

효율적인 고속도로 포장유지관리를 위한 유지관리프로세스 개선방안 기초연구

박종범¹, 이용준², 이민재^{*}

¹한국도로공사 논산지사, ²충남대학교 토목공학과

Basic Study of the Improvement of Maintenance Process for Efficient Highway Pavement Management

Jong-Beom Park¹, Yong-Jun Lee², Min-Jae Lee^{*}

¹Nonsan Branch, Korea Expressway Corporation

²Department of Civil Engineering, Chungnam University

요약 고속도로는 국가발전의 원동력인 사회기반시설물 중의 하나로 사회발전에 중요한 역할을 담당하고 있으며 고속도로 연장도 계속적으로 증가되고 있으며, 수송의 고속성 뿐만 아니라 안전성, 저공해성, 쾌적성 등 한층 높은 수준의 서비스가 요구되고 있다. 그러나 한정된 고속도로 유지보수 예산으로 보수가 지연되어 포장상태는 계속적으로 악화되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존 문헌 및 포장유지보수프로세스 문제점 고찰을 통하여 최적의 고속도로 포장유지보수 관리 체계를 확립하고 개선된 고속도로 포장유지보수 업무 프로세스를 제시하여, 한정된 예산 내에서 최소 비용으로 최대 서비스 제공이 가능한 장수명 포장관리 체계의 확립과 포장의 내구수명을 연장 할 수 있는 현실적으로 실무에 적용이 가능한 효율적인 고속도로 포장유지관리가 가능토록 하고자 한다. 본 연구에서 제시한 개선된 유지보수프로세스를 검증한 결과, 기존 방법 보다 공사일수 감소, 공사비 및 유지관리비 절감의 효과가 있었다.

Abstract The expressway is a key area of road networks for national industry, economics and social development. In addition, the number of lines are increasing continuously. Recently, road management policy have shown a paradigm shift to safe road, low-carbon and green etc. Nevertheless, the road condition has deteriorated dramatically by fatigue cracking, thermal cracking and weather impact. On the other hand, the budgets for highway maintenance have shrunk dramatically. In this study, an effective pavement management and maintenance process was developed to extend the pavement serviceability and pavement life to overcome the rack of budgets.

Key Words : Highway, Maintenance Process, Pavement Life, Pavement Management

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

고속도로 연장은 1968년 처음으로 경인고속도로가 개통된 이후 계속적으로 증가되어 왔으며, 1970년대 이후 국내 경제성장의 결과로 생활의 질이 높아지고, 기술의 발달로 인한 교통부문 수송의 고속성 뿐만 아니라 안전

성, 저공해성, 쾌적성 등 한층 높은 수준의 서비스가 요구되고 있으나 고속도로 유지관리 전체 민원 대비 포장민원건수는 계속적으로 증가되는 추세이다.

또한 고속도로 관리연장은 2002년 2,244km에서 2012년 4,043km로 증가되었으며, 고속도로 관리연장의 증가와 더불어 노후구간의 연장도 2002~2012년 10년간 221.2%가 증가되었고, 현재 신설 노선을 감안하면 추가

본 연구는 국토교통부 건설교통기술 지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(13RDRP-B066173)에 의해 수행됨.

*Corresponding Author : Min-Jae Lee(Chungnam National Univ.)

Tel: +82-42-821-5677 email: lmjcm@cnu.ac.kr

Received October 10, 2014

Revised November 3, 2014

Accepted November 6, 2014

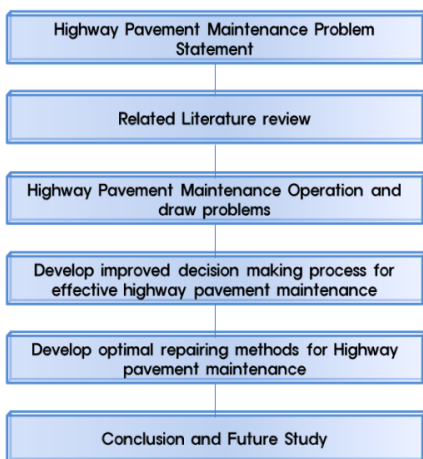
로 증가될 전망이다.

그러나 한정된 국가채원으로 인하여 고속도로, 국도 및 지방도 등 기존 도로의 유지보수를 위한 예산의 배정이 제한되고 있는 것이 사실이다. 국내의 기상 특성상 기온차에 의한 반복적인 동결융해와 도로포장에 영향을 주는 교통하중의 특성 등 복합적 열화로 인한 포장파손이 계속적으로 심화되고 있으나, 예산의 부족에 의한 적기 보수의 지연으로 포장상태 불량구간이 계속적으로 증가되어 고속도로 사용자의 불편은 계속적으로 가중되고 있다.

이에 본 연구는 한정된 예산내에서 최적의 포장유지보수 공법을 선택하여 효율적인 유지관리를 할 수 있는 체계를 확립하고, 내구수명을 연장할 수 있는 개선된 고속도로 포장유지보수 업무 프로세스를 개발하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구는 먼저 국도, 지방도 및 고속도로에서 도로 포장유지관리를 위해 사용·적용되고 있는 포장유지관리 프로세스 및 보수방안에 대한 기존 연구문헌 및 실무자료와 실제 포장유지보수에 대한 이력데이터 등을 수집하고, 포장유지보수방법 및 프로세스에 대하여 분석하며, 이를 바탕으로 최적의 고속도로 포장유지보수 관리체계를 확립하고 개선된 고속도로 포장유지보수 업무 프로세스를 도출하고자 한다.



[Fig. 1] Research Methodology and Process

2. 기존연구 및 문헌조사

2.1 기존 문헌 고찰

포장의 효율적인 유지관리를 위해서는 필요한 예산의 추정과 유지보수 시점 및 공법 결정을 위한 체계적인 의사결정시스템이 필요하다.

국내의 경우, HDM을 활용한 국도 포장 유지보수 공법에 대한 경제성 평가[1], LCC를 고려한 내유동포장의 공용성 및 경제성 분석에 관한 연구[2], 고속도로 포장유지관리체계 논리 개발[3] 등이 있다.

