

노선	공구	차로수	확장 형태							비고 (선형개량구간)
			계	중단 조정 확장			단순 확장			
				소계	편측	양측	소계	편측	양측	
	계		57.4	33.0	20.9	12.1	20.6	2.8	17.9	3.8
경주- 영천	소계		25.8	23.4	14.7	7.7	0.5	0.5	-	1.9
	1	4→8	9.4	8.9	5.2	2.8	0.5	0.5	-	-
	2	4→6	9.9	9.9	7.1	1.2	-	-	-	-
	3	4→6	6.5	4.6	3.4	1.2	-	-	-	1.9
부산- 언양	소계		31.6	9.6	5.2	4.4	20.1	2.3	17.9	1.9
	1	4→6	7.8	-	-	-	7.0	-	7.0	0.8
	2	4→6,8	14.5	8.8	5.2	3.6	5.7	-	5.7	-
	3	4→6	9.3	0.8	-	0.8	7.4	2.3	5.2	1.1

3. 시험대상 현장 및 국내확장 현장의 당면 문제

3.1 시험대상 현장구간의 확장계획

시험 대상구간으로 2003-2004년에 시행된 경부고속도로 부산-언양간 확장공사 제 3공구 내송-구서구간 3+002~2+314 k 하행부를 선정하였다. 표 3은 2005년에 완료된 고속도로 확장공사 구간 중 부산-언양과 경주-영천간의 확장 형태별 현황을 정리한 것이다. 표에서 보여주듯이 경주-영천 구간은 대부분이 중단조정 확장구간이며 부산-언양 구간 중 단순확장구간이 20 여 km가 된다. 또한 편측확장보다는 대부분이 양측 확장구간으로 되어 있다. 그림 2는 기존포장과 신설 확장포장의 단면도를 기존 포장단면과 비교한 것이며 본 시험 대상구간의 편측확장구간 표준처리방안은 그림 3과 같다.

3.2 확장구간에서 발견되는 당면문제

시험대상 현장과 같은 확장접합부에서 발견되는 문제로는 스폐링, 단차, 벌어진, 균열 등(그림 4 참조)을 들 수 있으므로 이를 억제하기 위한 다양한 방안이 고려되었다. 이와 같은 단차(tilting 포함), 벌어진 및 균열 등의 문제는 포장하부 기초의 강성차이로 인해 발생한다고 볼 수 있다. 이와 같은 강성차이를 유발시키는 원인을 적절한 시험을 통해 분석할 필요가 있다.

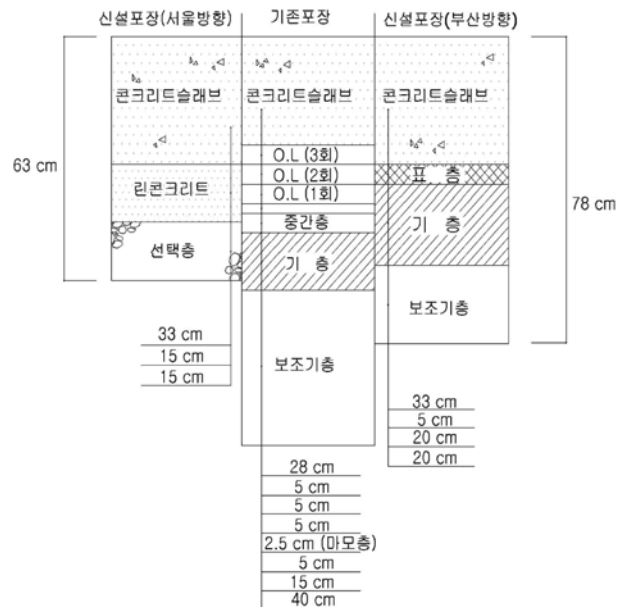


그림 2. 기존포장과 신설 확장포장의 단면도 (O.L=덧씌우기)

확장시 부등침하의 일반적인 원인에는 통상 확장부지반의 지지력부족, 확장부 토공의 다짐불량, 기존도로와 확장부의 접속부 취약, 초기침하가 완료되지 않은 상태에서 포장시공, 포

