

## 도로함몰관리체계 구성요소 최적화방안 연구

### A Study on Optimization of Road Cave-In Management System Components

연규민	Yeon, Gyumin	정회원 · 명지대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail : bx1002@naver.com)
박지훈	Park, Jihoon	정회원 · 명지대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : asfd5533@naver.com)
김인태	Kim, Intai	정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : kit1998@mju.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The objective of this research is establishing system components and optimizing operational procedures in order to systematically manage road cave-ins in urban areas.

**METHODS :** Based on the literature review and alternative comparison, optimization methods is suggested.

**RESULTS :** Throughout the study, location referencing system, database structure, and operation strategy(procedure) were clarified, and the optimization methods for each item were suggested.

**CONCLUSIONS :** Road cave-in management should be focused on user safety rather than focusing on economic aspects. The occurrence of road cave-in should be addressed thoroughly by road management system(location referencing system, database structure, and operation strategy(procedure), and the optimization methods), since they are closely related to road users' safety.

#### Keywords

*Cave-In, Subsidence, Sinkhole, Management*

Corresponding Author : Kim, Intai, Professor  
116, Myungji-ro, Cheoin-gu, Youngin-si, Gyeonggi-do,  
17058, Korea  
Tel : +82.10.6362.3074 Fax : +82.31.336.2885  
E-mail : kit1998@mju.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Nov. 08, 2017 Revised Nov. 08, 2017 Accepted Nov. 22, 2017

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 SNS, 매스컴 등을 통해 싱크홀(sinkhole)의 발생이 사회적 이슈가 됐다. 특히, 포장도로 하부 동공으로 인해 발생하는 도로함몰은 도로이용자에게 직접적인 안전상의 위협이 되기 때문에 시민들의 불안이 확산되고 있다.

도로함몰(road cave-in or road subsidence)은 도로포장하부 노상에 생긴 동공에서 진행된다. 동공은 하

수관로의 누수, 지하매설물 손상, 지하공사 관리 소홀, 굴착공사 등의 인위적인 요인으로 발생한다. 따라서 도로함몰 피해 위험도가 높은 인구밀집 도심지를 중심으로 도로함몰 현상을 방지하기 위해 지하공간에 매설된 각종 시설물의 정보와 관리에 대한 국가적 관심이 증대하고 있다.

서울시(2014)는 도로함몰에 대한 시민들의 불안을 조기에 해소하고 보다 안전하게 통행할 수 있는 도로환경을 조성하고자 '도로함몰 특별관리 대책'을 수립하여 발

표했다. 환경부(2015)는 노후관로 약 40,000km 구간을 대상으로 정밀조사를 실시했으며 '하수관로 정밀조사 매뉴얼'을 발간했다. 국토부는 2018년부터 예방형 재난피해 지하시설물 관리를 위한 '지하시설물의 안전관리에 대한 특별법'을 공포했다. 이는 도로함몰의 사후 대책, 하수관 및 지하시설물의 관리 법률 등을 개선한 것이다. 그러나 각 기관의 이러한 노력에도 불구하고 도로함몰을 체계적으로 관리하고 운영하는 시스템은 미흡한 상태이다. 도로함몰은 도심에 대규모로 발생하는 경우 도시의 이미지를 실추하고 도로이용자에게 안전상의 직접적 위협과 물적 피해를 야기하기 때문에 도로함몰에 집중된 관리전략이 필요하다. 전략에는 도로함몰의 조사, 분석, 예측, 평가, 보수, 모니터링, Feedback의 체계적인 운영 절차와 구성요소의 최적화가 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 도로함몰관리시스템을 구성하는 위치정보, DB, 운영전략, 운영절차의 정의와 최적화 방안을 정리하고 분석하는 것이다.

## 1.2. 연구의 범위 및 방법

도로함몰의 발생 원인은 2개의 형태로 구분된다. 석회암 지반에서 지하수로 인한 용해 작용으로 발생하는 싱크홀과 하수관로 누수, 지하매설물 손상 등 도로하부에 매설된 지하시설물로 인한 도로함몰이 이에 해당된다.

싱크홀은 주로 해외에서 많이 발생하며, 국내의 지반은 대부분 화강암과 편마암 지반으로 싱크홀의 발생 가능성은 거의 없다. 따라서 지하시설물로 인한 도로함몰을 본 연구의 대상으로 한다.

본 연구의 도로함몰관리시스템은 예산 분배의 효율, 유지관리의 편의 등 경제적 측면에 중점을 두기보다는 이용자의 안전상의 측면과 관리시스템 운영을 위한 필수요소의 통합과 정리에 초점을 두었으며 시스템 도입 기관의 상황과 현실적인 관리 가능 수준을 고려하였다.

본 연구의 방법은 첫 번째로 국내·외 도로포장관리시스템(PMS) 및 도로함몰운영관리 방법 조사와 전문가 자문을 통한 문제점 도출, 두 번째로 PMS 및 도로함몰 DB 구조 분석, 마지막으로 도출된 문제점과 기타 관리 시스템의 운영관리 정보 및 DB 구조의 장·단점을 분석하여 도로함몰관리시스템 최적화 전략 방안을 제시했다.

## 2. 도로함몰 관리 시스템 개요

도로함몰 관리 시스템(CMS : road cave-In

management system)은 도로함몰관리에 필요한 조사, 분석, 보수 등 모든 행위를 통합하여 체계적인 운영 절차를 통해 도로함몰의 위험을 관리하는 시스템이다.

정기적인 도로함몰 상태 조사를 통해 도로함몰 위험도를 분석하고, 위험도 수준에 따라 관리 및 긴급보수 우선순위의 결정과 함께 부족한 도로함몰의 연구정보를 보충한다. CMS 개발·도입의 주된 목적은 신뢰도 높은 동공의 공간적·시간적 범위 확장의 진행 위험도 예측과 도로이용자의 안전성을 향상하는데 있다.

