

고속도로 포장유지관리체계 논리 개발

Development of the Main Algorithm of Pavement Management System for the Korea Expressway System

서영찬* · 김준범** · 정경영*** · 이광호****

1. 서론

고속도로 연장이 해를 거듭하면서 증가하고 있으며 2000년에는 그 연장이 2000km에 달하게 된다(표 1.1 참조). 또한 고속도로 연장이 증가함에 따라 전체 도로 유지보수 비용은 급격히 증가하는 추세에 있으며 제한된 유지보수 예산으로 전체 고속도로망을 효율적으로 유지관리하기 위해 포장관리 유지체계 (이하 PMS, Pavement Management System)의 운영은 필수적이다. 본 연구의 목적은 고속도로 PMS의 주 논리인 보수 우선순위 및 공법결정 논리를 개발하고 Database 와 최근에 개발된 도로지리정보체계 (HGIS, Highway Geographic Information System)와 원활한 연계를 통해 사용자 입장에서 이용하기 용이하도록 하여 실무자들의 PMS 활용도를 높이는데 있다.

표 10.1 년도별 고속도로 총 연장 증가 추이

년	총 연장 (km)
1970	550.9
1980	1224.6
1990	1550.7
2000	2050
2004 (계획)	3700
2011 (계획)	5000

2. 고속도로 PMS 개발의 기본 방향

고속도로 PMS 개발의 기본방향은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 간단하고 유연한 논리구성
- 최종 보수공법 결정시 실무자의 의견 반영
- 포장상태조사 결과의 표준화
- GIS를 사용한 현황조회기능의 강화

* 한양대학교 교통공학과 부교수 (031-400-5155)

** 한국도로공사 도로연구소 아스팔트포장 연구실 연구원 (02-2230-4853)

*** 한양대학교 교통공학과 대학원 (031-400-5150)

**** 한국도로공사 도로연구소 아스팔트포장 연구실 실장 (02-2230-4850)



2.1 간단하고 유연한 논리구성

PMS의 보수우선순위 및 공법결정을 위한 논리는 간단한 도표나 의사결정 계보도(Decision tree)를 이용하는 방법에서, 경제성분석, 수명주기비용분석, 신경망이론 등 복잡하나 발전된 형태의 논리에 이르기까지 매우 다양하다. 일반적으로 간단한 논리는 사용자가 이해하기 쉽고, 운영 또한 간편한 반면, 전체 도로망 차원의 예산 활용 최적화 측면에서 다소 미흡할 수 있다는 점을 감수 해야한다. 또, 발전된 형태의 논리들은 대체로 전체 도로망 차원의 예산 활용 최적화라는 목표에 어느 정도 접근한 반면 사용자가 이해하기 어렵고 입력변수들이 너무 복잡하여 적절한 값을 찾지 못하는 경우가 많다는 결점이 있다. 따라서 본 연구에서 개발될 PMS는 가능한 한 간단한 논리를 사용하되 필요한 경우 사용자가 직접 입력할 수도 있도록 유연하게 구성하였다.

표 2.1 보수우선순위 및 공법결정 논리의 장·단점 비교

논리	장점	단점	비고
간단한 논리 • Decision tree • Matrix	• 이해가 용이 • 입력변수 간편	• 전체 도로망 차원의 예산활용 최적화 미흡	○
발전된 논리 • 경제성분석 • 수명 주기 비용 분석 • 신경망 이론	• 전체도로망 차원의 예산활용 최적화에 근접	• 사용자 이해곤란 • 입력변수 복잡 • 국내 실정에 대한 검증 필요	

2.2 최종 보수 공법 결정시 실무자 의견 반영

아무리 뛰어난 논리라 하여도 현실상태를 모두 반영할 수 없다. 예를 들어, Decision tree는 일상적인 균열, 소성변형 등 빈번한 결함에 대해서는 어느 정도의 신뢰도를 가지고 있으나 국부적 침하, 포트홀(Pothole), 배수불량 등 특이한 결함에 대해서는 충분한 배려가 현실적으로 어렵다. 또한 때때로 특정 도로구간은 정치적인 요구에 의해 상대적으로 높은 우선순위를 차지하는 경우도 있어 이러한 Decision tree의 한계를 보완하기 위해, 제시된 보수공법의 적절성을 PMS운영자가 직접 확인하고 그림 2.1과 같이 필요시 현장실사 또는 정밀조사를 통해 보수공법을 조정할 수 있도록 한다.

