

## 포트홀 감지 시스템을 이용한 보수재료량 산출 알고리즘 개발

김경남\* · 김성호\*\* · 김낙석\*\*\*

Kim, Kyungnam\*, Kim, Sung-Ho\*\*, Kim, Nakseok\*\*\*

### A Study on Algorithm for Materials Take-off Using Pothole Detection System

#### ABSTRACT

Various type of pavement deterioration such as crack, bumpy, pothole is rapidly increasing according to the accelerated environmental changes like heavy rainfall, frequent snowing, difference temperature, etc. Accident related to pothole that cause fatal traffic accidents has been increased more than five times over the next five years starting from 2008. As direct or indirect damage by pothole which caused injuries and car damages increases every year, quicker and more efficient management measures are necessary. This study presents the algorithm for materials quantity take-off. The algorithm was suggested by correlation in pothole size and area. Suggested algorithm were confirmed the validity through the 15 field survey in capital area. According to the results of survey, usually the residual materials at which 5~7 kg was generated decreased to 1~2 kg. It showed that automatic pothole detection system is expected not only to reduce materials and resources, but also to contribute to quality improvements of pavement through more accurate material take-off from the situation of constructing rely on their own judgement.

**Key words** : Pothole, Pothole detection system, Emergency pothole repair, Pavement maintenance, Material take-off

#### 초 록

최근 집중호우, 잦은 강설, 급격한 기온차이 등 환경변화의 가속화에 따라 균열, 단차, 포트홀 등 다양한 형태의 도로 파손이 급증하고 있다. 이 중 포트홀 관련 사고는 파손 특징상 대형사고를 유발하며 08년 기준 5년간 약 5배 이상 증가하였다. 매년 포트홀로 인한 인명피해, 차량파손 등 직·간접적인 피해가 증가함에 따라 보다 신속하고 효율적인 관리 대책이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 포트홀 규모, 면적과의 상관관계를 통해 체적 보정계수와 보수재료 물량산출 알고리즘을 제시하였다. 제시된 물량산출 알고리즘의 검증을 위해 수도권 지역 15개소의 포트홀을 측정 한 결과 통상적으로 개소당 약 5~7 kg까지 발생하던 재료 잔량이 1~2 kg까지 감소하는 것으로 나타났다. 작업자의 주관적인 판단에 의존하여 시공하고 있는 실정에서 포트홀 체적 감지 자동화 통합시스템은 재료/자원 절감뿐 아니라 적절한 보수물량 산정을 통해 다짐상태 등 포장 품질 향상에 기여할 수 있을 것이다.

**검색어** : 포트홀, 포트홀 감지 시스템, 포트홀긴급보수, 도로 유지보수, 물량산출

## 1. 서론

최근 세계적인 기후변화와 함께 우리나라의 기후 또한 과거의 양상과 달라지고 있다. 국내의 경우 여름철 집중호우와 겨울철 잦은 강설, 급격한 기온차이 등 도로 시설물의 내구성에 나쁜 영향을 미치는 환경변화가 일어나고 있다. 특히 아스팔트 콘크리트 포장도로는

\* 정희원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Kyonggi University · kimgoon000@gmail.com)

\*\* 종신회원 · 교신저자 · 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Corresponding Author · Kyonggi University · adonikim@naver.com)

\*\*\* 종신회원 · 경기대학교 토목공학과 교수 (Kyonggi University · nskim1@kgu.ac.kr)

Received December 26, 2016/ revised January 9, 2017/ accepted March 7, 2017



## 2. 포트홀

아스팔트 포장 도로의 파손형태는 대표적으로 소성변형(Rutting)과 균열(Cracking), 포트홀(Pot Hole) 3가지로 구분된다(Park, 2015). 포트홀은 아스팔트 콘크리트 포장의 노면이 국부적으로 움푹 떨어져 나가 패어지는 항아리 모양의 노면 파손형태로 여름철 집중호우, 겨울철 폭설시 집중적으로 발생하며 교통안전과 도로손상에 주요한 영향을 미치고 있다(Jung, 2013). 포트홀은 40-50 cm의 지름과 5-10 cm 깊이로 Fig. 2와 같이 움푹 파인 형태로 발생한다(KICT, 2014). 아스팔트 콘크리트 포장에서 발생하고 있는 조기 파손의 하나인 포트홀은 복합적 요인에 의해 급증하고 있으며 발생원인은 Table 2와 같다(Park, 2013).

