

GPS/INS 센서 자료를 이용한 도로 평면선형인식 알고리즘 개발

Algorithm for Identifying Highway Horizontal Alignment using GPS/INS Sensor Data

정은비 Jeong, Eunbi
 주신혜 Joo, Shinhye
 오철 Oh, Cheol
 윤덕근 Yun, Dukgeun
 박재홍 Park, Jaehong

한양대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : jeb0120@hanyang.ac.kr)
 한양대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : noble0401@hanyang.ac.kr)
 정희원 · 한양대학교 교통공학과 교수 (E-mail : cheolo@hanyang.ac.kr)
 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 수석연구원 (E-mail : dkyun@kict.re.kr)
 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 (E-mail : jhpark@kict.re.kr)

ABSTRACT

Geometric information is a key element for evaluating traffic safety and road maintenance. This study developed an algorithm to identify horizontal alignment using global positioning system(GPS) and inertial navigation system(INS) data. Roll and heading information extracted from GPS/INS were utilized to classify horizontal alignment into tangent, circular curve, and transition curve. The proposed algorithm consists of two components including smoothing for eliminating outlier and a heuristic classification algorithm. A genetic algorithm(GA) was adopted to calibrate parameters associated with the algorithm. Both freeway and rural highway data were used to evaluate the performance of the proposed algorithm. Promising results, which 90.48% and 88.24% of classification accuracy were obtainable for freeway and rural highway respectively, demonstrated the technical feasibility of the algorithm for the implementation.

KEYWORDS

horizontal alignment, GPS/INS sensor, genetic algorithm, attitude information, moving average

요지

도로기하구조정보는 도로의 안전성평가 및 도로의 유지관리를 위한 필수적인 요소이다. 본 연구에서는 GPS(Global Positioning System)/INS(Inertial Navigation System)센서가 탑재된 조사차량을 이용하여 기하구조정보를 수집하였으며, 수집된 차량의 자세정보 중 평면선형과 관련된 Roll, Heading 자료를 이용하여 직선, 원곡선, 완화곡선을 구분하는 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서는 평면선형 인식 이전에 전처리 과정으로 이동평균법을 통하여 자료를 평활화함으로써 원시자료의 이상치를 제거하여 평면선형 인식의 신뢰성을 제고하였다. 유전알고리즘(GA, Genetic Algorithm)을 이용하여 분류정확도(CCR, Correct Classification Rate)를 최대로 하는 알고리즘 파라미터를 설정한 결과 100%의 분류정확도를 보였다. 설정된 파라미터를 이용하여 고속도로와 국도 주행자료를 이용하여 알고리즘을 평가한 결과 90.48%와 88.24%의 분류정확도를 보여, 제안된 평면선형인식 알고리즘은 현장에서 적용 시 높은 신뢰도를 가지는 정보를 제공 가능한 것으로 분석되었다. 본 연구에서 개발한 평면선형인식 알고리즘은 조사차량에 GPS/INS센서의 소프트웨어로 탑재되어 도로 및 교통기술자에게 도로기하구조정보를 보다 용이하게 수집하고 분석할 수 있는 환경을 제공하는데 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어

평면선형인식, GPS/INS센서, 유전알고리즘, 자세정보, 이동평균법

1. 서론

도로기하구조정보는 기존도로의 결함구간 파악, 도로의 안전성 평가 및 도로 유지관리를 위한 필수적인 요소로, 기존에는 대부분 도면에 의존하여 도로기하구조정보를 수집하였다. 그러나 도면이 없는 도로구간이 발생하는 경우가 존재하며, 도로 선형개량 및 덧씌우기 공사 등으로 실제 도로기하구조정보와 도면이 상이한 도로구간이 발생하고 있다. 이러한 도로기하구조정보 수집방법을 개선하기 위해 GPS(Global Positioning System), INS(Inertial Navigation System), DMI(Distance Measurement Instrument)등의 위치취득 센서를 장착한 차량의 주행정보를 이용한 도로안전성 조사·분석 연구가 활발히 진행 중이다. GPS, INS, DMI 등의 위치취득 센서가 탑재된 차량을 통해 도로기하구조정보를 수집하고 분석함으로써 도로주행환경 측면에서 정확한 현황파악을 통해 이에 대한 대책을 수립하고, 위험요소를 제거함으로써 교통사고를 감소시켜 그 피해를 줄일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 GPS/INS센서가 탑재된 조사차량을 이용하여 실제 도로구간의 주행자료를 수집하였으며, 수집된 자료 중 편경사와 관련한 Roll, 종단경사와 관련한 Pitch, 평면선형과 관련한 Heading자료를 이용하여 직선, 원곡선, 완화곡선을 구분하는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 평면선형인식 이전에 전처리 과정으로, 평활화를 통하여 원시자료의 이상치 제거과정을 포함하였으며 이동평균법(Moving Average Method)을 이용하여 평활화를 수행하였다. 평활화 정도는 평면선형 인식 결과에 영향을 미칠 수 있으므로, 파라미터 정산시 통합하여 최적화할 수 있는 구조로 설계하였다. 알고리즘의 파라미터 정산 시, 유전알고리즘(GA, Genetic Algorithm)을 이용하여 휴리스틱한 방법으로 파라미터를 설정하였으며, 설정된 파라미터를 적용하여 선형을 분류한 후, 분류정확도(CCR, Correct Classification Rate)를 통하여 알고리즘을 평가하였다.

본 연구의 2장에서는 도로선형조사와 관련된 기존 문헌을 고찰하였고, 3장에서는 GPS/INS센서를 활용한 자료수집 및 연구방법론을 제시하였다. 4장에서는 자료수집 및 수집된 자료의 특성을 분석하여 평면선형 인식을 위한 변수(Metric)를 도출하였다. 5장에서는 평면선형인식 알고리즘을 개발하고, 유전알고리즘(GA, Genetic Algorithm)을 통해 알고리즘 적용을 위한 파라미터 정산과정을 제시하였으며, 6장에서는 본 연구에서 도출된 결론을 제시하였다.

2. 기존문헌고찰

본 연구에서는 도로선형 취득관련 연구와 도로선형에 따른 도로안전성과 관련된 연구내용을 위주로 기존문헌을 고찰하

였다.

