아스팔트 포장의 품질향상을 위한 정보화 시공법 개발

Developing Computer Integrated Construction Methodologies to Improve Quality of Asphalt Pavement

이 희 준*
Lee, Heejune

Abstract

The current progress in computer and electrical engineering has enabled the construction industry to implement innovative technologies in design and engineering. However, the construction segment is still largely based on experience, and this makes it difficult to meet the recent rigorous specifications, especially in the highway construction. This paper describes the current progress and the findings in the development of the computer integrated asphalt paving system, which is expected to assist the equipment operators to construct the quality pavement. The technologies to collect the required information, preferably in real-time, were reviewed comprehensively, and the selected technologies are proposed for the future development. Positional and thermal data were collected at the sample project in real-time to verify the capability of the available technologies. The collected data was analyzed using multiple regression method to confirm the significant factors for the compaction of the sample project, and to develop the empirical model, which can be adopted in the future system.

키워드 : 정보화 시공, 아스팔트 포장, 실시간, GPS
Keywords : Computer Integrated Construction, Asphalt Paving, Real-Time, GPS

1. 서 론

1.1 연구 배경

80-90년대 컴퓨터 및 인터넷의 발달은 상대적으로 보수적이라 알려져 있는 건설업계에도 변화의 바람을 일으키고 있다. 특히, 설계, 엔지니어링 분야는 빠르게 전산화, 정보화가 되어 이미 실무에 적용하고 있는 상태로, 굳이 예를 들지 않아도 될 정도이다. 이에 반하여, 시공 분야는 아직도 기능공과 기술자의 경험에 의지한 채 정보, 자동화의 사각지대에 놓여 있는 것이 건설업계의 현실이다.

이러한 시공 분야의 여러 공사별 프로세스를 면밀히 분석하여 정보화, 자동화, 기계화 하고자 하는 노력이 업계, 학계에서 계속 이루어지고 있으며, 터널 공사 같은 분야에서는 이미 상당한 성과를 이룬 상태이다. 시공 자동화, 정보화는 일반적으로 반복적인 프로세스가 많은 공사에서 성과가 좋은 것으로 알려져 있으며, 아스팔트 포장 공사가 좋은 예가 될 것이다. 점차 아스팔트 포장의 품질에 대한 관심이 높아지면서 아스팔트 포장에 대한 품질 규정도 강화되어가고 있는 추세이다. 특히 미국의 경우, 아스팔트 포장 시공 시의 품질검사 결과에 따라 시공사에 대한 지불액 자체를 조정하는 규정을 표준시방서에 기재하는 주가 1997년 조사 대상 40개 주 중 95%를 차지하며, 오하이오 주의 경우, 현장 밀도에 따른 지불액의 삭감이 최고 40%까지일 정도이다.

아스팔트 포장 공사 시, 현장에서 검사하는 주요 품질 요소는 밀도와 평탄도이며, 이 품질 요소들과 이에 영향을 미치는 주요 인자들에 대한 연관관계가 명확하게 정립되지 못한 상태이다. 현재 통용되고 있는 지침서는 역동적으로 변하는 현장 상황을 모두 반영하지 못하기 때문에 점차 엄격해지는 품질 규정을 준수하기란 어렵다.

품질 요소와 영향 인자들에 대한 정보를 실시간으로 계측, 분석, 처리하여, 피니셔, 로울러 운전원을 비롯한 현장 작업자들에게 필요한 정보, 혹은 지침을 제공함으로써 시방서나 작업 지시서에 명시된 품질 규정을 준수할 수 있다면, 시공사는 물론, 사용자, 발주처 모두에게 이익이 될 것이다. 본 연구는 이러한 현장 여건에 적합한 정보, 지침을 실시간으로 제공하는 시스템의 필요성을 인식하고 이의 개발을 시작하였다.

1.2 연구 범위 및 목적

본 연구는 도로 포장 공사 시 일반적으로 많이 활용되는 아스팔트 포장 시공을 연구 범위로 한다. 본 논문의

* 정회원, (주)대우건설기술연구소 선임연구원, 공학박사

세부 범위는 로울러에 의한 다짐 작업이며, 로울러 운전원에게 필요한 정보 및 지시 사항을 실시간으로 제공하여 고품질의 시공이 가능케 하는 아스팔트 포장 다짐 정보화 시스템의 개발을 궁극적인 목표로 한다. 본 논문에서는 이 중 시스템 개발의 현재까지 연구 성과와, 파악된 문제점을 소개하고, 이에 대한 개선방안을 제시하고자 한다.