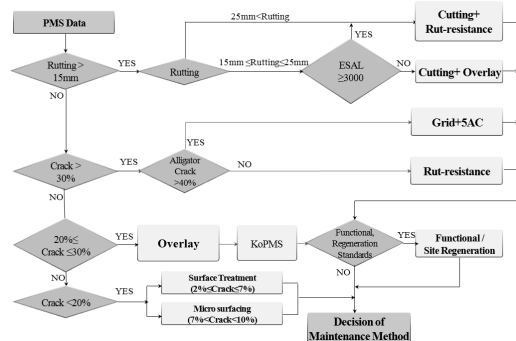
국외의 최근 연구 동향을 살펴보면, 현장에서 측정된 종단 평탄성(IRI)을 이용하여 PSI치를 추정하는 연구[4]와 시설물의 초기건설비용 예로부터 유지, 폐기비용까지 다양한 요소들에 대한 분석에 관한 연구[5] 등이 있다.

그러나 기존 연구들은 도로포장의 공용성 추정을 통한 유지보수 대상구간 선정이 가능하지만, 보수공법 결정 및 우선순위 선정에는 많은 어려움이 있는 것으로 판단된다.

2.2 국내외 포장관리시스템

사회기반시설의 유지관리를 위한 운영체계는 선진국을 중심으로 이미 개발되어 운영 중에 있는 사례가 많이 있다.

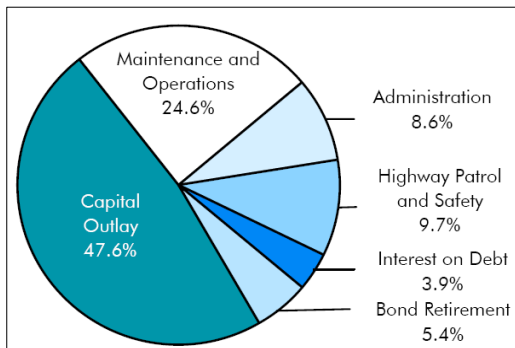
국내의 경우, 일반국도 도로포장 유지 예산의 효율적 활용과 포장의 적절한 상태 유지를 위하여 1986년부터 포장관리시스템을 구축하였으며, 현재 한국건설기술연구원에서는 2009년 개발된 일반국도 도로포장관리시스템에서 결정된 아스팔트포장 구간의 보수공법결정체계 흐름도에 따라 보수 여부와 우선 보수구간을 선정하고 있다[6].



[Fig. 2] Maintenance Method Selection Process[7]

국외의 경우에는 미국, 일본, 유럽을 중심으로 공공시설물 관련 유지관리 시스템을 구축하여 현재 운용 중에 있으며 각 국가별 지역별 특성에 맞게 응용하고 있다. 각 국가별로 주요 특징을 살펴보면 미국은 국가차원에서의 중앙 집중형태를 관리하는 Global System의 체계를 구축하였으며, 일본은 유지관리 CALS/EC체계를 구축하고, 유럽은 인터넷 기반하의 유지관리시스템을 구축하고 있는 실정이며, 특히 미국의 경우 네트워크 개념(시설물별 유지관리 정책수립을 위한 포장관리)과 프로젝트 개념(표준체계 정립 및 기술지원)으로 구분한 국가 시설물 유지관리 정보체계를 구축하고 있다.

유럽 선진국의 경우 도로의 유지보수 관련 시장(maintenance market of roads)규모는 총 도로관련 예산의 약 40%를 차지하고 있으며[8], Fig. 3과 같이 미국의 경우, 도로관련 예산 가운데 47.6%를 신규 건설로 24.6%를 유지보수를 위해 사용하고 있으며[8], 이에 비해 우리나라의 경우 OECD 국가 가운데 가장 낮은 수준인 총 도로관련 예산의 10.9% 수준에 그치고 있는 실정이다[9].



[Fig. 3] Maintenance budget of the United States[8]

3. 고속도로 유지보수 프로세스의 문제점 분석

3.1 사업대상 우선 순위 결정시 문제점

고속도로 포장상태 평가지수인 HPCI(Highway Pavement Condition Index)는 1996년에 최초로 개발되었으며, HPCI 산정식은 대표구간을 평가위원들이 실제로 주행하여 주관적으로 판단한 평가치와 손상항목(평탄성, 표면손상, 소성변형량) 간의 상관관계를 일정한 기준에 의하여 회귀분석 하는 방식으로 산정된다[10].

포장 유지보수 사업대상 선정을 위한 우선순위 절차

프로세스는 포장유지보수 사업대상 우선순위 결정시 HPCI, RD, SD, IRI, SCN, PCN의 결과 값만으로는 환경적 영향으로 파손이 진행중인 복합 열화구간에 대한 판단이 곤란하고, 100m단위 구간으로 선정됨에 따라 파손구간에 대한 집중적인 포장유지보수가 어려운 실정이다. 또한 사업대상구간 조사시 GPS 장비의 위치오차로 인한 오류도 발생한다. 그러므로 HPCI 조사결과에 의한 사업대상 선정후에 공법선정을 위한 추가적인 상세 검증과정의 프로세스가 반드시 필요하다.

또한, HPCI 조사결과에 따라 사업대상구간 선정 후 요청한 예산에 비해 적게 배정되었을 경우 적절히 예산을 배분 할 수 있는 상세 프로세스가 없어 포장유지관리 담당자의 주관적 판단에 의해 우선순위가 결정하는 사례가 많다. 이로 인해 합리적이지 못한 예산배정으로 적기보수가 지연되는 포장파손구간이 증가할 수 있다.

3.2 교면 열화인자를 고려한 프로세스 부재

최근에 건설된 고속도로는 양호한 선형을 갖추기 위하여 산악지역이 많은 우리나라 특성상 교량으로 통과하는 구간이 과거에 비해 많이 증가하였으며, 이는 포장유지관리 측면에서는 상당히 불리한 상황인데 교면포장은 토공구간의 포장보다 파손이 빨리 진행이 되기 때문이다. 이러한 파손의 원인은 우수에 의한 체류수 및 겨울철 제설제에 의한 염화물의 영향으로 바닥판 열화가 교면포장 파손을 가중시키기 때문이다. 그러나 현재까지 이러한 바닥판 열화를 고려한 교면포장의 파손부 보수에 대한 의사결정프로세스의 부재로 교량구간의 포장유지관리에 많은 어려움이 있다. 그러므로 교량구간의 바닥판 열화 정도를 파악하여 효율적인 교면포장 보수공법을 결정하는 프로세스가 반드시 필요하다.

