

소성변형 정도를 고려한 시간전개에 따른 노면상태 변화 분석

손영태* · 박상현

명지대학교 교통공학과

Analyses on the Impact of Plastic Deformation on Change of the Road Surface Condition

SON, Young Tae*  · PARK, Sang-Hyun 

Department of Transportation Engineering, Myongji University, Gyeonggi 17058, Korea

*Corresponding author: son@mju.ac.kr

Abstract

In this study analyzed the ponding changing of plastic deformation section followed time development to apply weather, geometry and traffic data in addition to time development to improve road management service and safety of roads during or after rain. After We selected an 8.3km section of old national highway the Seongnam-Janghowon section and created a three-dimensional surface of terrain through the numerical transformation of design drawing data, with reflection the linear data of the same coordinate system in order to describe more realistic roads, we design additional structures with shading above roads. The altitude and azimuth of the sun were calculated and set based on the longitude and latitude data of the survey line for the analysis of the sun rate, and the daylight impact zone was visualized by setting the shaded time to an interval of 1 hour and the shade rate of the corresponding section. In addition, the evaporation volume calculated from weather data such as temperature, humidity, radiant energy, and road temperature analyzes together, it will use the way of a safer and more efficient road management as grasping the ponding changing more efficient in time development.

Keywords: micro station, road modeling, sunshine duration, vaporation calculation model, water-reservoir phenomenon

초록

본 연구는 도로 소성변형이 존재하는 구간의 기상악화시 안전성을 제고하기 위하여, 도로 소성변형자료와 기상자료, 교통량 자료를 통해 소성변형구간의 물고임 변화를 분석하였으며 이와 더불어 시간전개별 일조율 자료를 적용하여 물고임 구간의 노면상태 변화를 분석하였다. 실제 구국도 3호선 성남-장호원 구간 중 8.3km 구간의 소성변형 데이터를 수집하고 설계도면 자료의 수치 변환을 통하여 3차원 지형표면을 생성한 후 동일좌표체계의 도로선형자료를 반영하여 3차원 도로 모델링을 생성하고 보다 사실적인 도로를 묘사하기 위해 도로 위 음영이 발생할 수 있는 시설물을 추가 설계하였다. 또한 본 구간의 일조율 분석을 위해 태양의 고도 및 방위각을 계산하여 설정하였으며 1시간 간격의 음영데이터를 취득하여 시간전개별 음영정도를 고려할 수 있었으며 이를 도로 증발량 산정식에 대입하여 시간전개에 따른 물고임 변화를 보다 현실적으로 파악하였다.

J. Korean Soc. Transp.
Vol.36, No.3, pp.216-228, June 2018
<https://doi.org/10.7470/jkst.2018.36.3.216>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 29 March 2018

Revised: 8 June 2018

Accepted: 14 June 2018

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

주요어: 마이크로 스테이션, 도로 모델링, 일조영향, 증발량 산정모형, 물고임 현상

서론

본 연구에 앞서 진행된 “도로 구조물 및 도로주변 지형지물에 의한 음영변화를 고려한 도로 노면의 상태변화예측 모형” 연구에서는 소성변형이 없는 일반구간의 노면상태변화를 분석하기 위해 도로 위 증발량 산정모형을 개발하여 제시하였으며, 이를 통해 일반구간의 경우 1시간이 지났을 때 노면의 상태가 ‘건조’상태로 변한다는 것을 연구한 바 있다. 하지만 실제 도로의 경우 차량의 하중에 의해 파인 소성변형 구간에 물이 고여 위험구간이 되며 이로 인해 실제 강우 시 노면의 상태는 도로의 구간별로 건조인 지점과 아직 습윤 혹은 물고임 상태인 지점이 존재하게 된다. 이에 본 연구에서는 도로의 지점별 특성을 반영하기 위하여 노면상태 조사장비를 통해 조사한 조사구간의 소성변형량과 지형지물에 의한 음영지역의 일조량을 감안하여 도로상황을 현실적으로 적용하여 노면상태를 산정할 수 있도록 모형을 개발하고자 하였다.

선행연구

1. 노면상태 분석

Gyeon(2009)은 노면 물고임과 도로기하구조 및 시설 등과의 관계를 고속도로를 기준으로 물고임부의 잠재인자를 분석하였으며 연구결과 포장 및 소성변형 불량으로 인하여 도로의 파인 곳을 찾아내면 물고임 면적의 약 15%정도를 방지할 수 있다고 제시하였다.

Lee(2013)은 도로 노면 안전성 분석을 위해 기존의 소성변형량을 측정하는 장비를 활용하여 노면 물고임을 분석함에 필요한 장비로 응용화 하는 등 실제 조사장비에 대한 설명과 조사결과물의 양식 등을 제시하였다. 또한 이를 조사구간의 사고 데이터와의 연관성을 분석한 결과 물고임 잠재구간 내에서 사고가 다수 발생하는 것으로 나타났다.

Hong(2013)은 겨울철 결빙 노면에서 발생하는 교통사고의 특성 및 개선방안에 대한 연구를 수행하기 위해 결빙 노면의 마찰계수, 그루빙과의 관계를 분석하였으며 분석결과 그루빙이 결빙 노면 사고건수 및 미끄러움 사고건수를 감소시키는데 효과적이라고 제시하였다.

2. 도로 음영구간 분석

Lee(2005)는 도로 노선 주변의 수치지형자료를 3차원 모형화하여 태양의 궤도 및 고도각을 이용하여 20분 간격의 음영지역을 구하고, 그 그림자가 일정 시간 이상 중복되는 지역을 표시하여 그 변화를 실증적으로 분석하고 동절기 일조시간에 따른 도로노면의 결빙구간을 파악할 수 있는 가능성을 제시하였다.

