건설핵심기술연구개발사업 최종보고서 GOVP1200809935

T0023223

R&D/ 05건설핵심C15

Construction & Transportation R&D Report

콘크리트 표면절삭을 위한 원격조종 장비의 개발

2007. 7. 28

주관연구기관 / (주)아이엠기술단

협동연구기관 / 한 양 대 학 교

부 산 대 학 교

(주)명 세 C M K

참 여 기 업 / (주)아이엠기술단

(주)명 세 C M K

(주)승 화 이 엔 씨

건 설 교 통 부

한국건설교통기술평가원

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 "콘크리트 표면절삭을 위한 원격조종 장비의 개발"의 최종보고서로 제출합니다.

2007 . 7 . 28.

주관연구기관 : (주)아이엠기술단
대표이사 임 종 권

■ 총괄 연구 책임자	/	선임연구원	임종권(아이엠기술단)	연구총괄
■ 주관연구기관 참여연구원	/	연 구 원	이한수(아이엠기술단)	알고리즘
		연 구 원	박홍민(아이엠기술단)	알고리즘
	/	연 구 원	김경현(아이엠기술단)	알고리즘
	/	연 구 원	김성훈(아이엠기술단)	요소기술
	/	연 구 원	김도영(아이엠기술단)	요소기술
	/	보 조 원	이지연(아이엠기술단)	S/W 및 실험
		보 조 원	강지윤(아이엠기술단)	S/W 및 실험
	/	보 조 원	정준화(아이엠기술단)	S/W 및 실험
	/	보 조 원	천용민(아이엠기술단)	S/W 및 실험
		보 조 원	천용민(아이엠기술단)	S/W 및 실험
■ 협동연구기관 참여연구원	/	선임연구원	김상주(명세CMK)	협동책임
	/	연 구 원	김종호(명세CMK)	H/w 개발
		연 구 원	김종섭(명세CMK)	H/w 개발
	/	연 구 원	김종은(명세CMK)	S/W 개발
	/	보 조 원	이병기(명세CMK)	S/W 지원
	/	보 조 원	손기찬(명세CMK)	S/W 지원
		선임연구원	서종원(한양대학교)	협동책임
		연 구 원	강상혁(한양대학교)	알고리즘
		보 조 원	이원식(한양대학교)	요소기술
		보 조 원	송순호(한양대학교)	요소기술
		보 조 원	배종민(한양대학교)	S/W 및 실험
		보 조 원	김정환(한양대학교)	S/W 및 실험
		보 조 원	김병식(한양대학교)	S/W 및 실험
		보 조 원	박원영(한양대학교)	S/W 및 실험
		보 조 원	정병덕(한양대학교)	S/W 및 실험
		선임연구원	문성우(부산대학교)	협동책임
		연 구 원	권기남(부산대학교)	의사결정모델
		연 구 원	양병수(부산대학교)	의사결정모델
		연 구 원	강상래(부산대학교)	의사결정모델
		연 구 원	홍승문(부산대학교)	센싱데이터분석
		연 구 원	최병영(부산대학교)	진로계획
		보 조 원	이강렬(부산대학교)	진로계획

요 약 문

Ⅰ. 제 목

콘크리트 표면절삭을 위한 원격조종 장비의 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

본 과제는 콘크리트가 사용되는 대부분의 교량 바닥판의 시공에 필요하며, 교량의 안정성과 작업원의 안전성 그리고 생산성의 향상을 목표로 하는 콘크리트 표면절삭 원격조종 장비에 관한 것이다.

토목·건축과 관련된 노동현장이 여느 3D업종과 마찬가지로 숙련된 기능공의 부재로 인한 어려움을 겪고 있으며, 콘크리트 표면절삭 작업에 대한 생산성과 품질은 장비를 다루는 기능공의 숙련도에 많이 좌우된다. 능숙한 장비조작자의 부재로 인하여 생길 수 있는 콘크리트 표면절삭 작업의 생산성 및 품질저하와 안전사고를 방지하며, 특히, 교량의 콘크리트 바닥판 표면절삭의 경우 장비조작자의 경험 미숙 및 실수로 인하여 교면포장의 부실 및 재시공으로 이어지는 것을 방지하기 위해 조종이 간편하며, 장비조종을 위한 조종자의 각종 의사결정에 대한 지원기능을 가진 원격조종 콘크리트 표면절삭 원격조종 시스템 개발이 시급하다.

