

대심도 연약지반 도로확장 공사에서의 설계 개선

Design Improvement of the Road Expansion on a Deep Thick Soft Ground

김 태 형 ¹	Kim, Tae-Hyung	박 태 영 ²	Park, Tae-Young
김 성 렬 ³	Kim, Sung-Ryul	유 상 호 ⁴	You, Sang-Ho
김 국 한 ⁵	Kim, Kook-Han	김 윤 태 ⁶	Kim, Yun-Tae

Abstract

The expansion of a road on soft ground could induce an additional settlement to the existing road because of the consolidation characteristics of the soft soil layer subjected to additional load by an adjacent banking. In such case, the existing road could be faced with various problems during the stages of the construction and maintenance, such as deterioration of not only the surface smoothness yielding the decrease in automobile performance safety but also the structural stability of the embankment. These kinds of problems are expected to occur more frequently especially for the deep ground level with a fairly thick soft soil layer. Therefore, they should be examined and studied adequately during the design stage. As a reference case study, this paper deals with the project named Namhae Expressway of 2nd Branch with the soft soil layer with the thickness upto about 50m. After a lengthy review of the original design, an improved design is proposed.

요 지

연약지반 구간의 도로 확장공사는 연약지반의 특성으로 인해 우선 시행되는 확장 부 성토 시 발생하는 침하로 기존고속도로에 연동침하가 발생된다. 이 경우 지반침하 및 변형에 의한 포장 평탄성 불량, 차량 주행 안전성 저하, 구조물 안정성 감소 등 시공 및 기존도로 유지관리에서 많은 어려움을 유발한다. 특히 대심도 연약지반에서는 이와 같은 문제가 발생할 수 있는 여지가 대단히 높다. 따라서 이러한 문제점이 고려된 설계가 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 연약지반 분포심도 최대 약 50m가 존재하는 남해고속도로 제2지선 확장공사를 대상으로 기존 설계안의 현황을 파악한 후 그 개선안을 제시하였다.

Keywords : Deep thick soft ground, Road expansion, Construction, Maintenance, Existing road, Stability of the embankment

1 정희원, 한국해양대학교 건설공학과 부교수 (Member, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Korea Maritime University, Tel: +82-51-410-4465, Fax: +82-51-410-4460, kth67399@hhu.ac.kr, 교신저자)

2 비회원, 한국도로공사 냉정부산건설사업단 단장 (Chief of Construction Office, Korea Expressway Corporation)

3 정희원, 동아대학교 토목공학과 부교수 (Member, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Dong-A University)

4 정희원, (주)삼영기술 상무 (Member, Director, Samyoung Technology Corporation)

5 정희원, 한국도로공사 냉정부산건설사업단 팀장 (Member, Manager, Korea Expressway Corporation)

6 정희원, 부경대학교 해양공학과 부교수 (Member, Associate Professor, Department of Ocean Engineering, Pukyong National University)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2013년 2월 28일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

현재 남해고속도로 제2지선(냉정~부산 간)은 국민 소득 향상과 레저욕구 증대로 인하여 고속도로 실제 교통수요가 당초설계 교통용량에 근접하고 있다. 이로 인해 교통정체가 심하게 발생되고 있어 고속도로가 갖는 쾌적성 및 신속성이 상실되고 있다. 또한 국가의 경제적 향상과 더불어 사회간접자본 확충의 필요성이 대두되고 있어 기존의 4차로 고속도로를 8차로로 확장 공사가 진행 중에 있다(Korea Expressway Corporation, 2008a; 2008b; 2008c).

지반은 직접 상부가 아닌 인접지점의 재하에 의해서도 지중응력이 발생한다. 포화된 점성토층의 경우 이 때 유발된 과잉간극수압의 소산으로 압밀침하가 일어나 위치별로 부등침하에 의한 단차 및 상부 균열 현상이 일어날 수 있다(Korea Land Corporation, 1992; Cheong et al., 1999; Korean Geotechnical Society, 2005). 이러한 문제를 최소화하기 위해서는 모든 지점에서 성토 하중을 동일하게 가하는 것이 좋다. 하지만 도로 확장의 경우는 교통 전환 및 공사기간 준수 관계로 이 조건을 만족하기 어려운 실정이다.

기존 도로부를 제거하고 연직배수재를 설치한 후 재성토하는 것으로 계획한 원 설계 역시 재성토 후 충분한 방치(압밀)시간을 둘 경우 부등침하는 문제가 되지 않을 수 있다. 하지만 확장공사의 특성으로 인해 확장부와 기존 도로부 하부지반의 과압밀비가 다르고, 또한 재하이력에 차이가 있어 위치별 부등침하 발생에서 자유롭지 않다(Kim and Noh, 1995; Choi et al., 2003). 또한 기존도로의 제체를 제거한 후 연직배수공법을 적용하게 되어 있는데 여기에는 제체 제거토의 사토장 및 운반의 어려움, 제체 제거 후 Plastic Board Drain(P.B.D.) 연직배수공법 적용을 위한 항타 작업 시 매립층 재료로 사용된 자갈, 암버럭 등 조립질 재료의 저항으로 인한 관입의 어려움, 장기간 안정된 하부지반의 연직배수재의 재시공으로 지반교란에 따른 강도저하 등을 내포 하고 있다.

원 설계에서는 고속도로 확장을 위해 기존고속도로 위에 토사를 성토하여 도로 종단을 상향조정하고 도로 폭을 8차로로 확장하고자 하였다. 하지만 일부구간에서는 침하량이 2m이상(최대 5.4m) 과다하게 발생하는 것으로 예측되었다. 왜냐하면 제2지선 공사구간은 최대심도 약 50m의 델타 연약지반에 위치하고 있기 때문이다. 그래서 다른 방안으로 기존고속도로를 제거한 후 그 하

부에 연약지반을 처리 후 다시 재 성토토록 하는 방안이 강구되었다. 하지만 이 또한 공정이 복잡하고 공사기간 또한 과다하게 소요될 것으로 예측되었다. 또한, 30년 이상 사용되어 안정화된 기존 고속도로 하부 연약지반에 연약지반 처리공법 적용 후 추가 성토토록 계획되어 있어 지반교란으로 예기치 못한 주변부 변위가 예상된다. 그 결과 기존 고속도로 주변 농경지 및 공장, 가옥으로 부터 민원 발생이 우려 되는 실정이다.

