

자동차 항법용  
수치도로지도에 관한 연구

서울대학교 도시공학과  
교수 김 용 일



# 자동차 항법용 수치도로지도에 관한 연구

김 용 일  
서울대학교 도시공학과

## 1. 서론

최근 들어, 폭발적인 자동차의 증가는 잦은 교통사고와 심각한 교통정체현상, 환경문제 등을 야기했고, 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 이 문제의 해결을 위해 최근 들어 교통전문가들에 의해 IVHS(Intelligent Vehicle and Highway Systems)가 새로운 대안으로 대두되고 있다. IVHS의 세부분야인 ATMS, ATIS, AVCS, APTS, CVO 및 ARTS 등은 정도의 차이는 있지만 자동차항법장치 및 그 관련기술과 일정정도 연관을 맺고 있다. 특히, ATIS의 동적경로안내기능(DRG)과 APTS의 AVL(Automatic Vehicle Location)기능은 자동차항법장치와 불가분의 관계를 가지고 있다.

자동차 항법장치는 기본적으로 현재위치정보제공, 최적경로안내, 목적지검색, 주요 지형지물정보제공 기능 등을 수행하며, 이러한 자동차항법의 각종 기능을 수행하는 데 있어서 수치도로지도는 필수적이며 일반적인 수치지도와는 달리 많은 항법 관련 기능 및 정보를 포함하고 있어야 한다. 그러나, 한국에서는 미국의 TIGER 화일과 같이 수치도로지도제작에 편리하게 이용할 수 있는 일종의 원료로서의 범국가적인 수치지도가 존재하지 않으므로, 독자적인 항법용 수치도로지도제작이 필요하다. 이에 따라, 본 연구에서는 자동차 항법용 수치도로지도 데이터베이스이 갖추어야 할 기능에 대해서 연구하였다.

## 2. 수치도로지도 데이터베이스의 해외 기술동향.

### 가. 일 본

- 1970 년대에 건설성, 기업, 학계로 이루어진 연구그룹을 결성하여 1984 년 '표준화 사양을 이용한 범용의 digital road map database 구축'에 합의.
- 1988 년 자동차 부문 82 개 주요 회사, 전기, 기계, 지도제작 및 측량회사 등이 건설성 주관 하에 JDRMA(Japan Digital Road Map Association)을 설립, 1998 년 완성목표로 데이터베이스 구축을 시작.(1995 년 현재 60%이상의 공정 진행)
- 건설성 국토지리원에서는 이와는 별도로 1:10,000, 1:25,000 수치지형도, 250m, 1km 격자망 전국 표고데이터를 구축하여 1995 년 9 월 현재 완성되어 수치도로제작 및 응용분야에 활용.
- 일본의 수치지도 데이터베이스 이용 교통관련 프로젝트.
  - AMTICS(첨단 자동차 교통정보 및 통신시스템)- 일본 경시청 주관
  - RACS(도로-자동차 통신시스템)- 일본 건설성 주관
  - VICS(운행통신정보시스템)- 경시청, 건설성후원, VICS 추진위원회 구성
  - SSVS(Super Smart Vehicle System)- 일본 통산성 및 JSK

## 나. 유 럽

- 유럽각국에서는 수치도로지도 데이터베이스의 작성에 각국의 Mapping Authority의 통제를 받음.
- 독일은 1:5,000 - 1:25,000 지도를 자료원으로 하여 도로 세그먼트, 터미널, 행정구역, 수계, 철도, 고속도로 출구 등을 구축
- 네덜란드 : 1:10,000 지도의 모든 도로에 대한 입력
- 프랑스 : 1:25,000 지도 수치입력, 1989년 이래로 갱신작업 중
- 대표적인 데이터베이스로는 1988년 필립스와 Bosch사가 공동개발한 GDF (Geographic Data File) V1.0이 있으며 이는 EC의 자금지원으로 DRIVE 프로젝트로 연결, 1992년 교통관련 응용이 강화된 GDF 2.0을 발표
- GDF는 교통흐름방향, 도로형태, 도로분류, 도로번호, 최고도, 최장거리, 최대폭, 최대허용중량, 특별교통제한, 도로표지판 등으로 구성됨.
- 수치도로지도 데이터베이스를 이용한 프로젝트는 DRIVE, PROMETHEUS, CARMINAT, DEMETER, PANDORA, ROMANSE, SOCRATES, AUTOGUIDE, TANGO 등 다수가 있음.