KICT (2014)의 조사에 따르면 포트홀은 계절적 영향을 크게 받으며, 일반국도는 흑한기(1, 2월)와 장마철(7월)에 주로 발생하였고, 고속국도는 흑한기(1, 2, 12월)에 많이 발생하는 것으로 나타났다. 한국도로공사에서 1998-2009년까지 고속국도 파손 형태 조사에 따르면 포트홀이 66%, 균열이 24%, 소성변형이 10%를 차지하며 교면포장, 덧씌우기 포장에서 특히 많이 발생하는 것으로 조사되었다(Son, 2013).



Fig. 2. Shape of Pothole

Table 2. Cause of Occurrence of Pothole

Classification	Cause of Occurrence
Mix Design	Chemical Activity, Content of Binder, Void, Additive
Production	Temperature Management, Content of Water in Aggregate, Clay Content
Construction	High Voids, High Permeability, Variability in Field
Environmental Factor	Field of High Rainfall, Cycle of Freezing-Thawing, Desertification,
etc	Drainage Problems in Pavement Traffic Volume of Heavy-Vehicles

포트홀은 사고의 위험이 높으며 급속히 진행되는 특성상 빠른 시간내 발견, 보수하여야 하는 파손형태이다. 포트홀 보수의 신속성과 품질확보를 위한 장비개발 및 연구를 통해 포트홀로 인한 직접적 사고피해와 차량 정체로 인한 사회적 비용을 절감하기 위한 새로운 접근법을 필요로 한다. 기존 포트홀 보수는 긴급보수의 형태로 인력에 의해 이루어지며 특히 포트홀의 정확한 체적을 알기 어렵기 때문에 작업자의 판단에 따라 재료를 투입하고 다짐작업을 수행하여 보수 후 1-7일 이내에 재보수를 실시하여야 하는 경우가 빈번히 발생한다. 본 연구를 통해서 포트홀 크기를 자동으로 측정하고 그에 맞는 재료량을 산정하는 것은 재료비의 절감 뿐 아니라 신속하고 적절한 보수를 실시할 수 있어 도로포장 보수의 품질을 확보할 수 있는 방안이 될 것이다.

## 3. 포트홀 조사장비

효율적으로 포트홀을 관리하기 위해 자동 포트홀 감지 시스템에 관한 연구가 지속되고 있다. 포트홀 자동 감지 시스템은 영상 감지 방식, 가속도 센서, 레이저 스캐닝 등으로 분류된다. 영상을 이용한 감지 방식은 비디오 카메라를 이용하여 도로노면 촬영 후 포트홀을 감지하는 시스템으로 저렴한 비용으로 넓은 영역의 노면 감지가 가능한 장점이 있으나 포트홀의 넓이는 알 수 있으나 깊이를 알 수 없는 단점이 있다. 또한, 가속도 센서 방식은 노면에 발생한 포트홀을 통과할 때의 가속도 변화를 측정하여 포트홀을 존재를 조사하는 방법으로 비교적 적은 비용으로 포트홀 감지가 가능하나 맨홀, 과속 방지턱 등과 같은 도로 시설물과 측정자의 운전 습관 등에 따라 포트홀 인식이 떨어지는 단점이 있다. 레이저 스캐닝 방식의 경우 레이저를 도로 노면에 투영하여 반사되어 돌아오는 레이저의 시간차를 이용하여 포트홀을 감지하는 방식이다. 스캐너의 샘플링 속도가 빠를수록 노면에 발생한 미세한 크랙 등 포장단면의 상세한 데이터까지 얻을 수 있는 장점이 있으며 3차원 모델링을 통해 포트홀 체적을 계산할 수 있다(Jo, 2016).