1.3 연구 방법

아스팔트 포장 다짐 정보화 시스템의 개발을 위하여 우선, 아스팔트 포장의 품질에 영향을 끼치는 인자를 조사하여, 이 인자들에 대한 실시간, 혹은 단시간 내에 자료를 계측하는 방법들을 모색한다. 이러한 자료 계측 방법들 중 일부를 현장에서 적용해보기로 한다. 이를 위하여, 실시간 자료 수집 프로그램을 개발하고 하드웨어 시스템을 구축한 후, 실제 도로 포장 구간에서 자료를 계측한다. 현장에서 실시간으로 계측한 자료와 기타 수동 인력으로 계측한 자료를 통계적으로 분석하여, 현장 시공 시 주의를 기울여야할 인자들을 확인한 다음, 이 인자들과 밀도간 관계에 대한 경험식, 즉 다짐 모델을 도출한다. 이렇게 도출된 모델은 유사한 시공 조건에서 작업자에게 실시간으로 정보와 필요한 지시 사항을 제공하는 정보화 시스템의 기본 요소가 될 것이다.

2 아스팔트 포장 공사

2.1 아스팔트 포장 공사 개요

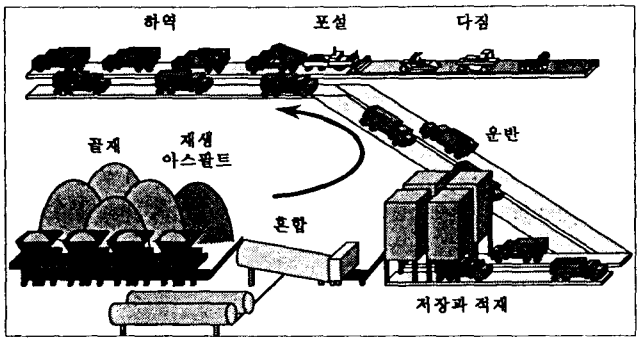

그림 1 아스팔트 포장 공사 순서

아스팔트 포장 공사는 크게 (1) 플랜트에서의 아스팔트 생산, (2) 플랜트에서 현장까지의 운반, (3) 현장에서의 시공, 세가지로 분류할 수 있다. 플랜트에서 골재, 아스팔트 시멘트, 채움재를 일정 시간 소정의 온도로 혼합한 후 트럭을 이용하여 시공 현장으로 운반한다. 운반된 혼합물은 현장에서 대기하고 있다가 차례대로 피니셔의 호퍼에 적재되어 스크리드를 통하여 일정 폭, 일정 두께로 초기 밀도를 얻으면서 기층에 포설된다. 피니셔의 호퍼에 혼합물의 공급이 계속되도록 적정수의 트럭이 항상 피니셔 앞에서 대기하고 있어야 하며, 최종 로울러 다짐 시까지 혼합물이 규정 온도 이하로 내려가지 않도록 보온에 신경을 기울여야 한다. 스크리드에 의해 얻은 초기 밀도를 규정 밀도까지 높이고, 적절한 평탄성을 얻기 위하여 일련의 로울러가 다짐 작업을 하게 된다.

2.2 아스팔트 포장 시스템

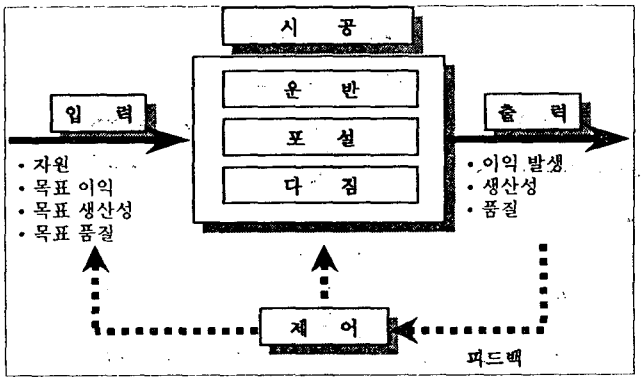

그림 2 아스팔트 포장 공사 시스템

이러한 아스팔트 포장 공사를 하나의 시스템으로 해석하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 포장 공사 시스템의 입력은 재료, 인력, 장비를 포함한 자원, 특정 공사에서 목표로 하는 이익으로 정의할 수 있겠다. 이익은 생산성과 품질의 조합에 의해 결정될 것이며, 시공 전에 이러한 요소들의 목표치를 결정해야할 것이다.