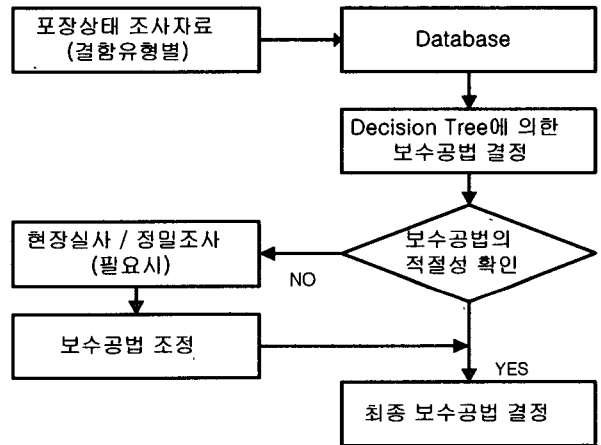


그림 2.1 실무자의견이 반영된 보수공법 결정논리

2.3 포장상태조사 결과의 표준화

포장상태 조사결과는 PMS의 가장 중요한 입력요소가 된다. 이전의 PMS에서는 특정조사장비로만 작동할 수 있도록 구성되어 장비가 없거나 고장이 발생한 경우에는 PMS를 운영할 수 없는 문제점이



있었다. 입력요소를 표준화하는 목적은 조사장비에 관계없이 표준화된 형식으로만 포장상태를 입력하면 PMS 운영이 가능하도록 하기 위함이다. 즉, 특정 장비의 고장으로 인한 PMS 운영중단을 방지하기 위함이다.

표 2.2와 그림 2.2는 각각 표준화된 포장상태 조사 결과 형식과 포장상태 조사 결과의 표준화 흐름도를 나타낸다.

표 2.2 표준화된 포장상태 조사 결과 형식 (D/B에 입력되기 전의 형식)

포장상태값	단 위	100m 평균	20m Max.	적용		비고
				콘크리트포장	아스팔트포장	
HPCI	없음(0~5.0)	○	-	○	○	
IRI	mm/m	○	필요시	○	○	RWP
RD	cm	○	필요시	-	○	Max-Min
CR	m/(100·W)m ²	○	필요시	○	○	
P	m ² /(100·W)m ²	○	-	○	-	

* HPCI : Highway Pavement Condition Index, IRI : International Roughness Index
RD : Rut Depth, CR : Crack, P : Patching, RWP : Right Wheel Path

2.4 GIS를 사용한 현황조회기능 강화

현황조회기능은 PMS의 핵심기능은 아니나 최근 GIS의 발달로 사용자가 한눈에 쉽게 현황 파악하는 것이 가능해져 도로관리자의 입장에서 업무의 효율성을 높여주는 편리한 도구가 되어 PMS의 주요 강점으로 부각되고 있다(서영찬, 1999). GIS와 접목을 통해 도로의 일반현황, 구간별 포장상태, 보수요청 구간, 보수공법, 교통량 등 방대한 도로망의 각종 정보를 그래픽으로 한눈에 파악하는 것이 가능하도록 하였다.

포장상태조사

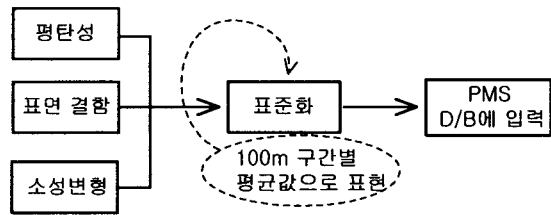


그림 2.2 포장 상태 조사 결과의 표준화 흐름도

3. 데이터베이스

데이터베이스(D/B)는 PMS에서 중심적인 요소로서 D/B 세부항목 선정 및 각 항목의 성격 규정은 매우 중요한 사항이다. 고속도로 PMS D/B의 전체적인 항목 구성은 크게 준공현황, 노선자료, 포장상태조사자료, 보수실적, 교통량, 환경조건, LTPP, 연약지반현황, 시설물관리로 나누어진다.