Lee(2013)은 기상정보, 기하구조에 의한 선형평가 및 일조에너지를 고려하여 도로 구간의 도로결빙의 위험도를 판단할 수 있는 노면 결빙 위험 구간 평가 알고리즘을 개발하고, 이를 구현하기 위해 태양의 방위각 및 고도를 계산하여 도로주변의 사면 및 방음벽 등의 태양광선 차단여부를 판단하고 일조에너지를 산출 할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

연구방법

본 연구에서 제시하는 도로 노면상태 추정모형의 수행흐름은 Figure 1과 같으며 증발량 산정식과 도로 소성변형량을 통해 도로 일반구간과 소성변형구간의 노면상태를 제시하고자 한다.

또한, 음영구간에서의 일조율을 고려하기 위해 도로설계프로그램을 통해 해당 구간을 3차원 모델링하고, 시간전 개별 음영정도를 파악 후 이러한 음영구간의 특성을 반영할 수 있도록 음영시간에 따른 보정계수를 적용하여 음영지역의 시간전개별 노면상태를 제시하고자 한다.

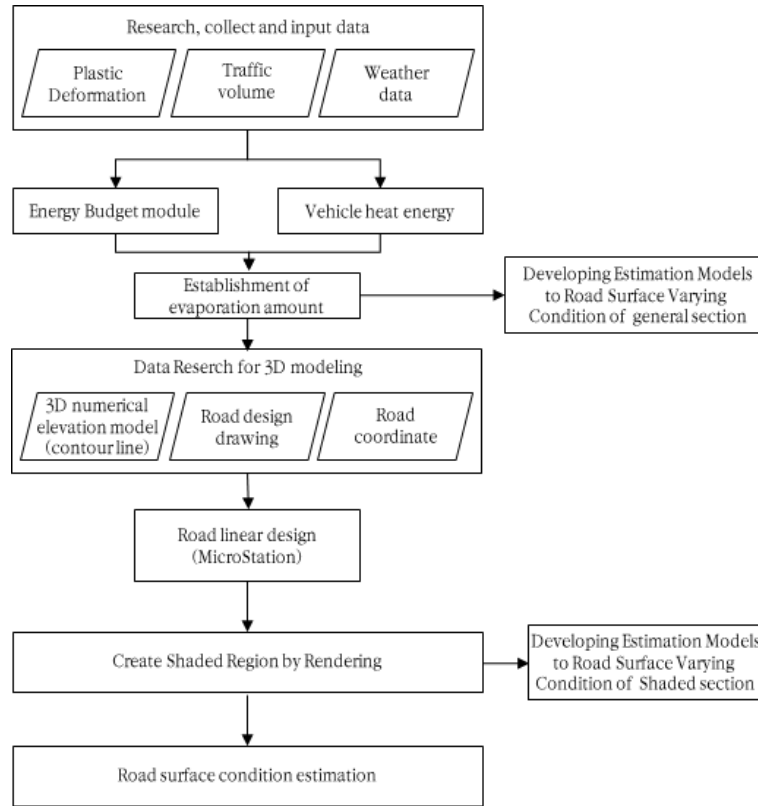


Figure 1. Research flow

1. 노면변형에 의한 물고임 현상 발생지점 탐색

적절한 도로설계나 배수계획에도 도로 노면에 물고임이 발생하는 원인은 차량의 주행에 따라 발생하는 포장면의 소성변형이 주원인이며 일반적으로 소성변형은 도로의 공용이후 차량의 주행에 따라 일어나게 되는데 일반 승용차 보다는 하중이 큰 중차량이 주원인이 된다.

소성변형의 형태는 표층부의 소성흐름에 의해 변형된 것을 평균법에 의해 측정하고, 하부층 침하 등에 의해 변형된 것을 피크법에 의해 측정하고 있으며, 측정방법으로는 초음파, 레이저, 발광다이오드 등으로 기준면으로부터 높이차를 측정하거나, 카메라를 이용하여 3차원 노면현상을 촬영하여 변형량을 결정하는 방법이 있다.

소성변형이 진행된 지점은 노면형태가 균일하지 않아 상대적으로 파인 부분에 중력에 의해 강우 시 물이 고일 수 있는 지점으로 판단되며, 이에 본 연구에서는 소성변형 지점을 물고임현상 발생지점으로 판단하여 소성변형된 지점을 탐색하였다.

1) 측정장비 및 분석 프로그램

노면상태조사 중 노면평탄성과 노면온도를 측정하기 위한 장비로 A사의 노면상태 측정장비를 활용하여 조사를 수행하였다.

노면상태 조사장비는 측정장비는 레이저 조명과 IR카메라 각 2대로 구성되어 있으며, 레이저 조명은 지면에서 2m 높이에 설치되어 차량진행 방향의 수직방향으로 4.4m의 레이저 라인을 생성하고, 생성된 레이저 라인은 하단부의 IR카메라가 라인을 인식하여 횡단변화량을 측정한다.

또한 종방향 레이저와 횡방향 레이저가 각 1대씩 구성되어, 종방향 레이저를 통해 종단평탄성(IRI)와 종단 MPD (Mean Profile Depth)를 측정하며, 횡방향 레이저를 통해 10cm 간격의 횡단 MPD를 측정한다.

측정장비를 통해 수집된 데이터는 프로파일형태의 데이터로 수집되게 되며, 횡방향 5mm간격, 종방향 1mm간격의 거리에 대한 소성변형 데이터로 수집된다.