고속도로 확장은 고속도로의 교통소통 기능을 유지한 상태에서 단계별 교통전환을 하면서 확장이 이루어진다. 연약지반 구간의 확장공사는 연약지반의 특성으로 인해 우선 시행되는 확장 부 성토 시 발생하는 침하로 기존고속도로에 연동침하가 발생된다. 이 경우 지반 침하 및 변형에 의한 포장 평탄성 불량, 차량 주행 안전성 저하, 구조물 안정성 감소 등 시공 및 기존도로 유지관리에서 많은 어려움을 유발한다(Kim et al., 2004; Cheong et al., 2005).

따라서 기술적 측면에서 안정화된 연약지반 확장공사 설계 및 시공 방안의 수립이 필요하다. 이를 통해 확장 공사 중 발생할 수 있는 문제점들을 최소화할 수 있으며, 유지관리를 감안한 건설비용 절감을 유도 할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 남해고속도로 제 2지선 확장공사 설계를 대상으로 설계에 대한 문제점을 도출하고 그 개선안을 제시하고자 한다.

2. 현장의 연약지반 분포

남해고속도로 제2지선 확장공사는 총 4개 공구(A, B, C, D)로 나누어 확장사업을 시행중에 있다. 각 공구별 연약지반 분포 현황을 보면 다음과 같다(Korea Expressway Corporation, 2008d; 2008e; 2008f).

Figure 1의 A공구 구간에 분포하는 연약지반은 총연장 6.40km 중 일부 890m 구간에 약 0.0~15.4m의 두께로 분포하고 있다. B공구는 총연장 5.50km로 조만강을 가로질러 위치하고 있다. 전체적으로 일부 구간을 제외한 모든 구간에 걸쳐 얇게는 2.0m 깊게는 약 40m 정도의 연약점토층이 분포하고 있다. C공구는 총연장 3.56km로 서낙동강과 평강천을 가로질러 위치하고 있다. 전체적으로 얇게는 2.0m 깊게는 50m 정도의 연약점토층이 분포한다. 서낙동강 이후 구간의 경우 상부 약 10m~12m 두께로 세립의 사질층이 분포하며 그 하부로 연약점토층이 분포하고 있다. D공구는 전 구간에 걸쳐 연약

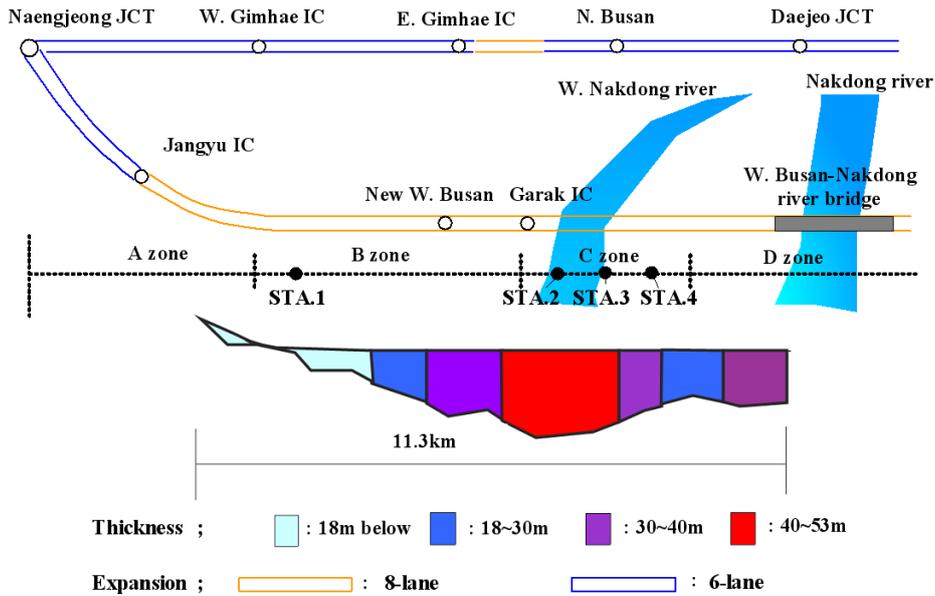


Fig. 1. Route map of expansion construction for 2nd branch of Namhae expressway and distribution status of soft ground on its route

사질토층이 2.9~11.4m의 두께로, 연약 점성토층이 8.0~25.2m의 두께로 분포하고 있다. 시추조사 결과 연약 점성토층은 점토질 실트 내지 실트질 점토로 구성되어 있다.

3. 기존 설계

신설확장 구간의 경우 평면선형 조정이 이루어지는 일부 구간을 제외하고는 대부분 냉정방향으로 기존 고속도로에 접속하여 확장토록 되어 있다(Fig. 2). 허용잔류침하량 10cm 만족을 위해 압밀축진 공법이 적용되었다. 압밀축진을 위한 연직배수공법으로는 PBD가 적용되어 있다. 수평배수를 위해서는 상부 사질토층이 분포

된 C공구 일부 구간과 D공구에는 Fiber Drain이 적용되어 있다. 그 외 구간에는 쇄석매트층이 적용되었다.

기존 도로 구간은 신설확장부(최소종단경사 0.5% 적용)가 접속 확장됨에 따라 종단 개량이 필요하다. 기존 도로 종단개량(상향조정)에 따른 허용잔류침하량 10cm를 만족시키기 위해 기존도로 제체를 제거하고 압밀축진을 위한 연직배수공법(PBD)을 적용토록 되어 있다. 수평배수는 신설 확장부와 동일하게 상부 사질토층이 분포된 구간(C공구 일부구간과 D공구)에는 Fiber Drain이, 그 외 구간에는 쇄석매트층이 적용되어 있다.

