

콘크리트 도로 표면절삭 작업을 위한 자율주행 진로계획 수립방안

A Study of the Autonomous Driving Path Planning for Concrete Pavement Cutting Operation

문성우*○ 서종원** 양병수*** 이원식****
Moon, Sung-Woo Seo, Jong Won Yang, Byong Soo Lee, Won Sik

요 약

콘크리트 도로 표면절삭 작업은 장비 조작자의 숙련도에 따라서 작업의 완성도 및 품질, 작업 생산성에 크게 영향을 준다. 콘크리트 표면절삭 작업을 자동화하기 위해서는 시스템 하드웨어 구축과 지원 소프트웨어의 개발 등이 필요하다. 표면 절삭 프로세스를 자동화 하기 위해서 가장 먼저 선행 되어야 할 부분은 진로계획의 수립이다. 장비의 진로계획을 통하여 기존 시스템이 가지고 있는 진로계획에 대한 취약점을 보완하며, 보다 효율적인 생산성을 가진 자동화 시스템을 구축 하도록 한다. 본 연구는 CAD를 기반으로 한 AUTO-Lisp를 이용하여 표면절삭 작업의 최적 경로계획을 결정하고 MMI 시스템 상에 적용하여 실시간으로 진행 경로 보정을 위한 진로 계획의 데이터 갱신을 통해서 보다 효율적인 생산성과 품질을 가진 표면절삭 작업을 하는데 목적이 있다. 그리고 도로 표면절삭 장비의 자율주행 진로계획 수립을 위한 AUTO-Lisp 파일 및 MMI 시스템과의 연계, 계획된 경로를 적용한 표면절삭 장비와 MMI 시스템을 직접 현장에서 테스트하여 실제 표면절삭 작업의 자동화 구현 및 절삭작업의 효율성을 높일 수 있는 방안을 제시하였고, 표면 절삭 작업의 최적진로를 결정함으로써 경제성 있는 절삭작업을 수행 할 수 있다.

키워드: 표면절삭, 무인자동화, 진로계획, Path Planning

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설분야에 관련된 현장은 3D업종 기피현상으로 인한 인력부족과 숙련된 기능공의 부재등으로 인해 어려움을 겪고 있다. 현재 콘크리트 표면절삭 작업은 절삭 장비 조작자의 숙련도에 따라 작업의 완성도 및 품질, 작업 생산성에 크게 영향을 받는다. 또한 장비 조작자의 부재로 인한 안전사고의 우려도 있다. 따라서 노무비 절감과 작업의 생산성 및 절삭 작업의 품질 향상을 위해서 콘크리트 도로 표면절삭을 위한 자동화 시스템과 지원 소프트웨어의 개발 등을 통한 방안이 필요하다.

미국 Trimble 사에서는 설계 CAD와 GPS 장비를 이용한 자동화 장비를 개발하였으나 장비의 이동계획과 장비진행계획을 장비조작자가 직접 내려야 했고(Trimble 2002),

건설교통부와 한국건설교통기술평가원에서 도로면의 유지 보수 자동화를 위한 원격조정 장비를 개발하고 있지만(김영석 2004), 작업의 자동화나 장비의 진로계획에 대한 부분은 현재에도 지속적인 연구와 개발이 필요하다.

표면절삭 작업의 자동화 시스템을 구축하기 위해서는 우선 절삭작업의 경로를 파악하는 자율주행 진로계획이 선행 되어야 한다. 그리고 장비의 진로계획에 대한 결과를 직접 자동화 시스템과 연계하여 기존의 시스템이 가지고 있는 표면 절삭 작업의 진로계획에 대한 취약점을 보완하면 보다 효율적인 생산성을 가진 자동화 시스템을 구축 할 수 있다. 따라서 본 연구는 도로 표면절삭 작업을 위한 자율주행 진로계획을 수립 할 수 있는 방안을 제시하고, 계획된 진로를 적용한 시스템을 구동하여 실제 표면절삭 작업의 자동화를 구현할 수 있는 방안을 제시한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 표면절삭장비의 자율주행 시스템 및 지원소프트웨어개발에서 시스템 운영 중 선행되어야 하는 진로계획(Path Planning) 결정 부분을 연구의 범위로 하였다. 그리고 본 연구에서는 CAD를 사용한 AUTO-Lisp파일을 작성하여 최적의 자율주행 작업 경로를 계획하고, 표면절삭 장비의 구동단계에서는 실제 장비 위치 정보와 계획된 경로와의 차이를 GPS 장비를 이용하여 실시간으로 데이터를

* 종신회원, 부산대학교 토목공학과 부교수, 공학박사, sngwmoon@pusan.ac.kr

** 종신회원, 한양대학교 토목공학과 조교수, 공학박사, jseo@hanyang.ac.kr

*** 일반회원, 부산대학교 토목공학과 박사과정, f252ybs@hanmail.net

**** 일반회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정, buaukor@gmail.com

전달하여 장비가 계획경로에서 이탈 할 경우 자동으로 복귀 가능하도록 보정 경로 계획을 수립했다.

본 연구의 결과인 진로계획은 콘크리트 표면절삭 작업을 위한 자율주행 시스템 개발에 기초단계이다. 그리고 장비의 위치 및 작업환경, 결과등을 실시간으로 디스플레이(Display)하는 운영 시스템과 연계하여 자동화 시스템을 구축 할 경우 콘크리트 포장작업의 자동화 및 공정 자동화 등 건설 자동화 부분에 다양한 방법으로 광범위하게 응용 할 수 있다.