본 연구에서는 해당 데이터의 시각적 이해를 위해 3차원으로 도출하고자 하였으며 이를 위해 Figure 2와 같이 Mathworks사에서 개발한 수치해석 및 프로그래밍 환경을 제공하는 공학용 소프트웨어 'MATLAB'을 사용하였다.

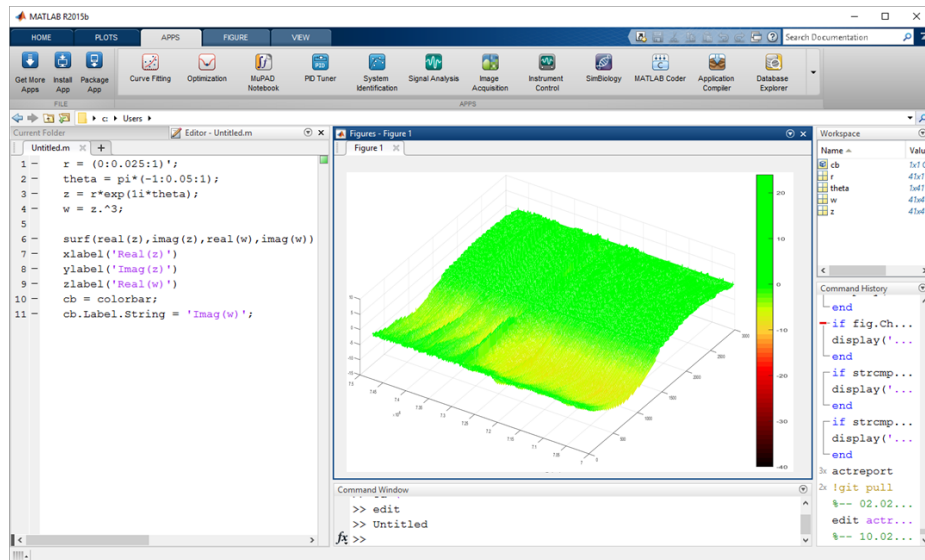


Figure 2. MATLAB program execution screen

2) 조사지역

본 연구를 위한 조사지점은 구국도 성남-장호원 지역으로서, 세부 지명은 경기도 성남시 중원구에 위치한 여수사 거리에서부터 경기도 광주시 광남동에 위치한 장지IC 까지 약 8.7km 구간에 대한 조사를 수행하였으며 각 차로의 노면평탄성 자료 취득을 위해 1개 차로씩 4번 조사를 수행 하였다.

3) 조사결과

성남-장호원 구간의 약 8.7km의 조사자료를 바탕으로 'MATLAB' 프로그램을 이용하여 Figure 3과 같이 3D로 구현한 결과, 평면도를 통해 공중에서 보았을 때의 시각에서 소성변형이 심각한 구간을 색깔을 통해 편리하게 확인할 수 있었다.

이 중 ISOMETRIC VIEW를 이용하여 전반적인 구간에서의 파임 정도를 3D로 현장감 있게 확인할 수 있으며, 평면도를 통해 파임의 정도를 수치적으로 확인할 수 있다.

분석결과 4-5km 구간의 우측 4,800-4,900m 구간에서 '보통' 위험수준인 -12mm의 깊은 소성변형이 발생하였으며, 5-6km 구간의 좌측 5,000-5,500m 구간의 전체 분석구간 중 가장 높고(600m) 불량하게(12mm) 파여 있음을 'MATLAB'을 통해 알 수 있다.

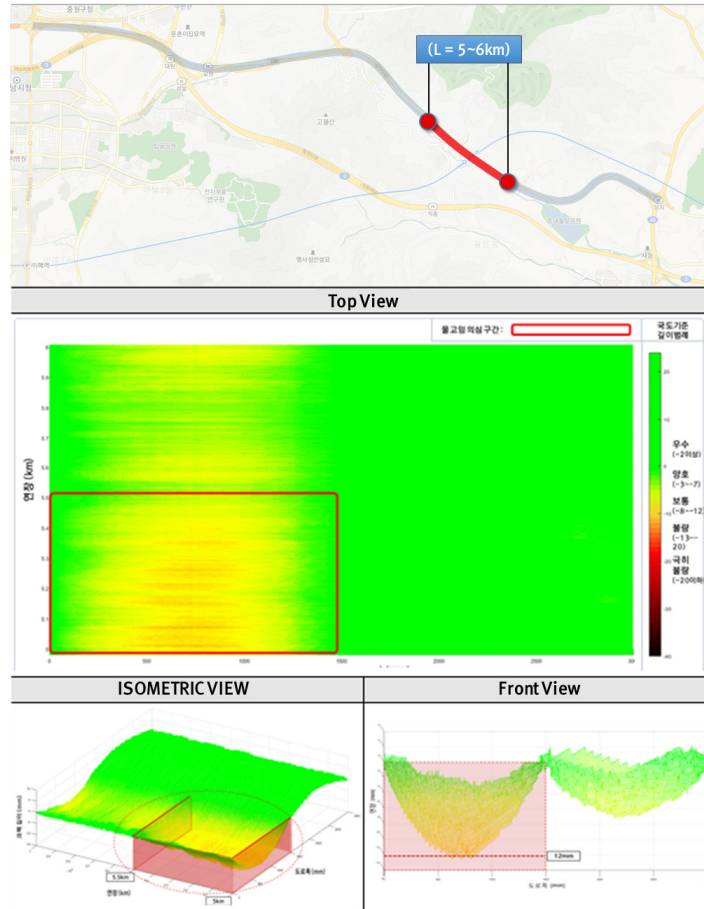


Figure 3. Plastic deformation data (5-6km section)

2. 시간 전개에 따른 물고임 강도 산정식

본 연구에서는 강우 시 시간전개에 따른 물고임량에 대한 기초 모듈로 물 수지 모듈을 활용하였으며 물 수지 모듈에서 증발량 값을 산정하기 위해 에너지 수지 모듈을 수행하여 1차 증발량을 산정하고 예측지점을 통과하는 차량에 의한 영향을 고려하는 모듈과 타이어 마찰열과 일조율을 고려하는 모듈을 수행하여 최종 산정식을 제시하였다.