## 3. 시스템의 개발

### 3.1. 시스템의 기본가정

본 연구에서 제시하는 CMS는 이용 실무자의 편의와 도입 효율성을 위해 기존 도로포장관리시스템인 PMS와의 운영절차상의 기본 구조를 유사하게 구성하고, 함몰 위험도 예측과정 중 필요한 자료수집에 도움이 될 수 있는 도로함몰 외 타 도로 인프라 관리체계와의 연계를 고려했다. CMS의 운영절차를 PMS와 연계하여 얻을 수 있는 운영상의 이점은 다음과 같다.

- (1) 공통된 DB 서버 운영으로 접근성과 관리에 용이
- (2) 기존 PMS 운영 실무자의 노하우를 실제 CMS 운영에 쉽게 적용
- (3) 단일 프로그램을 통한 관리
- (4) 동일 시점의 데이터 수집으로 데이터간 연관성 확보 및 데이터 수집으로 인한 교통 혼잡 최소화
- (5) DB간의 연계로 인한 도로함몰 위험도 결과값의 신뢰도 상승
- (6) 도로 인프라 DB 연계체계 확립을 위한 기본틀 제시

또한 DB 구축 및 도로함몰 위험도 예측, 관리 우선순위 결정 방식은 아직 국내·외의 연구 성과가 부족하기 때문에 가상의 값(방식)을 예시로 운영 과정을 설명했다.

### 3.2. 시스템의 주요 고려사항

본 연구에서 제시하는 CMS는 국내·외의 PMS, 도로함몰 관리, 하수관리시스템, 누수관리시스템, 공사구간 관리시스템 등 도로 인프라시설의 관리체계 장·단을 검토한 후 도입이 필요한 각 기관에 현실적으로 시스템을 도입할 수 있는 방안을 구성하였다.

CMS에 필요한 운영관리 구성요소들은 다음 사항들

을 중점적으로 고려해야 한다.

- (1) 도입이 필요한 기관 및 지자체에서 범용적으로 도입하여 사용하기 용이한 구성
- (2) 기존 관리 시스템의 DB 구성 고려
- (3) 동공에 대한 구체적인 정보와 타 시설물 관련 정보 및 탐사업체 등 부가정보의 필요
- (4) 도로함몰 관리에 필요한 필수 Data 정립
- (5) 추후 도로함몰 위험도 등급 및 관리 우선순위 선정 방식의 개발과 사용자 요구를 반영할 수 있는 관리 프로그램의 유연성
- (6) DB 자료의 다양한 활용을 위한 관계형 DB 구축
- (7) 도입이 필요한 각 기관의 상황과 지속성 여부를 고려한 도입 수준 구분
- (8) 동공 상세 위치정보의 기록 방법
- (9) 함몰관리의 최우선 사항 : 이용자의 안전성

#### 4. CMS 위치지정체계

도로관리의 필수 요소 중 하나는 도로 관리자와 보수 담당자 및 정책결정자들 간에 서로 의사소통이 원활히 될 수 있는 위치지정체계가 정립되어 있어야 한다는 것이다.

CMS에서 동공의 위치지정체계는 일반적인 PMS의 위치지정체계와는 차이가 있다. PMS의 경우 균열, 러팅, 평탄성 등 도로포장의 상태를 나타내는 지수를 해당 기관의 도로관리 방식에 따라 각 노선과 시점·종점을 구분하여 구간을 나눠 구간에 해당하는 포장상태를 지수화 한다(예로, 서울시의 경우 각 노선을 코드화 하고 20m 간격으로 구간을 나눠 포장상태를 관리함). 이는 도로포장의 경우 도로라는 연속된 객체가 일정한 형식으로 노면위에 연결되기 때문에 구간을 나눠 관리하는 방식이 도로 관리자 및 보수 담당자간의 의사소통에 효율적이기 때문이다. 하지만 CMS에서 관리하는 동공의 경우 불규칙적으로 형성되고 도로구조 하부 공간 임의의 위치에서 발생되기 때문에 PMS의 방식과 같이 도로 포장의 구간을 나누어 동공의 위치를 표현하기에는 어려움이 있다. 따라서 CMS에서는 도로 관리자 및 보수 담당자간의 원활한 의사소통을 위해 정확한 지점표현 방식의 위치지정체계가 필요하다.

일반적인 도로의 위치지정체계 방식은 Linear Referencing Methods와 Geodetic Referencing

Methods가 있다. Linear 방식은 도로의 특정 지점을 중심으로 도로 선형을 따라 위치를 지정하는 방식이며, Geodetic 방식은 GPS(Global Positioning System)를 사용하여 지구상에서의 위치를 경도와 위도로서 나타내는 방식이다.

Fig. 1과 Fig. 2는 Linear Referencing Methods 방식과 Geodetic Referencing Methods 방식의 위치지정체계를 나타낸 것이다.

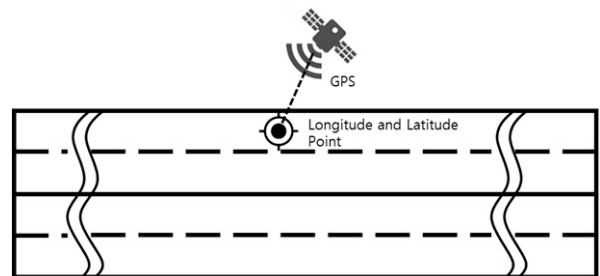


Fig. 1 Geodetic Referencing Methods

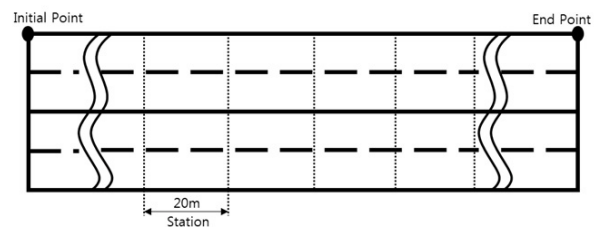


Fig. 2 Linear Referencing Methods

앞서 언급된 CMS에서 위치지정체계 선정의 어려움과 관련 실무진의 의사소통을 고려하여 CMS의 동공 위치지정체계 선정은 다음과 같은 운영관리 특성을 고려해야 한다.