실제 포장 단계에 발생하는 프로세스는 플랜트에서 현장으로까지의 혼합물 반입, 피니셔에 의한 포설, 일련의 로울러에 의한 다짐으로 정의할 수 있겠다. 입력 요소에 대한 세가지의 프로세스의 결과에 의해 시스템의 출력이 나올 것이며, 이는 발생된 이익, 생산성, 품질 요소로 나눌 수 있겠다. 이 시스템에 제어 기능, 즉 작업자에게 필요한 정보를 제공하는 기능을 추가하려면 시스템에서 나온 출력 정보를 근거로 입력 요소 및 프로세스에 영향을 주는 피드백 루프가 존재해야 한다. 이 피드백 루프를 이용하여 입력 요소와 프로세스를 지속적으로 제어함으로써, 원하는 출력을 발생시킬 수 있을 것이다.

이 전체 제어 시스템에 존재하는 프로세스의 3개 요소 중 다짐 작업이 가장 마지막 단계이며, 최종 출력에 직접적인 영향을 끼치는 중요한 작업이라 할 수 있다. 본 논문의 범위는 바로 이 다짐 작업으로, 별개 시스템으로 해석하면 그림 3과 같은 형태를 이룰 것이다.

아스팔트 포장 공사 시스템의 Sub-시스템, 혹은 하위 모듈로 정의될 수 있는 다짐 시스템은 진동 로울러, 타이어 로울러, 탠덤 로울러 등에 의한 다짐 작업을 범위로 하고 있다. 로울러에 의한 다짐 프로세스는 전압(Compactive Effort), 속도, 다지는 횟수 및 다짐 형태 등의 요소를 가지고 있으며, 입력 및 출력은 그림에서 보는 바와 같이 초기 품질 요소, 생산성, 품질, 환경 인자로 정

의할 수 있겠다. 여기서 초기 품질 요소란 피니셔의 작업에 의해 생성된 품질 요소, 예를 들어 로울러가 다지기 전의 포장 밀도, 평탄도, 혼합물성 등을 의미하며, 환경 인자는 다짐 작업 시의 주변 온도, 습도, 일조량 등 현장 주위 환경 여건을 의미한다. 이러한 변수들 중 초기 품질 요소 및 환경 인자는 인위적인 조정이 어려우므로 이를 지속적으로 관측하면서 목표로 하는 생산성과 품질을 달성할 수 있도록 다짐 작업을 제어하는 것이 필요하다.

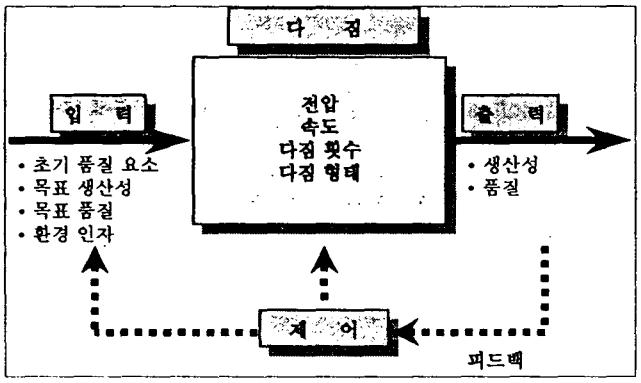

그림 3 아스팔트 포장 다짐 시스템

2.3 품질 요소 및 주요 인자

상기 다짐 시스템의 출력 요소 중 품질에 대한 정의는 미국에서 표준시방서에 적용하고 있는 지불 조정의 내용을 조사하여 유추해볼 수 있다. 1997년을 기준으로 미국 40개 주의 아스팔트 포장 관련 시방서 조항을 검토한 결과에 의하면, 지불 조정의 기준은 주로 (1) 골재 입도, 아스팔트 시멘트량, 혼합물의 Volumetrics 등의 혼합물성, (2) 현장 밀도, (3) 평탄도였다. 혼합물성은 결국 밀도와 평탄도의 영향 인자이므로, 밀도와 평탄도가 일반적인 최종 판단 기준이라 정의해도 무리가 없을 것이다. 밀도나 평탄도는 크게 혼합물성과 시공, 두 부류의 인자의 영향을 받는 것으로 조사되었으며, 각 부류별 인자와 밀도, 평탄도를 표 2와 같이 매트릭스로 정리할 수 있겠다.