1) 물 수지 모듈

물 수지 방법 (Water budget)이란, Figure 4의 개념도와 같이 “저수지의 유입량과 유출량의 차는 저류량의 변화와 같다” 라는 개념을 이용하여 증발량을 산정하는 방법으로, 강수량(P), 저수지로의 유입유량(I)을 저수지의 물 증가 요인으로 하고 증발량(E), 방류량(O), 침투량(O_g)을 저수지의 물 감소 요인으로 이용하여 산출하고 그 식은 Equation 1과 같다.

$$(P+I) - (E+O+O_g) = (S_2 - S_1) \tag{1}$$

여기서, P : 강수량 I : 유입유량
 E : 증발량 O : 방류량
 O_g : 지하침투량 S_2 : 중기저류량 S_1 : 초기저류량

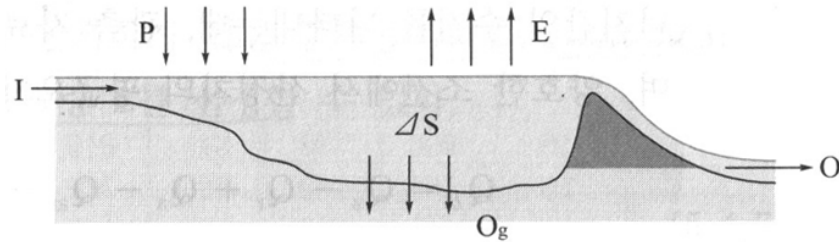


Figure 4. Conceptual diagram of water budget

본 연구의 경우 저수지가 아닌 도로 위 물고임의 증발량을 계산하므로, 저수지로의 유입량(I)과 방류량(O) 제외 한 식이 되며, 시간에 따라 변하는 물고임량을 산정하기 위해 중기저류량을 산출여야 하며, 만약 물고임 부에 물이 가득찰 경우 이는 이전의 물고임 양과 동일하여야 하므로 최대 물고임 용량은 해당 물고임 부의 부피와 같으므로 Equation 1은 Equation 2로 도출된다.

$$S_t = S_{t-1} + \sum_{i=t-1}^t (P_i - E_i - G_i) \quad (2)$$

시간전개에 따른 물고임 강도를 산정하기 위해 필요한 요소는 크게 강우량, 증발량, 지하침투량이라고 볼 수 있으며, 강우 시에는 강우량의 영향만을 받으므로, 실시간 관측되는 강우량 정보를 통해 추후 물고임부 강도를 예측할 수 있으나 건조 시에는 증발량을 산정하여 적용해 주어야 한다.

이에 본 연구에서는 강우가 멈춘 후 물고임의 자연증발량(E)을 계산하기 위해 에너지수지 방법(Energy budget method)을 이용하였다.

2) 에너지 수지 모듈을 통한 증발량 산정식 도출

에너지 수지(Energy budget)란, 저수지에 대한 에너지의 유입과 유출을 설명하는 에너지 흐름에 대한 연속방정 식으로 수면에서의 에너지 수지 Equation 3과 같이 나타낸다.

$$Q_\theta = Q_s - Q_r + Q_a - Q_{ar} - Q_{bs} + Q_v - Q_e - Q_h - Q_w \quad (\text{cal/cm}^2/\text{hr}) \quad (3)$$

여기서, Q_θ : 물에 의해 저장된 에너지의 증가량

Q_s : 수표면에 도달되는 태양복사에너지

Q_r : 반사되는 태양복사에너지

Q_a : 수표면으로 도달되는 대기로부터의 장파복사에너지

Q_{ar} : 물 표면에서 반사되는 장파복사에너지

Q_{bs} : 물로부터 방출되는 장파복사에너지

Q_v : 저수지로 유입 또는 유출되는 물에 의한 순에너지 변화량

Q_e : 증발에 사용된 에너지

Q_h : 감열(현열)로 물로부터 대기로 전도된 에너지

Q_w : 증발된 물로 인해 손실된 에너지

Son(2018)는 저수지가 아닌 도로 위 물고임 구간의 증발량을 계산하기 위해, 저수지의 수온변화에 따라 발생하는 에너지의 증가량인 Q_b 과, 유입·유출되는 물에 의한 에너지인 Q_e 에 대해고려하지 않았으며, 에너지수지식을 증발에 사용된 에너지(Q_e)에 대하여 정리하여 Equation 4와 같이 제시하였다.

$$Q_e = Q_s - Q_r - Q_b - Q_h \text{ (cal/cm}^2\text{/hr)} \quad (4)$$

3) 차량에 의한 영향 고려

Son(2018)는 도로라는 공간적 특성에 의해 증발에 사용된 에너지를 산정하는데 있어 자연적 요인뿐만 아니라, 차량에 의한 열에너지를 고려하기 위해 차량에 의한 열에너지를 고려하였으며 Equation 5와 같이 나타내었다.