## 다. 미 국

- 미국의 경우는 정부 기관간의 데이터 호환에 관한 표준 프로토콜(SDTS)수립에 강점을 보이고 있으며 1994년부터는 SDTS를 따르도록 의무화하고 있으며 이에 따라 작성된 수치지도는 공공서비스 개념으로 민간에 제공되고 있음.
- 1984년 TRB(Transportation Research Board)에서는 SAE로 하여금 수치도로지도 데이터베이스 표준화를 지시.
- 미 통계국에서는 1967년 최초의 수치도로지도인 DIME을 제작했고, 1983년에 도로, 철도, 수로, 관로, 주소, 가로명, 인구 등의 자료가 수록된 TIGER 파일을 제작.
- 민간영역에서는 ETAK, GDT, NAVITECH 등에서 수치지도작성을 활발하게 전개하고 있음.
- 수치도로지도 데이터베이스를 이용한 프로젝트는 ADVANCE, FAST-TRAC, PATHFINDER, TRACTEK, TRAVINFO 등이 있으며, 연방정부의 교통부, 자동차회사, 연구소, 통신회사, 대학 등이 상호협력하여 성공적인 결과를 이루고 있음.

## 3. 수치도로지도의 기능 및 필요조건

### 3.1 수치도로지도의 기능

#### 1) 정확한 차량위치표현 기능

자동차 항법의 가장 기본적인 기능은 운전자에게 현재의 위치정보를 제공하는 것으로, 이를 위해 위치정보를 그래픽 화면을 통해 제시하고 모든 지도 대상체가 정확한 좌표값을 바탕으로 입력되어 있는 수치지도가 반드시 필요하다.

#### 2) 경로안내

최적경로안내 및 대상경로에 대한 각종분석을 위해서는 위상적으로 구조화되어 있는 수치지도가 필수적이다.

### 3)요구정보제공기능

운전중 운전자가 필요로하는 각종 정보(예: 주유소 위치, 주차장 위치 등)를 유형별로 제시하기 위해서는 주제별로 계층화가 가능한 수치지도가 필요하다.

## 3.2 수치도로지도의 필요조건

### 1) 좌표계의 통일

자동차 항법장치의 특성상 전체도엽이 하나의 통일된 좌표계를 가져야만 위치검색 등에 편리하다.

### 2) 위치정확도

정확한 자동차 위치결정이 가능하면서, 입력에 필요이상의 비용이 소요되지 않도록 최적수준의 위치정확도 기준이 마련되어야만 수치도로지도의 질적안정을 유지할 수 있다.

### 3) 데이터의 현재성

운전자에게 차량운행에 관련된 각종 정보를 신속하고 정확하게 제시하여야만 하므로 가능한한 최신의 정보구축을 통해 수치도로지도의 지속적인 갱신작업이 필요하다.

특히, 지형도만을 데이터 취득원으로 할 경우 인접도엽간의 갱신시기 불일치로 일어나는 문제는 심각하므로 항공사진, GPS, 위성사진 등의 다양한 데이터 취득원의 적용에 대해서 고려하여야 할 것이다.

### 4) 지도입력 대상체의 적절한 선정

항법용 수치도로지도에 되도록이면 많은 지형지물정보를 제공할 수 있으면 이상적이지만, 기본적으로 목표로 하고 있는 데이터는 자동차내에서 활용되므로 많은 하드웨어 및 소프트웨어적인 제약이 따르게 된다.

### 5) 항법장치기능 구현을 위한 입력요소선정

항법기능 구현을 위해서는 단순 지형지물정보뿐만 아니라 경로안내, 맵매칭(map matching) 등의 기능을 위해 통과 교통량, 도로의 위상관계(topology), 신호체계 등이 함께 고려되어야 한다. 이러한 정보의 많은 부분이 기존의 지형도 등에서는 취득하기 어려운 속성정보의 성격을 가지므로 데이터 구축과정에서 많은 노력을 기울여야 한다.

## 4. 자동차 항법용 수치도로지도 데이터베이스

본 데이터베이스는 크게 관리데이터, 도로관련 데이터, 교통데이터, 행정구역 데이터, 지형지물 데이터, 수계 데이터, 래스터 배경 데이터, 부가정보 데이터의 큰 범주로 나뉘며 빈번히 사용되는 속성 등의 표현을 위하여 코드를 설정하였다.