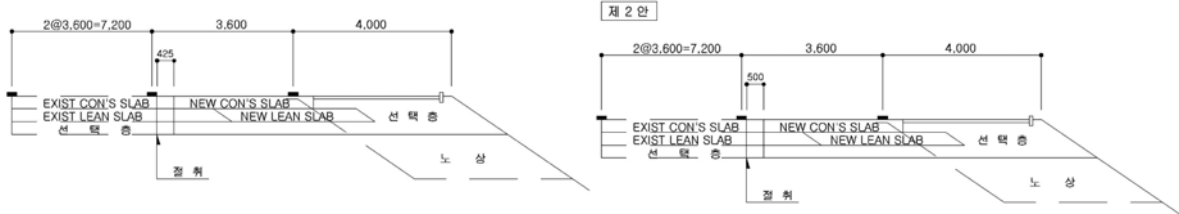


그림 3. 부산-연양간 확장부 표준 처리방안

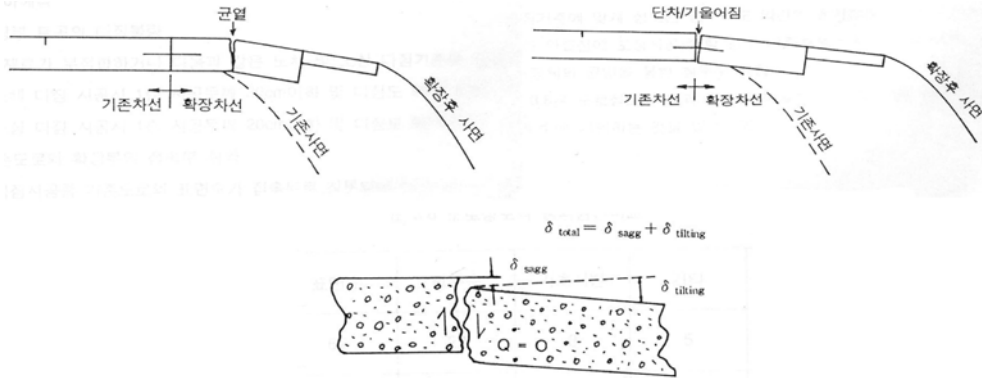


그림 4. 기존 차선과 확장차선 접합부에서 발견되는 문제(장명순 등, 1995)

표 4. 확장시 부등침하 발생원인의 유발요인(장명순 등, 1995)

확장시부등침하발생원인	유발 요인
확장부지반의 지지력부족	· 연약지반, 불량토 원지반의 치환 / 미충분 성토 처리
확장부 토공의 다짐불량	· 성토재료의 부적합 · 노체 및 노상 다짐기준에 미달하는 경우 · 노체 1층 다짐두께 300 mm 이하/ 다짐도 90% 기준 미달 · 노상 1층 다짐두께 200 mm 이하/ 다짐도 95% 기준 미달
기존도로와 확장부의 접속부 취약	· 다짐시공중 기존도로의 표면수가 접속부로 침투되어 다짐불량으로 이어지는 경우 · 기존 토공(층파기)과 확장부 토공사이의 경계면에서 다짐이 불충분한 경우
초기침하미완료상태의포장시공	· 다짐기준 적합 성토구간도 약간의 초기침하가 예상 · 공기에 쫓겨 초기침하완료전에 포장시공
포장체의 균열을 통한 침투수유입	· 유입수 배수처리설계 불량

장체의 균열을 통한 침투수 유입 등을 들 수 있으며 각 원인의 유발요인을 표 4와 같이 정리해 볼 수 있다.

도로쌓기부의 붕괴는 상층포장의 균열 및 단차, 벌어진 발생의 또 다른 원인이 되며 이와 같은 균열발생에 따라 콘크리트 포장의 전단면 보수를 실시하기도 한다.

4. 확장부 접속구간의 강성 평가 방법

4.1 강성평가시험 방법의 선택

확장부에서는 기존 포장과 신설포장 아래 포장 하부기초의 다짐도 차이가 유발될 수 있다. 다짐도의 차이는 재료의 강성차이를 유발하며 이로 인해 확장포장된 구간으로의 교통개

방시 주행횡수가 반복됨에 따라 부등침하와 벌어진 등의 문제를 발생시킬 수 있다. 이와 같은 확장부 포장하부기초의 강성을 평가하는 방법으로는 평판재하시험(PBT; Plate Bearing Test), FWD(Falling Weight Deflectometer) 및 공내재하시험(PMT; Pressuremeter Test), 동적콘관입시험(DCPT; Dynamic Cone Penetration Test) 등이 사용될 수 있다. 이중 FWD는 상대적으로 고가인 시험장비를 사용하여야 하고 운용 및 해석방법이 어려워 현장기술자의 이해를 구하기가 곤란하다는 단점이 있다. 또한 비파괴시험(NDT)인 관계로 공학적 측면에서의 응력-변형을 관계에 입각한 강성도(Stiffness)의 평가가 모호하다는 점도 본 방법의 취약점이라 할 수 있다. 반면 평판재하시험과 공내재하시험은 현장의 지표면 또는 포장하부층 내에 직접 압력을 가하여 응력-변형을 관계에 입각한 수직지반반력계수 또는 탄성계수를 구할 수 있는 장점이 있고 상대적으로 값싼 장비와 적은 운용인력이 필요하며 구동방법 또한 매우 용이하다. 그림 5는 시험 대상인 부산-연양 현장의 확장부 포장전과 콘크리트 포장시공에 따른 최종 마무리처리 직후의 모습을 비교한 것으로서 확장전과 확장후의 콘크리트 슬래브를 지지하는 하부지반 특히, 보조기층과 노상의 강성차이가 어떻게 발생하는지를 비교, 조사할 필요가 있다. 이를 위하여 공내재하시험 및 평판재하시험을 강성평가방법으로 채택하였다.