$$Q_v = S_t + R_v + S_{va} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (5)$$

여기서, Q_v : 총 차량 열 플럭스(W/m²)

S_t : 타이어 마찰열 플럭스(W/m²)

R_v : 차량 하부 열 플럭스(W/m²)

S_{va} : 차량 현열 플럭스(W/m²)

4) 증발량 산정식

Son(2018)는 차량에 의한 영향을 고려한 에너지수지식을 감열(현열)에 의한 전도에너지(Q_h)와 증발에 사용된 에너지(Q_e)의 비율로 나타내어 Equation 6으로 도출하였다.

$$Q_e = \frac{Q_s + Q_v - Q_r - Q_b}{1 + B} \text{ (cal/cm}^2\text{/hr)} \quad (6)$$

여기서, 0.61: 습도계 계수(대기압을 mb단위로 사용할 때 0.61을 사용)

T_o : 수면온도(노면온도)(°C)

T_a : 대기온도(°C)

e_o : 수면온도 T_o 에서의 포화증기압(mb)

e_a : 대기온도 T_a 에서의 포화증기압(mb)

P: 대기압(mb)

증발에 사용된 에너지(Q_e)는 Equation 6과 더불어 증발량과 액체에서 기체로 변하는데 필요한 잠열량인 잠재증기화열(L_e)을 통해서도 산정되며 이는 Equation 7과 같다.

$$Q_e = E \cdot \rho L_e \text{ (cal/cm}^2\text{/hr)} \quad (7)$$

여기서, E : 증발량(cm/hr)

ρ : 물의 밀도(1.0g/cm³)

L_e : 잠재증기화열(cal/g)

Equation 7을 증발량(E)에 대하여 정리하고 Equation 6에 대입하면 Equation 8과 같이 에너지 수지 방법에 의한 증발량 산정식이 도출된다.

$$E = \frac{Q_s + Q_v - Q_r - Q_b}{\rho L_e (1 + B)} \quad (\text{cm/hr}) \quad (8)$$

3. 시간 전개에 따른 노면상태 추정모형

시간전개에 따른 물고임의 강도는 앞서 제시한 증발량 산정식과 지하유출량을 통해 도로의 습윤정도를 파악할 수 있지만 실제 도로의 기하구조와 도로주변의 지형지물에 의한 음영정도에 따라서 물고임의 변화가 달라질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 도로의 기하구조와 소성변형을 통해 물고임부의 부피를 산정하고, 음영구간에서의 일조율을 파악하여 도로의 상황을 현실적으로 반영할 수 있는 모형을 제시하고자 한다.

1) 도로자료

본 연구에 앞서 진행된 “도로 구조물 및 도로주변 지형지물에 의한 음영변화를 고려한 도로 노면의 상태변화예측 모형” 연구에서 제안한 시간전개에 따른 증발량 산정모형을 소성변형이 존재하는 구간에 적용하기 위해서 해당 지점의 도로자료를 추가적으로 수집하였다.

도로 기하구조(편경사, 종 평면 선형 및 합성선형) 분석을 위해 국토사무소를 통해 도로대장을 받고, 건설기술연구원을 통해 도로의 좌표 값을 받는 등 기초자료를 구축하였으며, 도로설계프로그램인 Bimroad 프로그램에 시범구간의 기하구조(평면계획, 종단계획, 횡단계획 등)를 입력하여 프로그램 상에 Figure 5와 같이 시범구간을 구축하였다.