2.1. 도로선형 취득관련 연구

이종출 등(2000)은 기존도로의 설계도가 있는 구간에서 GPS측량으로 대상도로의 평면선형을 재현시켜 실시설계도의 평면선형과 비교하여 정확도를 분석하였다. 또한 이를 설계 자료가 없는 구간에 적용하여 평면선형을 재현하고자 하였다. 또한, 이종출 등(2001)은 같은 방법으로 동적 측위법을 이용하여 편경사 측량한 후 이를 자동적으로 계산하는 프로그램을 개발하였다. 노태호 등(2002)은 GPS/GLONASS 조합에 의하여 획득된 자료를 기존 설계도의 제원을 근거로 하여 위치 정밀도를 비교함으로써 인공위성을 이용한 도로의 선형정보체계를 보다 효율적으로 사용하기 위한 접근방법을 제시하였다. 이종출 등(2004)은 곡선구간의 차로중심선과 양방향 길어깨를 촬영하여 영상을 취득하고, 취득한 영상을 분석하여 3차원 수치사진측량기법을 사용하여 편경사를 추출하였다. 윤덕근 등(2006)은 횡단경사 분석을 위해 레이저 스캐너를 이용하는 방법과 GPS/INS센서를 이용하는 방법을 제시하였다. 윤덕근 등(2007)은 GPS/INS센서, 레이저 스캐너를 이용하여 종단선형을 측정하는 방법을 개발하였다. Awual-baffour 등(1997)은 차량에 십자형 플랫폼을 설치하여 각 끝단에 GPS를 장착하였고, GPS의 높이 차를 이용하여 횡단경사와 종단경사를 측정하였다. Iowa DOT(2003)에서는 레이더를 이용하여 횡단경사와 종단경사를 측정하였다. David 등(2004)은 자이로센서를 기반으로 한 도로선형 정보추출 시스템의 성능평가를 수행하였다. 미국 연방 도로관리청 FHWA의 Turner-Fairbank Highway Research Center(TFHRC)는 차량에 레이저 스캐너 및 GPS를 장착한 Digital Highway Measurement(DHM)차량을 개발하였으며, 이 차량을 이용하여 종단경사와 횡단경사를 취득하는 알고리즘을 개발하였다. Choi et al.(2007)은 GPS/INS 통합센서를 이용하여 도로의 평면선형 요소인 직선구간의 길이, 완화곡선의 클로소이드 파라미터, 원곡선의 곡선반경 산출식을 도출하였다.

2.2. 도로선형에 따른 도로안전성 관련연구

이영희(2003)는 GIS를 이용하여 도로선형의 안전성을 평가하였다. 도로선형을 취득하기 위하여 전통적인 GPS 측량을 실시하였으며, GPS로 측량한 결과를 이용하여, 선형을 분석한 뒤 평면곡선에서의 속도변화 특성을 이용하여 안전성을 평가하였다. 강승림 등(2003)은 GIS를 기반으로 도로의 선형조건을 이용하여 도로의 선형조건이 교통사고에 미치는 영향을 규명함으로써 고속도로의 사고위험도를 파악하고 평가할 수 있는 방법을 개발하였으며, 이 결과를 토대로 사고에

측모형을 구축하였다. C. Messer(1979)은 운전부담량을 산정하는 모형식을 개발하여 선형이 복잡할수록 운전부담량이 높아진다고 제시하였다. Charles 등(1992)은 사고예측모형을 기반으로 완화곡선의 존재가 사고에 미치는 영향을 수치화 하였다. 그 결과 완화곡선이 부족하면 선형의 변화가 급격한 구간은 타구간에 비해 사고율이 높았으며, 완화곡선에 의해서 사고율이 5% 감소함을 확인하였다. Lamm 등(1999)은 곡률변화율과 사고와의 관계에 대하여 높은 곡률변화율을 가진 도로의 사고율과 사고비용이 높다고 제시하였으며, 사고율 및 사고비용의 급한 변화발생 시점은 곡률변화율이 500gon/km지점이라고 제시하였다. Salvatore 등(2009)은 DIVAS(Driving Instrumented Vehicle Acquisition System)을 이용하여 차량의 주행실험 데이터를 수집하여 분석하였다. 그 결과 두 개의 연속적인 선형간의 최대속도 차이, 평균 구간속도 차이, 구간 속도의 최소값이 운전자의 행태를 나타내는 지표(DPI, Driving Performance Indicator)로 선택되었으며, DPI변수 분석을 통해 도로선형의 안전성을 평가하였다.

2.3. 기존 연구와의 차별성

대부분의 기존연구는 GPS를 이용한 연구로 GPS자료로부터 도로면의 고저차를 산출하여 도로의 평면선형, 종단선형을 분석하는 방법이다. 실제 차량 주행속도로 측정이 가능하나 차량 이동 중에 측정오차가 발생할 가능성이 있으며, 위성 측정이 불가능한 터널이나 산악지대 등에서는 자료수집이 어려운 단점이 있다. 또한, 레이저 스캐너의 경우 정확한 노면 경사를 측정할 수 있으나 차량을 정지하여 측정하여야 하며 절대 좌표 변환을 위해 정밀한 측량이 요구된다. 또한 IMU 센서만을 이용할 경우, 차량 자체의 움직임 및 변화를 측정함으로써 정밀한 차량의 움직임을 측정할 수 있으나 GPS와 마찬가지로 오랜 시간 주행시 측정오차가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 GPS/INS센서를 이용하여 차량의 자세정보 및 위치자료를 수집하였다. GPS/INS센서는 GPS위성을 이용하여 자료를 수집할 수 없는 지역에서 INS를 통한 자료수집이 가능하며, 차량 자체의 움직임을 통한 평면선형인식으로 측정오차를 절감할 수 있다. GPS/INS 센서에서 수집되는 3개축의 자세정보 특성을 분석하였으며, 도로선형과 교통사고는 밀접한 관련이 있기 때문에 분석결과를 적용하여 평면선형인식 알고리즘 개발을 하는데 차별성을 부여하고 연구를 진행하였다.

3. 연구방법론

본 연구에서는 평면선형인식 알고리즘 개발을 목표로

GPS/INS센서를 장착한 차량을 이용하여 영동고속도로와 국도 47호선을 주행하여 차량의 자세정보 및 위치자료를 수집하였다. GPS/INS센서로부터 수집된 자세정보인 Roll, Pitch, Heading을 평면선형인식을 위한 측정지표(Measurement)로 정의하여 선형변화에 따른 특성을 분석하였다. 선형변화에 따른 측정지표의 특성분석을 통하여 평면선형인식에 유의하다고 판단되는 측정지표를 선택하고, 선택된 측정지표를 바탕으로 평면선형인식 알고리즘에 적용될 변수(Metric)를 도출하였다. 평면선형인식을 위한 규칙기반 휴리스틱 분류알고리즘을 개발하고, 유전알고리즘을 이용하여 파라미터를 정산하였다. 또한 분류정확도를 이용하여 알고리즘의 성능을 평가하였다. 평면선형인식 알고리즘 개발 연구방법론을 그림 1에 제시하였다.