표 2 품질 관련 주요 인자

구분	밀도	평탄도
혼합물성	골재 물성 골재 입도 아스팔트 시멘트 함량 채움재-아스팔트 시멘트 비율 수분 함량	골재 물성 골재 입도 아스팔트 시멘트 함량 수분 함량 혼합물 온도
시공	트럭, 피니셔, 로울러 운용상 변동 포설 온도 포장 두께 포장 두께 대비 골재 굵기 기층의 불균질 밀도	로울러 전압 온도 포장 두께 기층의 지지력

3. 요소 및 인자 계측법

본 연구의 목표인 아스팔트 포장 다짐 시스템의 개발을 위해서는 관심 사항인 품질 요소 및 영향 인자를 실시간, 혹은 상대적으로 짧은 시간에 계측하는 기술이 필수적이다. 전기, 전자, 전산을 비롯한 관련 학문과 기술의 발달로 많은 건설에 적용할 수 있는 많은 종류의 계측기기 및 방법이 제공되고 있다. 아래에서는 미래 아스팔트 포장 다짐 시스템의 개발 시 적용할 수 있는 방법이나 현재 주로 사용하고 있는 기법을 조사해보았다.

3.1 품질 요소 계측

미국 40개 주의 아스팔트 포장 관련 시방서 조사에 의하면, 밀도는 주로 Nuclear Density Gauge(16개 주)나 코아 채취(15개 주)를 사용하여 평가하며, 그 중 29개 주가 이론최대밀도(Theoretical Maximum Density) 대비 현장 밀도를 판단 기준으로 삼고 있었다. 평탄도는 California Profilograph(12개 주), Straightedge(6개 주), Profilometer (3개 주) 등을 사용하는 것으로 밝혀졌다.

Nuclear Density Gauge가 교정이 잘 된 상태 하에서는 비교적 빠른 시간에 정확한 값을 제공해주고, 본 연구와 관련한 실험에서도 채택하였었지만, 계측자가 직접 이동하면서 측정하는 관계로 자료를 실시간으로 전송하는 것은 불가능한 단점이 있다. 이런 단점을 개선한 Density-On-The-Run이라는 기기가 실시간, 연속적으로 밀도에 대한 정보를 제공하지만, 현장에서 실험해본 결과 계측 정밀도는 아직 낮았으며, 역시 컴퓨터에 자료를 전송하는 것이 불가능한 아쉬운 점이 있었다. 이러한 Density-On-The-Run의 문제점들이 조만간 해결된다면 미래 시스템에 충분히 적용될 수 있을 것으로 보인다.

평탄도를 측정하는 California Profilograph는 최근 계속 성능이 향상되어 디지털 자료도 전송이 가능한 기기가 나오고 있으나, 장비의 크기로 인하여 로울러에 직접 장착하는 것은 좀 무리가 아닐까 싶다. 이러한 점에서 Profilometer 계열이 상대적으로 바람직한 것으로 보인다.

3.2 주요 인자 계측

현재까지 혼합물성을 현장에서 단시간 내에 계측하는 실용화된 방법은 없으며, 보통 별도 실험실에서 실험하고 있는 것으로 조사되었다. 골재 형상이나 입도를 계측하는 방법으로 현재 사진 촬영에 의한 이미지 분석을 이용하는 방법이 연구되고 있으나, 실용화까지는 기간이 필요한 것으로 보인다.

시공과 관련된 인자 중 로울러에 의해 포장체에 가해지는 전압은 속도, 로울러의 무게, 타이어 압력, 동력에 의해 결정되며, 진동 로울러에 한정되는 동력은 로울러의 진동, 진폭, 편심기 무게의 조합에 의해 결정된다. 로울러에 의한 포장체의 다짐 횟수, 전압의 크기, 포장체의 온

도, 포장체의 두께 등은 현장에서 실시간으로 계측할 수 있는 방법이 많이 고안되어 있는 상태이다.

포장체의 온도는 적외선 온도계를 이용하여 쉽게 실시간으로 구할 수 있으며, 본 연구에서도 성공적으로 사용되었다. 로울러의 속도, 다짐 횟수, 다짐 형태 등은 GPS 시스템에서 제공하는 위치 정보를 이용하면 된다. GPS에 대한 자세한 설명은 아래에 기술하기로 한다. 로울러의 진동은 Accelerometer와 적절한 보정 프로그램을 이용하면 측정이 가능할 것이다. 포장체의 두께는 현재 많이 도입되고 있는 Ground Penetrating Radar이 유력하고, 수분 함량은 제과업계 등에서 시도 중인 마이크로파를 이용한 기법을 고려해 볼 만하다. 아스팔트 포장 다짐 시스템 연구에 적용했거나 앞으로 적용 가능한 기기를 표 2에 종합해보았다.