3.3 통행제한 방법에 따른 유지보수 프로세스 부재

고속도로 포장유지보수는 고속도로를 이용하는 차량을 어떠한 방법으로 통제하며 보수를 하는가에 따라서 소요되는 비용의 차이가 많이 발생한다. 일반적으로 장기간 교통 제한시 낮은 가격의 고내구성 조강 시멘트가 사용되며, 단기간 교통 제한시에는 높은 가격의 저내구성 초조강 시멘트가 사용되어지기 때문이다. 또한 아스콘을 사용한 콘크리트 포장보수시 절삭면에 대한 보호등 내구성 증진을 위해 방수층 시공은 불가피하다. 그러므

로 이에 대한 종합적인 공법 선정·검증 프로세스가 반드시 필요하다.

3.4 환경영향을 고려한 유지보수 프로세스 부재

산지가 다수 포함된 지역을 통과하는 다설 한랭지역의 고속도로인 경우 동결융해와 겨울철 제설제 염해의 영향이 콘크리트 포장파손의 주된 원인이 된다. 그러나 현재의 고속도로 포장유지보수 업무프로세스는 이러한 환경적인 인자의 영향에 대한 의사결정프로세스가 반영되어 있지 않으므로 실무자가 효율적이고 적절한 보수공법을 선정하기에는 많은 어려움이 있는 실정이다.

4. 효율적인 고속도로 포장유지보수를 위한 프로세스 제안

4.1 개선된 고속도로 유지보수 프로세스 개선

4.1.1 서비스수준 도입을 통한 통행제한방법

그동안 고속도로 유지보수시 통행제한이 수반되는 기준이 없어 공법선정에 어려움이 많았다. 그러나 최근 2013년 2월 도로용량편람(국토교통부)이 개정됨에 따라 장시간 통행제한도 가능하게 되었다[11].

이를 근거로 본 연구에서는 서비스 수준(Level of Service: LOS) 도입을 통한 통행제한방법 선정으로 효율적인 고속도로 포장유지보수 공법 선정이 가능하도록 개선된 업무 프로세스를 제시하였다.

고속도로 포장유지보수 공사로 인한 축소된 차로수를 기준으로 통행제한시간동안 침두시 공사구간 서비스 수준이 "E"를 초과하는 경우 원칙적으로 통행은 금지된다. 단, 24시간 중 서비스 수준 "A~E"에 해당하는 시간대가 통행제한 필요시간보다 적은 경우에는 서비스 수준 저하가 최소화되는 시간대를 선정하여 통행제한 후 보수공사를 시행하게 된다. 이에 대한 예는 Table 1과 같이 검토한 바를 보면 알 수 있다.

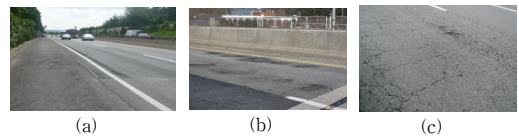
[Table 1] Working Time According to Level of Service

Time	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
LOS	C	C	C	C	C	D	F	F	F	F	F	F
Time	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
LOS	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	D

현재까지는 장시간 통행제한의 법적근거가 없는 관계로 부득이 단기간 통행제한방법으로 포장보수공사를 시행하여 왔다. 그러나 서비스 수준을 활용하여 유지보수시 장·단기 통행제한 방법을 이용하여 공사를 시행하게 된다면 효율적인 포장유지보수가 가능하다. 서비스 수준 도입에 의한 포장유지보수 업무 프로세스의 활용으로, 그동안 단기간으로 통행차단을 하여 즉시 개통을 하기 위해서는 부득이 높은 가격의 초속경 시멘트를 사용하여야 하는데, 이는 장기적으로 내구성이 저하되는 재료로 보수공사 후 장기간 최상의 품질을 유지하기에 많은 어려움이 있으나, 장시간 통행차단을 통한 작업시 낮은 가격의 조강 시멘트를 사용하여 고내구성을 확보할 수 있으며, 유지관리 비용예산의 절감에도 많은 효과를 기대할 수 있다.

4.1.2 교통하중에 따른 공용성 등급을 고려한 유지보수 방안 제시

고속도로 아스팔트 포장은 중차량의 통행증가와 혹서기 높은 기온으로 인하여 아스팔트 포장의 소성변형 등 Fig. 4와 같이 파손구간이 많아지고 있다. 특히, 혹서기에는 아스팔트 소성변형으로 인한 평탄성 불량 등으로 고속도로 이용객들로부터 많은 민원이 발생되고 있다.



[Fig. 4] Asphalt Pavement Deterioration Type
(a) Rutting (b) Pothole (c) Crack

도로포장은 예상되는 교통량을 적절한 서비스 수준으로 통과시킬 수 있도록 설계되어야 한다. 도로포장의 파손에 미치는 교통량의 영향은 각 차종의 축하중과 상관성이 높다. 즉, 축하중이 큰 중차량이 승용차보다 포장의 파손에 큰 영향을 미친다. 따라서 교통량은 축하중으로 산정될 수 있어야 하며 이들을 상대적으로 평가되어야 한다.

아스팔트의 공용성 등급에서는 과거 20년 이상의 기상자료 중 고온등급은 연속되는 7일간의 온도가 최고인 기간을 결정하여 이 기간의 평균최고 대기온도를 사용하여 포장깊이 2cm의 온도를 추정하며, 저온등급은 년 최

저 대기 기온을 포장의 저온 기준으로 규정하여 확률 98%의 온도를 이용하여 아스팔트의 등급을 결정한다.