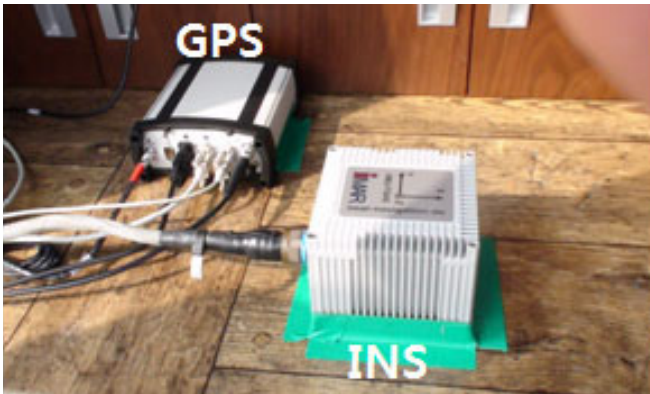
그림 1. 연구방법론

4. 자료수집 및 분석

4.1. 자료수집

본 연구에서는 알고리즘 개발을 위해 GPS/INS센서를 장착한 차량을 이용하여 자료를 수집하였다. INS는 별도의 기지국 등의 설치없이 관성센서인 자이로와 가속도계로 측정되는 항체의 가속도와 각속도를 이용하여 항체의 위치, 속도 및 자세에 대한 정보를 계산할 수 있다. 또한 지형, 기상, 전파방해 등에 영향을 받지 않아 GPS로 수집하기 어려운 자세정보까지 얻을 수 있는 시스템이다. 그러나 INS는 최초 위치를 입력해야 하고 가속도와 각속도의 입력 값을 적분해 자세와 속도를 계산하기 때문에 이동거리 증가에 따른 위치 오차가 누적되는 단점이 있다. 반면, GPS는 위성을 이용해 지구상의 절대적인 위치를 계산하는 전파 항법 시스템으로 INS와 달리 단시간의 항법 오차는 크지만 시간이 지나도 오차가 누적되지 않는 장점

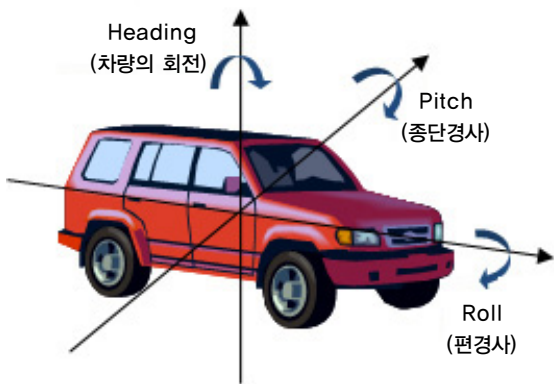
을 가지고 있다. GPS/INS센서는 GPS와 INS의 장점을 취합한 시스템으로, INS에서 발생하는 위치오차를 주기적으로 GPS가 보정하며, GPS에서 발생하는 오차를 INS가 보완하여 정밀한 위치 및 항체의 자세를 측정할 수 있다. 그림 2(a)는 자료수집에 사용된 GPS/INS센서이며, 그림 2(b)는 INS센서에서 수집되는 자료를 보여주는 GUI(Graphical User Interface)를 나타낸다. 자료는 그림2(c)와 같이 Roll, Pitch, Heading의 3개의 축을 기준으로 수집되며, Roll은 편경사와 관련이 있으며, Pitch는 종단선형, Heading은 차량의 좌우 움직임, 즉 차량의 회전과 관련이 있다.



(a) GPS/INS센서



(b) GPS/INS센서를 통한 자료수집



(c) 3축 각속도

그림 2. 자료수집

본 연구에서는 GPS/INS센서를 장착한 차량을 이용하여 영동고속도로와 국도 47호선을 대상으로 선정하여 자료를 수집하였다. 영동고속도로는 횡성휴게소~강릉JTC 구간에서 불연속적인 6개의 구간에 걸쳐 총 11.7km의 자료를 수집하였으며, 국도 47호선은 경기도 포천군 일동~이동 약 7.6km 구간에 걸쳐 자료를 수집하였다. 평균 80km/h로 주행하여 1m간격으로 Roll, Pitch, Heading등의 차량의 자세정보와 위도, 경도 등의 위치자료를 수집하였다. 영동고속도로에서 수집한 6구간자료 중 연장이 3.5km로, 가장 긴 구간을 이용하여 알고리즘을 개발하였으며, 알고리즘에 사용되지 않은 영동고속도로 나머지 5구간의 주행자료와 국도 47호선 주행 자료를 이용하여 개발된 알고리즘의 성능을 평가하였다. 본 연구에서 알고리즘을 개발하는데 사용된 구간의 구성은 표 1에 제시한 바와 같다.

표 1. 알고리즘 개발 및 검증에 사용된 세부구간

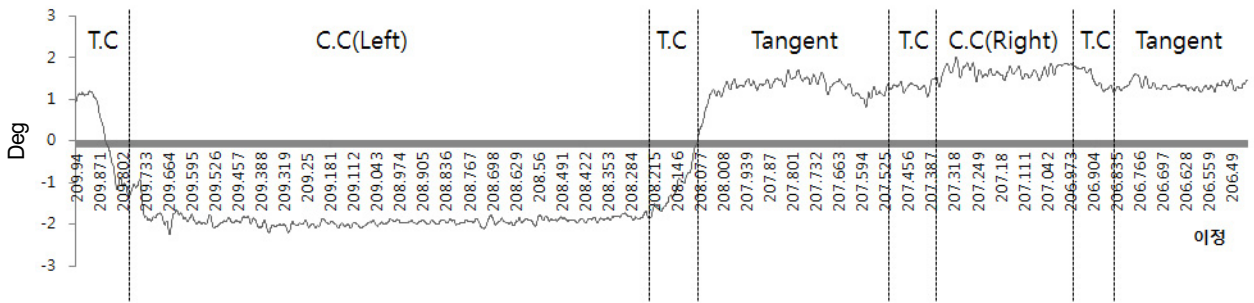
	직선	완화곡선	원곡선	총합
Training Dataset (영동고속도로)	7구간	12구간	6구간	25구간
Test Dataset (영동고속도로)	4구간	10구간	7구간	21구간
Test Dataset (국도 47호선)	5구간	8구간	4구간	17구간

4.2. 자료특성분석 및 변수도출

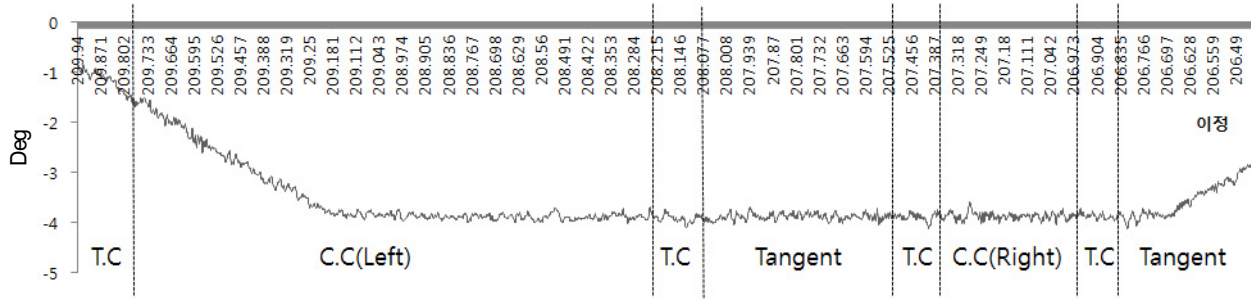
본 연구에서는 GPS/INS센서로부터 수집된 차량의 자세정보인 Roll, Pitch, Heading을 평면선형인식을 위한 측정지표로 정의하였다. 영동고속도로의 기존 기하구조 도면과 수집된 주행자료를 매칭하여 평면선형 변화에 따른 측정지표의 특성을 분석한 결과, 평면선형의 변화와 관련한 측정지표는 Roll과 Heading으로 도출되었으며, 곡선반경 및 선형구간의 길이에 따라 변화량이 달라지는 것으로 나타났다. 평면선형에 따른 Roll, Pitch, Heading의 변화를 그림 3에 제시하였다.