표 3 주요 요소/인자 계측 장비

요소/인자	적용가능 기기	실시간 측정 여부
현장 밀도	Nuclear Density Gauge 혹은 Density-On-The-Run	불가 가능
평탄성	Profilometer	가능
속도, 횟수	Global Positioning System	가능
진동	Accelerometer	가능
온도	Infrared Thermometer	가능
포장 두께	Ground Penetrating Radar	가능
수분 함량	Guided Microwave Spectrometry	가능

3.3 GPS (Global Positioning System)

미국 국방부가 1978년부터 시행하여 1993년에 시험운용을 시작한 전 지구적 무선 항행 위성 시스템으로, 범지구적 위치결정 체계, 위성 항법 시스템, 위성 위치 확인 시스템이라고도 불린다. 지구 원궤도에 발사된 도합 24개의 항행 위성과 위성을 관리하는 지상 제어국, 이용자의 이동국으로 구성되며, 지구 어디에서나 항상 4개 이상의 위성이 시계 내에 있도록 배치되어 있기 때문에, 이용자는 이들 위성 중에서 4개를 선택하여 그들로부터의 시각 신호를 수신하여 거리를 측정한다.

GPS에 의해 제공되는 측량과 항법의 정밀도는 사용하는 신호와 자료 처리 방법에 따라 차이가 매우 크며, 크게 (1) 단독측위, (2) 상대측위, (3) 실시간 이동측위 (Real-Time Kinematic), 세가지로 분류할 수 있다. 정밀도가 100m 정도인 단독측위 방법은 하나의 수신기로 동작이 가능하다. 상대측위 기법은 1m 이내의 정밀도를 얻을 수 있으며, 두 개 이상의 수신기가 필요하다. 상대측위의 방법은 실시간 측정이 불가능한 반면, 실시간 이동측위의 경우에는 실시간으로 1-2cm의 정밀도로 측정이 가능하다. 실시간 이동측위의 기본개념은 정밀한 위치를 확보한 기준점의 반송파 오차 보정치를 이용하여 실시간으로 수 cm의 정밀도를 유지하는 것이다.

본 연구와 관련하여 채택된 GPS 시스템은 최대 정밀도가 수평 1cm, 수직 2cm으로, 1초에 5번의 좌표 정보를 제공하는 Trimble 7400MSi 수신기를 위주로 구성되었다. 이 시스템은 실시간 이동측위 방식으로 기지국, 피니셔, 로울러에 각각 하나씩, 총 세개의 수신기를 사용하였다. 이 시스템을 사용하여, 피니셔, 로울러의 움직임을 순간적으로 포착하는 것이 가능하였다. 그림 4는 전체 GPS 시스템의 배치를, 그림 5는 로울러에 장착된 GPS 시스템을 보여주고 있다.