아스팔트의 고온 및 저온 특성을 반영하기 위해 현행 침입도(25℃) 규정을 대체하는 새로운 아스팔트 등급 분류 체계로서 PG XX-YY(XX : 최고온도, YY : 최저온도)로 표현한다. 그 동안은 아스팔트 포장의 소성변형 등 포장 파손이 심한 구간에 대하여 별도의 프로세스 없이 SMA 등 개질재 아스콘 또는 일반 아스콘을 고속도로 관리자의 개인적 의견과 현장여건을 고려하여 포장유지보수를 해왔다.

따라서, 본 연구에서는 Table 2과 같이 한국도로공사(2010), 노출환경 등급 지침(안)을 참고하여 교통하중 등급에 따른 아스팔트 공용성 등급(PG : Performance Grade)을 고려하여 유지보수공법선정이 가능하도록 제시하였다.

[Table 2] Performance Grade Level According to Esal Level[12]

ESAL Level	Application
I	PG 76-22
II	PG 76-22
III	PG 70-22
IV	PG 64-22

교통하중이 작은 지역의 경우, 아스팔트 공용성 등급을 고려한 유지보수 공법을 선정하며, 교통하중이 높은 지역은, 교통하중을 고려한 공법선정을 하여 좀 더 효율적인 유지보수를 함으로써, 균열 및 러팅을 예방할 수 있어, 효율적으로 유지할 수 있다.

4.1.3 조사장비를 활용한 교면포장 유지보수 방안 제시

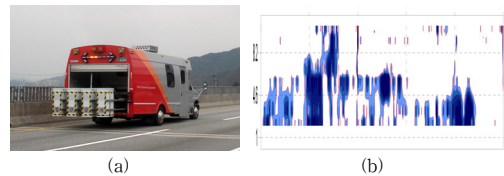
현재 고속도로 교면 아스팔트 포장의 유지보수는 별 다른 기준이 없이 관리자의 육안에 의해 유지보수를 시행해왔으며, 중요 구조물이나 집중 점검대상 구조물을 정밀하게 점검하기 위해서는 많은 인력과 시간이 투입되어야 했다.

또한, 강이나 하천상의 교량, 고교각 교량 또는 시가지 교량은 점검이 제대로 이뤄지기가 어려웠다.

도로자동조사장비(Ground Penetrating Radar; GPR)은 Fig. 5과 같이 전자파를 레이더 안테나를 통하여 교량

의 바닥판으로 방사하여 포장 및 바닥판의 결함 발생부에서 반사된 신호를 수신하여 부재의 두께 및 열화상태를 비파괴적으로 조사하는 방법이다.

따라서, 본 연구에서는 도로자동조사장비조사를 활용하여 교량 바닥판의 열화 상태에 따라 교량구간의 아스팔트 포장보수에 대한 효율적인 최적공법의 선정이 가능토록 개선된 프로세스를 제시하여 유지관리비용뿐만 아니라 구조물이 제 역할을 못해 발생하는 사회적 비용도 줄일 수 있도록 하였다.



[Fig. 5] GPR Survey Vehicles and floor slab Survey
(a) Survey Vehicles (b) Total repair target

4.1.4 환경인자를 고려한 유지보수 방안 제시

고속도로의 콘크리트 포장 파손의 원인으로는 여러 요인들이 있으나, 국내의 기상 특성상 산지가 다수 포함된 고속도로 지역을 포함하는 지형적인 특성을 고려했을 때 환경적인 영향을 가장 많이 받는다고 할 수 있다. 다설 한랭지역의 동결융해와 겨울철 제설제 영향으로 콘크리트 포장 파손이 계속적으로 증가되고 있는 실정이며, 시멘트 중의 알칼리 성분과 골재내의 반응광물이 반응하여 외부로부터 유입된 수분에 의해 팽창하면서 균열 및 박리 현상을 유발하는 알칼리 골재반응에 의한 콘크리트 포장 파손구간도 시간이 갈수록 증가되고 있다. 환경 영향적 요인으로 인한 콘크리트 포장이 파손된 현황은 Fig. 6과 같다.

환경영향인자는 특수환경 노출구간과 알칼리 골재반응구간으로 구분할 수 있다. 한국도로공사의 “노출환경 등급 지침”에 따르면 특수환경(다설한랭) 노출 지역은 다음의 ①, ②, ③, ④ 항목 중 3개 항목 이상이 포함되어야 하고, ①은 반드시 해당되어야 한다. 다음의 ①, ②, ③, ④ 각 항목의 값은 최근 5개년 평균이다.

- ① 연간 동결융해일수 : 일평균 기온(주1) 0℃ 이하가 45일 이상 및 일평균 최저 온도(주2) -2℃ 이하가 90일 이상

- ② 연간 제설제 사용량이 13톤 / 2차선 · km 이상
- ③ 연간 누적 적설량 60cm 이상
- ④ 연간 강설일 수 14일 이상
- ⑤ 노선의 해발 평균이 450m 이상

그러나 5가지 항목 중에서 ⑤번 항목은 하나에만 해당 되어도 특수 환경 노출 지역으로 구분할 수 있다. ⑤항에 있어서, 신설 및 확장 시에는 나들목, 장대 구조물 전 · 후 구간 등을 기준으로 구분한다[13].



[Fig. 6] Concrete Pavement Deterioration Influenced by Environmental factor

(a) Specific Weather (b) Alkali Aggregate Reaction

[Table 3] Maintenance Method by Damaged Level Considering Environmental Impact Elements

Level	Damage	Rehabilitation Method
1 Level	Heavy Crack and Heavy Damage of Layer	Urgent Reconstruction
2 Level	Heavy Crack and Partial Layer Damage	Section Maintenance, Considering Reconstruction
3 Level	Heavy Crack	Partial Section Maintenance, Considering Reconstruction
	Joint Partial Crack	Observation, Considering Section Maintenance

특수환경 노출구간과 알칼리 골재반응구간 모두 포장의 열화 등으로 균열, 탈리 및 파손이 급격히 진행된다. 특히 줄눈부의 스폴링 등으로 시작해서 공용중 이용차량의 손상이 발생할 정도로 파손구간이 점차로 증가되고 있다. 콘크리트 포장의 파손부의 보수는 근본적으로 동

일 재질인 콘크리트로 보수함이 당연하나 경제성을 고려했을 경우 파손구간 전체를 초속경계 콘크리트로 보수를 한다는 것은 예산상에 많은 어려움이 있다.