4.2.1. Roll과 평면선형

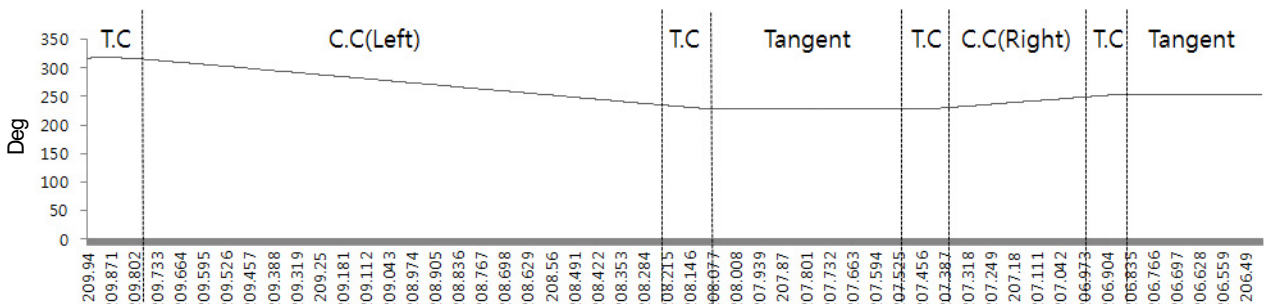
Roll은 물체가 좌우로 기울어진 정도를 나타내는 값으로, 차량 주행시 편경사에 따른 차량의 거동변화를 반영한다. 그림 3(a)를 살펴보면, 선형이 바뀌는 시점에서 편경사의 변화가 시작되며, 직선구간 및 완화곡선 구간을 주행할 때는 편경사의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 편경사에 따른 차량의 거동변화를 나타내는 Roll값은 완화곡선구간 주행시 급격한 변화를 나타내어 완화곡선 구간의 시·종점의 변화량이 큰 것으로 나타났다. 반면에 직선구간이나 원곡선 구간을 주행할 때는 Roll값의 변화가 없이 거의 일정한 것을 확인할



(a) Roll과 평면선형



(b) Pitch와 평면선형



(c) Heading과 평면선형

그림 3. 평면선형 변화에 따른 측정지표 변화

(T.C: Transition Curve, 완화곡선 / C.C : Circular Curve, 원곡선 / Tangent : Tangent, 직선)

수 있다. 따라서 선형변화가 일어날 때 편경사가 변화하기 때문에 Roll값의 변화도 크게 나타날 것으로 판단되며, 완화곡선을 인식 시 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

4.2.2. Pitch와 평면선형

Pitch는 물체의 수직방향 움직임을 나타내며, 차량 주행시 노면상태 및 중단경사 등의 중단선형을 반영할 수 있는 변수이다. 그림 3(b)를 통한 분석 결과, Pitch는 중단선형을 반영하는 변수이기 때문에 평면선형변화에 따른 변화특성을 보이지 않는다. 따라서 Pitch는 평면선형과는 관계없는 변수로 판단하여 분석대상에서 제외하였으며, 중단선형인식 시 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

4.2.3. Heading과 평면선형

Heading은 차량의 좌우 움직임을 나타내는 값으로, 핸들의 좌우 움직임을 반영할 수 있다. 그림 3(c)를 살펴보면, 좌측방향 곡선부에서는 Heading의 변화량이 감소하고, 우측방향 곡선부에서는 Heading의 변화량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 직선구간에서는 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, 선형이 변화하게 되면 조향핸들의 움직임이 뚜렷해지기 때문에 Heading의 변화가 클 것으로 예상된다. 이는 평면선형의 직선과 곡선을 구분할 때 적용가능하며, 곡선 방향에 따라 Heading의 증감이 다르게 나타나므로, Heading의 변화량을 이용하여 곡선의 방향을 구분할 때도 이용이 가능할 것으로 판단된다.

4.2.4. 변수 도출

평면선형 변화에 따른 측정지표의 특성분석 결과, Roll과 Heading이 평면선형을 반영하는 변수로 도출되었다. Roll은 편경사를 반영하는 변수로, 편경사가 급격히 변화하는 완화곡선을 구분 할 때 이용가능하며, Heading은 차량의 좌우 움직임 반영하는 변수로, 직선과 곡선 및 좌측방향 곡선과 우측방향 곡선 판단시 적용이 가능하다. 본 연구에서는 Roll과 Heading의 이점별 변화량, 구간 내 이점별 변화량의 평균 및 구간 내 시·종점의 변화량을 평면선형인식 알고리즘의 변수로 이용하였으며, 표 2에 알고리즘의 측정지표와 변수의 정의를 제시하였다. 도출한 변수의 기술통계량을 분석하여 표 3에 제시하였으며, 각 변수들이 평면선형을 인식할 때 유효한 변수로 사용될 수 있는가를 판단하기 위해 좌측방향 원곡선, 우측방향 원곡선, 완화곡선, 직선구간에서 수집된 변수들의 평균과 표준편차를 이용하여 정규분포 곡선을 통해 각 평면선형 별 변수들의 특성을 분석하였다.

표 2. 대상구간의 평면선형

구분	정의	변수	특징
Roll	편경사 판단	$\left(\frac{\Delta R}{\Delta \text{이정}}\right)_i$	1m당 Roll값의 변화량
		$\left(\frac{\Delta R}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	구간내의 $\left(\frac{\Delta R}{\Delta \text{이정}}\right)_i$ 의 평균
		$\left(\frac{\Delta R}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	구간의 시점과 종점에서 Roll값의 변화량
Heading	곡선부 판단	$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_i$	1m당 Heading값의 변화량
		$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	구간내의 $\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_i$ 의 평균
		$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	구간의 시점과 종점에서 Heading값의 변화량

i : 이정(m), s : 구간(section)

표 3. 변수의 기술통계량

		$\left(\frac{\Delta R}{\Delta \text{이정}}\right)_i$	$\left(\frac{\Delta R}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	$\left(\frac{\Delta R}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_i$	$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_s$
직선	최소값	0.000005	0.010653	0.000000	0.000004	0.006300	-0.008400
	최대값	0.163904	0.032986	0.005100	0.054176	0.014100	0.004500
	평균	0.014465	0.015641	0.001556	0.007827	0.008912	-0.000400
	표준편차	0.013618	0.006814	0.001548	0.006787	0.003069	0.003665
완화 곡선	최소값	0.000007	0.011336	0.001600	0.000008	0.010300	-0.038600
	최대값	0.149189	0.038984	0.028200	0.150728	0.100900	0.100900
	평균	0.022071	0.022279	0.014159	0.029964	0.030692	0.010814
	표준편차	0.018585	0.007385	0.008523	0.025129	0.018673	0.033550
좌측 방향 원곡선	최소값	0.000004	0.011136	0.000000	0.007084	0.036000	-0.111100
	최대값	0.099092	0.019960	0.002600	0.153336	0.111100	0.047800
	평균	0.013451	0.014454	0.000867	0.063012	0.060866	-0.050260
	표준편차	0.012126	0.003213	0.000792	0.025033	0.022726	0.042964