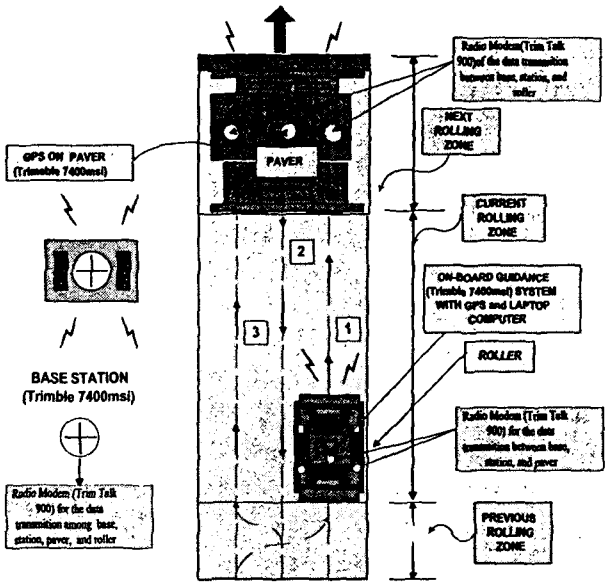

그림 4 GPS 시스템 배치도

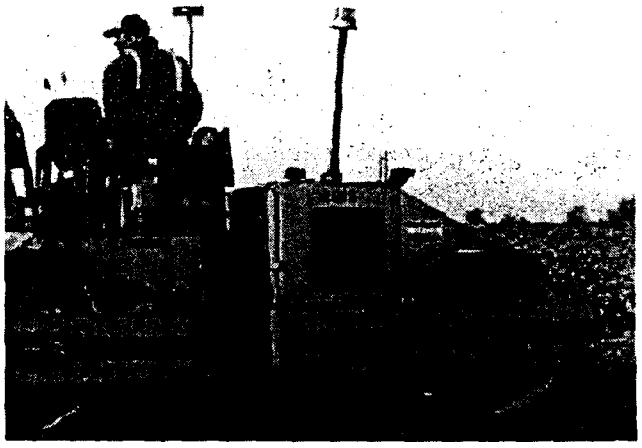

그림 5 로울러 장착 GPS 시스템

4. 현장 실험

4.1 현장 계측 실험

로울러에 의한 다짐도에 영향을 주는 주요 인자들을 찾고, 이러한 인자들에 의한 경험식을 유도하며, 실시간

적인 인자 계측 가능성을 타진하기 위해 1997년 미국 위스콘신 매디슨 지역의 2개 지방도로 포장 현장에서 이틀간 실험을 실시하였다. 포장 구간은 동일한 혼합물을 4-6m의 폭에 50-75mm의 두께로 시공하였으며, 피니셔는 Blaw-Knox PF 180H, 진동 로울러는 Bros VM 225, Bomag BW 120 AD-2으로 Bros는 초기 다짐에, Bomag은 최종 다짐에 사용되었다. 기타 작업자의 구성은 2개 현장 모두 동일하였다.

계측장비는 3개의 Nuclear Density Gauge, GPS 시스템, 적외선 온도계, 줄자였다. Nuclear Density Gauge는 CPM MC-1DR, Seaman Nuclear Corp. C75, C200이었으며, 실험 전 3개 Gauge의 상호보정을 실시했으며, 1회 측정시간은 작업에 방해가 되지 않도록 15초로 하였다. 적외선 온도계는 Raytek Thermalert 계열을 사용하였으며, GPS는 전술한 바와 같이 Trimble 7400MSi 수신기를 위주로 구성하였다.

GPS 시스템과 적외선 온도계는 피니셔와 로울러 위에 각각 한조씩 설치하고, 측정한 자료는 무선 모뎀을 통하여 로울러 위에 설치한 노트북 컴퓨터로 즉각적인 전송이 가능하게 하였다. GPS의 좌표 정보, 온도계의 온도 정보, 총 4 종류의 실시간 자료를 처리하고, 추후 분석을 위하여 자료를 저장하는 그림 6과 같은 프로그램을 Microsoft Visua Basic™을 이용하여 개발하였다. 이 프로그램은 GPS 좌표 정보를 이용하여 피니셔, 로울러의 속도를 계산하며, 다짐 횟수는 자판으로 쉽게 입력할 수 있도록 하였다.

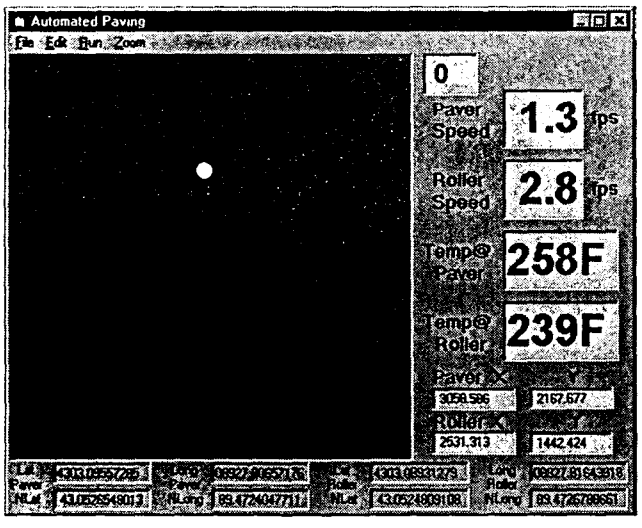

그림 6 GPS, 온도 정보 수신 프로그램 화면

4.2 다중회귀분석

상기 정보 수신 프로그램에 의하여 획득한 자료는 회귀분석을 통하여 분석하였으며, 피니셔 포설 후의 밀도와 로울러 다짐 후의 밀도간의 차이, 즉 로울러에 의한 밀도 증가량을 종속변수로 선택하였다. 독립변수로는 피니셔 포설 후의 밀도(선행 밀도), 다짐 횟수, 로울러의 속도, 다짐 전의 포장체 두께, 포장체의 온도, 측정일이었다. 측정된 자료 중 유효한 총 자료 수는 첫째 날 56, 둘째 날 42개였다.