따라서, 환경 인자를 고려한 콘크리트 포장의 유지보수에 대하여 경제적이고 효율적인 최적공법의 선정이 가능토록 제시하였다. Table 3과 같이 환경영향인자로 인한 콘크리트 포장 파손구간 등급에 따른 보수공법의 선정과정은 다음과 같다.

4.2 효율적인 고속도로 포장유지보수를 위한 프로세스 제안

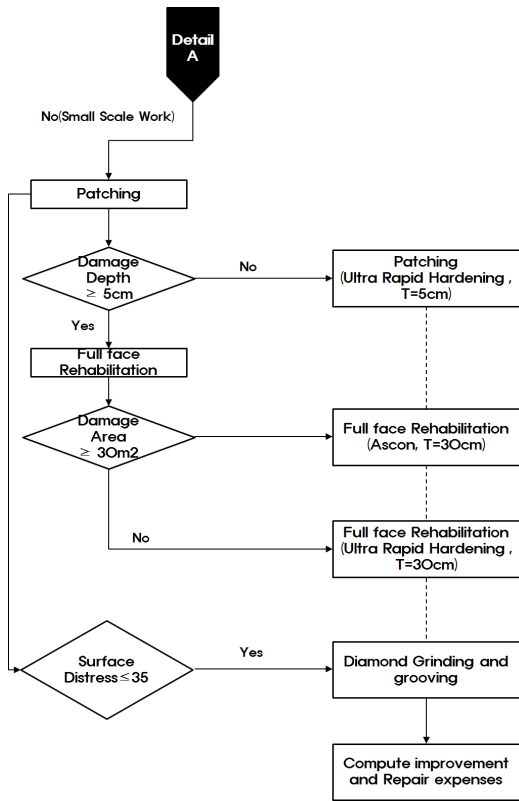
본 연구에서는 기존 고속도로 유지보수 프로세스에 대하여 고찰하고 문제점을 보완하여 개선된 업무 프로세스를 도출하였다. 이는 한정된 예산 내에서 사업대상구간에 대한 효율적인 적정공법의 선정이 가능하도록 한 고속도로 포장유지관리의 통합적인 업무 프로세스이다.

본 연구의 프로세스는 고속도로 포장의 형식별로 콘크리트 포장구간과 아스팔트 포장구간으로 나누었으며, 콘크리트 포장구간은 포장파손 규모에 따라 100M이상은 대규모, 그 이하는 소규모로 나누었다.

또한 아스팔트 포장구간은 하부층의 구조에 따라 일반 토공구간과 교량구간으로 나누었다. 그리고 고속도로 포장 중 교면포장이 차지하는 비중이 약 40%정도로서 교량 슬래브의 열화에 따른 교면포장의 파손이 계속적으로 증가되고 있는 실정으로 교량구간의 교면포장에 대한 내용을 본 프로세스에 반영하였다.

고속도로 콘크리트 포장구간의 포장파손 100M이하의 소규모 파손구간에 대한 상세 프로세스는 Fig. 7과 같다.

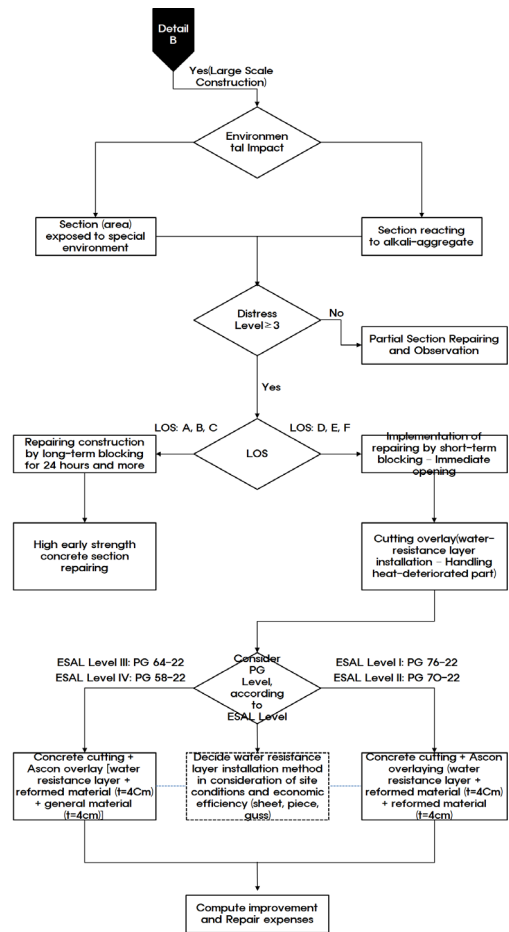
이 프로세스는 콘크리트 포장 소규모 파손구간의 부분보수에 대한 포장보수 절차를 제시하였다. 포장파손 깊이가 5cm미만 일 경우는 초속경 부분단면(t=5cm) 보수 공법을 적용하고, 포장파손 깊이가 5cm이상일 경우는 포장 전단면 보수 공법을 적용한다. 이때 파손면적이 30㎡ 이상 일 경우에는 경제성을 고려하여 아스콘으로 전단면(t=30cm)을 보수하는 공법을 적용하고, 30㎡미만 일 경우에는 초속경으로 전단면(t=30cm)을 보수하는 공법을 적용한다. 또한 미끄럼저항 SD(Surface Distress) 값이 35 이하 일 경우에는 다이아몬드 그라인딩이나 그루빙을 통하여 미끄럼 저항값을 향상시킬 수 있는 공법을 선정토록 제시하였다.