또한 콘크리트 표면절삭 작업시 발생되는 콘크리트 분진 등으로 인한 노무자의 산업재해에 대한 위험과 대기환경 및 수질 오염 등을 유발할 수 있는 유해한 작업 환경에서 운용되는 콘크리트 표면절삭 장비의 경우 장비 조작자 및 주변 자연환경이 위험에 노출되게 되므로 분진제어 기술을 포함한 장비의 원격조종시스템의 개발이 필요하다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 최종 목표는 콘크리트 표면절삭 작업을 위한 원격조종 시스템 개발에 있으며, 이 시스템은 콘크리트 표면절삭 장비위치 및 작업환경 그리고 작업의 진척도에 대한 실시간 연계 Display를 위한 그래픽 MMI 시스템, 원격조종을 위한 무선통신 및 제어시스템, 실시간 작업 표면 품질 계측을 위한 품질관리 시스템, 최적경로계획 소프트웨어 모듈과 원격조종 대상 장비인 콘크리트 표면절삭 장비 모체로 구성된다.

제안된 콘크리트 표면절삭 무인반자동화 시스템은 시작품(프로토타입)의 형태로 제작되며, 실험실 실험 및 현장실험을 통해 상용제품 개발의 직전 단계 수준의 반자동화 장비를 개발하는 것을 최종 목표로 설정한다.

Ⅳ. 연구개발결과

본 연구의 최종 결과는 다음과 같다.

① 자동화 필요 공종을 분석하고, 관련 요소기술을 분석해봄으로써 장비 개발을 위한 대안검토 및 최적기술 도출하였다.

② 원격조종장비 개념모델 구상 및 구성 시스템 구체화를 통해 최종 개발 모델을 설정하였다.

③ 원격조종에 최적화된 콘크리트 표면절삭 장비 모체를 제작하고 개발 시스템과의 연계를 통해 최종 원격조종 콘크리트 표면절삭 시스템을 구축하였다.

④ 센서를 이용한 충돌방지 방안을 마련하고, CAD를 이용한 최적 경로계획 시스템을 개발하였다.

⑤ RTK GPS과 연계된 그래픽 MMI 시스템을 설계하였으며, 통합 소프트웨어를 제작하였다.

⑥ 무선 조종을 위한 장비의 구동 H/W 및 S/W 제작하였으며, 경로계획 및 MMI 시스템과의 연계를 통해 개선된 조종시스템을 구축하였다.

⑦ 장비 후면에 영상 인식 시스템을 구성하고 이미지 프로세싱을 통해서 위치정보와

연계하여 실시간으로 해당 작업면의 작업 결과를 송출한 품질관리 시스템을 개발하였다.

⑧ 최종 개발 시스템 운용계획을 정립하고 현장 실험을 통하여 시스템 성능 평가를 실시하고 차후 개선방안을 모색하였다.

V. 연구개발결과의 활용계획

광범위한 일반 건설 공사의 콘크리트 표면절삭에 적용가능하나 특히 콘크리트 교량 바닥판 절삭 작업에 주로 활용되어 질 것으로 예상된다. 또한 향후 센서와 그래픽 연계기술을 이용한 그래픽 조종 기법을 확장하여 아스팔트 및 콘크리트 포장작업의 자동화, 준설공사 및 공정 자동화, 크레인 및 콘크리트 펌프 조종의 자동화, 해상 파일 항타 공사, 대단위 지하굴착 보강공사 등의 자동화에 적용 가능할 것이며, 무선정보통신 기술과의 연계를 통하여 콘크리트 표면절삭장비 이외에도 다양한 이동형 건설장비의 위치 측정 등 건설공사에 광범위하게 응용될 것이다.

여 백

Executive Summary

Ⅰ. Title

Development of the remote-controlled concrete surface grinding machine

Ⅱ. Needs and Objectives

This research is about the remote-controlled concrete surface grinding machine which uses concrete to construct most of bridge decks and aims at the improvement of bridge stability, worker safety and productivity.

A construction field is in difficulties because of the lack of skilled worker. Also, the productivity and quality of concrete surface grinding depend on levels of skilled worker. The development of the remote-controlled concrete surface grinding machine's system with the support function related with decision making of operator is urgent to prevent the deterioration of productivity and quality which are caused by the lack of skilled worker. It also needs for preventing shoddy and fault construction and the rehabilitation are caused by green hands and mistakes in bridge construction. Moreover, it is necessary for operator to avoid the hazardous work condition and prevent air and water pollution.

Ⅲ. Scope and Contents

The ultimate object of this research is the development of the remote control system for concrete surface grinding work. This system consists of Graphical control MMI, Path Planning & Collision Avoidance System, Realtime Quality

Control System and Remote Control Unit.

The unmanned and semiautomated concrete surface grinding system which is proposed will be manufactured into prototype and semiautomated equipment will gain the just prior step of commercial product through experiment.