2. 표면절삭장비의 시스템 구성 및 운영 시스템 모듈

2.1 표면절삭장비의 시스템 구성

콘크리트 도로 표면절삭작업을 위한 표면절삭장비의 전체시스템 구성장비는 MS 860, Device Server, PDL (무선 Modem)로 분류된다. MS 860는 두 개의 GPS(GPS1, GPS2)에서 받은 위치 정보와 GPS기준국(Base)에서 생산한 GPS보정데이터를 이용하여 이동체의 정밀한 위치와 방위각을 산출하고, Device Server는 MS 860에서 산출된 이동체의 위치 정보(MNEA GGA)와 방위각(NMEA HDT) 정보를 송수신 하는 기능을 제공한다. 통신방식은 WLAN 방식이고, 전송 속도는 최대 11Mbps를 가지며 주파수 대역은 상업용으로 사용할 수 있는 범용 주파수 대역인 2.4GHz대역을 사용한다. PDL은 GPS 기준국(Base)에서 산출된 GPS 보정데이터를 송수신 하는 기능을 제공하고, 통신방식은 UHF 라디오 모뎀으로 중파대역을 사용한다.

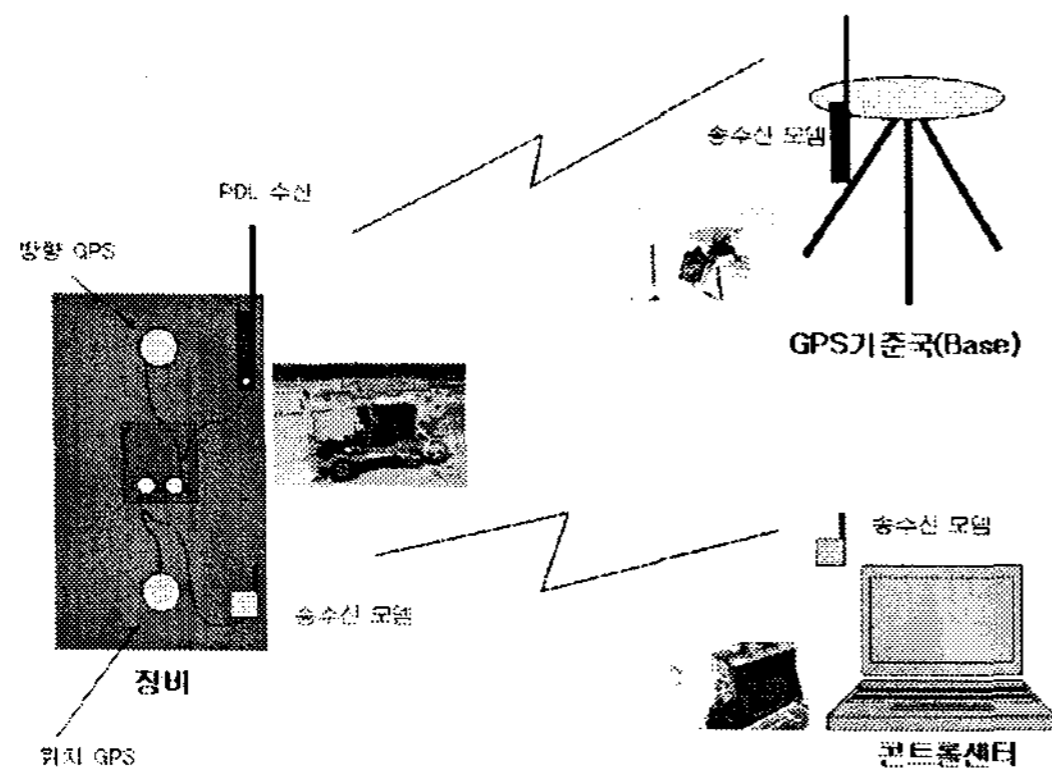


그림 1. 표면절삭장비 시스템 구성

2.2 운영 시스템 모듈

진로계획을 적용하여 자율적인 절삭작업이 가능하도록 지원하는 운영 시스템은 통신부분, SDK, GeoDXF의 3개의 주요 모듈로 구성되어 있다. 통신부분은 시리얼 포트를 이용하여 GPS위치, 방위각, 장비 제어 신호를 송수신의 기능을 수행하고, SDK는 GPS 수신기 정보, 즉 수신되는 위성의 수, 배치상태, 좌표변환을 수행할 수 있는 기능을 제공하는 일종의 Component이다. GeoDXF는 DXF viewer의 기능을 수행하는 모듈로 CAD 프로그램을 사용하여 생성한

DXF 파일을 읽어 프로그램의 화면에 보여주는 기능을 수행한다. GeoDXF는 double buffering 이라는 기법을 사용하여 실시간으로 수신되는 장비의 이동 상태를 화면상에 표시할 때, 화면의 물리적인 깜빡임을 최소화 할 수 있도록 개발된 component이다.