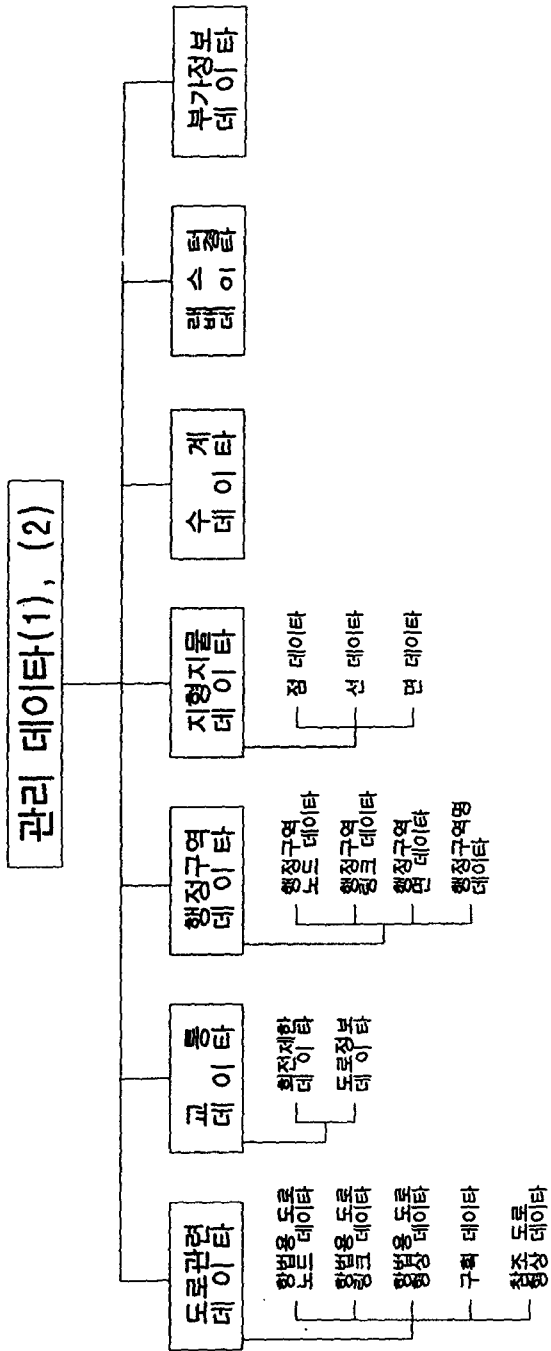


그림 1. 데이터베이스의 구조

## 5. 본 자동차 항법용 수치도로지도의 기능별 특징

### 5.1 위치결정

자동차의 현재위치정보제공은 자동차 항법장치의 1차적 기능이다. 일반적으로 자동차 항법장치에 있어서의 위치결정은 외부의 도움 없이 자동차내의 센서만을 이용하여 상대적 이동거리와 진행방향을 산출해 위치를 파악하는 dead reckoning 기법과 위성을 이용하여 지구상에서 절대위치를 구하는 GPS 기술이 있다. 또한, 이 두가지 기법을 적용시 발생하는 오차를 보정하기 위해 차량주행계적과 수치도로지도의 도로데이터의 형상을 비교하여 보다 정확도를 높이는 Map Matching 기법이 활용되고 있다.

어떠한 경우라도 통일된 단위와 좌표체계로 구성된 digital map이 필요하며, 이 digital map은 일정수준이상의 정확도를 유지하여야 한다. 따라서, 개발된 digital road map database에서는 한국의 지역적 특성에 맞는 좌표계를 제안하였고, 도로상황과 비용효과면에서 타당성 있는 정확도 기준을 설정하였다.

#### 1) 좌표계

현재 우리나라 국가기본도에서 채택하고 있는 평면직각좌표계는 3계(위도 38도상에 경도 125도, 127도, 129도)의 좌표원점을 사용하고 있다. 이러한 현행 좌표계를 전국적 규모의 수치지도로 입력할 경우에 다음과 같은 몇가지 문제발생이 예상된다.

- 상이한 좌표원점을 채용하고 있는 인접도엽간의 좌표값의 불연속 발생.
- 3계의 좌표평면상에 동일한 좌표값이 존재하므로 검색시 문제 발생.
- 대도시등의 지역적 특성과는 상관없이 원점과 축척계수(1.0000)가 설정되어 있으므로 원점에서 떨어져 있는 대도시지역에서 약간의 왜곡발생.