기존 고속도로는 1978년 5월 건설 당시 기존 고속도로의 경우 19.6km 중 6%에 해당하는 1.2km 구간만 Prefabricated Vertical Drain(PVD) 공법이 적용되었다

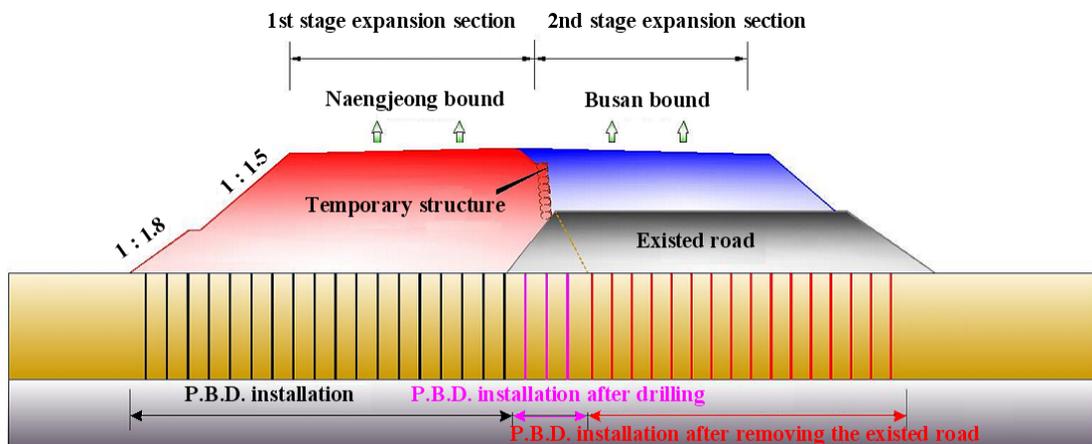


Fig. 2. Overview of original design of road expansion

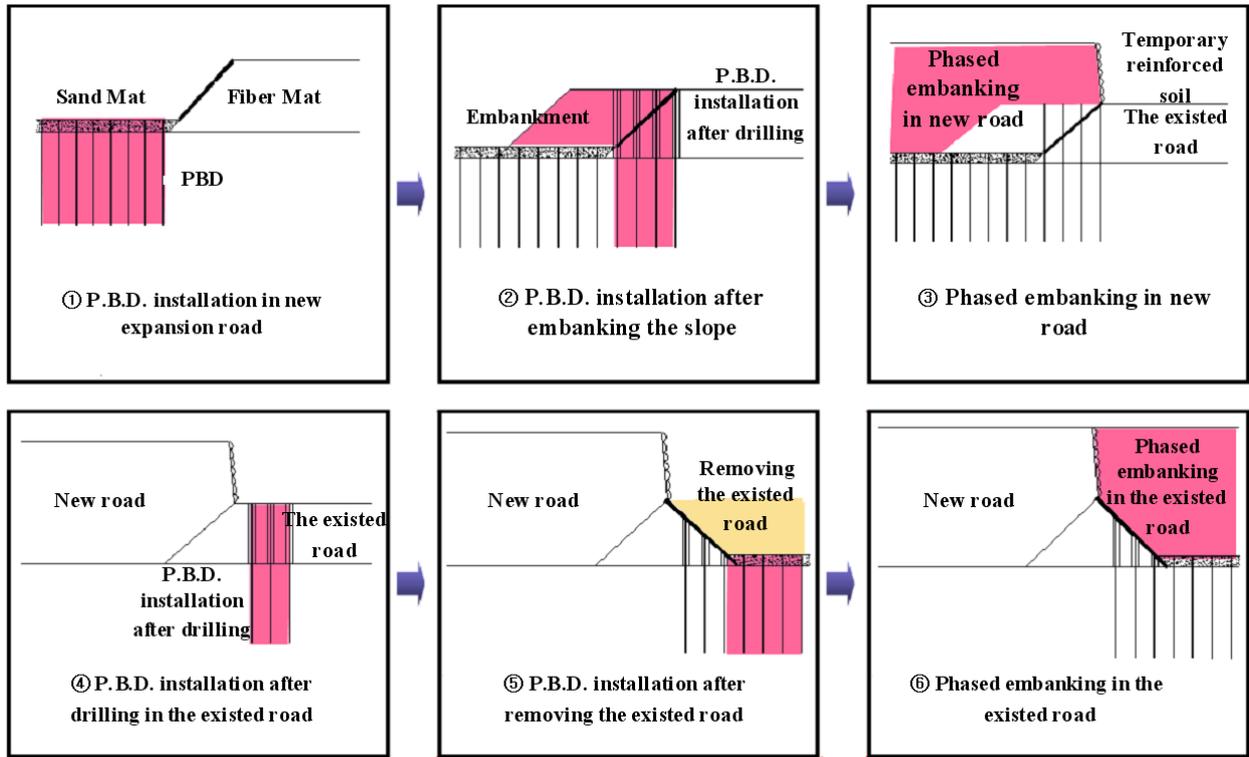


Fig. 3. Flow chart of road expansion

(Korea Expressway Corporation, 1982). 나머지 구간은 모래와 자갈을 이용한 MAT(모래, 자갈, 암버릭) 시공 후 성토체를 구축한 관개로 운영 중 장기적이고 지속적인 압밀침하가 발생되었다. 그래서 기존도로 제체를 제거하고 압밀축진을 위한 연직배수재를 타설하고 선행 하중(preloading)을 재하하는 것이 경제적으로 유리하고 잔류침하에 대한 장기적인 안정성이 확보되는 것으로 판단하여 다음과 같은 기존고속도로 처리공법을 설계 적용하였다(Fig. 3).