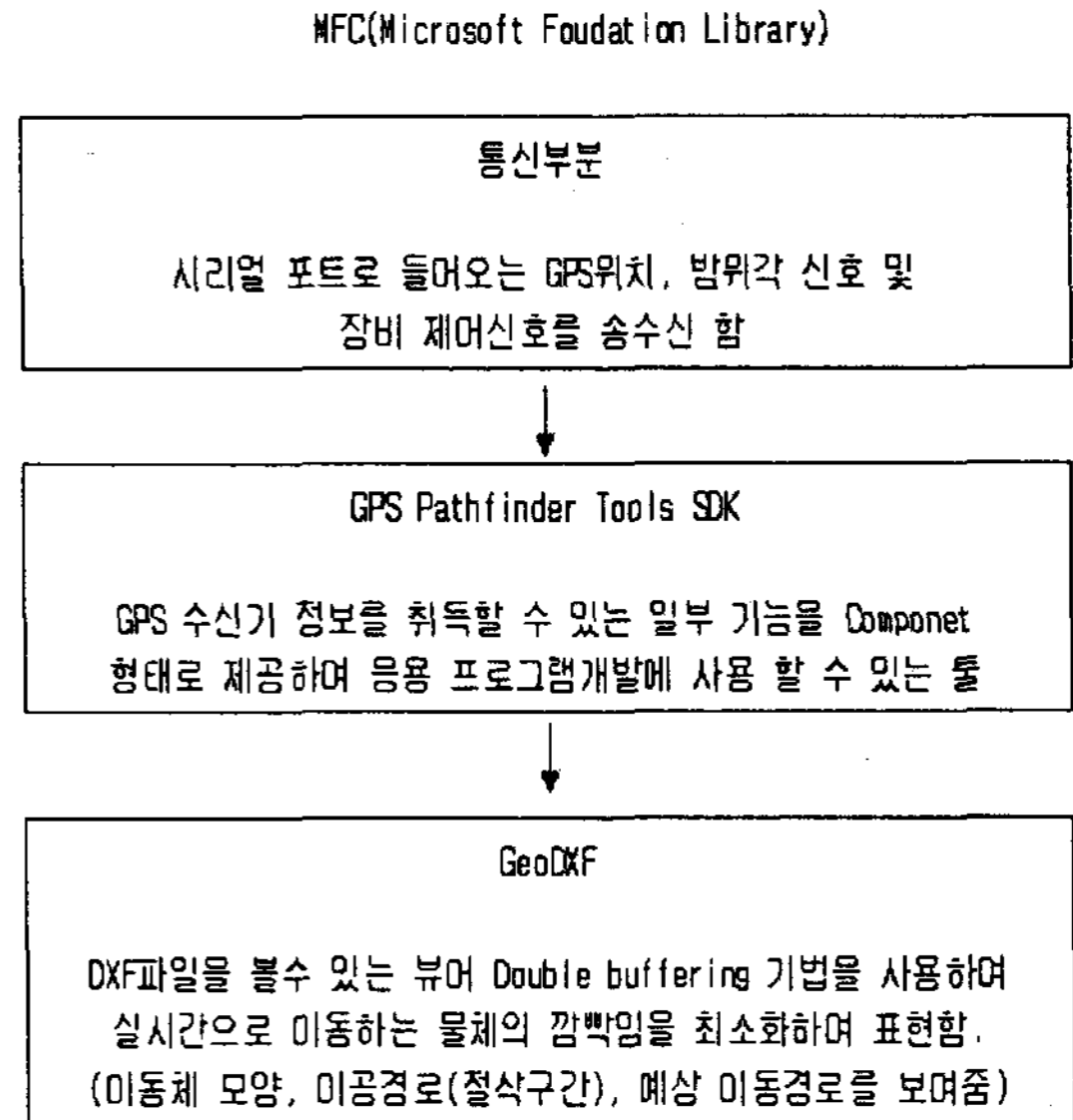


그림 2. 운영 시스템 모듈

3. 표면절삭장비 진로계획

표면절삭장비는 교량과 도로 등 한정된 공간내부의 콘크리트 마감을 위해서 사용된다. 그리고 공간적인 특성을 고려하여 표면절삭장비가 최대의 표면절삭 효과를 달성하기 위해서는 작업전 장비가 최적의 경로를 통해 작업이 이루어 질 수 있도록 진로계획을 수립하고, 진로계획 상에서 나타난 위치 데이터를 실제 현장에서 작업 시 활용할 수 있어야 한다. 표면절삭 작업 이전에 계획된 장비의 진로는 CAD 환경에서 생성한 좌표값으로 구성되며, 진로계획에서 생성된 좌표 데이터는 실제 장비의 작업 계획상의 경로를 나타낸다. 현장에서 표면절삭장비의 실제 위치 데이터는 GPS에서 전송되어서 받을 수 있으며, 진로계획 상의 위치와 실제 위치를 비교함으로써 장비가 목표로 하는 표면절삭 작업을 적절하게 수행할 수 있도록 한다.

3.1 AUTO-Lisp

표면절삭장비의 작업 수행을 위한 진로계획 설정을 위해 먼저 CAD를 사용해서 작성한 AUTO-Lisp를 이용한다. 표면절삭 장비의 작업을 위한 자율주행 진행 방향은 크게 세로1방향, 가로1방향, 세로양방향, 가로양방향으로 구분 할 수 있지만 작업 구간 및 작업 반경, 그리고 장비의 회전지점에서 표면절삭 장비의 움직임 따른 회전반경이 크기 때문에 가로양방향 및 세로양방향으로 표면절삭작업을 진행하기 어렵고, 또한 표면절삭 장비의 절삭작업도 비효율적이

다. 따라서 장비의 작업진행 최적경로는 장비의 폭, 작업구간 별 작동 범위, 작업 효율 등을 고려하여 세로1방향으로 선정했다.

AUTO-Lisp 상에서는 장비의 진행거리와 장비의 폭, (0,0)을 시점으로한 표면절삭 장비의 예상경로를 입력하면 장비의 진행경로 및 좌표를 포함하고 있는 DXF 파일을 생성할 수 있다. 그리고 생성된 DXF 파일은 운영 시스템에서 Load하여 표면절삭 장비의 최적 작업경로 설정에 적용된다.