4.2 평판재하시험

이 시험은 직경 300, 400 또는 750 mm의 강제원판을 다짐 마무리면에 거치하고 하중을 가하여 하중강도(p)와 침하량(s)의 상관 그래프를 구하여 일정 침하량에 상당하는 하중강도값 즉, 수직지반반력계수(k) 식 (1)을 구하는 것이다. 따라서 지반지지력계수(k)의 단위는 kgf/cm^3 또는 kN/m^3 가 되며 포장인 경우 하중강도(p)-침하량(s) 그래프 상에서 1.25 mm



그림 5. 시험대상 구간 확장부 포장전후의 비교

침하량에 해당하는 값으로 취한다.

$$k = \frac{P}{S} \quad (1)$$

4.3 공내재하시험 (Pressuremeter Test)

공내재하시험은 원주형의 프로브(probe)를 시험대상 지반내의 천공경 안에 거치하고 이를 횡방향으로 가압시키는 장치로서 시험시 가한 횡방향 압력(p)과 프로브의 부피팽창(ΔV)을 측정하여 이들의 관계로부터 현장지반의 횡방향 가압력(p)-횡방향 변형률(ΔR/R₀) 관계를 설정할 수 있다. 횡방향 변형률(ΔR/R₀)은 공경의 횡방향 팽창변형을 초기반경(R₀)에 대한 공경의 증가(ΔR)비로 표시한 것으로서 반경방향의 변형률($\epsilon_{\theta\theta}$)이 되며 그림 6은 전형적인 PMT시험 결과를 도시한 것으로서 부피팽창(ΔV)으로부터 횡방향 변형률로 변환하는 과정과 측정된 원데이터로부터 얻을 수 있는 탄성계수(E₀, E_R)를 설명한다.

위의 가운데 그림에서 횡방향가압력 증분(Δp)과 프로브의 부피팽창증분(ΔV) 관계로부터 일반적인 지반의 탄성계수(E_e)는 아래 식(2)와 같이 정의된다.

$$E_e = 2(1+\nu)V \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (2)$$

여기서 ν : 포아송(Poisson) 비
V : 프로브의 초기 부피

흙재료에 따라 다르지만 제하-재제하 탄성계수(E_R)는 초기 탄성계수(E₀)에 비하여 약 3배 정도 되는 것으로 알려져 있다.

임유진 등 (2004)은 공내재하시험을 이용하여 포장하부구조의 강성도를 파악하는 기법을 제시한 바 있다. 포장하부구조를 구성하는 노상 및 보조기층 재료의 변형률 의존성과 응력 의존성 및 재하속도와 재하횟수의 영향을 종합적으로 고려하여 탄성계수(E)를 계산할 수 있는 산정식을 아래와 같이 제시한 바 있다.

$$E = \frac{1}{\frac{1}{K} \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{ns} + b\epsilon} \left(\frac{t_1}{t_0} \right)^{-n_1} N^{-n_c} \quad (3)$$

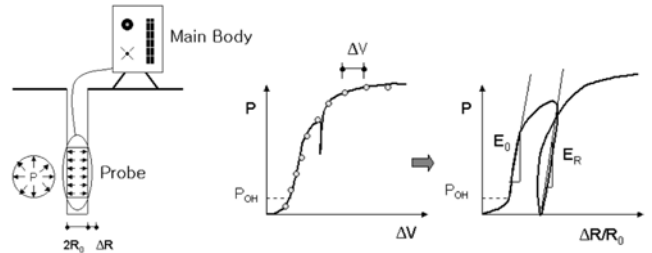


그림 6. 공내재하시험기의 작동원리 개략도

여기서 ϵ =변형률, K=강성계수, θ =평균주응력, P_a:대기압 (1 atm), n_s=응력 모델의 파라미터, n_r=변형률 모델의 파라미터, n_c=cyclic 모델의 파라미터, N=제하-재제하 cycles의 횟수. 위의 식을 사용하기 위해서는 특별히 고안된 PMT시험 절차로부터 시험 파라미터 K, n_s, b, n_r, n_c를 구하여야 한다. 여기서, 각 시험 파라미터를 구하는 방법은 임유진 등(2004)에 상세히 기술되어 있다.