[Fig. 7] Detail A

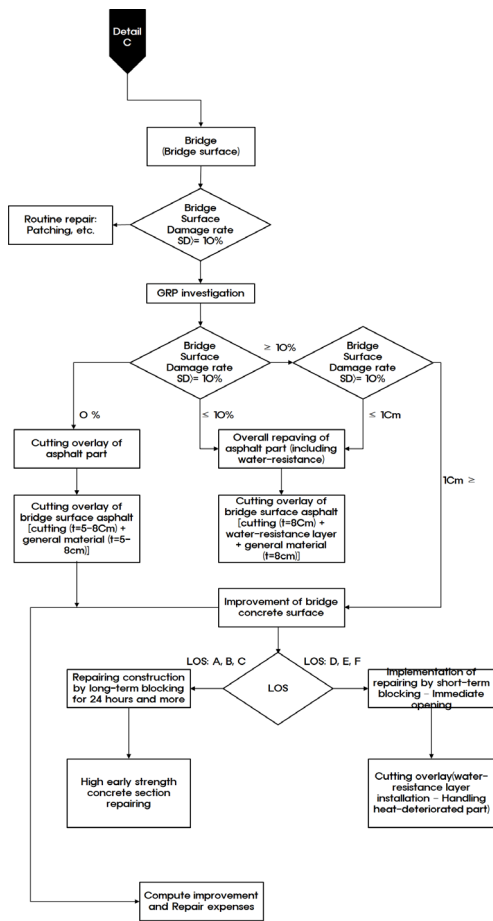
고속도로 콘크리트 포장구간의 포장파손 100M이상의 대규모 파손구간에 대한 상세 프로세스는 Fig. 8과 같다. 콘크리트 포장구간의 대규모 파손구간에 대해서는 본 연구의 개선사항에서 제시한 바와 같이 환경적인 영향인자를 고려하였다. 특수환경 노출구간 또는 알칼리 골재반응구간 중 어느 인자의 영향을 받는지에 따라 방수층, 아스콘 재질 및 시공두께 등 적정공법이 결정된다. 환경적인 영향으로 인하여 포장파손이 발생한 구간 중 파손등급이 3등급이하일 경우는 전면 개량전까지 부분단면보수 및 주의관찰로 포장유지관리를 하고, 파손등급이 3등급이상 일 경우에 대해서는 포장 파손구간을 전면 개량하게 된다. 이때 개선사항 중 하나인 서비스 수준을 고려한 절차에 따라 24시간이상 장기간 차단이 가능한 구간은 경제성 및 내구성을 고려하여 조강 콘크리트를 사용한 단면 개량공법을 적용한다. 그러나 장기간 차단이 불가능한 단기차단 공사시는 고가의 초속경계 재질을 사용하는 대신 경제성을 고려하여 아스콘을 사용한 콘크리트 절삭후 아스콘 덧씌우기 공법을 선정하도록 하

였다. 이는 아스콘을 사용한 보수공법이므로 다음 단계에서 교통하중등급에 따른 공용성 등급을 고려한 공법 선정 절차를 따른다. 교통하중등급 I(공용성 등급 76-22이상), II(공용성 등급 70-22이상) 구간은 고온에 대한 저항성을 높이기 위하여 상, 하부층에 개질 아스콘을 사용하는 공법[방수층 + 1층:개질(t=4cm) + 2층:개질(t=4cm)]을 적용하고, 교통하중등급 III(공용성 등급 64-22이상), IV(공용성 등급 58-22이상)구간은 상부층에 일반 아스콘을 사용하는 공법[방수층+ 1층:개질(t=4cm) + 2층:일반(t=4cm)]을 선정토록 하였다.



[Fig. 8] Detail B

고속도로 아스팔트 포장 중 교량구간 교면포장의 파손구간에 대한 상세 프로세스는 Fig. 9와 같다. 이 프로세스는 교량구간 교면포장의 파손구간에 대한 포장보수 절차를 제시하였다.



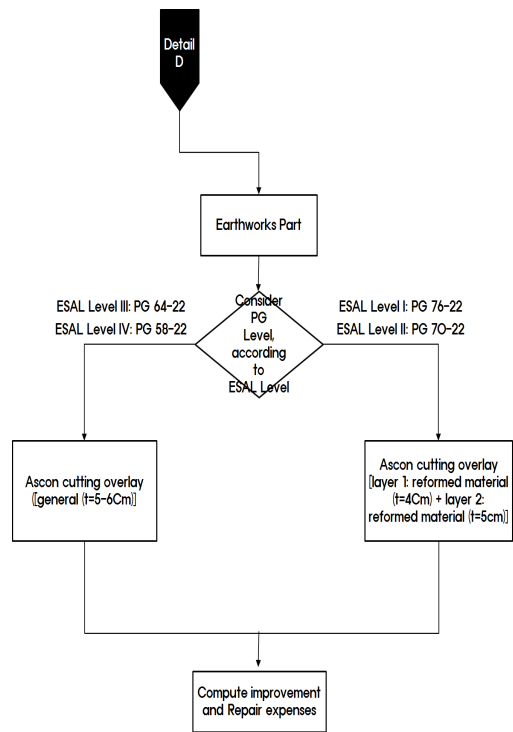
[Fig. 9] Detail C

교량구간 교면포장의 표면 손상율(SD)이 10% 미만 일 경우는 팻칭등 일상보수를 통하여 포장유지관리하고, 표면 손상율(SD)이 10% 이상 일 경우에 대하여 개량을 시행하게 된다. 이때 본 연구의 개선사항에서 제시한 절차와 같이 도로자동조사장비조사를 시행한다. 도로자동 조사장비조사결과에 따라 교량 바닥판 열화면적 및 열화 두께를 산출한다. 이 결과에 따라 열화면적이 10%이상일 경우와 바닥판 열화 두께 1cm 이상인 경우는 아스콘 계열의 교면포장을 콘크리트계 교면으로 전면 개량한다. 이때 콘크리트 포장구간 마찬가지로 서비스 수준을 고려한 절차에 따라 공법선정을 한다. 또한, 교량 바닥판의 열화면적인 10%미만인 경우와 바닥판 열화 두께 1cm 미만인 경우는 아스콘으로 절삭(t=8cm) + 방수층 + 일반(밀입도, t=8cm)의 전면 개량공법을 적용한다.

한편, 교량 바닥판 열화면적인 0%이며 단순 포장 노

후화인 경우는 기존 방수층은 양호한 것으로 판단하고 노후화된 아스콘 부분만을 절삭(t=5~8cm) + 일반(밀입도, t=5~8cm)의 방법으로 개량하는 공법을 선정하였다.