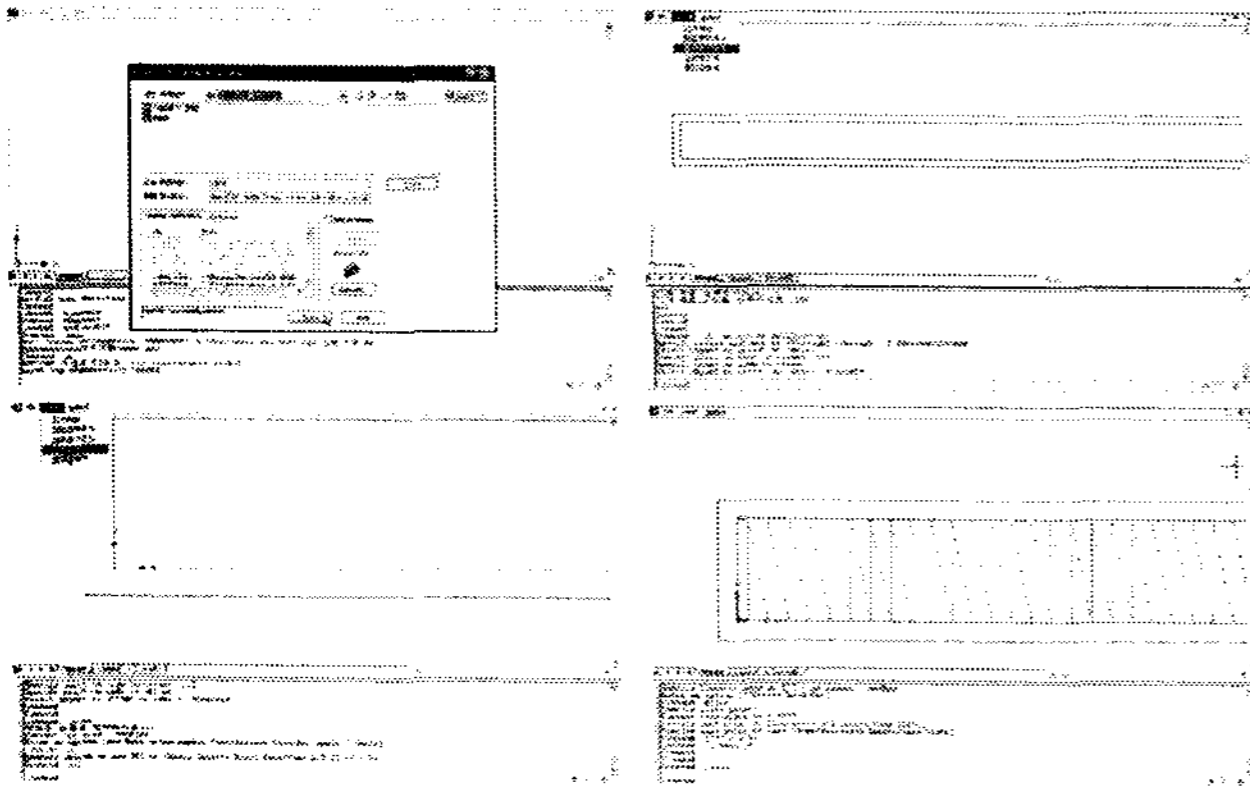


그림 3. AUTO-Lisp 실행화면

3.2 절대좌표와 상대좌표의 좌표변환

CAD를 기반으로 한 AUTO-Lisp 상에서 생성한 DXF파일은 절대좌표 정보를 포함하고 있다. 그러나 절대좌표로 표기된 진로계획은 실제 작업 구역에서 적용하기 어렵기 때문에 실제 작업 영역에서 적용 가능한 상대좌표로 변환해야 한다. 진로계획을 위한 좌표변환은 하나의 좌표계를 다른 좌표계로 변환을 할 때 사용되며, 두 좌표계의 기준축은 명확하게 정의되어 있어야 한다. 좌표변환은 크게 회전, 이동, scaling의 3단계를 거치고, 회전각은 두 좌표축의 사이각으로 결정한다. 회전각, 수평이동량의 계산은 장비를 진행할 방향과 정확히 일치시키고 이동체에 설치된 두 GPS의 위치정보를 이용하여 각(a)의 계산한다. 이 때 장비의 시작점이 두 좌표계의 기준 원점이므로, 좌표축을 회전시킨 후 (dX, dY) 만큼 평행이동을 수행한다.

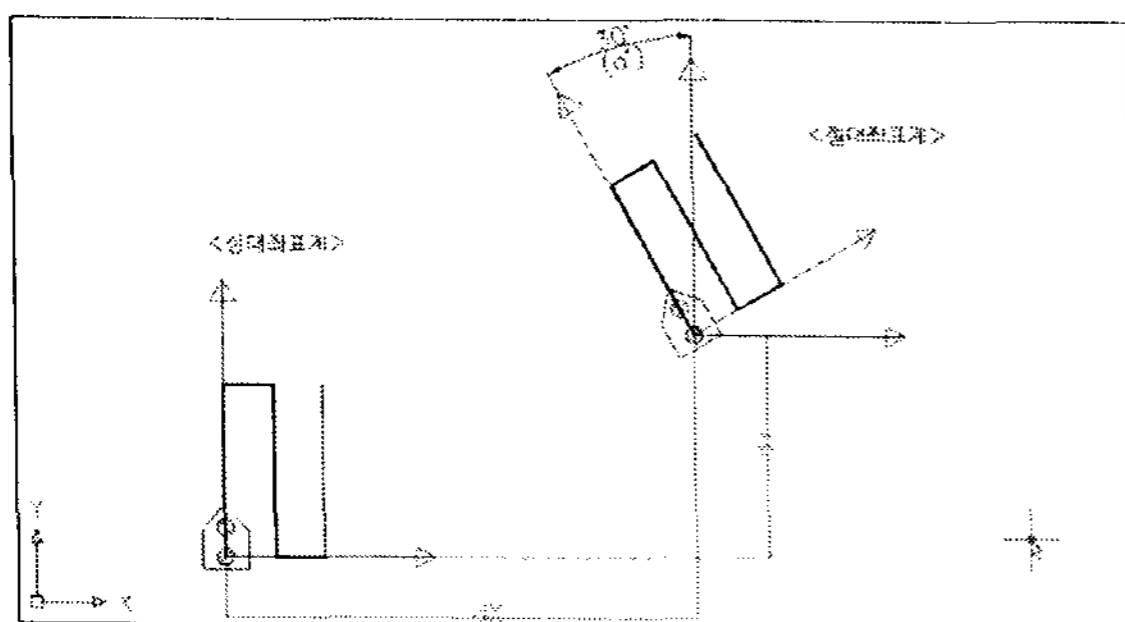


그림 4. 좌표변환(평행이동)