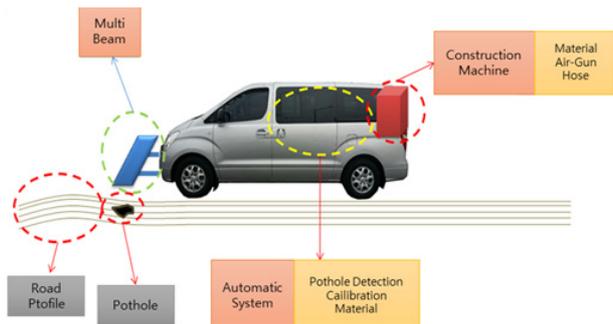


Fig. 3. Conceptual Illustration of Automated Road Surface Measuring Equipment

본 연구에서는 기존 고가의 외산장비에 의존하고 있는 포장 노면상태 감지 시스템의 경량화를 통해 비교적 저렴한 비용으로 포트홀 및 노면상태 감지가 가능한 시스템을 구현하고 조사된 포트홀 체적에 따라 정량의 보수재료를 사용하여 즉시 응급복구 할 수 있는 시스템을 Fig. 3과 같이 구현하고자 한다.

#### 4. 포트홀 체적 감지 통합시스템

포트홀 체적 감지 통합시스템은 노면 측정을 위한 멀티빔, 데이터 분석 플랫폼으로 구성된다. 멀티빔은 단일(다중) 센서를 이용하여 도로 표면 상태를 감지하는 기술형태로 포트홀을 측정할 수 있는 시스템이다. 데이터 분석 플랫폼의 경우 도로관리 주체에게 포트홀에 대한 상세정보와 우선순위 선정 정보, 의사결정 지원 정보 등을 제공하고 포트홀 발생 구간에 급속시공이 가능하도록 네비게이터 기능을 수행하는 통합시스템으로 Fig. 4와 같은 처리 흐름을 갖는다.

##### 4.1 노면감지 멀티빔 시스템

일반적으로 도로포장 표층에 사용되는 골재 최대크기는 13 mm, 20 mm로 포장부 골재 노출 부분을 포장 파손으로 인식할 우려를 감안하여 직경 20 mm 수준의 파손을 감지하는 것을 목표로 하였으며 Fig. 5는 노면 감지 멀티빔 시스템 처리과정이다. 노면 감지 센서는 영상, 이미지, RF, 레이저, 초음파 등 여러 종류의 센서를