표3은 다중회귀분석을 통한 결과를 나타내고 있으며, 분석 결과 채택한 거의 모든 변수가 유효하였다. 첫째, 둘째 날 공통으로 가장 유효한 인자는 온도와 선행 밀도로 나타났으며, 두께, 다짐 횟수는 독립적이거나 다른 변수와의 상호작용에 의한 변수로 유효함을 알 수 있었다. 속도는 첫째 날의 경우 무효한 것으로 나타났는데, 이는 첫째 날 다짐 작업 시 로울러의 속도가 비교적 일정하여 회귀식에 채택되지 않은 것으로 판단된다.

표 4 아스팔트 현장 다짐 관련 주요 인자

일자	변수	계수	t-비	p-값	R^2
첫째 날	상수	-156	-1.9	0.072	85.80%
	온도	1.33	2.81	0.011	
	두께×선행밀도	-0.0164	-2.74	0.013	
	선행밀도	2.03	1.93	0.067	
	두께×횟수	2.69	1.83	0.082	
	두께	-2.82	-1.47	0.158	
	횟수	3.34	-1.2	0.244	
둘째 날	상수	636	3.18	0.006	89.50%
	선행밀도	-8.37	-3.29	0.005	
	온도	-2.47	-2.88	0.011	
	온도×선행밀도	0.0319	2.88	0.012	
	두께×선행밀도	0.820	2.14	0.049	
	두께×속도	-1.01	-2.1	0.053	
	속도	2.24	2.02	0.062	
	횟수	.968	1.8	0.092	
	두께	-53.8	-1.72	0.106	

다음 식 1과 2는 각각 첫째, 둘째 날의 최종 회귀식을 나타내고 있다.

$$\text{밀도증가 (\%)} = -156 + 1.33\times\text{온도} - 0.0164\times\text{온도}\times\text{선행밀도} + 2.03\times\text{선행밀도} + 2.69\times\text{두께}\times\text{다짐횟수} - 2.82\times\text{두께} - 3.34\times\text{다짐횟수} \quad (1)$$

$$\text{밀도증가 (\%)} = 636 - 8.37\times\text{선행밀도} - 2.47\times\text{온도} + 0.0319\times\text{온도}\times\text{선행밀도} + 0.820\times\text{두께}\times\text{선행밀도} - 1.01\times\text{두께}\times\text{속도} + 2.24\times\text{속도} + 0.968\times\text{다짐횟수} - 53.8\times\text{두께} \quad (2)$$

4.3 실시간 계측장비 신뢰도

본 현장실험에서 실시간으로 계측한 자료를 검토하여 계측장비들의 신뢰도를 검증하였다. 적외선 온도계에서

전송하는 디지털 기초자료는 잡음이 심하였으나, 정보 수신 프로그램 내에 잡음을 제거하는 기능을 삽입하여 해결하였다. 온도 정보 자체의 신뢰도에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.

GPS 정보는 여러 문제점을 찾을 수 있었는데, 우선 이동 수신기와 기지국간의 초기보정 문제였다. 포장 작업 도중에 시간적 여유가 있어 초기보정이 제대로 이루어진 경우에는 그림 7에서 보여주듯이 상당히 신뢰할만한 위치 정보를 제공해주었다. 하지만, 실험 중간 이동 수신기와 기지국 사이에 통신 문제가 있거나, 구름이 많이 끼어 4개 이상의 인공위성 추적이 불가능한 경우 등엔 원하는 정밀도를 얻지 못하였다. 종합해볼 때, 모든 시스템 구성 요소와 주변 환경 요인이 최적 상태일 때만 명세서에 나와 있는 정밀도를 얻는 것으로 판단된다. 현장에서 좀 더 나은 수신 상태를 유지하려면, 효율이 높은 안테나를 선택하고 장착 위치 선정에 신경을 기울여야할 것이다.