회전각은 수평이동 후 Rotation을 이용해서 결정하며, 절대좌표에서 상대 좌표로 변환하는 경우 다음과 같은 공식을 적용하여 상대좌표 변환값을 결정한다(Paul R 1997).

$$X_r = (x-dX)\cos(a) - (y-dY)\sin(a)$$

$$Y_r = (y-dY)\sin(a) + (x-dX)\cos(a)$$

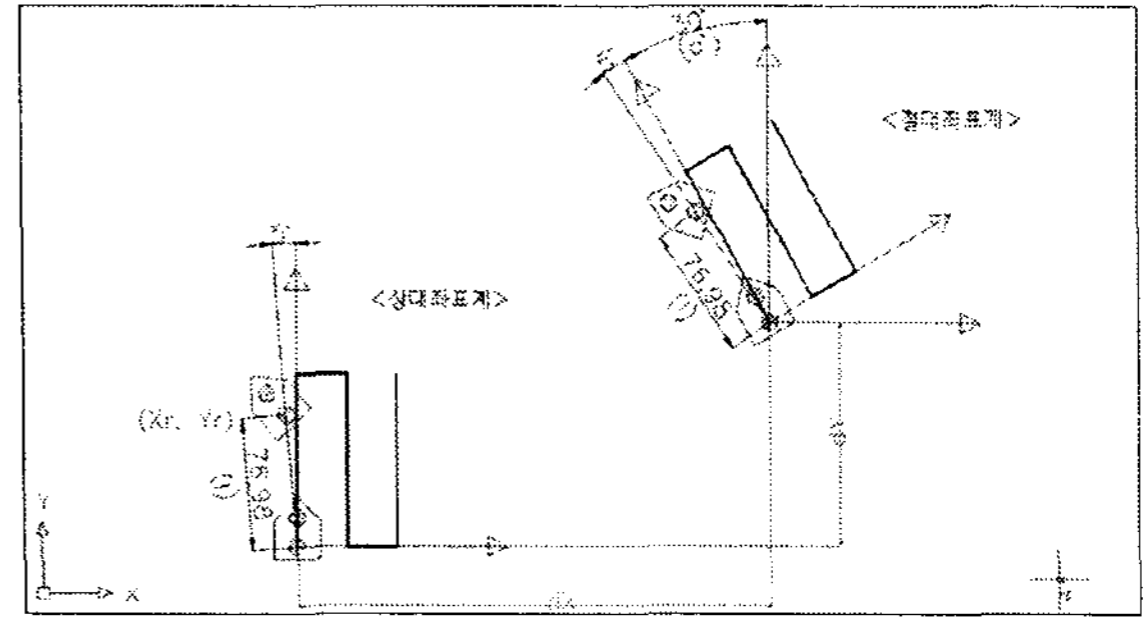


그림 5. 좌표변환(회전각)

3.3 표면절삭장비 운영 시스템

AUTO-Lisp에서 생성한 DXF파일을 실제 표면절삭장비에 적용하기 위해서 진로계획과 장비를 연계하는 운영 시스템(MMI 시스템)이 필요하다. 현재 개발된 표면절삭장비의 운영 시스템은 지속적으로 변하는 작업환경과 작업결과, 장비에 대한 제반사항을 그래픽 모델을 통해서 실시간으로 업데이트함으로써 장비조종자의 시뮬레이션을 통한 안전하고 신뢰성 있는 장비조종을 지원한다. 운영 시스템의 구성은 1)DXF 파일, 장비 모양, GPS 와의 통신을 통해 장비가 움직이는 상황을 모니터링이 가능한 “메인 VIEW”, 2)장비의 절대 방향을 나침반으로 보이고, 장비가 예상경로로 회전해야할 각도를 나타내는 “방향각 VIEW”, 3)장비의 총 이동거리, 순간속도, 설정해준 허용오차 그리고 장비가 예상경로에서 수직으로 벗어난 거리를 나타내는 “보조 VIEW”, 4)절삭된 부분의 품질 이미지를 보여주고, 품질이 이미지에 따른 상태를 Percentage와 OK, NG신호로 나타내는 “품질 이미지 VIEW”, 5)절삭작업에서 그려질 좌표를 설정하는 “좌표 설정 VIEW”로 분류된다.