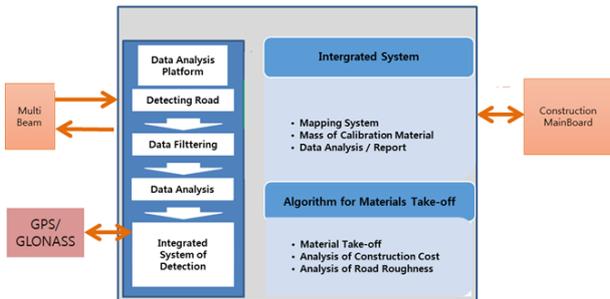


Fig. 4. Flow Chart for Proposed System

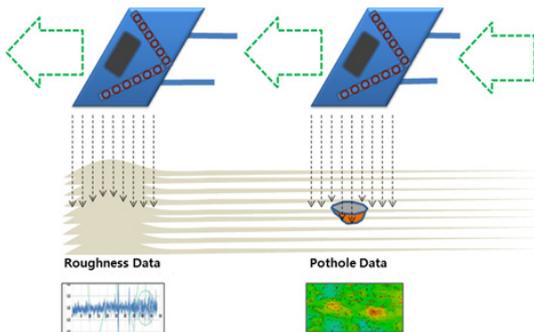


Fig. 5. Flow Chart of Surface Detection

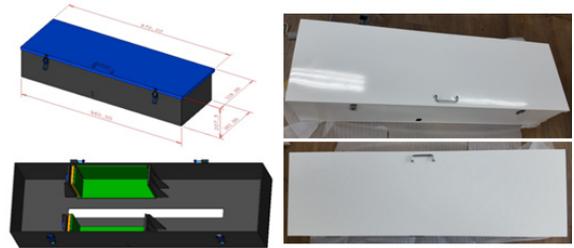


Fig. 6. Laser Sensor



Fig. 7. Electronic Ultrasonic Sensor

검토하여 선정하였다. 노면 감지용 멀티빔 시스템은 차량 앞쪽에서 도로 노면상태 감지 역할을 하는 레이저 센서와 차량 측면에서 평탄성을 감지하는 초음파 센서로 구성된다.

노면 감지용 멀티빔은 Fig. 6과 같은 레이저 센서를 차량 저면에 폭방향의 박스형태로 설계하였다. 레이저 센서는 차량 주행 중 노면을 횡단 방향으로 라인 스캐닝하여 3차원 프로파일을 생성할 수 있도록 차량 주행 방향을 중심으로 회전할 수 있도록 제작하였다. 차량 주행 속도가 빠를수록 스캐닝 라인 간격이 커져 데이터 편차가 크게 발생하므로 스캐닝을 통해 생성된 데이터를 주행속도에 따라 보정하여 산출하도록 하였다.

또한, 차량 양측에 Fig. 7과 같은 2개의 초음파 센서를 부착하여 노면으로부터의 높이를 감지하도록 구성하였다. 두 센서에서 측정된 프로파일로부터 포트홀의 입체적 형상을 추정하여 체적을 산정하고 기준 노면으로부터 높이와 초음파 센서로부터 감지한 높이의 편차를 합산하여 노면 평탄성 평가가 가능하도록 하였다.

##### 4.2 포트홀 체적 자동 산출 시스템

통합시스템은 회전식 레이저 센서, 초음파 센서로부터 전달받은 실시간 센싱 정보를 취합하여 포트홀 체적을 감지하고 노면 평탄성을 감지하는 시스템으로 Fig. 8과 같다. 통합시스템은 데이터 처리 과정을 통해 얻은 체적에 해당하는 보수재를 포설하도록 급속 보수장치를 제어하는 포설량 조절부, 평탄성 평가를 위한 신호처리 블록과 처리 결과 확인 모니터, 데이터 저장부로 구성된다.

멀티빔으로부터 감지된 3차원 데이터는 Fig. 9의 데이터 분석 플랫폼의 Fig. 10의 후처리과정을 통해 포트홀 체적과 노면 평탄성



살내 포트홀 감지 모사 실험에서 규모에 따라 편차가 발생하므로 실제 현장에서 발생한 포트홀에 대해 포트홀 체적 감지 실험을 수행하였다. 현장 실험은 수도권 일반 도로에서 무작위로 15개소의 포트홀에 대해 측정을 수행후 모래치환법에 의한 실제 포트홀 체적을 측정하였으며 그 결과는 Table 4와 같다.

포트홀 모사 시험편을 측정한 살내실험의 경우 모사된 포트홀의 크기가 작아 감지시스템을 통한 측정값과 큰 차이가 없었으나 크기가 큰 현장 측정 실험에서는 차이가 약 2,500 cm<sup>3</sup> 까지 나타났다. 이는 포트홀의 규모가 커짐에 따라 실측값과의 차이가 커지는 것으로 기존의 보정계수 1.03을 1.14로 수정하였다. 보정계수의 수정을 통해 Fig. 13과 같이 실제 포트홀 체적과의 차이를 약 200 cm<sup>3</sup> 까지 줄일 수 있었다. 감지 시스템에 의한 측정값과