- (1) 기존 도로인프라 시설(PMS) 관리 DB에 포함될 수 있는 형식의 지정체계 방식 : DB 자료관리 적절성
- (2) 동공의 모양과 위치를 구체적으로 표현
- (3) 실무자간 의사소통이 가능하고 현장에서 긴급보수 시 특정 위치확인이 용이한 방식
- (4) 현재 동공위치 탐사기술과 도입이 필요한 각 기관의 기술력 등을 고려한 현실성
- (5) 도로의 선형개선 및 위치지정 기술의 발전에 따른 동적인 위치지정체계 수정 기능
- (6) 실무자가 이해하기 쉽고, 위치의 업로드 방식이 편한 지정체계 방식

본 연구에서는 CMS 위치지정체계 방식을 Linear,

Geodetic, 2D 상세표시, 3D 상세표시 방법으로 분류했다. Linear 방식은 PMS를 통해 특정기준으로 나눠진 도로구간에 동공발생 유무를 표시한다. Geodetic 방식은 동공의 대략적인 위치를 위도와 경도를 통해 표시한다. 2D 상세표시 방식은 Linear 방식을 사용하는 PMS 위치지정체계에서 해당 도로의 시중점을 기준으로 나눠진 Station안에 동공이 포함돼 있을 경우 동공의 유무와 함께 특정 지점을 Reference Marker로 정의하고 Marker를 기준으로 동공의 상세위치를 표시하는 방법이다. 3D 상세표시 방식은 현재 국토부에서 진행하고 있는 3차원 입체구조의 지하공간 3D 통합지도에 도로구조하부 동공의 정보를 같이 표시하는 방식이다. Table 1은 위 특성을 고려한 각 방법의 장·단점을 요약한 것이다.

Table 1. CMS Locations Referencing System

Methods	Advantage	Disadvantage
Linear	- Simple: Presence of cavity is displayed on station of PMS location referencing system	- Additional detailed location information needed for maintenance and management
Geodetic	- Unaffected by road line changes because there is no need for a reference marker	- Possibility of error in location information - Management practitioners can not intuitively understand the cavity position by only the latitude and longitude - It is not appropriate to define the cavity location at one point because the shape of the cavity is irregular
2D Detail Mark	- Can be used in conjunction with PMS location referencing system - Intuitive understanding of maintenance personnel is possible - Can roughly determine irregular cavity shape	- Cavity have irregular volumes rather than faces. Therefore, there are limitations in displaying the cavity substance in a two-dimensional value
3D Detail Mark	- Can be possible to describe the cavity in detail - Visible to the relationship of surrounding facilities	- Capital and technology are needed to mapping 3D map of underground structure - The construction, operation and management of the 3D system requires a lot of experience and time

CMS에 필요한 위치지정체계의 특성과 각 대안들에 대한 장·단(Table 1)을 고려했을 때 CMS의 위치지정체

계는 2D Detail Mark 방법이 가장 현실적으로 고려할 수 있는 방법이라고 판단된다. 하지만 2D 위치지정체계 표시 방법은 동공의 Volume을 명확하게 표현하지 못하는 단점과 동공의 해당 위치가 PMS의 위치지정체계의 Station 두 개에 겹쳐서 형성된 경우 CMS 위치지정체계 상에서 어떤 방식으로 표현할 것인가에 대한 추가적인 고려가 필요하다.

또한 2D Detail Mark 방식의 주요 고려사항 중 하나는 현장에서 실무자가 Reference Marker를 기준으로 1차적인 동공의 위치를 찾아야 하기 때문에 Reference Marker는 도로상에 육안으로 식별이 용이하고 도로 위 어떤 위치에서나 동공의 위치를 참조할 수 있기 위해 넓은 범위에 많이 분포해야 한다.

이에 따라 본 연구에서 제시하는 Reference Marker는 맨홀, 신호등, 표지판 등의 도로 상부에 노출되는 도로 인프라 시설을 Point로 동공의 위치를 참조하는 방식이다.

Point를 기준으로 동공의 위치를 나타내는 방식은 도로함몰 관리 시스템 DB의 위치지정체계 Data에 해당 Point 시설물의 관리 코드가 링크되어 있어야 Point의 위치를 일괄적으로 저장하여 관리할 수 있다. 때문에 동공의 위치를 참조할 수 있는 Point 시설물이 Reference Marker로 사용되기 위해서는 해당 시설물이 관리 시스템 DB체계에서 GIS지도 좌표 등 위치를 나타낼 수 있는 형식의 Data로 관리 코드에 따라 저장되어 있어야 한다.

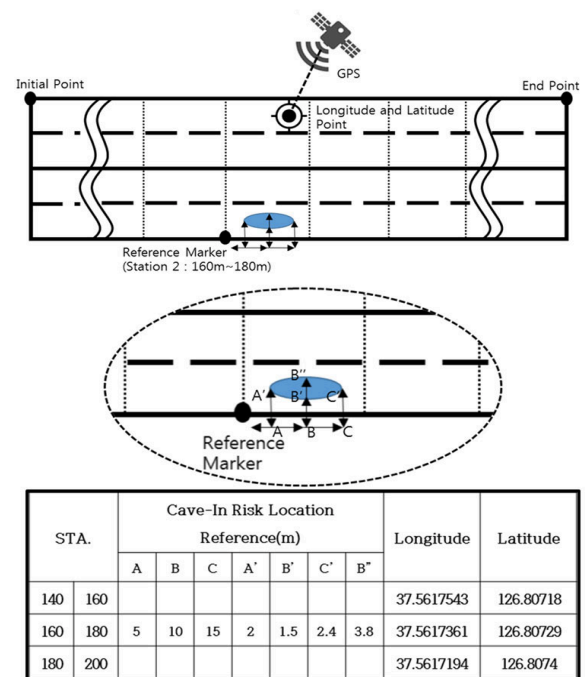


Fig. 3 Curve-In Risk Location Referencing Methods

따라서 CMS에서의 위치지정체계는 도입되는 해당 기관의 특성과 상황에 따라 선택해야 하며, PMS 및 기타 도로 인프라 시설의 DB가 구축되지 않은 기관일 경우 동공발견 시 해당 위치정보를 이미지로 저장하여 별도 보관해야 한다.