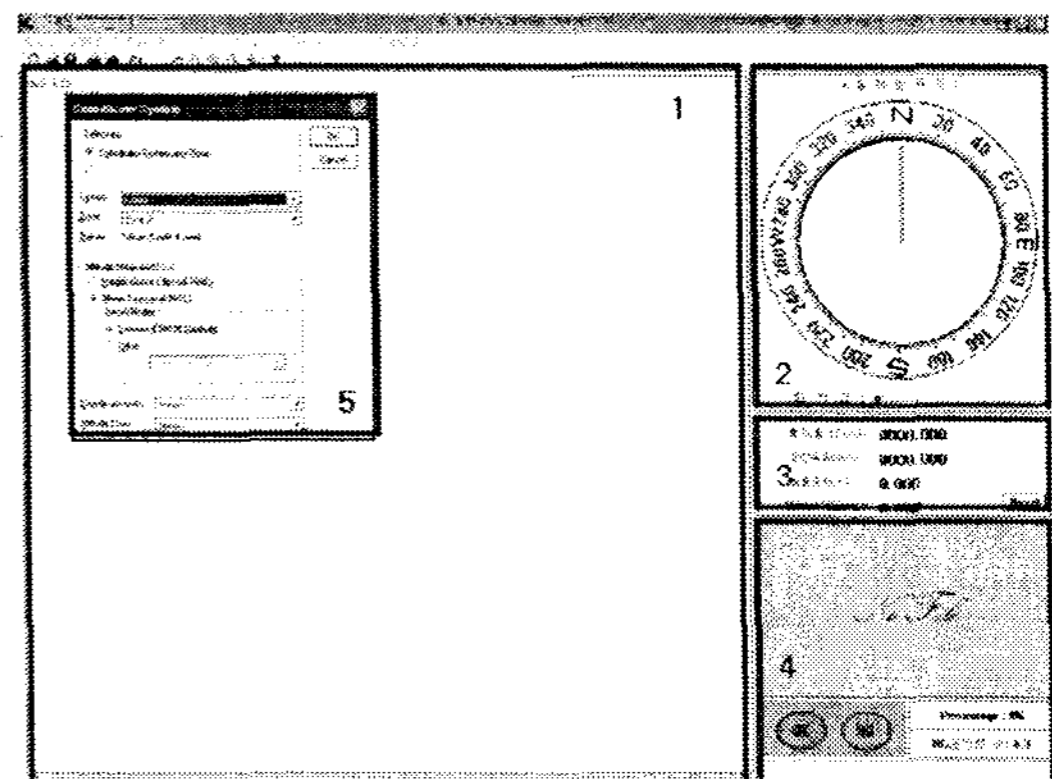


그림 6. 표면절삭장비 운영 시스템

표면절삭장비의 운영시스템은 최초 AUTO-Lisp 상에서 생성된 DXF 파일을 시스템에 Load하고, 이를 이용해서 작업의 진행경로를 생성하게 된다. 작업진행 경로생성을 위해서는 먼저 Load된 DXF파일의 좌표를 절대좌표에서 상대좌표로 변환하고, 이후에 변환된 좌표와 표면절삭장비의 기본적인 재원 및 허용오차, 절삭작업을 위한 그라인더의 폭등을 추가로 입력한 후 [실행메뉴]에서 [시작]을 선택하면 표면절삭장비는 AUTO-Lisp에서 계획된 진로계획을 따라 자율적인 주행을 하면서 절삭작업을 시작한다.

3.4 표면절삭장비의 충돌방지 및 위치보정 계획

표면절삭장비는 진로계획에 따른 자율주행 작업 중 작업자 및 기타 장애물과 충돌 할 경우가 생길 수 있다. 충돌방지시스템은 초음파센서를 사용하여 표면절삭장비가 작동 중 주위의 작업자나 물체, 또는 기타 장비와 충돌이 발생하지 않도록 조종하는 기능을 수행한다. 표면절삭장비와 장애물과의 충돌방지는 장착된 초음파센서가 장비 경로계획 상에 없는 물체를 인식하게 되면 장비는 경보음을 울리면서 정지하게 되고, 이후 콘트롤러 및 PC를 이용한 장비의 수동조종을 통해 장애물이 없는 다른 절삭구역으로 이동시킨다. 그리고 장비 경로계획을 수정하여 장애물 때문에 장비의 작동이 중지된 구간을 제외한 다음 구간부터 표면절삭작업을 지속적으로 수행한다.

노면이 고르지 못할 경우에 표면절삭장비가 작업 중 작업 구간을 이탈할 수도 있다. 그러나 표면절삭장비는 절삭작업 수행 시 앞바퀴를 지면에 접촉하지 않고 그라인더를 노면에 접촉시켜 작업을 수행하기 때문에 조향장치를 사용해서 장비의 방향을 전환하는 것이 어렵다. 따라서 장비가 예상경로에서 이탈할 경우 장비의 위치 보정은 GPS 장비를 이용한 두 좌표값의 차이를 이용해서 일정 각도 이상을 초과했을 경우 뒷바퀴의 바퀴 별 회전속도를 다르게 해서 장비가 최초 계획된 지점으로 진입하도록 운영시스템에서 위치를 보정하게 된다.