4. 기존설계의 검토

4.1 기존도로 제체 제거 후 성토에 따른 시공성 저하 및 사업비 증액

설계에서는 기존 고속도로를 원 지반까지 제거 후 연약지반 처리공법을 적용토록 되어있다. 하지만 기존도로 건설당시 일부 구간만 연약지반처리 공법(페이퍼드레인)을 적용하고 나머지 구간은 연직배수공법 적용 없

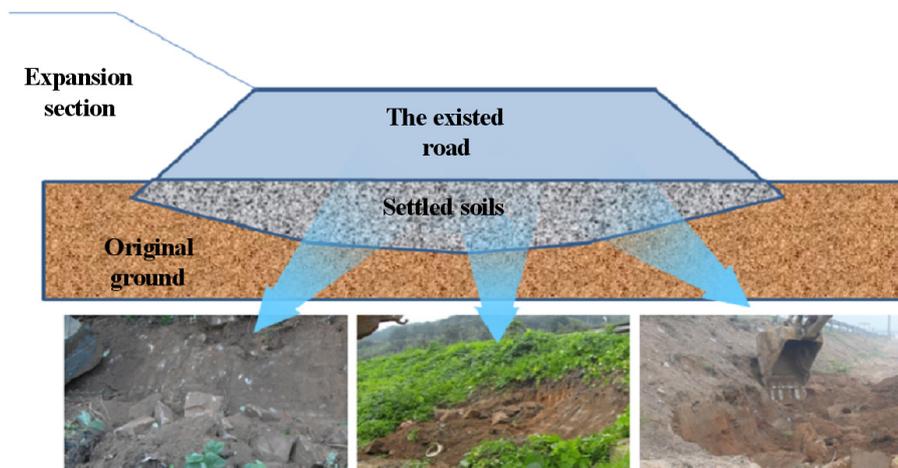


Fig. 4. Results of field survey of the existed road

이 하부에 모래, 자갈, 암버럭 등을 이용해 성토작업이 시행되었다. 이와 같은 자갈, 암버럭은 기존도로 건설당시 및 도로 운용 중 원지반 하부로 침하되어 금번 확장공사 시 연직배수제 시공에 많은 어려움이 유발된다(Fig. 4). 이러한 암버럭 제거 어려움, 기존도로 제체 제거토의 적재장소, 운반로 미비 등으로 시공성이 극히 불량할 것으로 예상된다.

기존도로 제거 시 페아스콘 처리에 따른 사업비 증액이 예상된다. 코어채취를 통해 확인한 덧씌움 포장 두께 확인을 시행한 결과 교대부의 경우 장기간에 걸친 침하부 덧씌우기포장(overlay)으로 아스콘 두께가 1~1.5m에 달하기 때문이다.

4.2 기존도로 PBD 시공 시 문제점

도로 건설당시 원지반 아래 침하된 암버럭 및 조립질 재료의 저항으로 일반적인 PBD 시공이 불가할 것으로 예상된다. 그래서 별도의 천공굴착 시공이 필요하다. 이에 따른 시공지연 및 사업비 증액이 필요하다. 기존도로 제체를 제거 후 PBD 시공 시 지반교란으로 인한 연동침하 등 지반안정화 저해요인이 발생할 수 있다. 기존도로 법면부 천공 PBD 공법은 천공시간에 따른 공기 과다소요, 인접공 시공에 따른 공벽붕괴 및 재천공, 관입공에 대한 별도의 공내충진작업 등 시공성 저하로 공사지연이 예상된다.

4.3 복합공종 다단계 시공에 따른 공기부족

공사 착공 초기는 민원 및 용지 협의매수 지연 등으

로 연약지반 처리작업을 적기에 착수할 수 없는 실정이다. 그런데 “기존도로 제거 후 PBD 시공”과 같은 복합공종의 다단계 작업으로 시행 시 연약지반처리 공기 부족이 예상된다. 참고로 1996년 준공된 남해선의 경우 확장 및 기존도로 두 구간의 연약지반 처리를 위한 공기 24개월을 설계 반영하였으나, 착공 후 확장구간 처리에만 24개월 이상 소요되어 기존도로 구간 연약지반 처리 공기 부족으로 무처리로 변경을 시행한 바 있다(Korea Expressway Corporation, 2006).

4.4 허용잔류침하량 10cm 적용

제2지선 확장공사의 경우 구간별로 연약지반 심도 차이가 크게 있음에도 불구하고 허용잔류침하량 10cm를 일괄 적용하고 있다. 하지만 연약지반 하부의 지반조건에 따라 나타나는 문제점과 현상은 다르게 발생된다. 제시된 기준을 모두 구간에 대해 동일하게 적용 시 비효율적인 노력을 투입하는 결과를 초래할 수 있다. 예를 들어 Terzaghi 일차원압밀이론에 따르면, 연약층 두께 50m, 총 침하량 450cm 가정 시 잔류침하량 10cm 만족을 위해서는 주어진 공기 내 압밀도 98% 이상의 압밀처리가 필요하다(Table 1). 이 경우 과다한 연약지반 처리공사비가 소요되게 된다.

도로설계요령(Korea Expressway Corporation, 2002)에 따르면 허용잔류침하량 10cm 적용은 “포장공사 완료 후 노면요철 10cm이하”를 준용하여 허용잔류침하량을 10cm로 규정하였다. 허용잔류침하량 적용기준에 대해 기존의 타 현장 및 기관과 비교해 본 결과 허용잔류침하량 설계적용 기준이 상이하다는 것을 알 수 있다

Table 1. Required settlement to satisfy the 10cm of allowable residual settlement for different thickness of soft ground

Thickness of soft ground (m)	Total settlement (cm)	Target settlement (cm)	Allowable residual settlement (cm)	Degree of consolidation (%)
10	140	130	10	92
50	450	440	10	98

Table 2. Adopted allowable residual settlements in other sites(Korea expressway corporation, 2008d)

Classification	Road				Drainage culvert
	15	20	30	50~100	
Allowable residual settlement (cm)					30
Institutions/Sites	Korea expressway corporation / 2nd Incheon bridge	Korea expressway corporation / Noksan 1 phase, Asan factory	Gwanyang steel mill / Kobe port	Haneda airport (after operation 50years)	Korea expressway corporation / Noksan 1 phase

(Table 2).

도로설계요령에는 “도로의 경우 포장공사 완료후의 노면 요철 조건으로써 10cm로 적용하되, 사용목적, 중요도, 지반특성, 공사기간 등 시공성 및 경제성 등을 따라 검토 후 적용” 토록 명시되어 있어 지반특성, 시공성 및 경제성 등을 감안 조정 필요하다.