앞의 Fig. 3은 2D Detail Mark Methods의 위치지정 체계를 도식화한 예로 STA.는 Linear 방식의 위치지정 체계를 사용하는 PMS DB에서 한 노선을 해당 기준에 따라 Station으로 나눠놓은 것으로, PMS에서 지정된 도로의 특정 Station에서 동공이 발생한 경우 기존의 PMS Station Data에 동공의 위치가 입력되어 있다.

## 5. CMS DB 구축

### 5.1. DB 일반사항

데이터베이스(database)는 정보의 저장과 활용을 효율적으로 수행하기 위해서 서로 관련성을 가지며 중복이 없는 데이터의 집합을 유지하는 것이다. 다양한 분야에서 많은 정보를 처리하고 관리하기 위해 DB를 사용하고 있다. 특히, PMS에서 도로의 효율적 관리를 위한 데이터들의 집합 역시 데이터베이스로서 구성된다. 이렇게 구성된 데이터베이스는 효율적인 운영을 위해 전체적인 지식기반의 정보제공자 역할을 수행해야 하며 모든 의사결정들의 근거자료로 사용된다.

데이터베이스의 각 항목들은 자료의 성격상 시간이 경과하여도 추가적인 갱신이 필요 없는 자료(fixed)와 포장 상태, 교통량, 유지보수실적 등과 같이 시간경과에 따라 정기적으로 갱신(update)이 필요한 자료로 구분된다.

Table 2는 PMS의 일반적인 Data Category와 구성 요소이다.

Table 2. PMS Data Category

Classification	Fixed	Update
Inventory	Related information of Section (location, formal structure, etc.)	-
Condition	-	Crack, IRI, Rutting
History	Historical history information, etc.	Reconstruction, maintenance information

도로인프라 시설과 같은 사회간접자본 시설물과 유지보수를 할 경우 직·간접적인 큰 자본 투자가 필요한 시설물들은 해당 시설물의 LCC(Life Cycle Cost)에 영향

을 주는 요소들에 대한 상태정보의 주기적인 Update가 필요하다. 이런 형식의 Data는 Table 형태로 DB에 저장된다. 따라서 도로인프라 시설의 경우 방대해진 Condition Data와 각각의 Table에 해당하는 요소들을 시설물 관리와 관련된 모든 의사결정들의 근거로 사용하기 위해 정보를 재결합시켜 새로운 관계를 만드는 데 용이한 관계형 DB 구조가 일반적으로 사용되고 있다.

관계형 DB에서는 기본키(primary key)와 외래키(foreign key)가 필요하며 기본키는 단일 값으로 Table의 열(ID)을 구분한다. 외래키는 한 테이블의 기본키가 다른 테이블의 속성과 같고 이를 통해 데이터 원소들을 재결합시켜 새로운 관계를 만들 수 있다.

### 5.2. CMS DB 구축의 주요 고려사항

본 연구에서 제시하는 CMS DB는 PMS DB의 일반적인 Format으로 구축하였다. 또한, 현재 운영 중인 서울시 PMS DB의 수집, 가공, 활용 등을 고려하여 PMS DB와의 연계성을 검토하였고 도로함몰 관련 연구 자료와 전문가 자문을 통해 CMS DB 구축에 필요한 필수 요소들을 정리했다. 이에 따라 CMS DB 구축에서 고려해야 하는 중점고려요소는 다음과 같다.

- (1) PMS DB의 Category와 같은 형식의 Data 분류
- (2) 기존 DB와의 Matching : 도로함몰 현장조사 Data를 일반적인 PMS DB의 위치지정체계에 포함하여 관리 실무자의 편의성과 DB서버 관리의 효율성 도모
- (3) 위치정보의 상세표현 방식
- (4) 관계형 DB : CMS 및 타 DB의 각 DB Table 정보 재결합 가능성을 고려한 Link ID(외래키) 지정
- (5) Link ID에 따른 외래키 설명 Table 별도 필요
- (6) 실질적인 관리 및 탐사기관의 명시
- (7) 발생원인과 원인에 대한 정량적인 정보

### 5.3. CMS Data 설계 방안

도로함몰의 필수 Data는 위치정보와 위험도 관련자료, 보수 이력 등 PMS와 Data 체계가 유사하다. 따라서 기본키, 외래키를 사용한 DB 연계의 활용도를 높이기 위해 PMS와 동일하게 Data의 Category를 분류할 수 있다.

Table 3은 본 연구에서 제시하는 도로함몰 필수 Data를 성격에 따라 PMS Data Category와 같이 Inventory, Condition, History, 기타로 분류한 것이다.

Table 3. CMS Data Category

Classification	Fixed	Update
Inventory	Related information of Section (location, formal structure, etc.)	-
Condition	-	Surrounding information related to cave-in risk Information of cave-in risk
History	Historical information, etc.	Information of management level & rehabilitation
etc	Information of management & Research agency	

CMS Data의 Format은 위 CMS DB 구축의 주요 고려사항을 참고하여 설계했다. CMS Data 요소 중 관리번호는 DB에서 기본키가 되고 상세위치는 본 논문에서 예시로 사용한 2D Detail Mark(Fig. 3)를 적용했다. 상세위치에서 노선코드는 Link ID로 PMS DB의 위치지정체계와의 Matching이 가능해야 한다.

실무자는 관리 및 보수 시 적절한 방법과 정확한 위치 정보를 추가적으로 제공하기 위해 도로구조 하부에 위치한 동공의 형태를 직관적으로 확인할 수 있어야 한다. 따라서 동공의 규모를 표현할 때는 동공의 폭과 연장, 토피, 깊이 및 대략적인 모양을 작성해야 한다.

CMS Data 요소 중 동공 발생원인은 동공의 발생 원인이 되는 시설물 또는 상황을 구체적으로 작성하고 원인 시설물이 동공의 발생과 확장에 영향을 미치는 주요 정보를 확인할 수 있어야 한다. 예로, 하수관의 노후화에 따른 동공발생인 경우 하수관의 정보(재령, 직경, 관종 등)를 추가적으로 표시해야 한다. 특히, 하수관의 파손으로 인하여 발생된 동공은 도로함몰 발생의 가장 큰 원인이다. 최근 하수관로 건전도와 도로함몰 발생의 상관관계를 분석한 연구에 따르면 재령, 직경, 관종은 도로함몰 위험도에 영향을 미칠 가능성이 높다고 분석되었다(Kim, J. Y. et al., 2017).