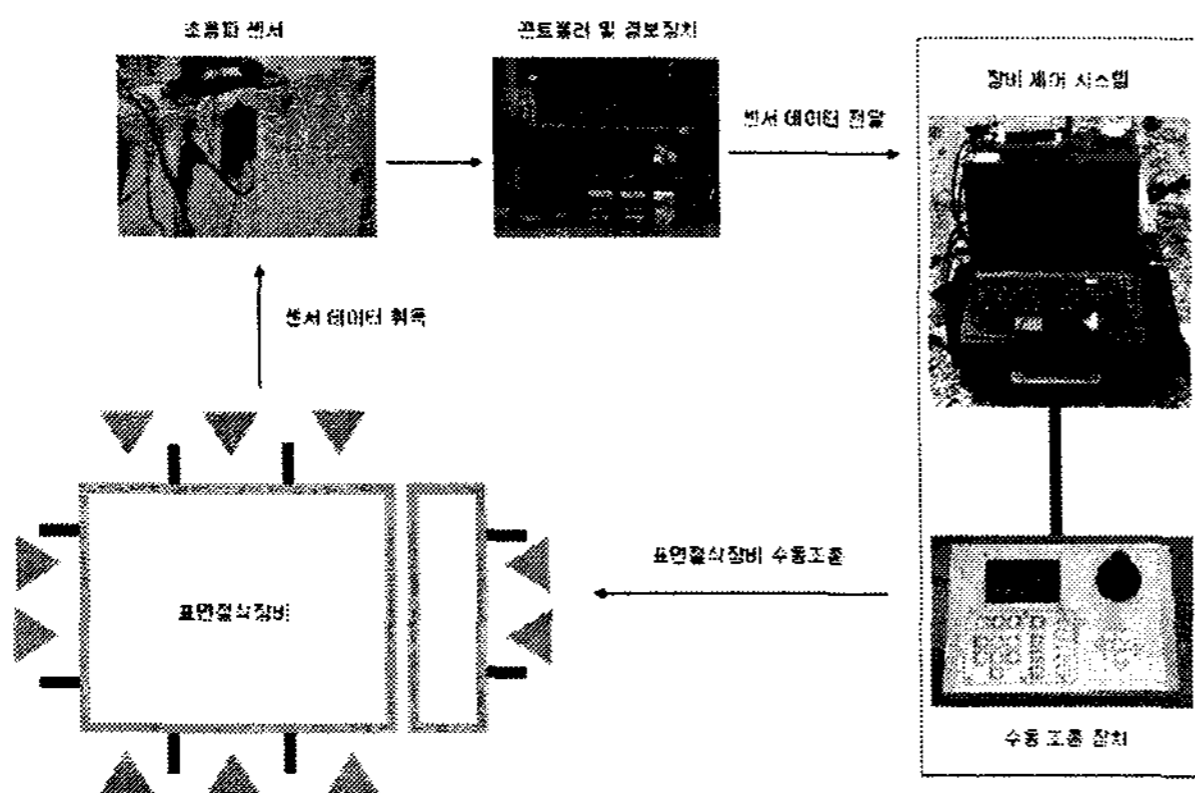


그림 7. 표면절삭장비의 충돌방지

4. 현장테스트

본 연구에서 제시한 AUTO-Lisp 와 운영 시스템의 효율성을 검증하기 위한 현장테스트를 실시하였다. 실험 중 표면절삭장비의 제어 및 구동 등에 관한 각종 기능실험 및 성능실험을 수행하였으며, 수행결과를 기반으로 수정·보완 작업을 실시하였다. 표면절삭장비의 주행은 절삭구간 내 절삭주행과 절삭 지점 간 이동주행으로 구분된다.

표면절삭장비의 현장 테스트 순서는 다음과 같다. 1) 절삭장비의 시스템 콘트롤 센터와 GPS BASE를 설치하고, 장비의 현재위치와 작업구간과의 좌표비교를 위한 오리엔테이션 작업을 실시했다. 2) 작업의 시작점과 계획된 경로와 절삭작업 완료 후 결과값을 비교하기 위한 작업구간을 콘크리트 바닥에 줄을 이용하여 표시했다. 3) AUTO-Lisp 를 이용한 표면절삭장비의 경로를 생성하고, 상대좌표와 절대좌표의 변환을 통해서 생성된 경로를 장비에 적용했다. 4) 생성된 계획경로를 바탕으로 표면절삭 작업을 실시했다.

표면절삭장비의 현장테스트 결과를 토대로 기존 장비와의 생산성을 비교 평가했다. 생산성 평가를 위한 일일 단위 작업량을 산출하고, 동일한 조건에서의 생산성 분석을 위해 고속도로 왕복 4차선(폭 23.4m, 면적14.04m²)을 단위작업구간으로 설정하여 일일 생산량을 비교분석 했다. 생산성 분석결과는 표면절삭 장비가 기존의 수동장비 보다 8.3% 향상된 것으로 나타났다.

표1. 성능 비교분석

구분	수동장비	표면절삭장비
절삭 주행속도(m/min)	2.4	3
이동속도(m/min)	12	7.8

표 2. 단위 작업구간 1회 작업시간 비교분석

구분	수동장비	표면절삭장비
절삭시간	23.4m÷2.4m/min=9.75min	23.4m÷3m/min=7.8min
이동시간	23.4m÷12m/min=1.95min	23.4m÷7.8m/min=3min
합계	11.7min	10.8min

표 3. 일일 생산성 비교분석

구분	수동장비	표면절삭장비
시간당 생산성	14.04m ² ÷11.7min =7.2m ² /hr	14.04m ² ÷10.8min =7.8m ² /hr
일일 생산성 (7시간 기준)	50.4m ² /day	54.6m ² /day

표면절삭장비의 H/W 및 운영 시스템에 적용되는 품질 관리 시스템, 경로 보정 시스템, 충돌방지 시스템 등 S/W, 장비의 원격제어 장비도 안정적으로 구동 되었다. 현장테스트 결과 경로계획을 통한 장비의 자동화 운영을 통해서 기

존의 절삭 작업 환경을 개선할 수 있었으며, 또한 작업을 진행했던 콘크리트의 절삭면이 매우 양호했기 때문에 콘크리트 도로 표면절삭 작업의 품질 향상 및 절삭 작업의 시행 착오를 줄일 수 있었다.