이러한 문제의 해결을 위해서는 하나의 원점을 갖는 통일된 평면직각좌표계가 필요하다. 따라서 본 표준안에서는 그림 3과 같이 하나의 원점(위도 38도 경도 128도)으로 전국을 포괄하는 새로운 평면직각좌표계를 결정하였다.(검은 점은 6대 도시들이다.)

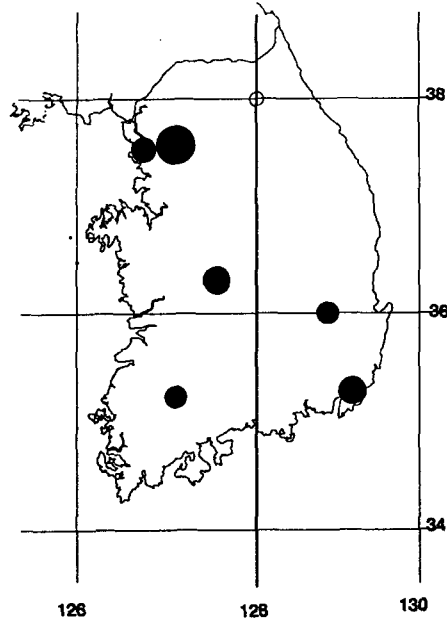


그림 2. 항법용 표준좌표계의 좌표원점

또한 자동차 교통발생이 집중되어 있는 6대 도시에서의 수치지도 정확도를 보다 향상시키기 위해서 원점에서의 축척계수를 0.9999로 설정하였다.

새로운 표준좌표계의 특징은 다음과 같다.

준거타원체 : 베셀타원체

좌표원점의 경위도 : 동경 128도 북위 38도

좌표원점에서의 축척계수 : 0.9999

원점의 좌표값 :  $X=400,000m$   $Y=600,000m$

## 2) 수치도로지도 정확도

자동차 항법용 수치지도에 있어서 그 정확도는 매우 중요하다. 즉, 자동차 항법 시스템의 가장 기본적인 기능은 각종 위치확인 센서로 부터 입력된 좌표값을 수치 지도상에 표시하여 현재 차량의 위치를 파악하게 하는 데 있다. 이 경우 수치지도가 정확하게 입력되어 있지 못하면 운전자에게 잘못된 정보를 제공하게 된다. 이러한 문제발생을 방지하기 위하여 지도원도로부터 수치지도를 취득함에 있어서 그 결과에 대한 질적기준을 정하는 것이 필요하다.

수치지도에 대한 위치오차는 각각 한계표준오차 및 허용표준오차로 구분된다. 이들 중에서 한계표준오차는 지형지물을 지도상에 정위치로 나타낼 때 피할 수 없



이 발생하는 오차로서 국립지리원의 항공사진측량 작업내규에 명시된 세부도화 묘사오차의 평면위치 표준편차인 0.2 mm를 기준으로 하며, 허용표준오차는 자동차 항법용 수치지도가 갖는 위치오차의 95% 오차반경으로 한다. 또한 허용오차와 한계오차의 비를 표준승수(k)로 나타내며, 이를 수치지도의 질적수준 척도로 정하였다. 본 표준안에서는 지도원도안에 내재해 있는 오차, 입력과정에서 발생가능한 오차, 자동차항법에 있어서 허용가능한 오차, 정확도에 따른 입력비용 등을 고려하여 표준승수 k 값을 7로 하여 위치 정확도의 기준을 결정하였다.(표 1. 참조)

표 1. 위치정확도 기준

축척	한계표준오차 (0.2mm)	허용표준오차 (95%오차반경 )	표준승수
1:5,000	1m	7m	k = 7
1:10,000	2m	14m	
1:25,000	5m	35m	

## 5.2 경로안내

운전자에게 목적지까지의 최적경로를 제공하는 경로안내기능은 자동차 항법장치 뿐만 아니라 IVHS에 있어서 매우 중요한 요소이다. 이 기능의 구현을 위해서는 digital map의 구조 및 내용이 경로안내에 적합해야 한다. 즉, 디지털 맵의 제반 지도요소가 위상적으로 구조화되어 있어야 하며, 사용자의 요구사항에 따라 다양한 최적경로를 산출할 수 있도록 링크나 노드에 여러가지 속성이 연결되어 있어야 한다.