위험도 관련 주변 정보의 경우 발생원인과 함께 도로함몰 위험도와 관리 등급을 결정하는 의사결정의 근거로 사용될 수 있기 때문에 DB 구성에서 가장 중요한 정보이며, 동공 발생·확장 및 함몰의 예측과 위험도를 정확하게 계산하고 평가하기 위해 동공 주변 환경의 다양한 정보가 요구된다.

Table 4는 본 연구에서 제시하는 CMS Data의 설계 방안 예시이다.

Table 4. CMS Data Design

Classification	Content								
Number of management	1								
Date of survey	Year		Month		Day				
	2016		11		28				
Location of survey	Name of road	Address		Lane	Direction				
	Yangcheon Road	Gangseo-gu Gayang-dong 17-8		1	Gayang-station →Oil bank Gayang-shop				
Detail location	Route cord		SAT.		Latitude		Longitude		
	45(Link ID)		160	180	37.5617361		126.80729		
	A	B	C	A'	B'	C'	B''		
Cavity scale	Width		Length		Cover depth <sup>1)</sup>		Depth <sup>2)</sup>		
	2.3m		10m		1m		2m		
Cause genesis	Cause				Type				
	Sewer pipe				Deterioration				
Source information	Material age		Diameter		Pipe type				
	30years		450mm		Hume pipe				
Surrounding information related to cave-in risk	Soil	Type	Feature	Grading	Moisture content		Water table		
		Soil	Soft	Congruity	13.2		7m		
	Pavement	Type	Surface course thickness	Total thickness	Remaining life		FWD		
		AP	5cm	25cm	30%		800 $\mu$ m		
	Traffic	AADT			Heavy vehicle rate				
		11587			22.9				
Facilities	Underground facilities near cavity								
	None								
Hazard	Cave-in risk Index			Management priority rating					
	3			Emergency					
Data of restoration	Existence and nonexistence				Special note				
	None				None				
Management agency	Management		Research		Rehabilitation				
	Gangseo road office		Research center of road pavement		None				

1) The Cover depth of the cavity size item is the depth from the pavement surface to the top of the cavity

2) The depth of the cavity size item is the depth from the pavement surface to the top of the cavity



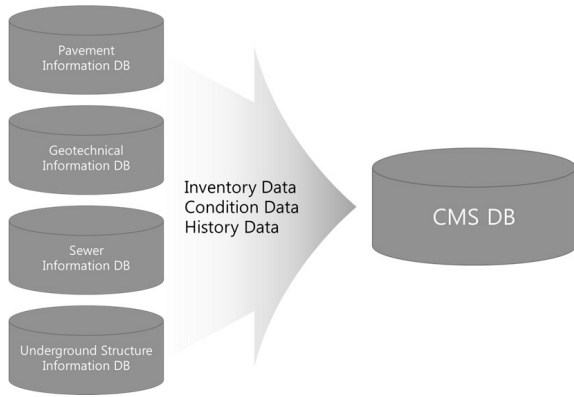


Fig. 4 DB Connection for CMS Operation

## 6. CMS 운영전략

### 6.1. 운영관리 일반사항

최근 포괄적·능동적 교통관리는 교통업계의 경향이다. 지난 교통관리의 경향이 시설물 및 시스템의 영구적인 개선에 초점이 맞춰졌다면 포괄적·능동적 교통관리는 이미 구축된 다양한 시스템과 모듈, Data를 조합하여 정해진 기준과 순서 및 구성에 따라 관리하고 빠른 환경변화에 유연하게 대처할 수 있는 시스템을 의미한다.

CMS의 운영절차는 포괄적·능동적 교통관리의 구현을 위해 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- (1) 타 도로인프라 시설물 DB와의 연계
- (2) 도입 가능한 관련 시스템과 Tracking, Analysis, Development, Monitoring Tool의 최신기술 사용 가능성 확보
- (3) 예방적 차원에서 국내 모든 도로관리 기관의 CMS 도입 현실화를 위한 초기 전략으로 관리 수준에 따른 운영절차 방안 도출
- (4) 이용자 안전성을 최우선으로 고려
- (5) 관리 실무자의 CMS 운영 이해를 돕기 위한 주요 Module의 Inputs, Outputs, Goals 구체화
- (6) CMS를 구성하는 각 Module들의 관계 정립
- (7) 매뉴얼과 프로그램화를 고려한 운영절차 상세 알고리즘 개발

Fig. 5는 CMS를 구성하는 주요 Module의 역할을 도식화 한 것이다.

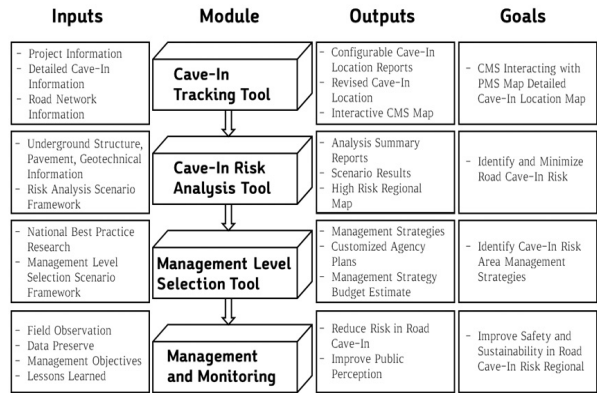


Fig. 5 Road Cave-In Management Project Diagram

## 6.2. 운영관리 요소 설계 방안

### 6.2.1. Cave-In Tracking Tool

동공은 도로구조하부에 위치해 있기 때문에 정확한 위치와 규모를 판단하기 위해서 GPR(ground penetrating radar) 등의 특수한 장비가 필요하며, 장비를 통해 얻어진 도로구조하부 정보(이미지)를 가공해서 동공의 유무와 이미지를 구체화하는 과정이 필요하다. 또한 얻어진 동공의 위치와 규모에 대한 정보는 웹 기반의 응용 프로그램에 시각적으로 표현되어야 실무자와 관계자의 Cave-In Risk 관리를 위한 의사소통이 원활하게 진행될 수 있다. 따라서 CMS에서 사용될 Cave-In Tracking Tool은 조사 및 가공 절차와 웹 작업 영역 표시 절차가 필요하다.