<표 계속>

우측 방향 원곡선	최소값	0.000002	0.013250	0.000000	0.003400	0.046100	0.046100
	최대값	0.127052	0.019265	0.000700	0.102509	0.412000	0.281800
	평균	0.015149	0.015026	0.000440	0.061791	0.131411	0.105400
	표준편차	0.013371	0.002460	0.000321	0.015515	0.157428	0.099516

그림 4는 선택된 변수들의 구간에 따른 분포함수를 나타내며, 정규분포 곡선 분석 결과에 따르면, 본 연구에서 도출한 변수 중 구간 내에서 1m당 Heading 변화량의 평균과 구간 내의 시·종점 간의 Roll과 Heading 변화량이 각 구간별로 상이한 결과를 나타내어 평면선형인식을 위한 변수로 효과적으로 활용될 수 있는 것으로 나타났다. 그림 4(a)에서는 다른 구간에 비해 직선구간에서의 1m당 Heading 변화량의 평균이 0에 가까운 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 4(b)에서는 구간의 시·종점 간의 Roll 변화량이 다른 구간에 비해 완화곡선구간에서 더 큰 값을 가지는 것을 확인할 수 있으며, 그림 4(c)에서는 구간의 시·종점 간의 Heading 변화량이 원곡선 방향에 따라 서로 다른 부호를 가지는 것을

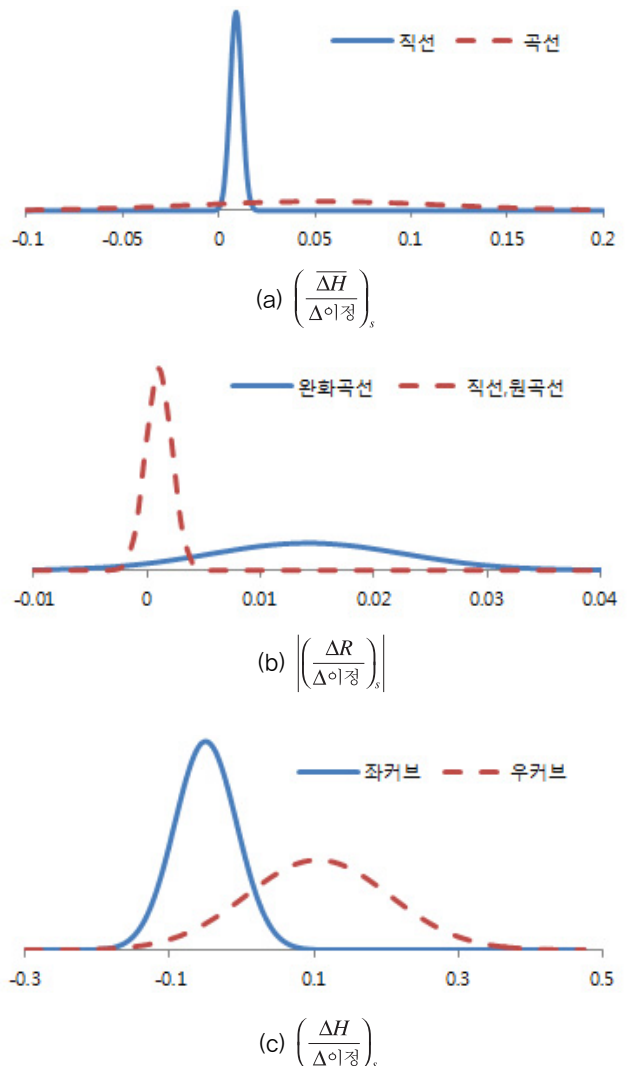


그림 4. 구간별 변수의 특성분석

확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 직선과 곡선 구분을 위해 1m당 Heading 변화량의 평균을 이용하였으며, 완화곡선과 원곡선 구분을 위해 구간의 시·종점 간의 Roll 변화량을 이용하였다. 또한 구간의 시·종점 간의 Heading 변화량의 부호를 이용하여 원곡선의 방향을 구분하여 평면선형인식 알고리즘을 개발하였다.

5. 평면선형인식 알고리즘

5.1. 알고리즘 개발

평면선형을 인식하여 판단하는 알고리즘은 크게 2단계로, 이상치 제거를 위한 평활화 단계와 변수를 이용한 평면선형 인식 단계로 구분된다. 평활화 단계는 평면선형인식 이전의 전처리 과정으로 원시자료의 이상치를 제거하기 위해 수행하였다. 이때 평활화 정도는 평면선형인식 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 평활화 파라미터 설정은 매우 중요하다. 본 연구에서는 평면선형인식을 위해 Roll, Heading 두 가지의 측정지표를 사용하였으며, 두 측정지표는 서로 다른 종류의 평면선형 분류시 사용되는 값이기 때문에 Roll과 Heading에서 서로 다른 평활화 파라미터(w_1, w_2)를 적용하여 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 이동평균법(Moving Average Method)을 이용하여 평활화를 수행하였으며, 이동평균법은 불규칙한 변동을 완화하여 전반적인 추세를 뚜렷하게 나타내게 하는 평활법(Smoothing Method)의 한 종류로, 시계열상 추세를 구하여 전체적인 흐름을 알 수 있다. 이동평균법은 다음 식 (1)과 같은 방법으로 수행된다.

$$R_i = \frac{rR_i + rR_{i-1} + \dots + rR_{i-w_1-1}}{w_1} \quad (1)$$

$$H_i = \frac{rH_i + rH_{i-1} + \dots + rH_{i-w_1-1}}{w_2}$$

여기서,

rR_i : 이점 i 에서 측정된 Roll값

R_i : 이점 i 에서 계산된 Roll값

rH_i : 이점 i 에서 측정된 Heading값

H_i : 이점 i 에서 계산된 Heading값

w_1, w_2 : 평균을 취하는 간격(Window Size)

평면선형 인식 단계에서는 1m당 Heading 변화량의 평균값을 이용하여 직선구간과 곡선구간을 구분한 후, 구간의 시·종점 간의 Roll 변화량을 이용하여 완화곡선과 원곡선을 구분하였으며, 구간의 시·종점 간의 Heading 변화량의 부호를 이용하여 원곡선의 방향을 구분하였다. 평면선형인식 알고리

즘을 그림 5에 제시하였다. 첫 번째 단계로 미리 설정된 임계값(k_1) 이하의 Heading 변화량의 평균값이 나타나게 되면 직선으로 분류하고, 두 번째 단계로 구간의 시·종점에서의 Roll 변화량이 미리 설정된 임계값(k_2) 이상으로 나타나게 되면 완화곡선으로 분류하게 된다. 마지막으로 구간의 시·종점에서의 Heading 변화량이 음수인 경우 좌측방향 원곡선으로 분류하고, 양수인 경우 우측방향 원곡선으로 분류하여 최종적인 도로 기하구조를 도출하게 된다. 이때 알고리즘의 분류정확도를 최대화할 수 있는 평활화 파라미터(w_1, w_2)와 임계값(k_1, k_2)을 산출하기 위하여 유전알고리즘을 이용하여 최적의 파라미터를 산출하였다. 분류정확도란 실제 값을 실제 값으로 정확히 분류할 확률을 의미하며, 본 연구에서는 직선을 직선으로, 곡선을 곡선으로 정확히 분류할 확률을 의미한다. 일반적으로 분류알고리즘의 성능평가시 주로 사용되며 다음 식 (2)와 같이 산출된다.