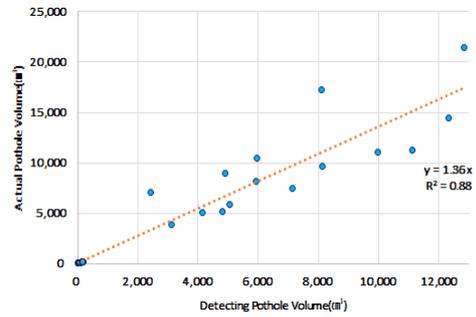


Fig. 13. Calibration/Actual Pothole Volume in Lab/Field

실제 포트홀의 체적은 감지 시스템이 상부에서 레이저 스캔을 통한 3차원 모델링으로 계산되는 한계로 인해 발생할 수 밖에 없기 때문에 향후 더 많은 데이터의 확보와 분석을 통해 보정계수의 지속적인 수정이 필요할 것이다.

Table 4. Deviation of Calibration/Actual Pothole Volume in Lab/Field

no	Calibration Pothole of Volume (cm <sup>3</sup> )	Actual Pothole of Volume (cm <sup>3</sup> )	Deviation (cm <sup>3</sup> )	
Lab	1	17.6	18.2	0.6
	2	21.1	21.1	0.0
	3	18.5	18.7	0.2
	4	51.1	51	-0.1
	5	55.6	55.7	0.1
	6	60.6	60.8	0.2
	7	76.2	79.5	3.3
	8	108.3	109.2	0.9
	9	118.6	119.8	1.2
	10	164.8	164.2	-0.6
	11	193.6	191.4	-2.2
	12	152.8	152.4	-0.4
Field	13	3,128	3,849	721.0
	14	4,884	5,046	162.0
	15	4,816	5,195	379.0
	16	4,168	5,819	1,651.0
	17	5,973	7,032	1,059.5
	18	7,124	7,481	357.0
	19	5,942	8,123	2,181.0
	20	6,684	9,005	2,321.0
	21	8,125	9,617	1,492.0
	22	8,452	10,495	2,043.0
	23	9,981	11,038	1,057.0
	24	11,115	11,222	107.0
	25	12,342	14,490	2,148.0
	26	14,831	17,209	2,378.0
	27	19,667	21,427	1,760.0

### 5. 보수재료 자동 물량산출 시스템

본 연구는 포트홀을 조사하고 크기를 자동 측정된 후 필요량의 보수재료를 자동 계량하여 보수작업을 진행하는 포트홀 급속보수 기술에 활용될 예정이다. 따라서 측정된 포트홀의 체적에 따라 필요한 보수재료의 양을 계산하고 현장적용성을 검증하고자 하였다. 실험에 사용된 보수재료는 현재 포트홀 급속 보수작업에 주로 사용되는 수경성 보수재료로 마살다짐기로 양면 50회 다짐한 후 밀도를 측정한 결과 2.199 g/cm<sup>3</sup> 의 값을 얻어 이를 측정된 부피에 곱하여 Eq. (2)와 같이 필요재료량을 산출하였다.

$$M_p = a \times V_d \times G_m \tag{2}$$

$M_p$  : Mass of Calibration Material (kg)

$a$  : Calibrating Constant (1.14)

$V_d$  : Detection Pothole Volume (cm<sup>3</sup>)

$G_m$  : Density of Material (2.199 g/cm<sup>3</sup>)

포트홀의 크기에 따라 결정된 보수재의 양은 Table 5와 같으며, 통상적으로 포트홀 보수시 차량 하중에 의한 잔류 침하를 고려하여 기존 포장면에 비해 약 0.5 cm 높게 다짐을 실시하고 주변에 남은 보수재료를 수거한 후 무게를 재어 잔량을 측정하였다. Table 5에 나타난 것과 같이 평균 3.0 kg의 재료 잔량이 발생하였다. 이는 Fig. 14와 같이 측정된 체적은 골재가 들어가지 못하는 굴곡 부위까지 체적이 측정된 반면 실제 보수재료는 그러한 공간을 완전히 채우지 못하므로 잔량이 예상보다 많이 남게 된 것으로 판단되었다. 또한 현장에서의 다짐이 실험실 수준의 다짐효율을 나타내지 못하