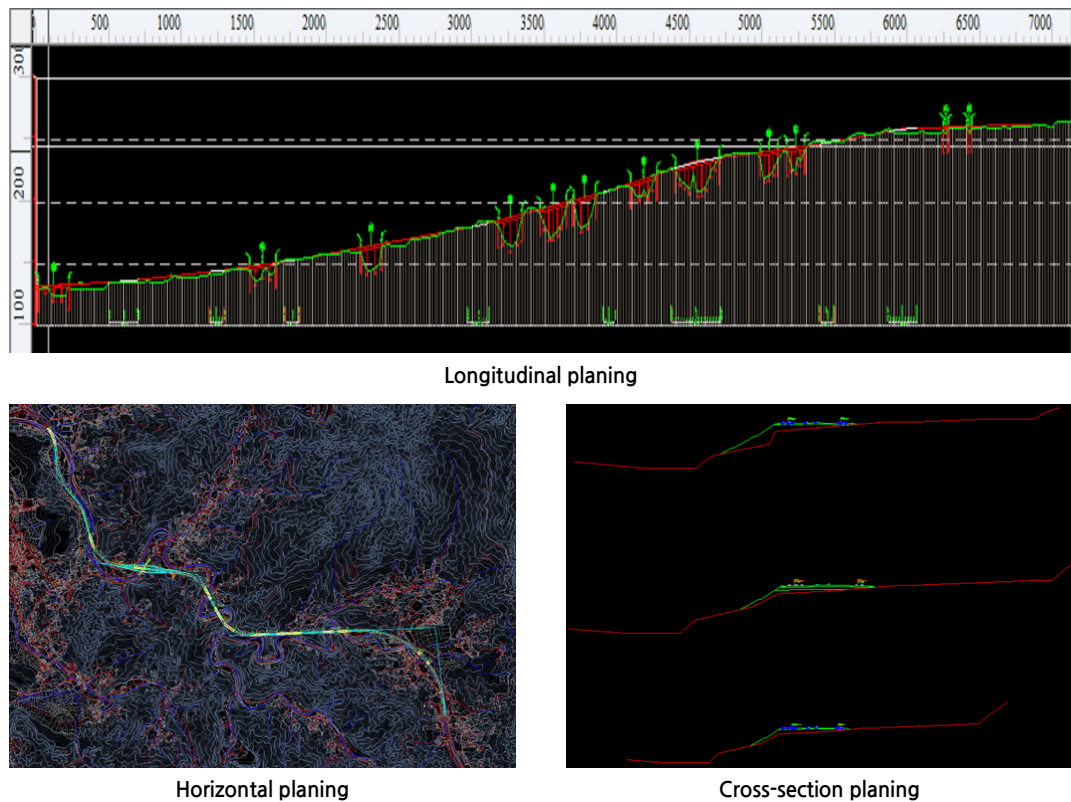


Figure 5. Road design

2) 소성변형이 존재하는 구간에서의 노면상태 산정

본 연구에서는 시간전개에 따른 물고임 구간을 예측하기 위해 앞서, 조사 구간의 노면에 소성변형이 존재하여 일반 구간보다 ‘습윤’ 상태가 오래 지속될 것이라고 예상되는 곳의 노면상태를 산정하고자한다.

본 연구에 앞서 소성변형 구간에서의 물고임 두께를 파악하기 위해서는 첫 번째로 조사구간의 강우량을 확인하고, 두 번째로 내린 강우량이 부피로 산정한 후 마지막으로 본 조사구간의 물고임구간의 부피와 비교하여 어느 정도의 물고임 두께를 가지고 있는지를 확인할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.

증발량과 지하유출량이 감안된 시간당 강우량을 표준적인 부피로 산정하기 위해서는 증발량과 강우량을 측정하는 표준규격이 필요하며, 국내에서 표준규격으로 적용하여 사용하는 강수계는 지름 20cm, 깊이 60cm의 원통형 구리관에 빗물을 받아 부피를 측정한 후 면적으로 나누어 강우량을 측정하고 있으며 증발계는 지름 20cm, 깊이 10cm의 장비를 사용하여 측정하고 있다.

따라서 증발량과 지하유출량이 감안된 강수량의 부피는 Equation 9을 통해 산정될 수 있으며, 강우량이 계속 측정되는 시간대에는 해당 부피를 누적시키며 계산되어야한다.

$$V = \pi r^2 h \tag{9}$$

여기서, V : 부피 r : 반지름 h : 강우량

도로의 소성변형에 대한 데이터는 앞서 조사된 구국도 성남-장호원 구간(약 8km)의 현장조사 데이터에서 시점으로 부터 5-6km 구간의 소성변형량이 가장 큰 5-5.5km 구간의 자료를 사용하였다.

조사된 조사간격별 소성변형량을 소성변형량의 깊이별(1mm간격)로 정리하면 Table 1과 같이 정리되며, 조사결과 가장 소성변형이 심한 구간은 총 56개 지점으로 12-13mm의 깊이가 있는 구간으로 나타났다.

Table 1. Number of cells by plastic deformation depth

Depth	Number	Depth	Number	Depth	Number
0mm below	3,308	5-6mm	14,398	11-12mm	585
0-1mm	10,930	6-7mm	16,845	12-13mm	56
1-2mm	11,805	7-8mm	19,048	13-14mm	0
2-3mm	9,692	8-9mm	21,285	14-15mm	0
3-4mm	10,031	9-10mm	15,868	15-16mm	0
4-5mm	11,857	10-11mm	5,093	16-17mm	0
				Total	150,801

분석된 종 · 횡단별 소성변형 데이터를 Table 2에서 제시한 국도 소성변형량 기준으로 나누어 소성변형 상태를 등급별 색상으로 표현하면 Figure 6과 같은 형태를 보이는 것으로 나타났다.

Table 2. Plastic deformation and safety criteria

Grade	Range				Condition
	National road		Highway		
1	2mm below		4mm below		Very good
2	2mm excess	7mm below	4mm excess	7mm below	Great
3	7mm excess	9mm below	7mm excess	10mm below	Usually
4	9mm excess	12mm below	10mm excess	13mm below	
5	12mm excess	16mm below	13mm excess	16mm below	Bad
6	16mm excess	21mm below	16mm excess	20mm below	
7	21mm excess		20mm excess		Very bad

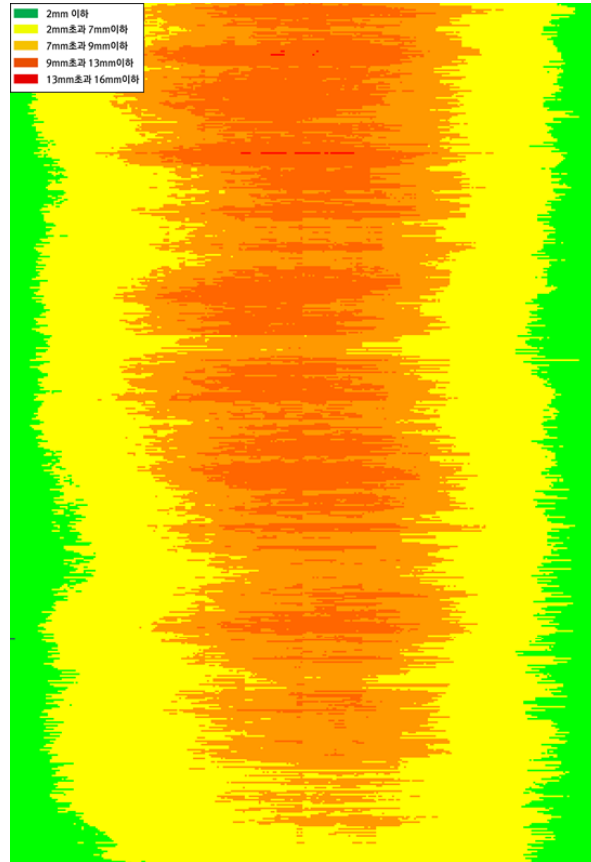


Figure 6. Plastic deformation heat map by rating

현장조사 시 조사된 데이터는 종방향 1000mm, 횡방향 5mm 간격의 셀데이터로 각각의 셀에 존재하는 소성변형 깊이(h) 데이터를 통해 한 셀마다의 부피를 계산할 수 있다.