조사 및 가공 절차는 신뢰성을 확보할 수 있는 조사 장비와 정보 가공 방법을 통해 실행되어야 하며, 조사는 기존 도로 이용자에 영향을 최소화 할 수 있는 시간 및 주기를 정하고, 정보의 가공은 동공의 구체적인 위치와 규모의 이미지화와 CMS의 위치지정체계에 맞는 형식의 Data입력이 필요하다.

웹 작업 영역 표시 절차는 적합한 권한을 가진 사용자가 동공의 위치, 규모, 노드 링크 및 기타 객체 정보를 웹 브라우저를 통해 입력한다. 또한 새로운 사용자를 위한 최소한의 설정만으로 쉽게 액세스할 수 있고 기관과 기관 사이의 조정을 용이하게 하는 구조를 구성해야 한다. 정보의 업데이트는 GIS 정보와 연동하여 사용자가 데이터를 일괄적으로 입력할 수 있는 환경이 구축되어야 한다.

### 6.2.2. Cave-In Risk Analysis Tool

Cave-In Risk Analysis Tool의 핵심 목적은 도로 함몰의 위험도를 예측하고 지수화 하는 것이다. 도로하

부 동공으로 인한 도로함몰의 위험도 평가 분석에 필요한 정보는 Cave-In Tracking Tool에서 전송된다.

현재 국·내외 도로함몰 위험도 예측 연구는 초기단계이기 때문에 위험도를 예측하고 지수화 하는 연구가 필요하다. 본 논문에서는 도로함몰 위험도를 지수화 하는 과정의 예시로 서울시포장평가지수(SPI)의 산출방식을 토대로 도로함몰 위험도 지수 산출식의 예를 Fig. 6에 표현했다.

<p><b>Individual cavity Index Calculation</b></p> <p>Depth Index = <math>10 - 2.23 \times T^{0.3}</math> (Here, T : Cavity Depth)</p> <p>Width Index = <math>10 - 0.2 \times W</math> (Here, W : Cavity Width)</p> <p>Length Index = <math>10 - 0.667 \times L</math> (Here, L : Cavity Length)</p>	<p><b>Cave-in risk Index Calculation</b></p> <p>Cavity Scale Index =</p> $[(10 - \text{Depth Index})^5 + (10 - \text{Width Index})^5 + (10 - \text{Length Index})^5]^{0.2}$ <p>Cave-in risk Index = 10 - Cavity Scale Index</p>
---	---

Fig. 6 Road Cave-In Risk Index (Example)

위험도의 지수화는 보다 심층적인 조사와 경험 및 연구를 통해 개발될 수 있으며, PMS의 포장상태 지수 (present condition index)가 현재 조사된 포장에 대한 상태를 대표한다면 CMS에서의 위험도 지수는 앞으로 예측되는 도로함몰의 위험도를 지수화(predicted risk index) 한다는 차이점을 반드시 유념하여 연구 개발해야 한다. 따라서 CMS의 위험도 지수 개발을 위해서는 도로함몰에 영향을 미치는 주변 요인들의 고려와 동공 발생·확장의 역학적 이해 및 동공 위치·규모에 따른 정확한 함몰 예측 시간 모형이 필요하다.

### 6.2.3. Management Level Selection Tool

도로함몰의 관리 수준은 숙련된 관리 기술자의 의견을 참고하여 Decision Tree를 사용하거나 관리수준 대안별 경제성을 분석하여 결정한다.

CMS에서 대안별 경제성 분석을 하는 경우 각 대안들에 대한 투자비용 및 편익을 고려해야 하며, 도로함몰의 경우 이용자의 안전과 밀접한 관계가 있기 때문에 경제적인 편익에 이용자의 안전이 높은 가중치로 부과되어야 한다. 하지만 이용자의 안전에 대한 편익은 정성적인 요소가 크기 때문에 산정에 어려움이 있고, 국제적인 도로 유지관리 분야의 관심과 예산비중이 커지고 있기 때문에 현 시점에서 이용자의 안전을 고려해야 하는 도로함몰 관리수준 결정 시 대안별 경제성 분석 방법은 합리성이 부족하다고 판단된다.

Decision Tree를 사용하는 경우 명료하고 논리적으로 모든 관리자에게 쉽게 이해되는 방법으로 관리수

준 선택의 기준을 설명할 수 있으며, 도로함몰이 이용자의 안전에 큰 영향을 준다는 사실을 고려하여 관리수준에 따른 투자비용을 고려하지 않는 것이 합당하다. 하지만 경제성을 고려하지 않았기 때문에 다음 년도 도로정비 예산이 부족한 경우 최상위 관리등급을 요하는 지역들의 복구 우선순위를 다시 고려해야 하는 단점이 있다.

Fig. 7은 Decision Tree를 사용하여 관리수준을 선택하는 방법의 예시이다. 위험도 지수 4~6은 동공 확장 및 함몰에 영향을 미칠 수 있는 주변 정보를 통해 관리수준(우선, 일반)을 결정하게 되며, 조사 및 관리기관의 상황에 따라 주변 정보가 없는 경우 위험도 지수 4~6의 동공은 모두 관리수준 일반 단계로 적용하게 된다.