5. 확장부 현장시험 및 시험결과의 해석

5.1 확장구간의 콘크리트 기초 물성 평가

5.1.1 기존 확장구간 포장용 콘크리트의 재료물성 값

확장구간의 기존포장부에서 지름 100 mm인 코어시편 10개를 채취하였다. 채취된 시편 모두 온전한 형태를 유지하여 시편의 길이로부터 기존 포장슬래브의 두께를 추정할 수 있었다. 기존 시험구간의 평균포장두께는 301 mm로 계산되었다. 총 10개의 시편을 통해 쪼갬인장강도와 탄성계수를 측정하였고 결과는 표 5와 같다. 먼저 코어시편의 길이가 200 mm 되도록 시편을 절단한 후 탄성계수 측정 시험을 수행하였다. 탄성계수는 시편에 스트레인게이지를 부착하여 측정하였다.

한편, 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구의 일환으로 휨강도와 쪼갬인장강도의 상관관계(양성철 등, 2007, 쪼갬인장강도=0.727×휨강도, R²=0.829)를 통해 추정되는 기존 포장구간의 평균 휨강도는 42.9 kgf/cm² 이었다. 전체적으로 살펴보면 일부 구간 기존포장부의 휨강도는 요구되는 설계기준 휨강도 45 kgf/cm² 보다 약 2.1 kgf/cm² 정도 작은 것으로 평가되었다.

표 5. 코어시편의 재료물성 측정결과

코어 번호	탄성계수 ($\times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	쪼갠인장강도 (kgf/cm^2)
1	2.52	22.8
2	2.49	28.0
3	2.92	30.4
4	2.09	37.2
5	2.77	28.1
6	2.52	32.2
	n/a	37.5
	n/a	33.6
평균값	2.55	31.2

5.1.2 신설 확장구간 포장용 콘크리트의 재료물성 값

현장 품질관리방침에 의거 확장포장 당일 휨강도용 공시체를 만들었으며 수조에서 28일 양생 후 콘크리트의 휨강도시험을 하였다. 휨강도 시험결과는 현장 품질관리실 자료로서 59.0, 61.1, 60.4, 59.9 kgf/cm^2 로 매우 크게 보고되었다. 평균 휨강도는 60.1 kgf/cm^2 이었다. 마찬가지로 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구의 일환으로 제시된 휨강도와 압축강도의 상관관계(양성철 등, 2007, $\text{휨강도}=2.504 \times (\text{압축강도})^{0.5}$, $R^2=0.855$)를 통해 추정되는 신설 확장 포장구간의 평균 압축강도는 576 kgf/cm^2 이었다. 이를 다시 탄성계수와 압축강도의 상관관계(양성철 등, 2007, $\text{탄성계수}=15,707 \times (\text{압축강도})^{0.5}$, $R^2=0.949$)를 통해 추정되는 탄성계수는 $3.77 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 로서 기존포장과는 재료물성의 차이가 많은 것으로 파악되었다.

5.2 확장부 강성평가를 위한 재하시험

시험대상인 확장부는 기존 콘크리트 포장의 길어깨에 해당하는 부위가 3차에 걸쳐 덧씌우기 되어 있는 상태이다. 따라서 접속부의 기존구간과 신설포장구간에 대한, 동일한 상태에서의 지반강성 또는 다짐도를 비교, 평가하기 위해 접속부 기존 포장 상층부를 사방 1m 씩 정사각형 모양으로 절단, 제거한 후 평판재하시험 및 공내재하시험을 각각 실시하였다.

시험대상구간 공구내 시험구역을 표 6과 같이 총 5개소로 구분하였다. 선정된 시험대상지는 전체 확장부중 순쌓기부, 쌓기각기 경계부경계부, 뒷채움부 및 깎기부로 구분하여 토공방법 차이 즉, 원지반 또는 순성토 등에 따른 지반강성의 차이가 포장확장부 거동에 미치는 영향을 평가하도록 하였다. 지내력 시험 및 계측기 설치의 자세한 위치는 그림 7에 도식화하였으며 신설 확장포장 3차로와 확장 접속부 위치에서는 평판재하시험과 공내재하시험을 모두 실시하였으나 기존 본선 1차로에서는 공내재하시험만 수행하였다. 절단된 기존 포장부의 하부포장층은 외견상 축축할 정도로 상당히 습윤한 상태를 보였다.