도로관리구간 분할은 모든 차로에 대해 차로별 100m 단위로 분할하여 관리하도록 하였다. 이러한 단위구간 길이의 변화는 D/B에도 영향을 미치게 되는데, 모든 자료수집 및 저장이 차로별, 단위구간을 기준으로 관리되기 때문에 D/B의 크기 및 차로에 대한 고려가 필요하다.



4. HPCI의 적용성

포장상태 조사는 평탄성(IRI), 소성변형 깊이(RD), 균열(CR), 패칭(P)을 포함한다. 보수우선순위를 결정하기 위해서는 이런 다양한 포장결함을 대표할 수 있는 합성지수가 필요하다. 이를 위해 여러 구간의 고속도로 포장상태에 대해 결함조사와 평가단의 평가를 통해 정량화 작업을 거쳐 아스팔트포장과 콘크리트포장에 대한 합성지수인 HPCI가 개발되었다(권수안, 김남호, 서영찬, 2000). 다음은 100m 단위로 변환한 아스팔트포장과 콘크리트포장 산출식이다.

- 아스팔트포장 : $HPCI = 4.564 - 0.348 \times IRI - 0.36 \times RD - 0.01 \sqrt{TC + AREA}$
- 콘크리트포장 : $HPCI = 7.35 - 4.65 \text{Log}(1 + IRI) - 1.06 \text{Log}(10 + \frac{10}{B} C) - 0.32 \text{Log}(10 + \frac{10}{B} P)$

여기서, IRI = 종단평탄성지수 (m/km), RD = 소성변형량(cm), TC = 온도균열량 (m/(100×B)m²)
 $AREA$ = 거북등균열 및 Patching량 (m²/(100×B)m²)
 C = 균열량(m/(B×100)m²), P = Patching량(m²/(B×100)m²), B = 차로 폭 (m)

HPCI는 아스팔트포장의 경우 0.85~4.56, 콘크리트포장의 경우 0.95~5.67 범위에서 각각 변화하였고 포장상태(HPCI)는 실제 적용할 고속도로의 실제로 예상되는 결함정도의 범위를 고려하여 다음 표 4.1과 같이 설정하였다. 이 범위에서 민감도 분석을 실시한 결과가 그림 4.1과 같다.

표 4.1 민감도분석에 사용된 HPCI 변수 분석범위

구분	아스팔트 포장		콘크리트 포장	
변수	IRI (m/km)	0~5	IRI (m/km)	0~5
	RD (cm)	0~5	C (m/(100×B)m ²)	0~36
	TC + AREA (m/(100×B)m ² , m ² /(100×B)m ²)	0~60	P (m ² /(100×B)m ²)	0~60

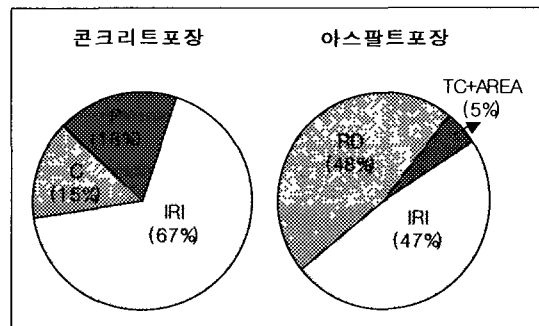


그림 4.1 HPCI의 각 결함별 민감도

5. 보수우선순위 및 보수공법 결정

PMS개발의 기본 목적중 하나가 간단하고 유연한 논리를 만드는 것이다. 다시 말해서 모든 논리가 이해하기 쉽고 사용하기 용이하며 필요한 경우 각 항목의 경계값을 쉽게 수정할 수 있도록 하였다.