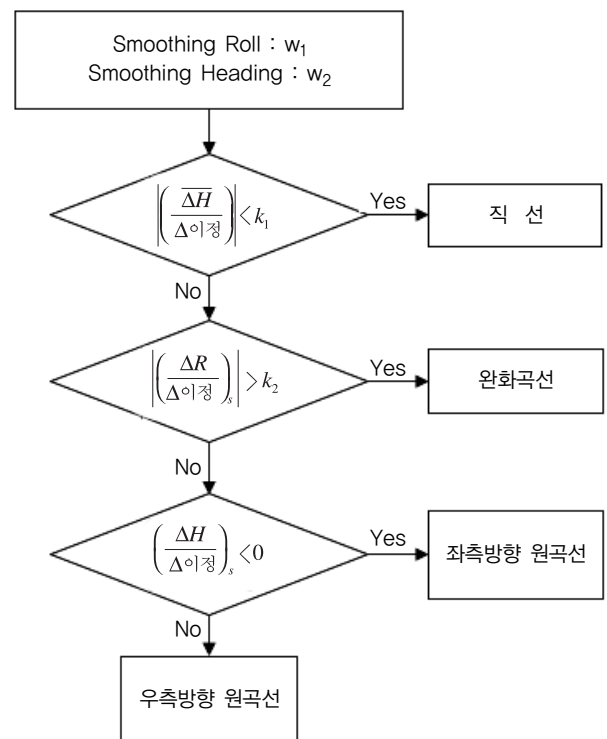


그림 5. 평면선형인식 알고리즘

Correct Classification Rate =

$$\frac{\text{알고리즘에 의해 정확히 인식된 구간 수}}{\text{전체 인식대상 구간 수}} \times 100 \quad (2)$$

5.2. 유전알고리즘 기반 파라미터 정산

유전알고리즘은 최적화 문제를 해결하는 기법의 하나로,

확률적인 방법과 개체간의 체계적인 정보교환을 통해 탐색공간(Search space)을 조사해 나감으로써 주위환경에 알맞은 가장 적절한 해를 얻고자 하는 방법이다. 유전알고리즘은 전역적으로 여러 점을 동시에 탐색하기 때문에 국부수렴에 빠질 가능성이 적고, 확률적인 방법에 의한 의사결정으로 최적점 탐색을 위한 어떠한 가능성도 배제하지 않는 장점이 있다. 유전알고리즘의 기본적인 유전 연산자로는 선택(Selection) 연산자, 교배(Crossover)연산자, 변이(Mutation)연산자가 있으며, 선택연산자는 개체의 적합도 값에 따라 적응성이 높은 개체만이 적자생존 방식으로 선택되어 자손을 번식시킬 수 있다는 점을 이용하였으며, 적합도에 비례하여 선택될 확률이 주어진다. 교배연산자는 분열과정중 2개의 염색체가 일부 유전자를 서로 교환함으로써 새로운 염색체를 생성하는 과정이다. 변이연산자는 일정 확률로 유전자를 변화시키는 것으로, 부모해가 가지지 못한 성질을 부여하여 더 광범위한 탐색 범위를 확보하기 위해 수행한다.

초기집단을 형성한 후 유전자로 표시된 변수를 주어진 실제 설계 영역으로 변환시켜 각 변수의 실제 값을 계산한 후 목적 함수의 결과에 따라 적합도를 부여하여 평가한다. 적합도 평가 후 선택, 교배, 변이과정을 거쳐 초기에 설정한 집단

과 같은 수의 새로운 집단을 형성하고, 새로운 집단에 대한 적합도를 산출하여 수렴조건을 만족하면 알고리즘을 종료하고, 만족하지 않으면 선택, 교배, 변이과정으로 돌아가게 된다. 이때, 유전알고리즘을 수행하기 전에 적절한 초기 집단의 수와 교배확률과 변이확률을 결정해야 한다. 일반적으로 초기집단 수는 20~30, 교배확률은 80%~95%, 변이확률은 50%~100%의 값을 사용한다.

본 연구에서는 영동고속도로에서 수집된 자료 중 Roll값과 Heading값을 이용하여 알고리즘의 변수를 도출한 후 유전알고리즘을 통해 평면선형 인식 알고리즘의 분류정확도를 최대로 하는 파라미터를 산출하였다. 목적함수를 평면선형 인식 알고리즘을 통한 분류정확도로 설정하여 최대의 분류정확도를 산출하는 파라미터 w_1, w_2, k_1, k_2 를 결정하였다. 그림 6에 유전알고리즘에 평면선형 인식 알고리즘을 적용하여 최적의 파라미터를 찾는 과정을 제시하였다. 파라미터의 초기값을 설정한 후, 집단 수를 결정하여 유전알고리즘을 수행한다. 집단 내의 유전자를 평면선형 인식 알고리즘에 대입하여 집단 수만큼의 분류정확도를 산출하여 최대 분류정확도를 가지는 값을 선택하여 교배하고 변이하는 유전알고리즘의 과정을 거쳐서 기 설정된 반복 횟수만큼 알고리즘이