5.3 현장시험 및 결과의 분석

그림 8은 시험대상 구간의 대표 공내재하시험 결과중 일부

표 6. 확장공사 구간내 시험대상 구역의 구분

시험구역 구분 번호	이 정 (서울기집하행)	슬래브 번호	비 고
1 : (1-1, 1-2)	2+850	25	깎기부
2 : (2-1, 2-2)	2+830	28	쌓기각기경계부근접-성토고 2.5 m
3 : (3-1, 3-2)	2+760	39	수로박스 뒷채움부-성토고 5 m
4 : (4-1, 4-2)	2+570	70	순쌓기부-성토고 5 m
5 : (5-1, 5-2)	2+460	89	쌓기각기경계부-성토고 "0" m

N.B) 1, 2, 3, 4, 5번: 신설구간

1-1, 2-1, 3-1, 4-1, 5-1: 기존 구간 포장부 (부산방향 길어깨측)

1-2, 2-2, 3-2, 4-2, 5-2: 기존 구간 포장부 (서울방향 본선 콘크리트 포장부)

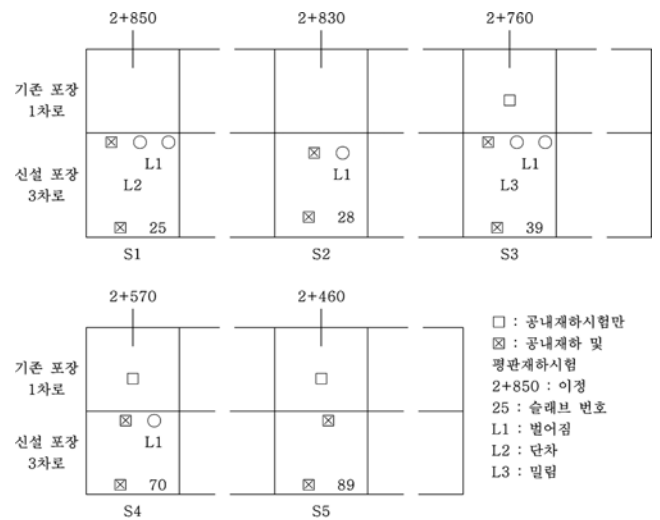


그림 7. 재하시험 및 계측기의 설치위치

를 도시한 것이다. 기존부에서는 공벽의 느슨함으로 인하여 상대적으로 변형이 크게 발생하였으며 탄성계수가 작은 경향을 확인할 수 있었다. 그림 9 및 표 7은 현장시험에서 획득된 시험결과를 시험구역별로 정리한 것이다. 평판재하시험(PBT)의 경우 기존 포장구간의 하부포장층이 신설 포장부 다짐구간에 비해 매우 작은 값을 보였으며 이는 시험시 기존 포장하부층이 습윤상태인 것으로 관찰된 바 표면수의 균열부 침투 및 편각기부의 지하침투수의 침입으로 인한 포장 하부 지반지력 약화현상인 것으로 판단된다. 신설확장부의 경우 깎기부 또는 쌓기부에 따른 수직지력계수(k_{30})의 차이는 없는 것으로 보이나 기존 포장부와 비교하였을 때 약 2배 가까운 큰 값을 보였다. 특히 성토고가 "0"인 5구역 및 5-1구역 구간은 포장하부층을 원지반 위에 직접 포설한 것으로서 평판재하시험결과 값의 차이가 거의 없는 것으로 확인되었다.

공내재하시험(PMT)의 경우 초기탄성계수(E_0)와 재하-재제하부 탄성계수(E_R)를 비교하였다. 초기탄성계수(E_0)의 경우 1구역, 4구역, 5구역 구간에서 신설확장부에 비해, 기존구간이 상대적으로 작은 값을 보였다. 이는 평판재하시험의 결과