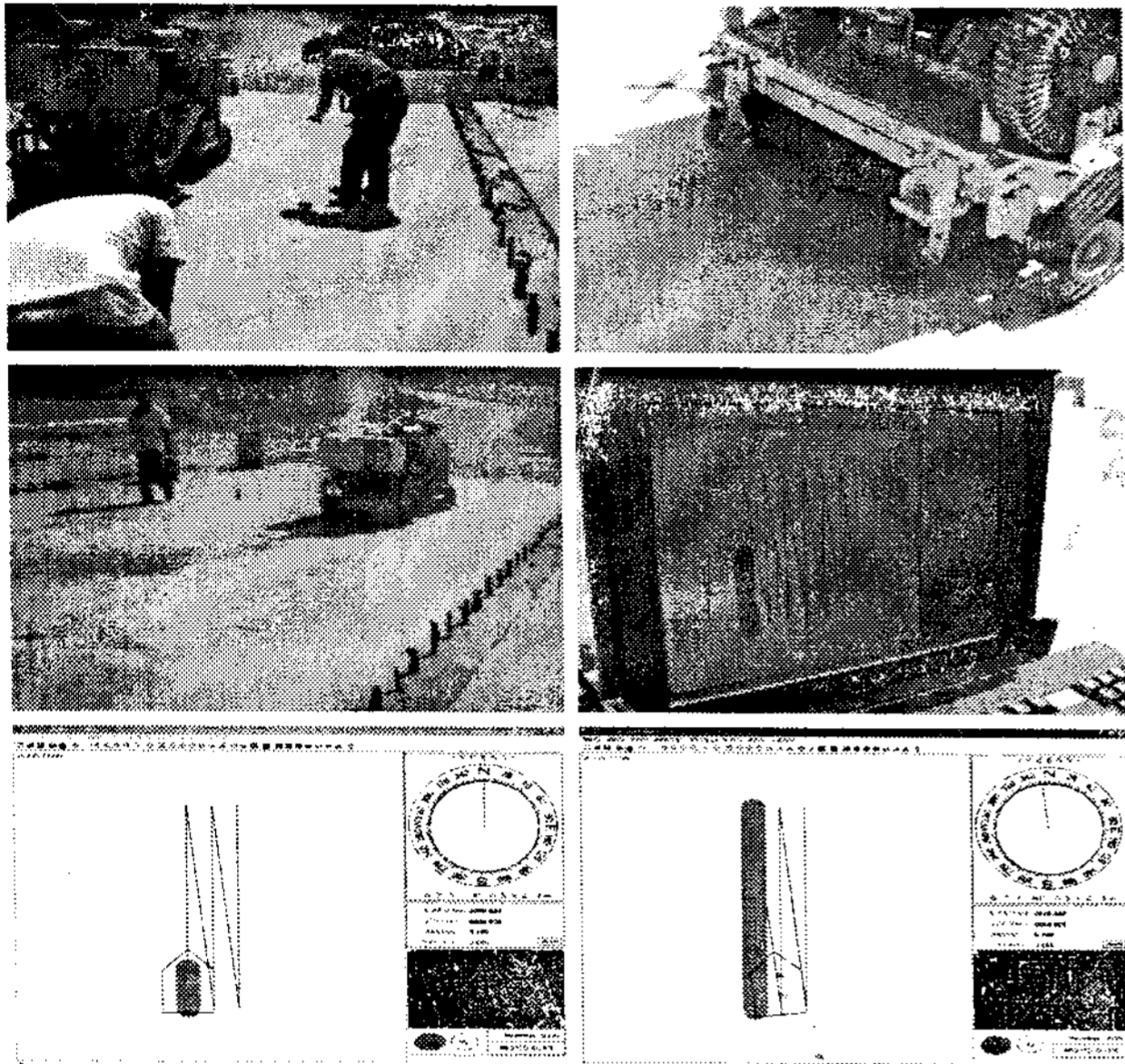


그림 8. 표면절삭장비의 현장테스트

5. 결론

콘크리트 도로의 표면절삭 작업은 작업자의 숙련도에 따른 품질저하 문제와 국내 건설현장의 노령화 및 인력부족으로 새로운 자동화 장비의 개발과 이를 지원하는 소프트웨어의 개발이 필요하다. 본 논문에서 제시한 AUTO-Lisp와 MMI 시스템을 연계한 표면절삭장비의 자율주행 진로계획은 장비조종자의 숙련도에 의지하지 않고 충분한 품질 확보가 가능한 절삭 작업이 가능하며, 위험하고 유해한 작업 환경 하에서 작업자를 격리하여 작업하게 함으로써 안전사고 예방 및 산업재해 등을 방지할 수 있다.

표면절삭장비의 현장테스트에서 산출한 일일 단위 작업량을 통해서 기존의 수동장비 보다 표면절삭장비가 8.3% 향상되었으며, 현장테스트의 실험내용 및 결과는 다음과 같다. 첫째, 현장테스트 중 표면절삭장비에 적용한 진로계획이 제대로 구현되는지 각종 기능실험 및 성능실험을 수행하였으며, 둘째, 표면절삭장비에 적용한 진로계획의 테스트 결과를 바탕으로 진로계획의 수정 및 보완작업을 실시하였고, 셋째, 테스트 결과 표면절삭장비의 기능 및 진로계획, 경로보정, 충돌방지 시스템의 기능이 효과적으로 구현되었다.

본 연구는 진로계획을 적용한 콘크리트 도로 표면절삭장비의 자동화 운영을 통해서 기존의 절삭 작업의 환경을 개선할 수 있고, 작업의 품질 향상 및 절삭 작업의 시행 착오를 줄일 수 있다는 것을 보여준다. 본 연구의 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 자율주행을 위한 장비의 진로계획은 향후 건설시장 개방에 기술경쟁력을 확보 할 수 있으며, 콘크리트 포장작업 자동화, 공정 자동화, 크레인 및 콘크리트 펌프조종의 자동화 등 다양한 이동형 건설장비의 시스템 개발에 활용 될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Trimble, "Site Vision Automatic Grade Control System(Tech. Brochure)", Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, CA. 2002
2. Paul R. Wolf, Charles D. Ghilani, "Adjustment Computations: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS", 1997, pp. 335-338
3. 김영석 외 20명, "도로면 유지보수 자동화를 위한 원격조정 장비의 개발 연구보고서", 건설교통부, 2004
4. 임종권 외 29명, "콘크리트 표면절삭을 위한 원격조정 장비의 개발" 보고서, 건설교통부, 한국 건설교통 기술 평가원, 2007

Abstract

Concrete Pavement Cutting Operation have Labor-intensive features. And Cutting Operation quality and productivity is influenced by operator's experience. Moreover Workers have risk of safety concerns. Therefore we need Concrete Pavement Cutting Operation automation system and system support software development on the economics. First of all we have to develop driving Path Planning for Concrete Pavement Cutting automation system. If result of Path Planning connect with automation system, Weak points is a complement to the existing Path Planning and we can obtain effective automation system. Consequently this paper suggest method of Autonomous Driving Path Planning for Concrete Pavement Cutting Operation And the Path Planning system application.

Keywords : Cutting Operation, automation system, Autonomous Driving, Path Planning