산정결과 해당 구간의 총 용량은 4,290,980,771mm³ (약 42.909m³)으로 산정되었으며, Table 2에서 제시한 소성 변형량에 따른 안전성 기준 범위를 소성변형 부피로 환산하고 등급 내 부피를 각각 합산하면 Table 3과 같이 등급별 소성변형 부피가 산정된다.

Table 3. Plastic deformation volume by grade of survey area

Grade	Plastic deformation	Plastic deformation volume	Volume by grade (cm ³ /hr)	Water-reservoir volume (cm ³ /hr)
1	2mm below	10000mm ³ below	110,703	4,290,981
2	2mm excess 7mm below	10000mm ³ excess 35000mm ³ below	1,510,221	4,180,278
3	7mm excess 9mm below	35000mm ³ excess 45000mm ³ below	1,619,879	2,670,057
4	9mm excess 12mm below	45000mm ³ excess 60000mm ³ below	1,046,733	1,050,178
5	12mm excess 16mm below	60000mm ³ excess 80000mm ³ below	3,446	3,446
6	16mm excess 21mm below	80000mm ³ excess 105000mm ³ below	0	0
7	21mm excess	105000mm ³ excess	0	0
Total			4,290,981	4,290,981

앞서 조사되었던 강수량의 경우 표준 규격 (반지름 10cm, 높이 60cm)의 강수계에서 계산된 값으로 본 구간에 적용하기에는 범위적 차이가 존재하므로, 해당 차이를 보정해 주기 위한 방안이 필요하다.

본 조사 구간의 범위는 종방향 200m, 횡방향 1.5m 로서 총 넓이는 300m²이 되며 이 중 소성변형이 없는 구간인 셀의 수는 3,308개로 해당 수를 제외한 넓이는 733.5m² 이고 강우계의 넓이는 0.0314m²으로 약 23,358배의 차이가 존재하는 것으로 나타났다.

분석결과 Figure 7과 같이 소성변형량이 가장 심각한 5등급 구간(부피 3,446cm³/hr)은 4시경(강우량 3.2mm/hr)부터 물이 고였으며 강우기간동안 조사구간에 가장 많은 물고임이 존재했던 시간은 3월 15일 11시경으로 3,924,082 cm³/hr의 물고임부가 존재했다는 것을 알 수 있으며 이는 약 3등급까지 부피가 차오른 것으로 나타났으며, 본 구간의 물고임은 3월 16일 11경 전부 건조 되어 비가 그친 3월 15일 12시 이후 총 23시간 만에 건조되는 것으로 분석되었다.

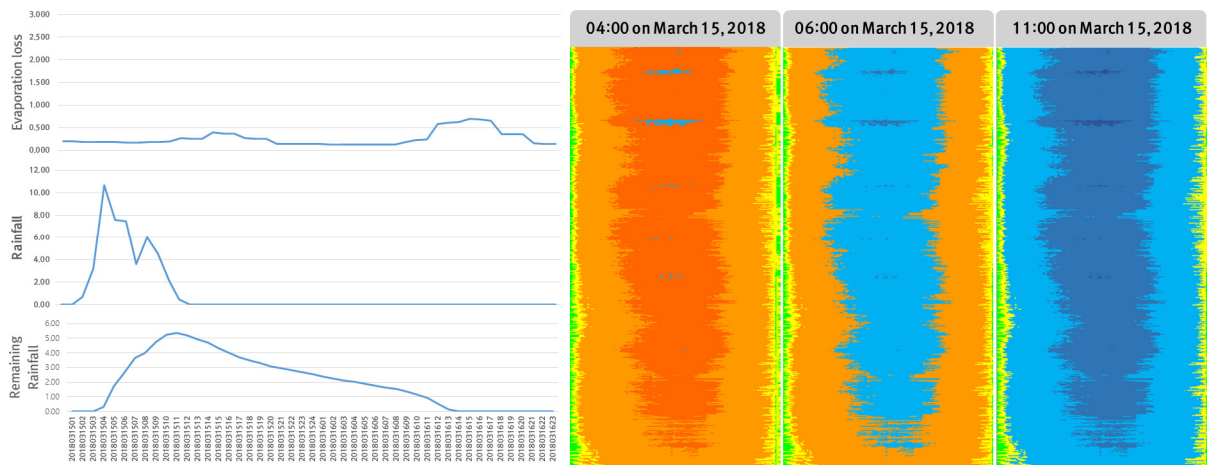


Figure 7. Change of shaded area on time flow

3) 음영지역의 노면상태 산정

본 연구에 앞서 진행된 “도로 구조물 및 도로주변 지형지물에 의한 음영변화를 고려한 도로 노면의 상태변화예측 모형” 연구에서 제시한 바와 같이 본 연구에서도 노면상태 변화에 주요한 요소인 태양복사열의 영향을 적게 받는 음영구간의 노면상태를 분석하기 위해 조사구간의 음영율을 적용하여 소성변형구간의 음영시간에 따른 노면상태를 분석하였으며, 분석결과 Table 4에 제시되어 있는 바와 같이 인근 지형지물에 의한 음영에 따라 해당 구간의 노면상태가 ‘건조’가 되는 시간이 2시간 늦춰진 것으로 나타났다.