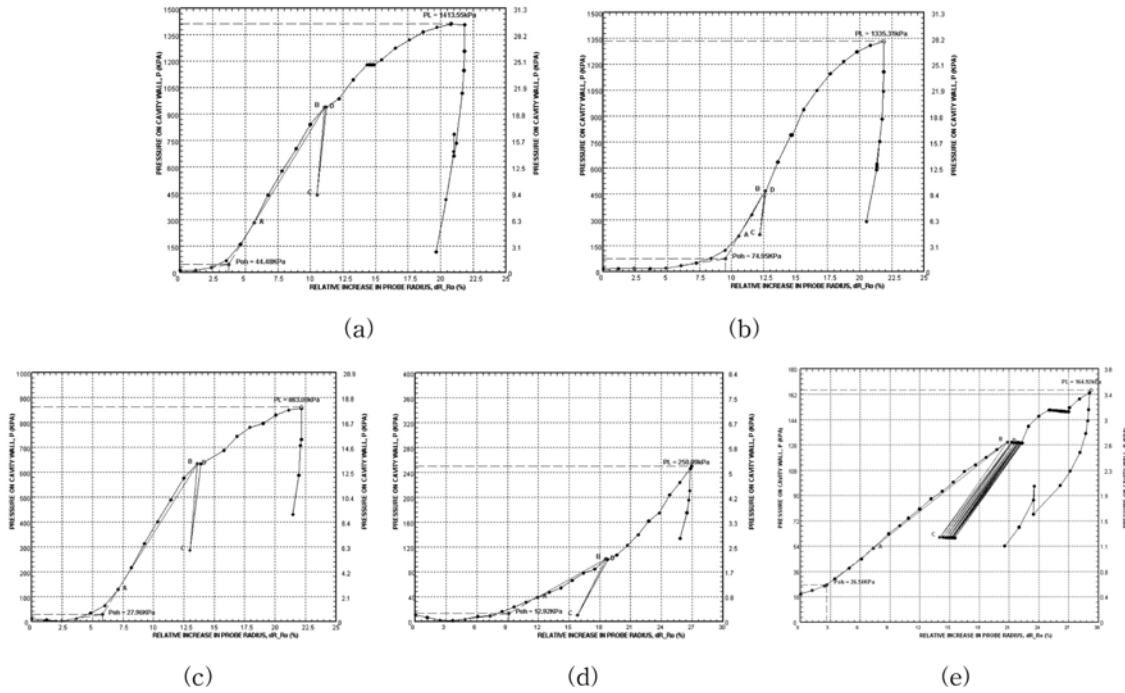


그림 8. 공내재하시험 결과의 예 : (a) 신설확장부 (시험연번 2: 2+830 지점), (b)기존포장부 (시험연번 2-1: 2+830 지점), (c)신설확장부 (시험연번 5: 2+460 지점), (d)기존부 (시험연번 5-1: 2+460 지점), (e)기존부 (시험연번 5-2: 2+460 지점)

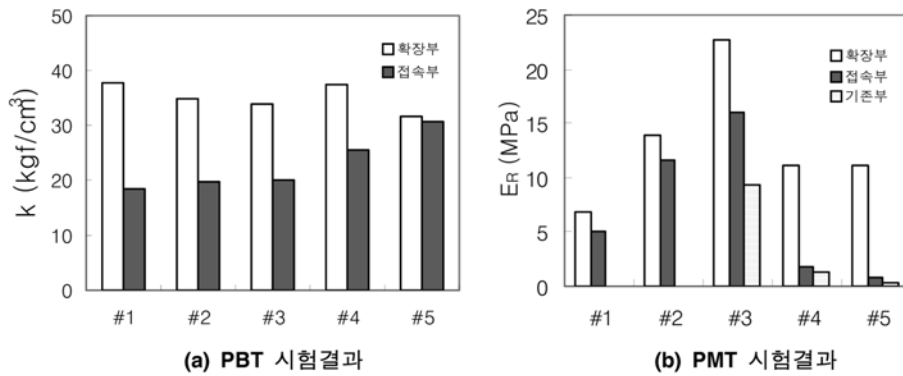


그림 9. 재하시험 결과의 비교(#=구역)

표 7. 평판재하시험(PBT) 및 공내재하시험(PMT) 결과 비교표

시험구역 구분 번호	이 정 (서울기점하행)	PBT		PMT		슬래브 번호	비 고
		k_{30} (kg/cm ³)	E_0 (kPa)	E_R (kPa)			
1 1-1	2+850	37.88 18.48	1464.23 1271.45	6840.31 5012.25	25	각기부	
2 2-1	2+830	35.0 19.68	1644.62 2150.66	13970.49 11597.47	28	쌍기각기경계부 근접 -성토고 2.5 m	
3 3-1 3-2	2+760	33.84 20.0	1938.05 2226.12 2026.76	22717.32 15990.77 9366.36	39	수로박스 뒷채움부 -성토고 5 m	
4 4-1 4-2	2+570	37.32 25.6	1268.45 229.98 301.36	11032.06 1872.02 1388.14	70	순쌍기부 -성토고 5 m	
5 5-1 5-2	2+460	31.72 30.64	1269.56 209.19 134.47	11032.06 801.9 251.86	89	쌍기각기경계부 -성토고 "0" m	

와 일치하는 것이다. 특히 4구역 및 5구역 구간은 기존포장 부가 신설확장부에 비해 매우 작은 초기 탄성계수값을 보였 으며 매우 큰 방사방향 변형을 보였다. 이는 콘크리트 본 포

장구간에서도 확인되었다.