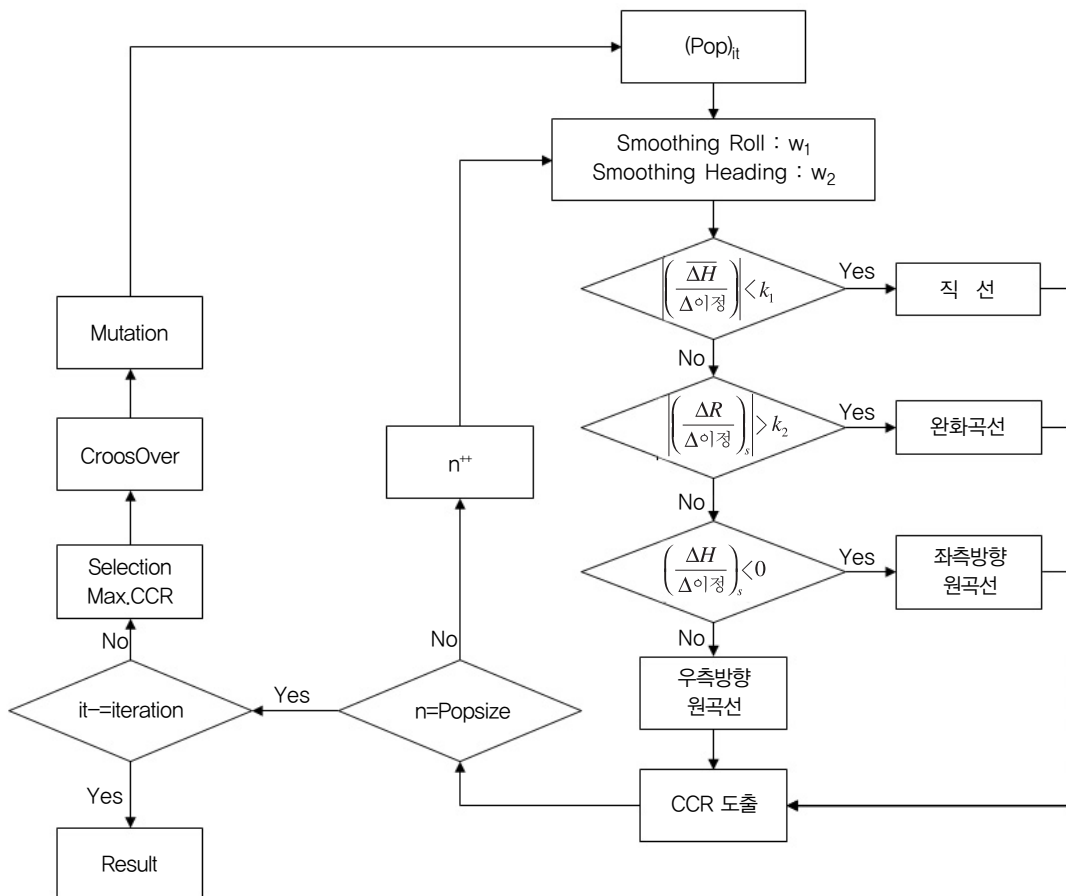


그림 6. 유전알고리즘과 평면선형인식 알고리즘 (n: 개체, it: 알고리즘 반복횟수)

수행되면 알고리즘을 종료하고 분류정확도를 최대로 하는 파라미터 값을 산출하게 된다. 이때, 적합도함수는 평면선형 인식 분류정확도가 되어 최종적으로 알고리즘의 성능을 최대로 할 수 있는 파라미터 값을 산출하게 된다. 그림 7은 파라미터 정산과정의 예를 도식화한 것이다. 초기 집단 수를 20으로 설정하고 초기값을 임의로 대입하여, 교배확률 80%, 변이확률을 50%로 설정하여 유전알고리즘을 100번 반복한 결과 표 4와 같이 알고리즘 파라미터가 설정되었다. 분석결과, 유전알고리즘을 통해 영동고속도로의 평면선형을 100% 정확하게 인식할 수 있는 평면선형 인식 알고리즘 파라미터를 설정하였다.

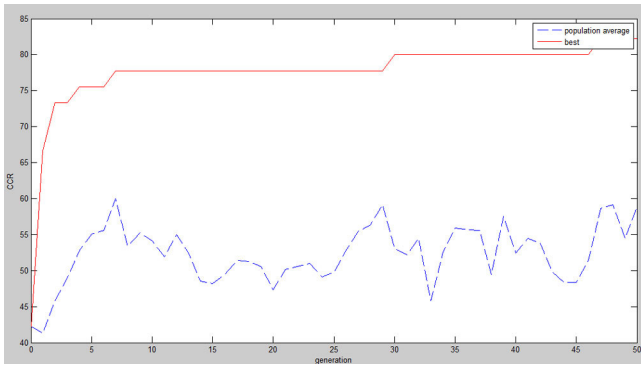


그림 7. 파라미터 정산과정

표 4. 파라미터 정산결과

Parameter	w_1	w_2	k_1	k_2	분류정확도
4	6	0.015614	0.001935	100%	

w_1 : Roll평활화 파라미터, w_2 : Heading 평활화 파라미터,
 k_1 : 직선과 곡선구분 파라미터, k_2 : 완화곡선과 원곡선구분 파라미터

5.3. 결과분석

유전알고리즘을 통하여 알고리즘 파라미터를 산출한 결과 영동고속도로의 평면선형을 100% 정확히 분류하였다. 그러나 유전알고리즘을 통해 산출된 파라미터는 영동고속도로 자료 일부만을 이용하여 산출하였기 때문에 새로운 구간의 주행자료를 이용하여 평면선형인식 알고리즘과 산출된 알고리즘 파라미터를 검증하는 과정이 필요하다. 따라서 영동고속도로의 주행자료를 이용하여 산출한 알고리즘 파라미터를 이용하여 알고리즘 개발에 사용되지 않은 영동고속도로 주행자료와 국도 47호선 주행자료를 평면선형인식 알고리즘에 적용하여 분석하였다. 알고리즘 검증자료인 영동고속도로는 직선 4구간, 완화곡선 10구간, 원곡선 7구간으로 구성되어 있으며, 국도 47호선은 직선구간 5개, 완화곡선구간 8개, 원곡선구간이 4개로 구성되어 있다. 평면선형 알고리즘 적용 결과를 표 5에 제시하였다. 영동고속도로의 총 21개의

세부구간 중 19개를 정확하게 분류하여 분류정확도는 90.48%로 산출되었으며, 국도 47호선의 총 17개의 세부구간 중 15개를 정확하게 분류하여 88.24%의 분류정확도로 높은 분류정확도를 보였다. 이때 고속도로와 국도의 분류정확도가 차이가 발생하는 이유는 고속도로와 국도의 편경사 및 도로의 설치기준이 다르기 때문임으로 판단되며, 표 6에 고속도로 자료와 국도 자료의 변수의 특성을 제시하였다. 변수의 특성을 살펴보면, 실제로 직선과 곡선을 구분하는 변수와 완화곡선과 원곡선을 구분하는 곡선의 평균이 차이를 보임을 확인할 수 있다. 이는 향후에 충분한 자료수집을 통한 추가분석이 필요할 것으로 보이나 알고리즘 성능평가 결과에 따르면 본 연구에서 개발한 평면선형 인식 알고리즘은 고속도로뿐만 아니라 국도에서도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 5. 알고리즘 성능평가 결과

분류결과 실제구간		직선	완화곡선	좌곡선	우곡선	분류정확도
		영동 고속도로	직선 4	완화곡선 1	좌곡선 -	
		완화곡선 9	좌곡선 -	우곡선 -		
		좌곡선 -	좌곡선 3	우곡선 1		
		우곡선 -	우곡선 -	우곡선 3		
국도 47호선		직선 5	완화곡선 -	좌곡선 -	우곡선 1	88.24%
		완화곡선 -	완화곡선 8	좌곡선 -	우곡선 -	
		좌곡선 -	좌곡선 1	좌곡선 2	우곡선 1	
		우곡선 -	우곡선 -	우곡선 -	우곡선 -	