5. 설계 개선 방안

4장에서 언급된 여러 문제점에 대한 해소를 위해서는 먼저 현 설계에 대한 개선방향을 수립한 후 개선방향에 대한 적정성 확인의 절차를 거쳐 개선방안을 확정할 필요가 있다.

5.1 개선 방향 수립

종단경사 0.5% 준수 및 확장공사 중 교통전환을 위한 조건을 만족시키기 위해 다음과 같이 당초 설계가 되어 있다: 연약지반 구간 내 있는 대저방향과 냉정방향 양방향 접합하여 종단을 상향한 후 확폭한다. 주어진 공사 기간인 1,500일 이내 잔류침하 10cm 만족을 위해 기존 도로 제체를 제거한 후 연약지반 처리 후 다시 성토 후 하중재하를 시행한다. 이와 같은 당초 설계로 인해 발생하는 설계에 대한 여러 문제점을 해소하는 개선방향을 수립하는 것이 필요하다(Table 3). 예를 들면, 종단상향 억제 및 중앙분리대 양방향 분리, 기존도로 무처리와 더

불어 필요 시 하중재하에 의한 장기적 침하를 유도한다.

5.2 개선방향에 대한 기존 사례 조사 및 분석

5.2.1 남해고속도로 확장 시 연약지반 무처리구간 침하결과 사례분석

1992~1994년 남해고속도로 확장공사 당시 기존도로부에 대한 연약지반 처리공법 선정을 위한 시험시공 결과를 보면 연약지반처리 공법 적용여부에 따른 침하량 차이는 7%로 차이가 미소하게 발생된 걸 알 수 있다 (Table 4). 따라서 현재 기존도로보다 종단을 상향 조정하는 것과 달리 종단을 하향조정을 통한 총 침하량을 줄인 후 연약지반 처리공법을 무처리 공법으로 변경 적용 할 경우 과도한 잔류침하량 차이가 발생되지 않을 것으로 판단된다.

5.2.2 허용잔류침하량 기준

일본도로공단의 경우 연약지반 심도에 따라 허용잔류침하량 기준을 차별하여 설계에 적용하고 있다(Table 5). 연약지반 심도가 30m 이상인 경우 허용잔류침하량 30cm를 적용한다.

Figure 5는 연약층 두께에 따른 최종침하량과 침하기간을 나타낸 것이다. 해석은 Terzaghi의 일차원 압밀이론을 사용, 연약지반 해석 전용프로그램인 K-Embank를 사용하였다. K-Embank는 C_e 법, Δe 법, M_v 법을 이용한 연약점성토 압밀침하계산, de Beer식, B.K,Hough 도표

Table 3. Improvements in designing

Original design	Improved design
Removing the embanking of the existed Road + P.B.D. + Preloading ⇒ Satisfy the residual settlement during construction period	Non-treatment of the existed road + Preloading ⇒ Induce long-term settlement
Upward adjustment of Longitudinal height and Connecting both ways	Controlling the upward adjustment of Longitudinal height and dividing a median strip bilaterally

Table 4. Results of the pilot test in the Namhae expressway completed in 1996 (Korea Expressway Corporation, 2006)

Classification	Ground improvement	Results of pilot test(cm)	
		Expected settlement	Measured settlement (Settlement Rate/Design)
1	Removal of existed road + Sand drain(2× 2)	184	64 (35%)
2	None		52 (28%)

Table 5. Japanese highway public corporation standard for allowable residual settlement (Korea Expressway Corporation, 2008e)

Thickness of soft ground	$D \leq 10m$	$D \leq 30m$	$D > 30m$
Allowable residual settlement(cm)	10.0	20.0	30.0

를 이용한 사질토 즉시침하계산, 무처리 및 처리시 압밀 시간/압밀도 계산, Smear Effect, Well Resistance를 고려한 압밀도/시간 계산 등의 기능을 갖추고 있다. 해석 결과는 연약층이 두꺼울수록 침하량 증가와 더불어 침하 기간이 증가되는 것을 알 수 있다. 하지만 침하속도는 점점 감소한다. 따라서 연약층 두께와 침하속도, 그리고 유지관리 시 시행하는 포장보수 주기를 감안하여 허용 잔류침하량을 차등 적용하더라도 문제가 없을 것으로 판단된다(Table 6).

5.2.3 성토고에 따른 침하량 검토

K-Embank를 이용 설계 시 적용된 지반정수 등 입력 변수를 그대로 적용하여 기존도로 여성토량만을 조정하여 여성토량에 따른 침하발생 양상을 검토하였다. 검

토결과 여성토량을 1m 상향 조정할 경우 약 10%의 잔류침하량을 감소시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 하지만 설계고 +2.0m이상 여성토 적용 시 단계 성토에 따른 방치기간이 부족하여 충분한 강도증진이 이루어지지 않아 활동에 대한 안정성을 확보할 수 없다. 설계고 + 2.0m 이상은 별도의 활동방지공법 대책마련이 필요한 것으로 판단된다(Table 7).

여성토량 증가에 따른 총 침하량과 잔류침하량의 변화 추이가 확인되고 여러 문제점이 발견됨에 따라 도로 종단을 하향 조정하는 방안이 고려되었다. 이 경우여성토량 감소와 동일한 총 침하량 감소가 예상되며 이에 따라 같은 공기 내 잔류 침하량 감소가 예상된다(Table 8). 자연적으로 토공량 감소에 따른 공사비 절감 효과도 기대 할 수 있을 것이다.