평판재하시험과 공내재하시험 결과를 요약하면 다음과 같 이 정리할 수 있으며 이는 한 현장에 국한된 것이지만 타

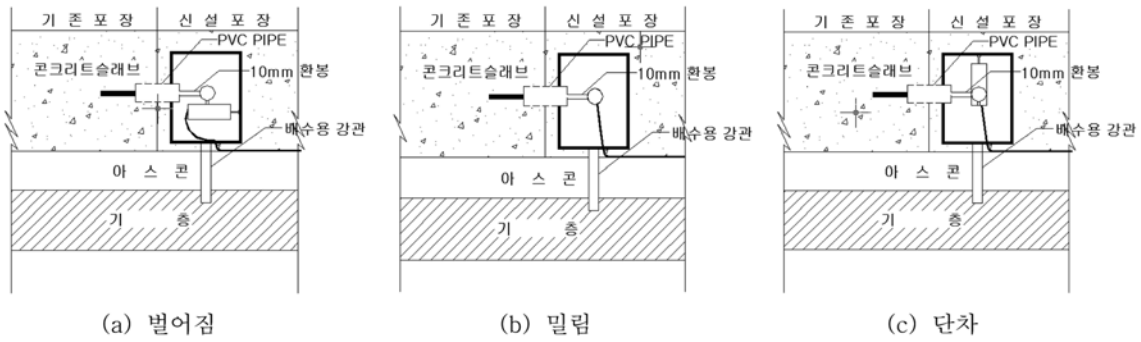


그림 10. 변위계 설치 단면도

유사현장의 확장시에도 고려해 볼 수 있다.

(1) 신설구간의 강성이 기존 접속부 및 본 콘크리트 포장부보다 크게 측정되었으며 그 이유는 장기간 공용에 따른 기존 부포장의 내구성 저하와 침투수의 침윤으로 인한 강성저하로 판명된다. (제하-재제하 탄성계수 E_R 중심으로 해석)

(2) 접속부 보다는 본 콘크리트 포장부의 강성이 더 작게 측정되었다. (제하-재제하 탄성계수 E_R 중심으로 해석)

(3) 종단방향의 비교 : 쌓기부(쌓기작기 경계부 및 뒷채움부)가 깎기부보다 강성이 크게 측정됨. 이는 깎기부에서 흔히 관측되는 지표수의 침투 또는 지하수의 용출에 의한 영향으로 판단되었다.

5.4 확장부 포장슬래브의 거동 평가

확장구간과 기존구간의 지내력 차이 및 접속부의 처리방안의 차이에 의한 포장슬래브의 거동 차이를 분석하기 위하여 특수 고안된 변위계를 설치하였으며 벌어짐, 단차, 밀림을 측정대상으로 하였다.

5.4.1 변위계의 설치

기존 콘크리트와 확장부 콘크리트간의 상대변위(벌어짐, 단차, 밀림)의 측정을 위해 4개 지점에 변위계를 설치하였으며 각 시험구간별 변위측정 방향은 그림 10과 같다. 기존 콘크리트를 베이스로 하여 변위계를 설치하였으며, 기존 콘크리트를 천공한 후 환봉을 삽입하고 에폭시를 주입하여 고정시켰다. 또한 이 환봉을 확장부 콘크리트 내에서 자유롭게 움직일 수 있는 공간을 확보하기 위하여 환봉 주위를 지름 40 mm의 PVC 파이프로 감싸 거푸집 역할을 하도록 하였다. 또한 변위계가 확장부 콘크리트 안에서 자유로이 움직일 수 있는 공간을 만들어 주기위하여 강제 실린더를 매설하였다. 매설한 실린더와 변위계의 설치 단면도는 그림 10과 같다.

5.4.2 포장슬래브의 거동측정 결과

‘03년 12월 12일 포장슬래브의 초기 영점측정을 확인한 후’ 04년 1월 7일, 3월 11일, 7월 29일, 11월 9일, 11월 30일에 현장계측을 하였다. 계측결과는 그림 11과 같다. 단차(F)가 +값으로 커지면 확장구간의 처짐이 발생하는 것이며, 벌어짐(W)은 -값으로 커지는 경우 확장부의 벌어짐이 발생함을 나타낸다. 일반적으로 밀림(S)은 거의 발생되지 않을 것으로 생