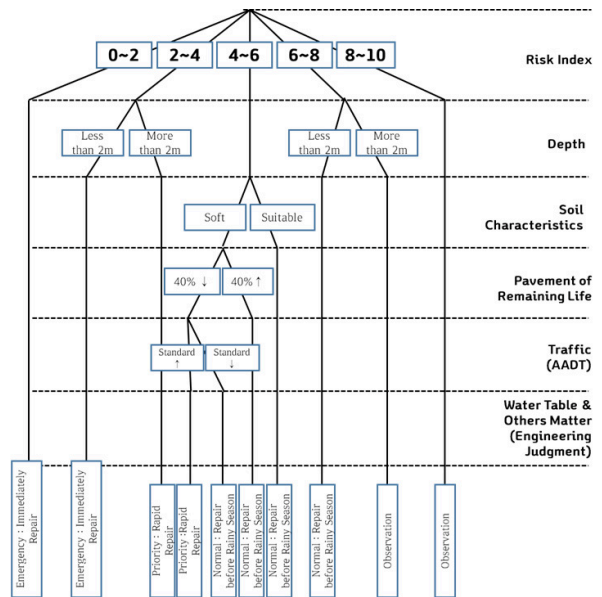


Fig. 7 Road Cave-In Management Level Decision Tree (Example)

### 6.2.4. Software Tool Framework

CMS는 도로를 관리하는 국내 모든 기관에 사용을 권장해야 하는 시스템이기 때문에 도입의 편익과 실무자의 사용 효율증진 및 운영 Feedback Data의 공유를 위해 CMS의 모든 작업이 웹상에서 다뤄지는 프로그램 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 CMS의 프로그램화를 위해 CMS를 구성하는 각 Module과 필수 구성 요소 및 DB의 관계를 통합하여 Software Tool Framework를 구성했으며, 여기서 제시하는 Software Tool Framework는 Tracking Tool과 Analysis Tool 사이의 System



Framework로 운영절차는 다음과 같다.

- (1) 현장 조사 정보를 Tracking Tool Analysis Module에 입력
- (2) 가공된 조사 정보를 Tracking Tool DB로 전송
- (3) 도로함몰에 영향을 줄 수 있는 동공 위치 인접 시설물에 해당하는 포장정보, 지반정보, 지하구조물정보, 교통정보 등 분석에 필요한 자료를 Analysis Tool DB로 전송
- (4) Cave-In Risk Analysis 결과를 Analysis DB로 전송
- (5) GIS를 기반으로 하는 웹 프로그램 서비스에서 사용자에게 보고서를 생성

Fig. 8은 CMS를 구성하는 각 Module과 필수 구성요소 및 DB의 관계를 도식화한 것이다.

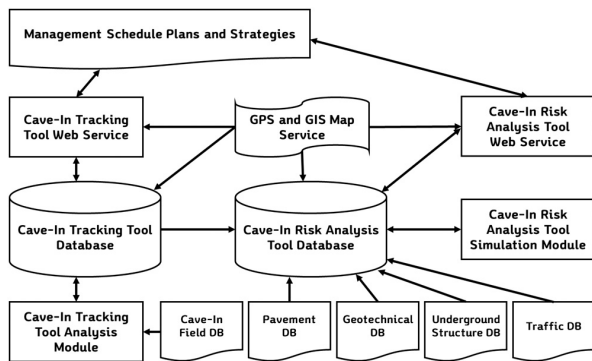


Fig. 8 Software Tool Framework

## 7. CMS 운영절차 최적화 방안

본 연구에서 제시하는 CMS 운영절차 최적화 방안은 앞서 언급했던 CMS 시스템 개발의 기본 고려사항, 위치지정체계, Database 구축, 운영관리 전략의 내용을 토대로 CMS 운영 절차를 조사, 분석, 평가, 관리, Feedback으로 분류하고 각 단계에서의 세부 알고리즘에 대한 설명과 전체 운영절차의 도식화를 목적으로 하였다. 또한 본 연구에서 제시하는 세부 운영절차에 추가적으로 고려가 필요한 부분에 대해서 설명했다.

운영 절차에서 조사 단계는 현장조사와 Data가공 절차로 진행되며, 현장조사의 경우 세부적으로 조사계획의 수립, 조사장비 검증, 상태조사 실시, Cave-In Field Data 생성 절차를 진행한다. Data가공의 경우 Cave-In Field Data를 CMS DB의 위치지정체계 Format으로 변환하는 과정을 실시한다.

운영 절차에서 분석 단계는 도로함몰의 위험도를 평가하기 위한 위험도 지수를 도출해야 하며, 도로함몰 위험도 분석을 위한 동공 발생·확장 예측 모형과 도로함몰 위험도 평가 모형을 통해 도로함몰 위험도 지수를 산출한다.

운영 절차에서 평가 단계는 동공의 관리등급을 결정하며, Decision Tree를 사용하여 해당 수준에 적합한 관리 등급을 선택한다. 선택된 관리등급은 정해진 예산과 관련 전문가의 자문을 고려해 재조정하는 단계를 거쳐야 한다.