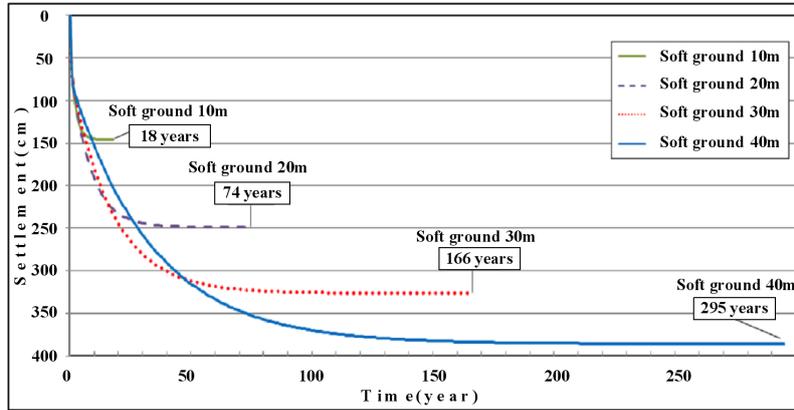


Fig. 5. Comparison of settlement trends for different thicknesses of soft ground

Table 6. Analysis of settlement behavior to the thickness of soft ground

(a) Input data

Thickness of soft ground (m)	Planned banking height (m)	Final banking height (m)	Effective stress (P_o) (ton/m ²)	Increment stress (ΔP) (ton/m ²)	Time factor		Coefficient of consolidation C_v (cm ² /sec)	Drain condition
					U=100%	Public Use		
10.0	5.0	7.80	8.00	14.82	3.58	0.394	0.0016	Both Sides
20.0	5.0	8.70	11.50	16.53	3.58	0.102	0.0016	Both Sides
30.0	5.0	9.30	15.00	17.67	3.58	0.047	0.0017	Both Sides
40.0	5.0	9.70	18.50	18.43	3.58	0.024	0.0015	Both Sides

(b) Output data

Thickness of soft ground (m)	Total settlement (cm)	Settlement in public use (cm)	Residual settlement (cm)	Final settlement time (year)	Settlement time after public use (year)	Settlement velocity (cm/year)	Residual settlement velocity (cm/year)
10.0	146.2	101.4	44.8	18	16	0.26	1.094
20.0	248.5	91.9	156.6	74	72	0.11	0.874
30.0	325.7	90.6	235.1	166	164	0.07	0.574
40.0	385.6	91.0	294.6	295	293	0.04	0.403

Table 7. Variation of settlement for different volume of extra embankment

Typical section	Total settlement (cm)	Expected construction period (month)	Residual settlement (cm)						
			Non-treatment	P.B.D.+ Designed extra embankment	Design	Extra embankment			
						+1m	+2m	+3m	+4m
STA. 1	62.2	18	31.6	3.6	31.6	29.1	26.9	24.8	23.0
STA. 2	196.13	22	90.9	9.3	90.9	77.1	64.3	52.2	40.9
STA. 3	305.72	22	233.5	7.0	233.5	228.7	224.2	219.9	215.9
STA. 4	125.05	22	22.9	1.8	22.9	13.5	4.7	-	-

Table 8. Change of residual settlement due to adjustment of longitudinal height

Section	Total settlement in design	Residual settlement in non-treatment	Settlement in case of adjustment of longitudinal height(cm)		
			Adjustment of longitudinal height	Total settlement (expected)	Residual settlement (expected)
			Design		
STA. 1	62	31.58cm	Design	62	32
			-1m	56	27
			-2m	50	23
			-3m	43	18

· Settlement(Expected) : Total settlement in design * (100 - Rate of increase(10%/m))
 · Residual settlement(Expected) = Total settlement(Expected) - Change of settlement(2.151x + 30.826)

5.2.4 유지 보수 현황 분석

Table 9는 1996년 남해고속도로 확장준공 후 12년간의 포장보수현황을 분석한 결과이다. 공사 구간 중 방향별 연약지반 처리공법이 달리 적용된 서김해~동김해 구간에 대하여 연약지반 처리공법 적용 유무에 따른 경향을 보여준다.

남해고속도로 확장 준공(96년) 이후 현재까지 문제점 발생(잔류침하 또는 부등침하)으로 인한 전반적인 포장 보수 등 처리실적 없다. 교량 접속부만 도로 평탄성 확보를 위해 절삭 및 덧씌우기 포장이 이루어졌다. 포장보수 실적은 연약지반 처리공법 적용 또는 무처리 여부에

큰 차이 없는 것으로 판단된다. 또한 교통량 대비 포장 보수 시행 실적 비교 시 연약지반 처리공법 미적용 구간이 적용구간 보다 적은 것으로 나타난 것을 볼 때 시공 당시 포장의 품질 상태에 기인한 포장보수가 이루어진 것으로 판단된다.

대부분의 연약지반은 잔류침하량이 장기간에 걸쳐 발생하고, 연약층 두께에 따라 침하 형태가 다르게 분포하므로, 연약층 두께에 따라 허용잔류침하량을 차등 적용함이 타당 할 것으로 판단된다. 현행 연약지반 유지관리 시 구조물 접속부는 4cm 침하시 1회 덧씌우기를 실시토록 규정되어 있으며(Ministry of Land, Transport

Table 9. Current status for pavement rehabilitation of zone "W. Gimhae"~"E. Gimhae" on namhae expressway (Korea Expressway Corporation, 2008g)

Classification	W. Gimhae~E. Gimhae	
	Naengjeong bound (Existed road)	Daejeo bound (New expansion road)
Soft ground improvement	Non-Application	Application (Sand drain)
Traffic Volume ('08) car/day	36,954	33,271
Length	6km	6km
Pavement Rehabilitation Area	Rehabilitation area (compared with total area)	60,480m ² (140%)
	per km (4-lane)	20,160m ² /km
	Compared with traffic volume	1.63m ² /car/day
Rehabilitation Period	within 3 years	26%
	3~5 years	14%
	over 5 years	60%

and Maritime Affairs, 1991), 공용 후 침하속도가 1cm/년일 경우 4년에 1회 덧씌워기 실시로 유지관리가 가능하다. 실제 유지관리부서의 덧씌워기 시행 주기 또한 4~5년 1회 시행중에 있다. 교량부가 아닌 일반 토공부의 경우도 연약지반 및 일반구간 모두 3~5년에 한 번씩 평균 5cm정도 덧씌워기에 의한 포장보수를 실시하고 있다. 그러므로 변경된 기준 적용 시 공용 후 침하속도가 1cm/년 이하로 예상될 경우 유지관리가 가능할 것으로 판단된다.