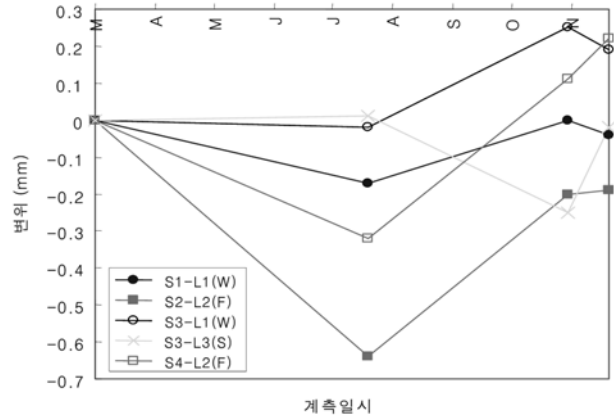


그림 11. 시간에 따른 LVDT 계측 결과의 변화

각되었으나 계측결과 밀림이 있는 것으로 나타났다. 이는 앞의 그림 10의 변위계 설치 단면도에서와 같이 LVDT의 위치가 매설된 강제 실린더의 곡면에 위치해서 콘크리트 경화 과정에서 움직임이 영향을 미칠 수도 있을 것으로 추정된다. 전체적으로 이러한 시험오차를 감안하더라도 확장 접속구간에서 단차와 벌어짐이 발생할 수 있음을 본 실험결과로부터 예상할 수 있다.

6. 결 론

기존 도로의 확포장시 포장하부구조의 강성차이로 인해 발생하는 단차, 벌어짐, 균열 등은 도로의 주행안정성과 승차감 저하의 주요 요인이 된다. 본 사례분석에서는 포장하부구조의 강성차이가 발생할 수 있는 원인을 분석하였으며 공내재하시험과 평판재하시험을 이용하여 확장구간의 기존 도로와 신설부 및 접속부에서 포장하부구조의 강성을 탄성계수 및 수직지반반력계수를 기반으로 조사하였다. 평판재하시험과 공내재하시험 결과를 요약하면 다음과 같이 정리할 수 있으며 이는 한 현장에 국한된 것이지만 타 유사현장의 확장시에도 고려해 볼 수 있다.

- 1) 신설구간의 강성이 기존 접속부 및 본 콘크리트 포장부보다 크게 측정되었으며 그 이유는 장기간 공용에 따른 기존부포장의 내구성 저하와 침투수의 침윤으로 인한 강성저하로 판명되었다.

- 2) 접속부 보다는 본 콘크리트 포장부의 강성이 더 작게 측정되었다.
- 3) 종단방향의 비교 : 쌓기부(쌓기각기 경계부 및 뒷채움부)가 각기부보다 강성이 크게 측정되었다. 이는 각기부에서 흔히 관측되는 지표수의 침투 또는 지하수의 용출에 의한 영향으로 판단되었다.

결론적으로 기존 도로부 특히 각기부 원지반에서의 장기공용에 의한 강성저하가 확인되었으며 주요 원인으로는 침투수의 체외배출 불량에 지적되었다. 따라서 확포장시 기존부와 접속부 및 신설부의 다짐도를 최적화하고 지하침투수의 체외배출 설계기술이 적용되어야 할 것으로 판단되었다. 또한 확장구간과 기존구간의 지내력 차이 및 접속부의 처리방안의 차이에 의해 단차와 벌어짐이 발생하였음을 확인하였으며 이와 같은 현상은 지반하부의 강성차이에 의한 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 2007학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

한국도로공사 (2003) **고속도로건설공사 표준도**, 한국도로공사.
 양성철 (2006) 콘크리트포장 확장접속부의 시공 및 설계상의 문

제집 분석 **한국도로학회논문집**, 한국도로학회, 제8권 4호, pp. 25-36.
 양성철, 박종원 (2007) 포장용 콘크리트의 강도 및 탄성계수 상관관계식 **한국도로학회논문집**, 한국도로학회, 제9권 4호, pp. 205-213.
 임유진, 누엔티엔하이, 장덕순 (2004) 공내재하시험에 의한 포장하부기초 강성도 평가, **한국도로학회논문집**, 한국도로학회, 제6권, 제2호, pp 25-36.
 장명순, 서영찬 (1995) **고속도로 확장에 관한 설계기준 작성 연구 보고서**, 한국도로공사.
 정진훈, 유태석, 정훈 (2004) **콘크리트 포장 확장시 연결부 지지력 평가 및 접속방안 개발 연구보고서**, 한국도로공사.
 황인규, 양성철, 정진훈, 유태석 (2006) 콘크리트포장 확장부 타이바 설치방법의 개발, **한국도로학회논문집**, 한국도로학회, 제8권 1호, pp. 33-43.
 AASHTO (1993) *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, pp. II-82~83.
 Cable, J.K., Gopalakrishnan, K., Ceylan, H., Fanous, F.S. and Cackler, T.(2005) *Design and Construction Procedures for Concrete Overlay and Widening of Existing Pavements*, CTRE Report 04-169, Iowa State University.
 Highway Agency (2004) *Design Manual for Roads and Bridges*, England.

- ◎ 논문접수일 : 09년 11월 17일
- ◎ 심사의뢰일 : 09년 11월 17일
- ◎ 심사완료일 : 09년 11월 23일