Table 5. Residual Mass in Field Compaction

no	Calibration Pothole of Volume (cm <sup>3</sup> )	Mass of Calibration Material (kg)	Residual Quantity (g)
1	4,388	10.0	3,400
2	5,753	13.0	3,800
3	5,923	13.0	4,800
4	8,016	18.0	3,600
5	9,260	18.0	-
6	6,633	15.0	3,800
7	8,529	19.0	4,800
8	10,266	23.0	3,300
9	11,965	26.5	3,400
10	12,584	28.0	2,800
11	10,964	24.5	2,900
12	12,793	28.5	1,900
13	16,519	36.5	2,000
14	19,618	43.5	2,300
15	24,427	54.0	2,400

Table 6. Deviation of Residual Mass After Calibration

no	Residual Quantity (g)	Calibration of Residual Quantity (g)
1	3,400	294
2	3,800	774
3	4,800	1,860
4	3,600	797
5	-	-
6	3,800	1,198
7	4,800	2,198
8	3,300	698
9	3,400	1,138
10	2,800	538
11	2,900	699
12	1,900	22
13	2,000	477
14	2,300	1,005
15	2,400	1,595

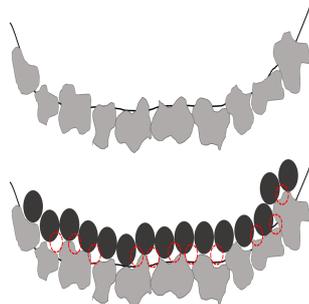


Fig. 14 Diagram of Damage Pattern and Deviation in Pothole

기 때문일 수도 있다. 통상 현장다짐은 실험실 다짐도의 96% 이상으로 관리됨으로 이를 감안하여 필요 보수재료량의 보정이 필요한 것으로 나타났다.

포트홀 보수공사의 경우 기존에는 작업자가 육안으로 포트홀의 크기를 파악한 후 주관적 판단에 따라 대략적인 보수재료를 부어넣고 다짐작업을 실시함으로 보수재료 부족시 다짐 부족으로 품질저하가 발생한다. 또한 보수재료의 양을 계량 없이 작업자의 감에 의해 사용함에 따라 작업 후 남은 재료의 폐기량이 많아지거나 사용했던 재료를 재사용하는 등 품질관리에 문제가 발생하고 있는 실정이다.

정확한 물량을 사용하는 것은 보수재료의 낭비를 최소화하여 비용을 절감할 뿐 아니라 적정량의 재료를 사용함으로써 다짐율을 확보하여 품질을 향상시키는데 중요한 부분이다. 따라서 본 연구에서는 자동 감지 통합시스템을 이용하여 포트홀 체적을 측정하고

이에 맞는 적정량의 보수재료량을 선정하기 위한 물량보정을 수행하였다. 잔량의 경우 포트홀 체적보다 최상부의 면적과 더 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 즉, 포트홀의 넓이가 클수록 잔량은 감소하는 것으로 나타났다. 이에 따라 Eq. (3)과 같이 잔량을 최소화하기 위해 면적에 따른 보정값을 제시하였으며, 이를 통해 Table 6과 같이 개소당 평균 3 kg의 잔량을 1~2 kg까지 감소시킬 수 있었다.

$$M_p = a \times V_d \times G_m - (b \times A + c) \tag{3}$$

$M_p$  : Mass of Calibration Material (kg)

$a$  : Calibrating Constant (1.14)

$V_d$  : Detection Pothole Volume (cm<sup>3</sup>)

$G_m$  : Density of Material (2.199 g/cm<sup>3</sup>)

$b$  : Calibrating Constant (0.8)

$A$  : Pothole Area (cm<sup>2</sup>)