고속도로 아스팔트 포장중 일반 토공부의 파손구간에 대한 상세 프로세스는 Fig. 10과 같다. 이 프로세스는 일반 토공부의 파손구간에 대한 포장보수 절차를 제시하였다. 이는 아스콘을 사용한 보수공법이므로 위에서 제시한 교통하중등급에 따른 공용성등급을 고려한 공법선정 절차를 따른다.



[Fig. 10] Detail D

이와같이 본 연구에서 제시한 개선된 통합 프로세스는 Fig. 11과 같이 현재 운영되고 있는 프로세스를 바탕으로 예산 배정 후 개량사업대상 선정절차 전 단계의 과정을 개선·보완하여, 보다 효율적인 적정공법의 선정이 가능하며, 장기간 최적의 상태로 유지 할 수 있다.

4.3 개선된 고속도로 유지보수 프로세스 검증

본 연구에서는 개선된 통합 프로세스의 검증을 위하여, 한국도로공사에서 보수공사를 시행한 대전~통영간 고속도로 무주IC~덕유산IC 구간 사례를 적용하였다[14].

[Table 4] Maintenance Route[14]

Route	Section	length (Km)	Volume	LOS	Damage
Daejeon-Tongyeong Line	MuJu IC~Deogyusan IC	16	19,203	A	45,277

대상구간의 기존 유지보수 프로세스와 개선된 유지보수 프로세스의 비교분석 결과는 Table 5와 같다[14].

효과분석 결과에서 보듯이 본 연구에서 제시한 개선된 포장유지보수공사 업무 프로세스를 적용한 경우 대전~통영간고속도로 무주~덕유산 구간 포장유지 보수공사 시 통행제한에 따른 교통영향이 적고, 공사일수 74%(87일), 공사비 및 유지관리비42%(123.38억) 절감의 효과가 있으며, 품질 및 내구성 확보가 가능한 차로별 연속차단(4km/차로) 후 포장 집중보수를 시행한 것이 효과적이었다[14].

[Table 5] Validation of Improved maintenance process[14]

		Existing Maintenance Process	Improvement of Maintenance Process	
Working Day		117day	30day(↓87day)	
Block number		170	30(↓140)	
Level of Service		A → C	A → C	
Maintenance Method		Ultra Rapid Hardening, Ascon	High Early Strength(Ascon)	
economic analysis (hundred million won)	Direct Cost	Cost	90	69(↓21)
		Maintenance Cost (20year)	202	100(↓102)
		Promotion Cost	-	0.05(↑0.05)
		Total	292	169.05(↓122.95)
	Indirect Cost	Accident Cost	0.53	0.10(↓0.43)
		Total	0.53	0.10(↓0.43)
	Total		292.53	169.15(↓123.38)

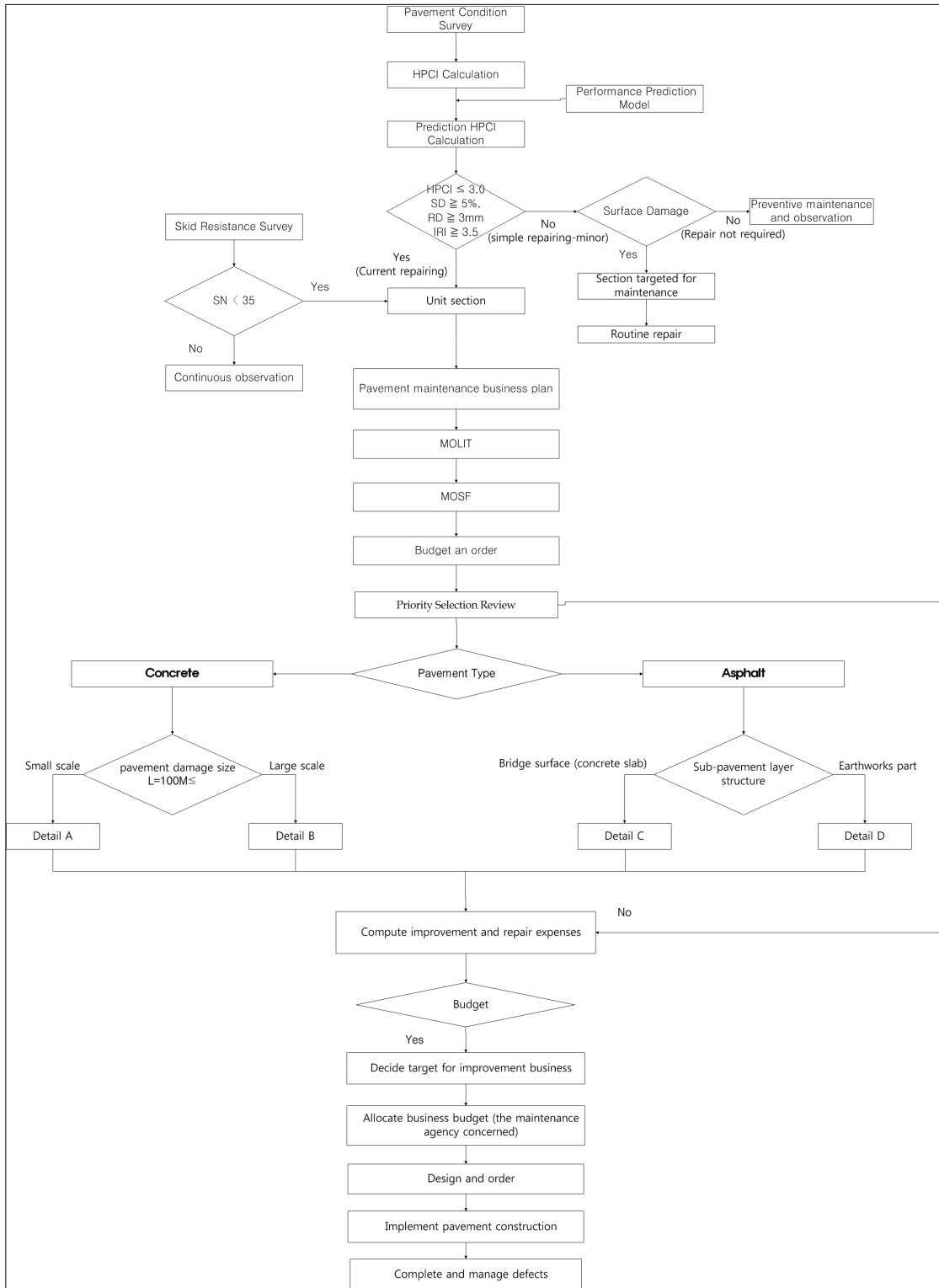
5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 사업대상 선정 및 예산배정 후 공사 설계 및 발주 이전 단계에서 미비한 기존 프로세스를 보완하여 개선된 업무 프로세스를 도출하였다. 이는 한정된 예산 내에서 사업대상구간에 대한 효율적이고 적절한 공법의 선정이 가능하도록 한 고속도로 포장유지관리의 통합적인 업무 프로세스이다. 개선된 업무 프로세스의 내용은 다음과 같다.