Table 4. The road surface on time flow of general area and shaded area

Section	Date	Evaporation loss	Remaining rainfall	Volume	Correction volume	Road surface
Existing section	2018031611	0.2432	0.34	10,681	249,433	Wet
	2018031612	0.5824	0.00	0	0	Dry
Shaded section	2018031611	0.2356	0.93	29,049	678,378	Wet
	2018031612	0.3804	0.54	17,103	399,408	Wet
	2018031613	0.3922	0.15	4,789	111,847	Wet
	2018031614	0.4048	0.00	0	0	Dry

결론

본 연구에서는 구국도 3호선 성남-장호원 구간의 2018년 3월 15일(목) 01시 - 16일(금) 23시의 기상자료를 기준으로 해당 지점, 해당 시간대의 교통량, 속도를 조사하고 기하구조와 소성변형, 일조량 데이터를 취득하여 분석하였다.

분석은 시간전개에 따른 노면상태 산정을 목표로 하였으며, ① 소성변형이 존재하는 구간 ② 각 구간 중 음영이 존재할 경우의 노면상태를 분석하였다.

소성변형이 존재하는 구간의 경우 소성변형이 가장 심각한 15일 4시경(강우량 3.20mm/hr)부터 물이 고였으며 조사구간 내 소성변형량에 의해 최대의 물고임이 만들어진 시간은 15일 11시경으로 총 부피 3,930,177mm³/hr으로 나타났다.

또한 본 연구에서는 도로 주변 지형지물에 의한 일조량 감소율을 감안하기 위해, 시범 노선을 선정하여 도로 노선 주변의 수치지형자료를 받아 도로설계프로그램에 반영하였으며, 이를 3차원으로 모형화 하고 태양의 궤도 및 고도 각을 설정하여 1시간 간격의 음영지역을 구하였으며, 음영지역이 존재하는 구간의 조사시간간격을 설정하여 해당 시간간격동안 조사된 1시간 간격의 음영지역 데이터를 취합하여 원하는 시간 간격동안의 일조율을 산정하여 증발량 산정 모형에 적용한 결과, 구간의 노면상태가 건조가 되는 시간이 2시간가량 늦춰진 것으로 나타났다.


본 연구에서 개발된 모형은 다양한 기상조건과 도로상태에 따라 그 활용성이 달라질 수 있다. 따라서 추후에는 다양한 도로구간(터널, 교량 등), 계절별 다양한 기상조건의 특성에 따른 도로 위험도 변화에 대한 연구를 진행하여 각 특성별 요소를 모형에 적용하는 과정이 필요할 것으로 판단되며 더 현실적인 연구를 위해 물고임부의 종단, 횡단 경사를 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다.


또한, 향후 모형의 활용성을 높이기 위하여 도로관리 및 도로정보제공을 하기 위한 증발량 예측모형의 개발이 반드시 수행되어야 할 것으로 판단된다.

Funding

This work was supported by the Korea Meteorological Institute of Korea grant funded by the Korea Government (MSIP)(KMIPA2017-0050).

ORCID

SON, Young Tae  <http://orcid.org/0000-0002-8193-8521>

PARK, Sang-Hyun  <http://orcid.org/0000-0003-3168-8031>

References

- Fujimoto A., Watanabe H., Fukuhara T. (2006), Effects of Tire Frictional Heat on Snow Covered Surface, Standing international road weather Conference, 13, 117-122.
- Fujimoto A., Watanabe H., Fukuhara T. (2008), Effects of Vehicle Heat on Road Surface Temperature of Dry Condition, Standing international road weather Conference, 14-16.
- Han J. S., Lee B. Y. (2006), Measurement and Analysis of Free Water Evaporation at HaeNam Paddy Field, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 7(1), 92-98.
- Hong H. K. (2013), Analysis of Accident Cause on Icy Road Pavement, Seoul City University, Master Thesis.

- Koher M. A., Nordenson T. J., Fox W. E. (1955), Evaporation from Pans and Lakes, U.S. Dept. Commerce Research, Paper. 38.
- Kwon J. S. (2009), An Analysis of Factors Affecting Water-Reservoir Phenomenon in Rainy Situation on Highway, Hanyang University, Master Thesis.
- Lee D. H., Jeong W. S., Kim H. J., Kim J. W. (2013), Study about the Evaluation of Freezing Risk Based Road Surface of Solar Radiation, Journal of Korean Institute for Structural Maintenance and Inspection, 17(5), 130-135.
- Lee H. S., Kim J. S., Park J. K. (2005), Analysis on Sunshine Influence of Road using GIS, Journal of Korean Society for Geospatial Information Science, 419-425.
- Lee J. K., Yun D. G., Joh Y. O. (2013), Comprehensive Evaluation of Water-Reservoir Measuring Equipment for Highway Safety Analysis, Journal of Korean Society of Road Engineers, 15(3), 127-135.
- Lee K. H., Kim M. I. (1985), Seasonal variations of the evaporation in Korea, Journal of Korean Association of Hydrological Sciences, 18(3), 243-251.
- Penman H.L. (1948), Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass, Proc. Roy. Soc. London, A193, 120-146.
- Takahashi N., Asano M., Ishikawa N. (2005), Developing a Method to Predict Road Surface Icing Conditions Applying a Heat Balance Method, Proceedings of Cold Region Technology Conference, 21, 201-208.