표 5.1은 포장상태지수(HPCI)와 교통량으로 구성된 보수우선순위를 나타내는 Matrix로 제시된 경계값은 기본값으로 실무자가 경험에 따라 쉽게 그 경계값을 수정하여 적용할 수 있다. 표 5.2과 5.3는 각각 아스팔트포장과 콘크리트포장의 보수공법결정도표로 보수우선순위도표와 마찬가지로 필요시 각 항목 경계값과 보수공법을 쉽게 수정할 수 있다. 여기서 한가지 알아야 할 것은 이 보수공법도표에는



재료의 종류와 두께와 같은 구체적인 보수방법을 제공하지 않는다. 이는 실무자(기술자)가 현장의 상태를 직접 확인하고 필요시 현장실사나 정밀조사를 통해서 보수공법을 조정하여 좀 더 현실적인 보수공법을 결정하도록 하기 위함이다.

6. PMS의 운영절차

6.1 조사대상구간 선정

지역본부/지사 실무자들이 포장의 실제 상태에 대해서 가장 잘 알고 있으므로 조사구간 선정시 지사요청구간을 충분히 고려해서 조사대상구간을 선정한다. 그리고 이런 지사 실무자들의 요청구간만 조사할 경우 상태가 좋은 구간에 대해서는 오래 동안 조사되지 않는 구간도 발생하게 되므로 이런 문제점을 해결하기 위해 조사구간중 3년이상 조사가 되지 않은 곳에 대해서는 자동으로 정기 조사대상구간으로 선정될 수 있도록 구성하였다.

6.2 포장상태조사

조사대상구간 목록을 포장상태조사팀에 통보하게 되면 ARAN이나 ARIA와 같은 자동포장상태조사장비를 이용하여 해당구간의 평탄성, 균열, 소성변형깊이 등을 조사한다. 조사의 효율성을 높이기 위해 시작점과 끝점은 인터체인지로 하였으며 모든 조사자료는 단위 구간당 100m 단위로 분할하여 EXCEL 파일로 정리하는데 이는 실무자가 비교적 쉽게 작업을 할 수 있고 PMS D/B에 Export하기 쉽기 때문이다.

6.3 보수우선순위 및 보수공법 결정

보수우선순위와 보수공법결정을 위한 Dataset은 조사결과자료로 생성된다. 각각의 Dataset의 기록은 100m 단위의 대표값을 사용하였고 보수우선순위 및 보수공법의 결정은 표 5.1에서 표 5.3의 결정도표를 이용하였다. 결정도표를 이용할 경우 다음과 같은 몇 가지 제한사항이 있다.

- 우선순위 결정에 있어서 정치적인 요구를 반영하기 어렵다.
- 국부적인 침하나 포트홀과 같은 결함은 결정도표에서 고려되지 않았기 때문에 무시될 수 있다.

표 5.1 보수우선순위 결정도표

포장 상태 (HPCI)	4.0 이상 3.5~4.0 3.0~3.5 3.0 이하	교통량 (차선당)		
		<1만	1만~2만	2만<
		DN	DN	DN
		DN	DN	6
		7	5	4
		3	2	1

표 5.2 아스팔트 포장 보수공법 결정도표

구분		RD (cm)				
		2 >	2 ~ 3	3 <		
IRI (m/Km)	3 >	균열	10 >	DN	DN/LR	O/L
		(m ² /100×m)	10~30	DN/LR	LR	O/L
			30 <	LR	LR/OL	O/L
	3~5	균열	10 >	DN/LR	LR/OL	O/L
		(m ² /100×m)	10~30	LR	LR/OL	O/L
			30 <	LR	LR/OL	O/L
	5 <	균열	10 >	O/L	O/L	O/L
		(m ² /100×m)	10~20	O/L	O/L	O/L
			30 <	O/L	O/L	O/L

DN : Do Nothing, O/L : 덧씌우기, LR : 부분보수

표 5.3 콘크리트 포장 보수공법 결정도표

구분		균열 (m/단위구간)		
		< 10	10 ~ 60	60 <
IRI (m/Km)	3 >	DN	DN/LR	LR
	3 ~ 5	DN/LR	LR	LR/OL
	5 <	LR/OL	LR/OL	LR/OL

DN : Do Nothing, O/L : 덧씌우기, LR : 부분보수

- 보수공법결정에 있어 다양한 새로운 보수공법을 포함하기 어렵다.