6. 개선방안 및 타당성 검토

6.1 개선방안

6.1.1 기존도로 무처리 및 종단 하향조정으로 침하량 최소화

기존도로 무처리와 침하량 발생이 최소화 될 수 있도록 Ministry of Construction and Transportation(2003) “도로의 구조 시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침”에 의거 최소 종단경사 기준을 변경(0.5%이상 → 0.3%이상)하여 성토고 하향 조정을 통한 상재하중을 감소토록 한다. 또한 본선 횡단 교량 형식 변경(하부통과 → 상부통과)및 교량의 통과높이 형하 여유고 조정을 통하여 가

능한 기존고속도로 종단고와 유사토록 개선방안을 수립하였다(Fig. 6).

6.1.2 허용잔류침하량 설계기준 변경

당초 지반조건(연약지반 심도)과 무관하게 일률적으로 10cm로 적용된 허용잔류침하량 설계기준을 Table 10과 같이 연약지반 심도에 따라 세분화 하여 설계 기준을 변경하였다.

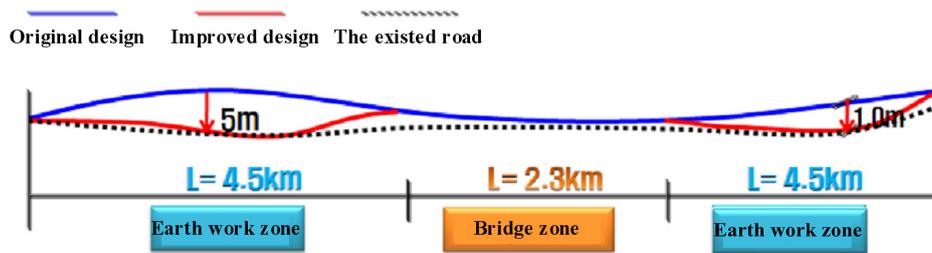
6.1.3 양방향 접속부의 단차발생, 종단균열 예방을 위한 선형분리

종단하향조정에 따른 여유부지 및 확장구간 선형변경에 따른 당초 설계된 폐도구간을 활용하여 당초 중앙분리대 구간에 3~6m의 녹지대를 설치, 방향별로 노선분리를 하여 방향별 재하이력차이에 의한 부등침하 피해 최소화를 유도하였고, 기존도로는 성토에 의한 종단조정 없이 덧씌워기 포장을 통한 포장보수 및 종단조정을 시행 하부 무처리가 가능토록 개선방안을 수립하였다.

6.2 개선방안 타당성 검토

6.2.1 시공성 측면

기존도로 무처리를 적용하여 기존 설계 방안에서 작



How to adjust	Descriptions	Applicable length	Remark
Change the way to cross a bridge	Underground rigid frame bridge ⇒ Pedestrian bridge	1.0km	- 5m
Adjustment of minimum Longitudinal slope	0.5% ⇒ 0.3%	4.5km	- 1m
Adjustment of passing extra height of bridge	Secure the minimum overhead clearance	3.5km	- 0.8m

Fig. 6. A plan to adjust longitudinal height

Table 10. Design criterion of changed allowable residual settlement

Thickness of soft ground	Allowable residual settlement	Degree of consolidation
10m below	10cm	90% above
30m below	20cm	
30m above	30cm	

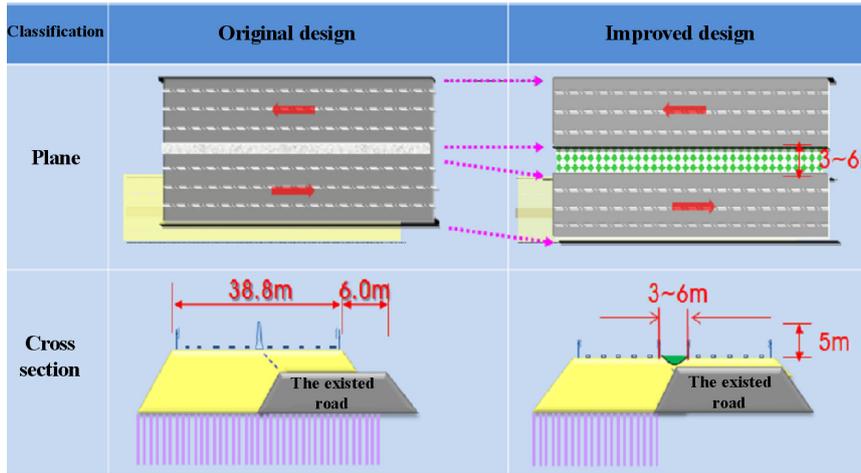


Fig. 7. A plan of road separation

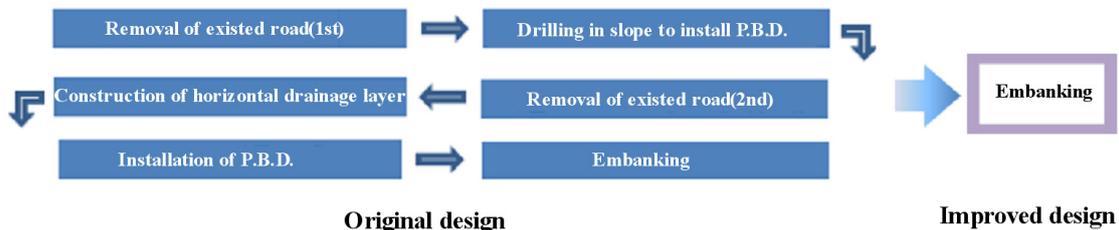


Fig. 8. Simplification of construction phases

업단계를 축소(6단계 ⇒ 1단계)하여 최소 10개월 이상의 공기단축이 가능하다(Fig. 8). 이로 인해 공사 착공 초기 용지매수 지연, 민원 등에 의한 손실 공기 만회 가능해진다.

또한 기존고속도로 제체의 제거토 및 폐아스콘 등의 처리가 불필요하여 선후공정 제약이 없어 시공성이 개선될 것으로 판단된다. 기존도로 법면부 천공PBD 시공에 따른 장비 조합 애로 및 작업효율 저하 등 시공성 저하 문제가 해소될 수 있다. 허용잔류침하량 기준 변경 적용으로 기존고속도로의 경우 하천홍수위 상향 조정에 따른 종단조정구간을 여성토 공법으로 처리가 가능하다. 신설 확장부의 경우 방치기간 여유 공사기간 확보가 가능하다.