### 1) 경로안내를 위한 위상관계

보통 도로체계는 도로와 교차도로 구성되는 네트워크로 표현될 수 있으며, 이 네트워크는 점의 집합과 이 점들을 연결하는 세그먼트의 두가지 요소로 구성된다. 이것을 수학적 정의로 표현하면 점은 노드의 집합으로, 세그먼트는 이 노드들을 연결하는 링크로 설명된다. 이 링크들은 시작노드와 끝노드로 구성되는 방향성을 갖는 (directed) 그래프이다. 즉 도로의 교차점은 노드로, 도로는 링크로, 교통흐름의 방향은 노드의 배열순서로 모델화가 가능하다. 이러한 노드와 링크의 모델화에 의한 분석은 대부분의 최적경로 탐색 알고리즘(Dijkstra, moore, D'esopo 등)에 적용되고 있다. 개발된 데이터베이스에서는 도로망을 노드와 링크로 모델화하고 각 도로노드와 도로링크가 논리적으로 연결관계를 맺는 topology 를 갖도록 하였다. 또한, 도로링크, 도로노드, 구획면, 지형지물, 회전제한정보, 부가정보 등이 모두 유기적인 위상관계를 가지고 있어서 경로안내 및 대상물 검색에 편리하도록 데이터베이스를 설계하였다.(그림 3 참조)

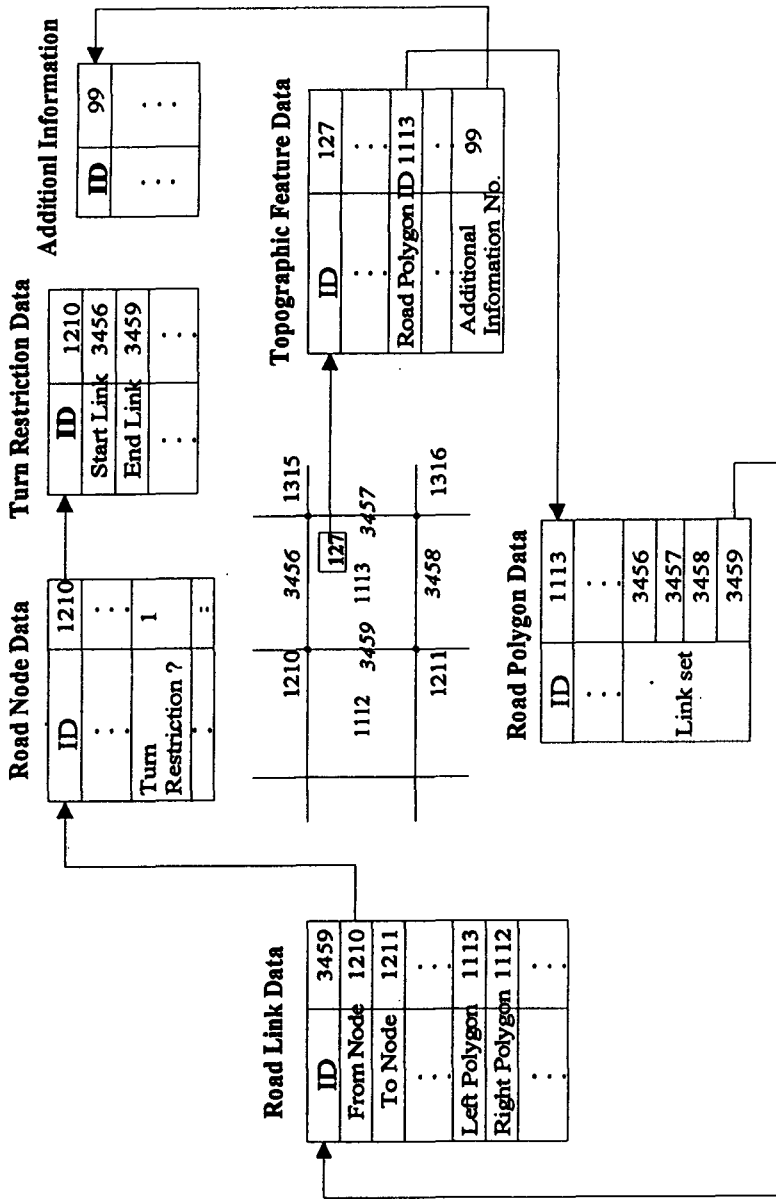
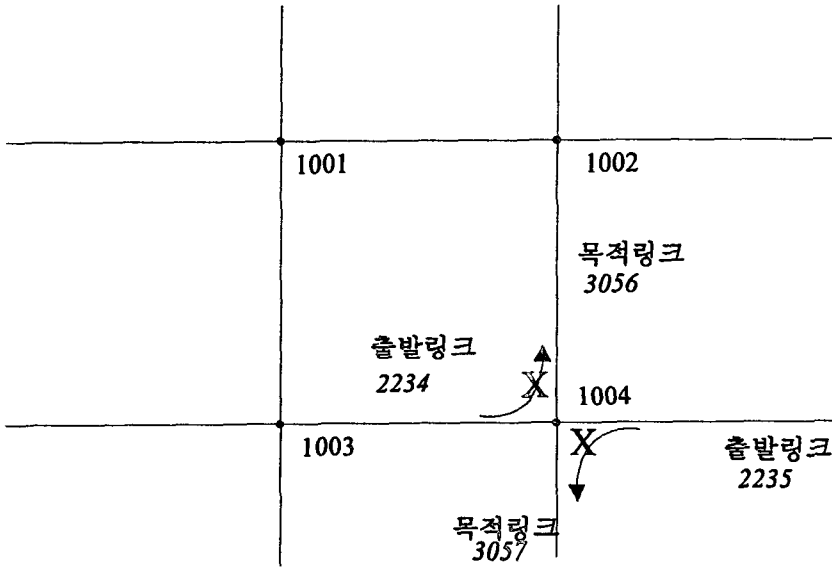