표 6. 알고리즘 검증자료 변수의 기술통계량

		고속도로			국도		
		$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	$\left \left(\frac{\Delta R}{\Delta \text{이정}}\right)_s\right $	$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_s$	$\left \left(\frac{\Delta R}{\Delta \text{이정}}\right)_s\right $	$\left(\frac{\Delta H}{\Delta \text{이정}}\right)_s$
직선	평균	0.005250	0.001125	0.000475	0.012440	0.000680	0.000180
	표준편차	0.001714	0.000785	0.001305	0.001864	0.000746	0.000642
완화곡선	평균	0.024560	0.010470	0.005240	0.063300	0.022475	-0.033563
	표준편차	0.009716	0.006391	0.022512	0.013254	0.011460	0.053401
좌측방향 원곡선	평균	0.050975	0.000550	-0.027050	0.389800	0.001775	-0.2211500
	표준편차	0.009072	0.000342	0.050681	0.563124	0.001668	0.538363
우측방향 원곡선	평균	0.173267	0.000367	0.130033	-	-	-
	표준편차	0.206304	0.000306	0.131597	-	-	-

6. 결론

본 연구에서는 GPS/INS센서로부터 수집되는 차량의 주행자료를 이용하여 평면선형을 인식하고 분류하는 알고리즘을 개발하였다. 수집된 차량의 자세정보인 Roll, Pitch, Heading을 평면선형 인식을 위한 측정지표로 정의하여 선형변화에 따른 특성을 분석하였다. 선형변화에 따른 측정지표의 특성분석을 통하여 평면선형 인식에 유의하다고 판단되는 측정지표를 선택하고, 선택된 측정지표를 바탕으로 평면선형 인식 알고리즘에 적용될 변수를 도출하였다. 본 연구에서 개발한 평면선형 인식 알고리즘은 크게 2단계로 구분된다. 첫 번째 단계는 이상치 제거를 위한 평활화 단계이며 두 번째 단계는 측정지표로부터 도출된 변수를 이용한 평면선형 인식단계이다. Rule-based 접근방법의 휴리스틱 분류 알고리즘인 유전알고리즘(GA, Genetic Algorithm)을 이용하여 평면선형 인식 알고리즘에 사용될 파라미터를 정산하였으며, 영동고속도로와 국도 47호선 주행자료를 이용하여 평면선형 인식 알고리즘을 통해 평면선형을 분류하고, 분류정확도(CCR, Correct Classification Rate)를 통하여 개발한 알고리즘의 성능을 평가하였다. 평가결과 90.48%와 88.24%의 분류정확도로, 제안된 평면선형 인식 알고리즘은 고속도로뿐만 아니라 국도에도 적용이 가능하며, 약 90%의 높은 신뢰도를 가지는 정보를 제공하는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 나타난 한계점을 보완하고, 보다 정확하게 평면선형을 인식하기 위해서는 보다 많은 연속적인 도로 주행자료를 통한 파라미터 값 설정이 필요하다. 본 연구에서는 이미 세부 구간이 정확하게 나누어져 있다는 가정 하에 실제 세부 구간으로 나누어진 자료를 이용하여 평면선형만을 알고리즘으로 분류하고 평가하였지만, 보다 많은 연속적인 주행자료가 주어진다면 실제 세부구간 또한 주어진 측정지표로 분류할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 개발된 평면선형 인식 알고리즘은 센서로부터 수집된 각속도 자료 중 Roll과 Heading자료만을 이용하여 약 90%의 평면선형인식 분류정확도를 보였기 때문에, 각속도 자료 외에 위도, 경도자료 및 도면자료를 복합적으로 활용한다면 100%의 평면선형 인식 분류정확도를 보일 수 있을 것이다. 본 연구에서 개발한 평면선형 인식 알고리즘을 GPS와 INS 센서를 차량에 장착 후 도로를 주행함으로써 취득된 정보를 이용하여 선형정보 분석이 가능하다. 따라서 본 연구에서 제시한 평면선형 인식 알고리즘과 현재 활용되고 있는 도로기하구조정보 수집방법을 복합적으로 활용하여 향후 조사차량에 소프트웨어로 탑재한다면, 도로기하구조정보를 보다 용이하게 수집하고 분석할 수 있는 환경을 제공하여 차량 주행 후 취득된 데이터를 분석함에 따라 도로안전진단 혹은 안전점검 및 도로

유지관리시 도면이 없는 구간에 유용하게 사용될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(10-교통체계-미래03)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- 강승림, 박창호(2003) "고속도로 선형조건과 GIS 기반 교통사고 위험도지수 분석", *대한교통학회 논문집*, 대한교통학회, 제21권, 제1호, pp. 21~40.
- 노태호, 장호식, 이종출(2002) "RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 도로의 평면선형 정확도 분석", *한국지형공간정보학회 논문집*, 한국지형공간정보학회, 제10권, 제2호, pp.29-37.
- 윤덕근, 정동훈, 성정곤, 이상화(2006) "센서를 장착한 차량을 이용한 도로 횡단경사 측정에 관한 연구", *한국도로학회 논문집*, 한국도로학회, 제8권, 제2호, pp.105~116.
- 윤덕근, 성정곤(2007) "각종 센서를 장착한 차량을 이용한 종단선형 분석 알고리즘 개발 및 현장 검증에 관한 연구", *대한교통학회 논문집*, 제25권, 제2호, pp.157~165.
- 이영희(2003) "GIS를 이용한 도로선형의 안전성 평가", 석사학위논문, 상주대학교.
- 이종출, 이영대, 서정훈(2000) "GPS에 의한 도로의 평면선형분석", *대한토목학회 2000년도 학술발표회논문집(IV)*, 대한토목학회, pp.553-557.
- 이종출, 노태호, 허종호, 김진수(2001) "위성측량에 의한 도로 편경사 자동 추출 알고리즘 개발", *대한토목학회 2001년도 학술발표회 논문집*, 대한토목학회, pp.1-4.
- 이종출, 차성렬, 이영도, 김세준(2004) "수치영상을 이용한 도로편경사 추출", *한국측량학회 2004년도 춘계학술발표회 논문집*, 한국측량학회, pp.233~238.
- C. Messer(1979) "Highway Geometric Design Consistency Related to Driver Expectancy", *FHWA-RD-79-53*, Vol. 2.
- Charles V. Zegeer, J. Richard Stewart, Forrest M. Council, Donald W. Reinfurt, and Elizabeth Hamilton (1992) "Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves", *Transportation Research Record 1356*.
- David L. Harkey, Chang Yi, and John Feaganes (2004) "Evaluation and Validation of Automated In-Vehicle Data Collection System for Developing Roadway Alignment", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1897, pp. 164~172.
- Lamm, R., E.U. Hiersche, and T. Mailaender (1999) "Examination of the Existing Operating Speed Background of the German Guidelines for the Design of Roads", *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*, McGraw-Hill.
- Michael Camer, "GPS/INS Integration", *Photogrammetric Week 1997*, Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart

Salvatore Cafiso and Grazia La Cava (2009) "Driving Performance, Alignment Consistency, and Road Safety", Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2102, pp. 1~8.

Sunhee Choi, Junggon Sung(2007) "Data Generalization Algorithm for the Extraction of Road Horizontal Alignment Design Elements using the GPS/INS Data", *The 1st International conference on Advances in*

hybrid information technology, Lecture Note in Computer Science, Vol.4413, pp.51~62.

접 수 일 : 2011. 4. 5

심 사 일 : 2011. 4. 6

심사완료일 : 2011. 5. 20