6.2.2 경제성 측면

기존도로 제거 및 연약지반 처리공법 미 시행으로 변경되는 공사량은 순성토 50만 m³ 감소와 연직배수 길이 144만m가 감소된다. 기존도로 하부 PBD 시공 시 침하된 자갈, 암버릭 등 조립질 재료의 저항으로 인한 처리 비용(천공 또는 제거) 및 기존도로 제체 제거토사 및 폐아스콘 처리 비용 등 사업비의 추가반영이 필요하나 개

선방안 적용 시 추가 사업비 증액이 불필요하다

6.2.3 안정성 측면

기존도로 하부 PBD 시공 시 지반교란으로 인한 인접도로 및 철도, 농경지, 시설물 등의 예상되는 연동침하 문제해소로 시공안정성이 증대될 것으로 판단된다.

7. 결론

본 연구에서는 대심도 연약지반에서 기존고속도로를 확장하는 공사를 수행하는데 있어 적합한 설계 및 시공방안을 수립하기 위해 진행되었다. 이를 위해 남해고속도로 제2지선 확장공사 구간을 연구 대상으로 활용하였다.

원 설계에서는 기존도로 제거 후 성토에 따른 시공성 저하 및 사업비 증액, PBD 시공 문제, 복합공종 다단계 시공에 따른 공기부족, 연약층 두께를 고려하지 않은 일관된 허용잔류침하량 적용 등의 개선이 필요한 요소들이 확인되었다.

이와 같은 현황에 대해 다음과 같은 개선방향이 제안되었다. 기존도로 무처리 및 종단 하향조정으로 상재하중 감소를 통한 침하량 최소화, 당초 연약지반 심도와

무관하게 일률적으로 10cm로 적용된 허용잔류침하량 설계기준을 연약지반 심도에 따라 세분화하여 공기단축 및 공사비 절감, 양방향 접속부의 단차발생, 종단균열 예방을 위한 기존도로와 신설도로의 선형분리 등이다.

설계 개선에 따른 시공성, 경제성, 안정성, 유지관리 측면에서 다음과 같은 성과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 기존도로 제거 후 연직배수공법을 적용하는 기존 설계안을 무처리 공법으로 대체하여 작업단계 축소를 통한 공기단축이 가능하다. 기존고속도로 제체의 제거 토 및 폐아스콘 등의 처리가 불필요하여 선후공정 제약이 없어 시공성과 경제성이 개선될 것으로 판단된다. 기존도로 법면부 천공 PBD 시공에 따른 장비 조합 애로 및 작업효율 저하 등 시공성 저하 문제가 해소될 수 있다. PBD공법 미시행으로 공사물량 축소가 가능하다. 기존도로 하부 PBD 시공 시 지반교란으로 인한 인접도로 및 철도, 농경지, 시설물 등의 예상되는 연동침하 문제 해소를 시공안정성이 증대될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 냉정-부산건설사업단의 지원으로 이루어진 결과임.

참 고 문 헌

1. Cheong, H. I., Lee, Y. S., Cheong, G. S., Jin, H. S., Cheong, M. G., Woo, J. Y., Cho, S. D., Kim, Y. J., Ahn, T. B., Kim, I. D., Koh, G. S. and Park, Y. M. (1999), "A study of the consolidation characteristics of soft ground"
2. Cheong, J. H., Cho, S. M., Kim, H. J., Cheong, G. J., Park, J. G. and Kim, D. S. (2005), "A study of the settlement evaluation and maintenance of long-term settlement for the highway on the soft grounds", *Expressway & Transportation Research Institute*.
3. Choi, Y. C., Cheon, S. S., Park, Y. S. and Yang, H. S. (2003),

- "A study of compaction density of surcharge on soft ground", *Expressway & Transportation Research Institute*, pp.200.
4. Kim, H. J., Cho, S. M., Cheong, J. H., Cheong, G. J., Soe, J. W. and Lee, J. Y. (2004), "Countermeasures for maintenance of highway on soft ground(II)", *Expressway & Transportation Research Institute*, pp.46
5. Kim, S. H. and Noh, H. S. (1995), "A study on the settlement estimation of soft ground", *Expressway & Transportation Research Institute*, pp.300.
6. Korea Expressway Corporation (1982), "Documents for busan~masan expressway construction"
7. Korea Expressway Corporation (2002), "Road design manual"
8. Korea Expressway Corporation (2006), "Report of namhae expressway expansion project".
9. Korea Expressway Corporation (2008a), "General report for the expansion project between naengjeong and busan of highway No. 104 in the namhae expressway: section No.3-1".
10. Korea Expressway Corporation (2008b), "General report for the expansion project between naengjeong and busan of highway No. 104 in namhae expressway: Section No.3-2".
11. Korea Expressway Corporation (2008c), "The expansion project between naengjeong and busan of highway No.104 in namhae expressway: section No.4".
12. Korea Expressway Corporation (2008d), "Ground survey report for the expansion project between naengjeong and busan of highway No.104 in namhae expressway: section No.3-1".
13. Korea Expressway Corporation (2008e), "Ground survey report for the expansion project between naengjeong and busan of highway No.104 in namhae expressway: section No.3-2".
14. Korea Expressway Corporation (2008f), "Ground survey report for the expansion project between naengjeong and busan of highway No.104 in namhae expressway: section No.4".
15. Korea Expressway Corporation (2008g), "Completion documents for pavement rehabilitation construction in gyeongnam branch (1996~2008)".
16. Korea Land Corporation (1992), "Study on settlement measurement in soft ground improvement (I)".
17. Korean Geotechnical Society (2005), "Soft ground".
18. Ministry of Construction and Transportation (2003), "Manual and guideline for standards of road's structure and facilities".
19. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (1991), "Handbook for road pavement maintenance".

(접수일자 2012. 5. 16, 심사완료일 2012. 7. 19)