운영 절차에서 관리 단계는 최종적으로 선택된 관리

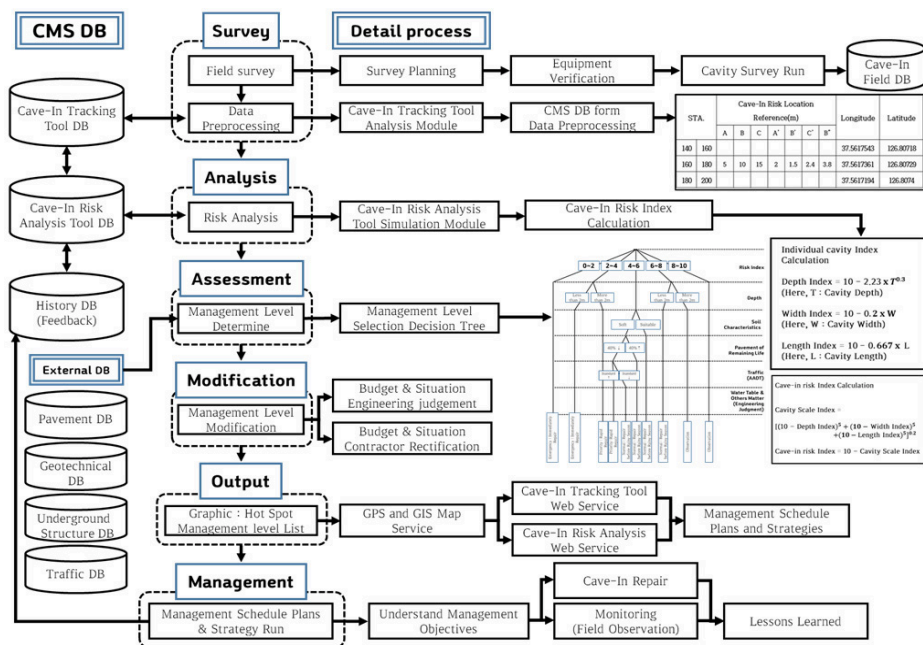


Fig. 9 CMS Operate Process

등급에 따른 관리 계획과 전략을 구상하고 복구 및 모니터링 하는 과정으로 세부적인 정보와 관리 실무자의 교환 및 의견을 CMS DB에 기록해야 한다. CMS 프로그램이 실행되고 최종적인 관리까지 모든 과정을 DB화하고 Feedback하는 과정의 중요성은 아직 국내·외의 도로함몰 관련 연구가 부족한 상태이기 때문에 추후 도로함몰 관련 연구의 기초자료로 사용될 수 있기 때문이다.

본 연구에서 제시하는 세부 운영절차의 추가적인 고려 및 연구 사항은 다음과 같다.

- (1) 동공 현장조사 Data의 구체적인 위치와 규모를 이미지 및 텍스트 정보로 변환할 수 있는 프로그램 개발
- (2) 정량적으로 도로함몰 위험도를 평가할 수 있는 위험도 지수의 개발
- (3) 도로 기능의 지속성 및 이용자의 안전성을 고려한 도로 구조적 상태와 주변 도로인프라 시설의 영향을 포함한 도로함몰 관리 등급 선택 방법 개발
- (4) CMS 도입이 필요한 기관의 상황과 운영의 현실성을 고려한 운영수준의 구분

앞의 Fig. 9는 위에서 제시한 CMS 운영 절차의 도식화로 CMS DB, 외부 DB, 일반적인 운영 절차와 운영 절차의 각 항목에 대한 상세 절차로 구성되며 조사, 분석, 평가에 해당되는 분석 Module 결과 값에 대한 예를 포함하고 있다.

## 8. 결론

본 연구는 도로함몰을 관리하기 위한 시스템의 구성요소를 정립하고 운영 절차를 최적화 하는 방안을 도출하였다. 국내외 도로함몰 관련 문헌 및 관리 시스템의 운영현황을 고찰하고 도로함몰 관리 시스템을 구성하는 요소들의 설계 고려사항과 운영방법들에 대한 비교분석을 통해 도로함몰 관리 시스템의 구성요소 최적화 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 도로함몰 관리 시스템 구축을 위한 필수 구성요소는 위치정보체계, DB, 운영전략, 운영절차의 정립과 최적화가 필요하다.
2. 위치정보체계는 기존 도로인프라 시설(PMS) 관리 DB에 포함될 수 있는 형식의 지정체계 방식을 사용

해야 하며, 도로함몰 관리 시스템의 경우 PMS의 Linear Referencing 방식에 특정 Point를 통해 동공의 위치를 설명하는 2D Detail Mark 방법을 사용하되 상황에 따라 이미지 Data를 별도로 보관해야 한다.

3. 해당 기관에 운영되고 있는 PMS가 있다면 PMS DB에서 사용되는 노선코드와 도로함몰 관리 시스템DB에서 동공의 상세위치는 Matching이 가능해야 한다. 또한 도로함몰 관리를 위한 DB는 동공의 규모와 발생 원인에 대한 구체적이고 다양한 정보가 포함되어야 한다.
4. 도로함몰 관리 전략은 예산 분배의 효율, 유지관리의 편의 등 경제적 측면에 중점을 두기 보다는 이용자의 안전에 초점을 두고 계획해야 하며, 위험도 평가를 위한 지수개발은 PMS의 포장상태지수(Present Condition Index)가 현재 조사된 포장의 상태를 대표한다면 도로함몰 관리 시스템에서의 위험도 지수는 앞으로 예측되는 함몰의 위험도를 지수화(predicted risk index) 해야 한다.
5. 도로함몰 관리 시스템의 운영절차는 본 연구에서 제시하는 각 구성요소의 설계 시 주요 고려사항을 참고하여 구성하며 운영절차의 각 단계를 조사, 분석, 평가, 관리, Feedback으로 분류하고 각 단계별로 상세한 운영 알고리즘을 설계해야 한다. 본 연구에서는 이에 따라 운영절차를 도식화(Fig. 9)하여 설명하였다. 또한 모든 과정을 통합프로그램으로 운영하는 도로함몰 관리 시스템의 도입은 기관의 상황과 운영의 현실성을 고려하여 관리 수준을 구분하고 도입의 단계에 따른 운영절차를 추가적으로 연구해야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 17TLRP-C099510-03)에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Bae. Y. S., Kim. K. T., Lee. S. Y. (2017) "The Road Subsidence Status and Safety Improvement Plans" *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 18, No. 1, pp. 545-552.
- Bae. Y. S., Shin. S. Y., Won. J. S., Lee. D. H. (2016). "The Road Subsidence Conditions and Safety Improvement Plans in Seoul", The Seoul Institute.
- C. L. Dickerson III., J. Wang., J. Witherspoon. (2017). "Work Zone Management the District of Columbia" *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2554, pp.37-45.

- Kim. J. S., Do. M. S. (2014). "Directions to Introduce the Pavement Management System for Gyeonggi-Do", Gyeonggi Research Institute.
- Kim. J. Y., Kang. J. M., Choi. C. H., Park. D. H. (2017) "Correlation Analysis of Sewer Integrity and Ground Subsidence", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol 18, No. 6, pp.31-37.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2015). "Safety Management Manual of Road Subsidence".
- Park. J. B., Lee. Y. J., Lee. M. J. (2014). "Basic Study of the Improvement of Maintenance Process for Efficient Highway Pavement Management", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 15, No. 11, pp.6932-6942.
- Park. K. S., Suh. Y. C. (2000). "Optimization of Municipal Pavement Management System(PMS) Components (Development of a Prototype PMS for Ansan City)", *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 2, No. 4, pp.111-122.
- United States Environmental Protection Agency (2002). "Asset Management for Sewer Collection Systems".