따라서 고속도로 PMS는 보수우선순위와 보수공법의 최종결정에 있어 실무자 의견을 충분히 고려하도록 구성하였다.

6.4 Database Update

각 조사구간의 보수우선순위/추천 보수공법과 함께 유지보수이력 항목이 각 지역본부/지사로 보내지고 지사 실무자들은 우선순위와 할당된 예산을 가지고 유지보수작업을 실시하다. 하지만 실제로 행한 보수공법이 PMS에서 지시한 것과 다르게 적용될 수도 있으므로 각 지사에서는 실제로 적용한 보수작업을 문서화하여 본부에 보고해야하고 보고된 사항을 PMS 데이터베이스에 Update해야 한다.

7. 결 론

본 연구에서는 2,000km가 넘는 고속도로망을 유지하기 위한 PMS 주 논리를 개발하였고, 고속도로 PMS의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 고속도로 PMS의 일반적인 논리는 간단하고 유연하게 설계되어 실무자가 필요시 경계값이나 최종결과를 수정할 수 있도록 하였다.
- (2) 포장상태조사결과를 표준화하여 조사장비의 종류(육안조사 포함)에 관계없이 상태조사 자료수집이 가능하도록 하였다.
- (3) GIS와 연계하여 고속도로의 현황조회기능을 강화하였다.
- (4) 고속도로를 위해 개발된 포장상태지수인 HPCI를 PMS의 우선순위 결정에 사용하였다.
- (5) 매년 조사대상구간은 정기조사구간과 함께 지사 실무자의 요청구간을 포함하여 결정한다.

참고문헌

- (1) 서영찬(1999), "PMS의 기본기능 및 구성요소", 도로포장공학회지 1권2호, 한국도로포장공학회
- (2) 권수안, 김남호, 서영찬(2000), "콘크리트 포장상태 평가지수의 개발에 관한 연구", 도로포장공학회지 2권3호, 한국도로포장공학회

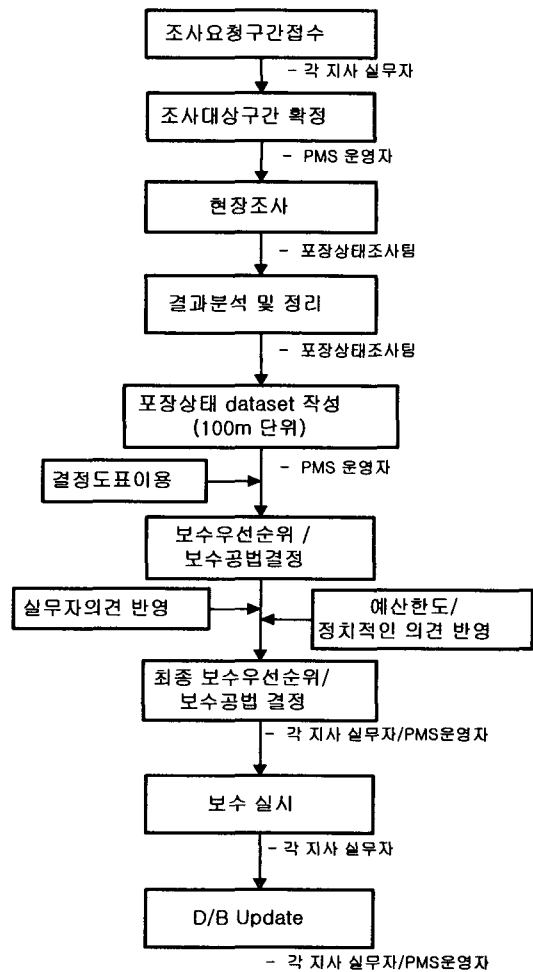


그림 6.1 PMS 운영절차 흐름도