$c$  : 3710

기존 포트홀 급속 보수방식에 비해 포트홀의 정확한 체적 측정과 이에 따라 필요한 적정 보수물량을 계산하여 자동으로 계량 투입하는 자동화 방식을 적용하여 포트홀 보수작업을 실시할 경우, 하루 20개소의 포트홀 보수시 폐기물로 발생하는 보수재료는 약 20 kg 정도의 소량만 발생하여 보수재료에 사용되는 예산을 최소화 할 수 있을 뿐 아니라 포트홀 체적에 따른 적정량의 보수재료를 사용함으로써 보수공법의 품질관리에도 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

## 6. 결론

본 연구는 노면 소성변형, 포트홀 긴급 자동 보수공법을 개발하고자 포트홀 체적 감지 자동화 시스템을 제안하였고 포트홀 규모, 면적과의 상관관계를 통해 제시된 알고리즘의 적합성을 검증하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

포트홀 체적 감지 실험결과 실제 체적간 다소 차이가 있으며 규모와 비례하는 편차를 발생하는 것으로 나타났다. 현장 15개소 감지를 통해 보정계수 1.14로 제시하고 측정된 결과 실제 체적대비 평균 8%의 편차로 비교적 정밀한 체적을 감지할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

포트홀 체적 감지 시스템을 통해 보수재료의 물량을 산출한 결과 필요량 대비 평균 3 kg 이상의 잔량을 발생하는 것으로 나타났다. 포트홀 최상부 면적과 재료 잔량간의 상관성 분석을 통해 포트홀 면적에 따른 적정 보수재료 물량 알고리즘을 제시하였으며 보정을 수행한 결과 개소당 평균 재료잔량이 1~2 kg까지 감소하여 사용재료량을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

정확한 필요 물량계산 없이 작업자의 주관적인 판단에 따른 대략적인 물량산정으로 통상 개소당 약 5~7 kg의 재료를 낭비하고 있는 실정에서 포트홀 체적 감지 자동화 통합시스템은 비교적 정확한 물량을 객관적으로 산출이 가능한 것으로 나타났다. 이에 따라 재료/자원 절감뿐 아니라 적절한 보수재료량 산정으로 포장 다짐상태 등 품질향상에 기여할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2017학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

## References

- Jo, Y. T. and Ryu, S. K. (2016). "Real time pothole detection system based on video data for automatic maintenance of road surface distress." *KIISE Transactions on Computing Practices*, Vol. 22, No. 1, pp. 8-19 (in Korean).
- Jung, K. D., Yang, S. R, Hwang, S. D. and Jung, S. (2013). "A study on occurrence and counterplans of decline pothole in asphalt concrete pavement." *Annual Convention of Korean Society of Road Engineers*, p. 101 (in Korean).
- Kang, Y. H. (2010). *Application study on emergency maintenance material of cold-mixed bituminous mixture*, MSc Thesis, Hanyang University (in Korean).
- KICT. (2014). *Developed pavement management system of construction to prepare for climate change (4th year), final report* (in Korean).
- National Assembly. (2013a). *Accident related to pothole has increased five times over the four years seven month*, The Press Release in the Parliamentary Audit (in Korean).
- National Assembly. (2013b). *Pothole management measures are necessary that cause fatal accidents*, The Press Release in the Parliamentary Audit for Seoul. Ministry of Land, Infrastructure and Transport Committee (in Korean).
- National Assembly. (2013c). *Pothole caused by the use of sub-standard materials is need to fundamental solution urgently*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Committee (in Korean).
- Park, N. H. (2015). *Evaluation of fundamental property of cold-mix polymer-modified asphalt mixtures for emergency pot-hole repair*, MSc Thesis, Kangwon University (in Korean).
- Park, T. S., Hong, C. K., Um, D. Y. and Kang, I. H. (2013). "The evaluation of engineering properties of modified cold mixtures using emulsified asphalt." *Annual Convention of Interantional Journal of Highway Engineering*, p. 93 (in Korean).
- Son, J. C. (2013). "Pavement management measures to reduce pothole." *Technology Article in Korean Society of Road Engineers*, pp. 39-43 (in Korean).