그림3. 데이터베이스간의 위상관계

### 2) 회전정보

도시교통이 복잡해짐에 따라 도로교차점에서 특정방향으로 회전을 제한하는 경우 (예; 좌회전금지 등)가 빈번히 일어나고 있다. 이러한 교차로 회전정보는 현실에 맞는 경로정보를 제공하는데 필수적이다. 이를 위해 본 데이터베이스에서는 회전 정보 화일을 설정하여 교차로에 대한 회전금지정보를 제공하도록 하였다. 일반적으로 교차로에 있어서 회전은 출발링크에서 목적링크로의 진행을 의미한다. 본 회전정보화일에서는 해당 교차로에서 회전이 금지되는 경우에 그 출발링크와 목적링크를 기록하게 되어 있으며 이 정보는 노드번호를 통해 항법용 도로 노드 화일과 연결되어 있다. (그림 4.)



노드번호	출발링크	목적링크	규제조건	시간제한(시작)	시간제한(종료)	요일코드
1004	2234	3056	2	07	22	1
1004	2235	3057	4	07	22	2

그림 4. 회전제한 데이터

### 3) 속성정보

최적경로안내를 위해서는 네트워크의 링크에 임피던스값이 주어져야 한다. 일반적으로 가장 기본적인 임피던스 값의 형태는 링크의 길이이며 운전자의 성향 및 상황에 따라, 시간, 비용, 운전편의성 등이 임피던스로 고려될 수 있다. 임피던스에 관련된 속성은 주로 링크와 연결된 것이 많다. 본 데이터베이스에서는 각종 임피던스 산출을 위한 차선수, 도로등급, 유료도로여부, 등의 기초 데이터 제공을 위해

서 링크에 여러가지 속성정보항목을 설정하여 최적경로안내에 활용하도록 하였다.

### 5.3 요구정보제공기능

일반적으로 운전자는 주행중에 주행경로뿐만 아니라 목적지 및 경유지 근처에 있는 각종 지형지물에 대한 정보를 필요로 하게 된다. 이러한 지형지물정보는 운전자가 위치를 인식할 수 있는 보조적인 정보뿐만 아니라 이름 등의 지형지물자체에 대한 정보도 제공하는 역할도 하게된다. 주요교차로, 주유소, 호텔 등이 그 예이다.

따라서 데이터베이스에서는 이를 위해 교차로명, 도로명, 노선번호, 행정구역 등과 코드화된 120여개의 각종 지형지물의 위치, 형상, 명칭을 점, 선, 면으로 분류하여 데이터 화일에 기록할수 있도록 하였다. 특히, 지형지물을 도로링크로 이루어진 구획번호와 연결시킴으로써, 목적지를 설정할 경우 접근링크 및 노드를 직접 조회할 수 있도록 하여 경로안내에 도움이 되도록 하였다.