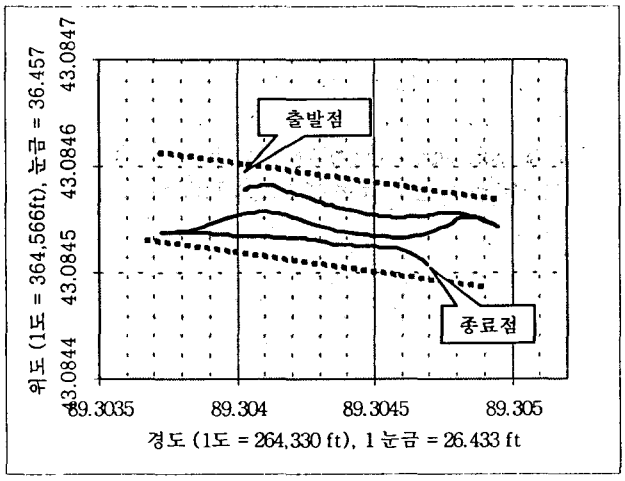

그림 7 GPS 수신 좌표 정보

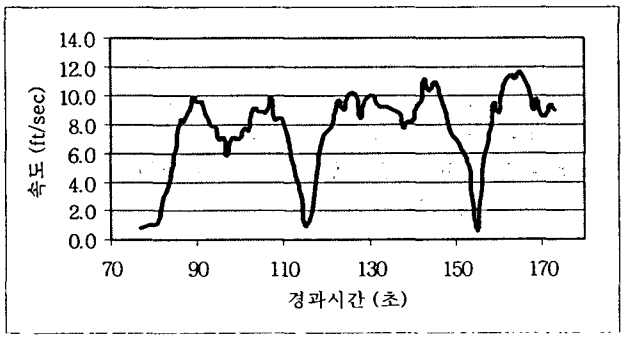

그림 8 GPS 정보 이용 로울러 속도 산정

그림 8은 GPS에서 수신된 좌표 및 시각 정보를 기준으로 피니셔와 로울러의 속도를 계산하는 기능을 가진 정보 수신 프로그램의 로울러 속도 처리 결과를 보여주고 있다. 로울러의 속도는 0에서 약 12ft/sec 사이의 속도로 이동하였음을 알 수 있으며, 여기서 유의해야할 점은 속도의 변동으로, 거의 균일한 속도로 움직이는 실제 상황과는 다르게 변동이 심하게 나타난다는 점이다.

가능한 이유 중, 우선 GPS 시스템의 좌표 신호 수신 주기의 부정기성을 의심하였다. 이에 조사하기 위해 GPS에서 송신된 기초자료를 검토하였지만, 수신 주기는 정확히 0.2초임을 가리키고 있어서, 이에 대한 의심은 해소되었다. 두 번째는 컴퓨터의 문제로, 486DX 사양인 노트북 컴퓨터로 1초에 총 20개의 정보를 수신, 처리하는데 따른 병목현상의 가능성을 의심하였다. 이 문제에 대해서는 좀 더 자세한 분석을 통해 해결해야할 것으로 보인다.

5. 결론

고품질의 아스팔트 포장 시공이 가능하도록 현장 작업자에게 필요한 정보를 제공하는 시스템의 개발 현황 및 문제점을 살펴보았다. 현재, 품질과 관련 있는 정보를 실시간으로 획득할 수 있는 기법이 상용, 혹은 개발 중에 있으며, 채택된 몇 가지 기법을 현장 실험에 적용하여 각 기법의 시스템 적용 가능성 및 보완되어야할 점들을 검토하였다. 다중회귀분석을 통해 이 자료를 분석한 결과, 계측된 인자 대부분이 밀도와 밀접한 연관이 있는 것으로 밝혀졌다. 현장 실험에서 밝혀진 몇 가지 문제점이 보완되고, 다중회귀식 같은 다짐 모델이 시스템에 도입된다면, 아스팔트 포장 시공 정보화가 그리 멀지 않은 일이라 생각된다.

참고문헌

1. Brzezicki, J. M. and Kasperkiewicz, J., "Automatic Image Analysis in Evaluation of Aggregate Shape", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 13, No. 2, 1999, pp. 123-128
2. Lee, H., "Toward A Framework for Field Management of Hot-Mix Asphalt (HMA) Construction Operation", Ph. D. Thesis, University of Wisconsin-Madison, 1998
3. Masad, E. et al., "Internal Structure Characterization of Asphalt Concrete Using Image Analysis", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 13, No. 2, 1999, pp. 88-95
4. Minchin, R. E. et al., "Theory Behind a Vibration-Based Onboard Asphalt Density Measuring System", Transportation Research Board Annual Meeting, TRB, Paper No. 01-0258, 2001
5. Peyret, F. et al., "High-Precision Application of GPS in the Field of Real-Time Equipment Positioning", Automation in Construction, Elsevier Science B.V., Vol. 9, 2000, pp. 299-314
6. Russell, J. S. et al., "Testing and Inspection Levels for Hot-Mix Asphaltic Concrete Overlays", NCHRP Report 447, Transportation Research Board, 2001