- (1) 서비스 수준 도입을 통한 통행제한방법 선정으로 효율적인 고속도로 포장 유지보수 방안 제시
- (2) 고속도로 포장유지보수시 교통하중등급에 따른 아스팔트 공용성 등급을 고려한 프로세스 제시
- (3) 도로자동조사장비 조사를 활용한 고속도로 교량 교면포장 유지보수 업무 프로세스 제시
- (4) 환경영향인자를 고려한 고속도로 포장유지보수 프로세스 제시
- (5) 개선된 프로세스 검증결과, 공사일수 74%(87일), 공사비 및 유지관리비42%(123.38억) 절감 효과

본 연구에서 도출한 고속도로 포장유지관리 업무 프로세스를 활용함으로써 성능이 저하된 포장파손구간에 대하여 최소 비용으로 최적의 고속도로 포장유지관리가 가능하다. 이를 통해 체계적이고 현실적인 포장유지관리를 할 수 있으리라 판단된다.

향후 연구방향으로는 고속도로를 포함한 모든 도로의 포장유지관리를 함에 있어 포장파손의 원인이 장기간 공용후의 노후화, 중차량의 교통하중 및 환경적 영향 등의 원인뿐만 아니라 건설당시의 설계 오류와 시공상 문제점으로 인하여 포장파손이 발생되고 있는 사례도 많으므로 도로 건설당시부터 장기간 포장유지관리를 감안한 도로의 조사, 설계, 시공, 유지관리를 통합한 전체적인 포장 건설·유지관리 프로세스 개발이 필요하다고 사료된다.



[Fig. 11] Highway Pavement Integrated Maintenance Process

Reference

- [1] Do, M., Han, D., Lee, J. and Lee, Y(2007), "Economic Evaluation for Road Pavement Maintenance by using HDM", KSCE J. of Civil Engineering, Vol.27, No.3D, pp.311~323. 2007
- [2] Do, M., Han, D., You, I. and Lee, S(2006), "Performance and Economic Analysis for Rut-resistance Pavement Considering Life Cycle Cost", KSCE J. of Civil Engineering, Vol.26, No.5D(2006. 9), pp.783~796, 2006
- [3] Seo, Y., Kim, J., Jeong, K. and Lee, K(2000), "Development of the Main Algorithm of Pavement Management System for the Korea Expressway System", Proceedings of the KSRE Conference 2000, pp. 133~138, 2000
- [4] Paterson, W.D.O.(1987), Road Deterioration and Maintenance Effects, World bank Publications, Washington, USA, 1987
- [5] Hudson, W., Hass, R. and Uddin, W.(1997), Infrastructure Management, McGraw Hill, 1997
- [6] KICT(2010). Annual Research Report of the National Highway Pavement Management System 2009, 2010
- [7] Do, M., Kwon, S., Lee, S. and Kim, Y(2014), "Development of the Decision-Making System for National Highway Pavement Management", Journal of the Korean Society of Civil Engineers Vol. 34, NO.2 pp.645-654, 2014
DOI: <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.2.0645>
- [8] FHWA (2006), 2006 Status of the Nation's Highways, Bridges, and Transit: Conditions & performance, US DOT, 2006
- [9] Do, M., Kwon, S., and Back, B(2012), "Necessity of the Decision Making System for Efficient Road Management", KSRE J. of Road Engineering, Vol.12, No.4(2010,12), pp.23~31, 2010
- [10] KEC(2012), Pavement Management and Maintenance Manual, 2012
- [11] MOLIT(2013), Korea Highway Capacity Manual, 2013
- [12] KEC(2011), A Review of Performance Grade Level Standard of Asphalt, 2011
- [13] KEC(2010), Exposure Environment Level Manual, 2010
- [14] Park, J., Jo, N., Lee, J., Lee, D., Chae, M. and Kim, K(2011), "Comparative Analysis of Asset Management in Highway considering LoS - Comparing FHWA vs EX" Proceedings of the KICEM Conference 2011, pp. 185~186 2011
- [15] MOLIT(2011), Statistics Annual Report, 2011
- [16] Prak, J(2013), "A Study on the Improvement of Business Process Efficient for Expressway Pavement Management", Thesis of Master Degree, Chungnam National University. 2013

박 종 범(Jong-Beom Park)

[정회원]



- 2013년 9월 : 충남대학교 토목공학과(토목공학석사)
- 1994년 7월 ~ 현재 : 한국도로공사

<관심분야>
도로포장 및 교량 유지관리

이 용 준(Yong-Jun Lee)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한밭대학교 도시공학과(교통공학석사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과(박사과정)

<관심분야>
도로포장 및 교량 유지관리

이 민 재(Min-Jae Lee)

[정회원]



- 2000년 12월 : 위스콘신대학교 (건설관리학석사)
- 2002년 12월 : 위스콘신대학교 (건설관리학박사)
- 2003년 3월 ~ 2003년 12월 : 위스콘신대학교 강사 및 연구원
- 2004년 2월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
건설관리, SOC 자산관리