## 6. 수치도로지도 작성공정

### 그림 5.

### 6.1 형상데이터 입력

입력원은 주로 국립지리원 발행의 1:25,000 지형도 원판으로 이를 전국에 대해 디지털링 입력중이다. 그러나, 앞에서 언급한 바와 같이 자동차 항법용 수치도로 지도에서 현재성은 매우 중요한 요소이다. 더구나 도시지역 같이 변화가 많고, 차량의 교통이 많으며, 도로밀도가 높은 지역에서는 보다 높은 위치정확도와 현재성이 요구된다. 따라서, 서울을 포함한 수도권, 인천, 부산, 대전, 대구, 광주의 6대도시는 1:5,000축척으로 항공사진측량 및 수치도화기법을 통해 별도로 입력되고 있으며, 1:25,000 축척도엽의 갱신 및 보완은 GPS를 이용하여 지형도에서 누락된 도로를 입력할 예정이다.

### 6.2 속성데이터 입력

항법기능을 위해서는 교차로 회전정보 등의 교통정보, 목적지 설정을 위한 주요 지형지물 정보 등의 속성정보가 필요하다. 이를 위해 기존 종이지도, 각종 대장, 문서 및 현지조사 등을 통해 입력중에 있다. 특히 회전제한 데이터는 캠퍼코더를 이용하여 직접 현지조사를 수행하여 입력하였다.

### 6.3 위상관계 수립

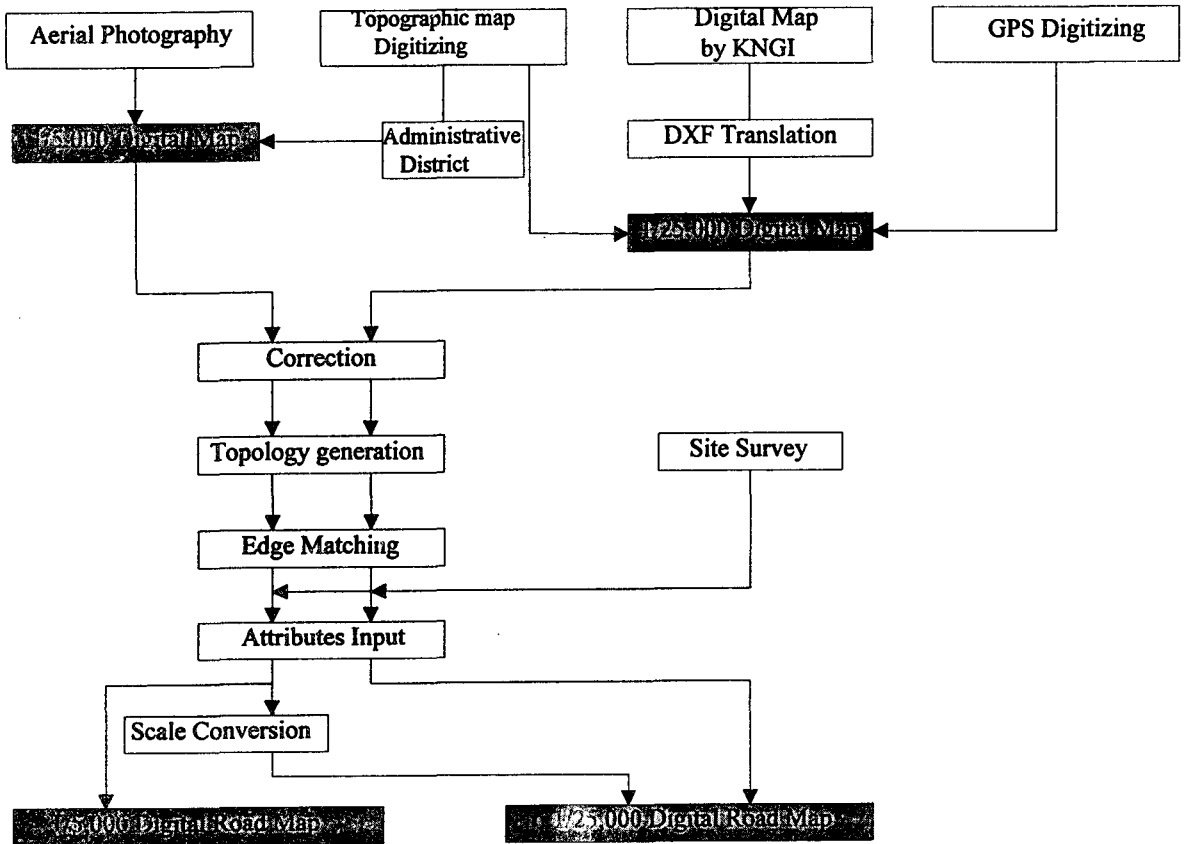


그림 5. 수치지도 제작공정

경로안내 기능을 위해서는 도로망의 위상관계 구조화가 필수적이다. 즉 도로교차점과 도로링크간의 위상관계를 자료구조안에 구현하는 작업이 필요하다.

#### 6.4 검증공정

입력된 수치도로지도의 질적 안정성을 위해 반드시 위치정확도, 속성정확도, 데이터간의 논리적 연결성 등에 대한 검증공정이 필요하다. 이를 위해 위치정확도 및 속성정확도, 도로누락여부 등은 검수팀이 동일지역에 대해 2회에 걸쳐 검증을 행하고, 데이터간의 논리적 연결성은 소프트웨어를 개발하여 자동적으로 검증하고 있다.

### 7. 결론 및 향후과제

연구결과로 제시된 수치도로지도 데이터베이스는 상황에 따른 최적경로결정을 수행할 수 있도록 다양한 데이터를 포함하도록 하였고, 검색이 편리하도록 데이터 화일간의 관계를 구성하였으며, 부가정보, 래스터 배경 데이터의 설정 및 다양한 지형지물을 유형별로 입력하도록 설계하여 요구정보제공 기능에 충실하도록 설계하였다. 특히, 한국적 현실과 자동차 항법에 적합한 좌표계 및 정확도 기준의 수립을 통해 보다 효율적인 위치결정 기능을 지원하도록 하였다.

또한, 이 표준안을 바탕으로 한 수치도로지도의 작업공정도 아울러 제시하여 향후 수치도로지도의 수요가 급증할 것으로 예상되는 현실에서, 신속하고 효율적인 수치지도제작의 한 예를 제시하였다.

첫째, 현재 자동차항법장치를 개발중인 각 자동차제작사와 연계하여 자동차항법장치에 대한 전반적인 검토와 실제 주행실험을 통해 운전자에게 적절히 정보가 전달되는 지를 검토하여 보완한다.

둘째, 동적경로안내(DRG)를 수용할 수 있는 수치도로지도 데이터베이스에 대하여 개발한다.

셋째, 본 데이터베이스는 주로 운전자 중심의 차내항법장치에 주목적으로 하여 작성되었다. 그러나 보다 전체적인 차원에서의 교통관리를 행하는 IVHS에서 활용될 수 있도록 항목, 기능, 정밀도의 검토가 필요하다.

넷째, 급변하는 도시 및 도로상황의 데이터를 시의적절하게 사용자에게 제공하기 위해서는 데이터의 작성 및 유통체제에 대한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 안철호, 최재화, "일반측량학", 문운당, 서울, 1987, pp. 50-51.
2. 최재화, "우리나라의 대축척지도제작을 위한 최적지도투영법의 선택에 관한 연구", 한국측지학회지, 제5권 제1호, 1987, pp.26-27.
3. 서울대학교, "자동차 항법용 수치지도 표준화 연구", 자동차부품연구원, 1994.
4. Yosef Sheffi, "Urban Transportation Network", Prentice-Hall INC., Enlewood Cliffs, N.J., 1985, pp. 10-11.
5. H. Claussen, "Status and Direction of Digital Map Database in Europe", IEEE-IEE Vehicle Navigation & Information Systems Conference, Ottawa-VNIS '93. 1993, p.26
- 6.H.Claussen, W. Lichtner, "GDF, A Proposed Standard for Digital Road Maps to be Used in Car Navigation Systems", IEEE, 1989, p. 325.
7. Masao Shibata, Yasuomi Fujita, " Current Status Future Plans for Digital Map Database in Japan", IEEE-IEE Vehicle Navigation & Information Systems Conference, Ottawa-VNIS '93. 1993, pp.29-30.
- 8.Waters Information Services, Inc.,"Digital Road Mapping : 『4. Map Database Standardization Issues』 ", 1993. pp. 127-128.
9. Roy Thomas, "Traffic Assignment Techniques", Avebury Technical, Vermont, pp. 53-85.