Ⅳ. Results

The final findings of this research are as follows:

1. Analyzing works required to the automation and related the factor functions, we examined alternations and deduced the optimum technology of its.
2. We set up the optimum model through technical and economical feasibility study and the conception of remote control model.
3. We determined and manufactured the plan of ultimate concrete surface grinding machine through the reasonable valuation for design items.
4. We completed the collision avoidance system using sensor and designed the path planning system using CAD.
5. We designed the graphic MMI system related with RTK GPS.
6. We designed the driving H/W and S/W of the equipment for the remote control and developed the improved wireless controlled system through the connection of the path planning and MMI.
7. We designed the machine vision system on the back side of the equipment and developed the quality management system which is displayed the result of worked surfaces in real-time through the image processing with the location information.
8. We established the application plan of the ultimate development system and executed the valuation of its performance through field tests and

groped out the improving plan hereafter.

V. Expected Benefits and Applications

It is expected to apply this machine to the common construction widely and the cutting work of bridge decks especially. It is also able to apply to the asphalt and concrete pavement automation, the dredge automation, the crane and concrete pump control automation and the large-scale underground excavation work automation over the next years through expanding the graphic control methods using sensor and technology connected graphic. Moreover, it is applied to the position measurement of various mobile construction equipments.

여 백

<제목 차례>

제 1 장 서 론 ····· 1

제 1 절 연구의 필요성 ····· 1

1. 산업적 측면 ····· 1

2. 기술적 측면 ····· 2

3. 경제적 측면 ····· 2

제 2 절 연구의 목표 및 내용 ····· 3

1. 연구의 최종목표 ····· 3

2. 연차별 연구목표 및 내용 ····· 4

제 2 장 콘크리트 표면절삭 작업 분석 ····· 8

제 1 절 콘크리트 표면절삭 작업현황 및 특성 ····· 8

1. 콘크리트 표면절삭 작업 현황 ····· 8

2. 콘크리트 표면절삭 작업 시장 현황 ····· 9

3. 콘크리트 표면절삭 작업 특성 및 적용분야 ····· 13

제 2 절 콘크리트 표면절삭 작업분석 ····· 16

1. 콘크리트 표면절삭 작업 분석 ····· 16

2. 표준시방서 및 전문시방서 현황 ····· 17

제 3 절 자동화 공정 선정 및 제안 ····· 19

1. 자동화 장비 개발 대상 공정 ····· 19

2. 공종별 자동화 제안 ····· 23

3. 자동화 개발을 위한 요소 기술 분석 ····· 25

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과 ····· 39

제 1 절 원격조종 콘크리트 표면절삭 시스템의 설계 및 개발 ····· 40

1. 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 모체 개발 ····· 40

2. 최적 경로계획 시스템 ····· 61

3. 원격조종 시스템 ····· 80
4. 그래픽 MMI 시스템 ····· 95
5. 품질관리 시스템 ····· 114
제 2 절 개발 시스템의 통합 및 운용 ····· 139
1. 시스템 통합 ····· 139
2. 시스템 운용 계획 ····· 141
3. 시스템 운용 절차 및 방법 ····· 142
4. 통합 소프트웨어 운용 방법 ····· 144
제 3 절 개발 장비의 성능실험 및 개선 ····· 156
1. 1차 성능실험 ····· 156
2. 2차 성능실험 ····· 158
3. 3차 성능실험 ····· 159
4. 4차 성능실험 ····· 161
5. 5차 성능실험 ····· 162
6. 6차 성능실험 ····· 163
7. 성능 실험 및 장비개선 소결 ····· 165
제 4 절 개발시스템의 현장 실험 ····· 166
1. 1차 현장 실험 ····· 166
2. 2차 현장 실험 ····· 168
제 5 절 개발 장비의 성능 평가 ····· 169
1. 절삭품질 ····· 170
2. 집진성능 ····· 172
3. 주행성능 ····· 173
4. 절삭 구동 성능 ····· 174
5. 안전성 ····· 175
제 6 절 제품경쟁력 분석 및 사업화 전략 ····· 176
1. 기존장비의 운행비용 분석 ····· 177
2. 개발장비의 운행비용 분석 ····· 177
3. 기존장비와 개발장비 비교 분석 ····· 178

4. 사업화 전략 ····· 179

제 4 장 연구개발목표 달성도 ····· 181

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 182

1. 연구개발결과의 활용목표 ····· 182
2. 연구개발결과 활용 추진체계 ····· 183
3. 연구개발결과의 활용성과 ····· 184
4. 연구개발결과의 기대효과 ····· 184

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 186

1. 건설자동화 동향 ····· 186
2. 요소기술별 자동화 사례 ····· 187
3. 국제 건설기계 박람회 참관을 통한 자동화 현황 조사 ····· 189

제 7 장 참고문헌 ····· 191

<표 차례>

표 1-1. 1차년도 연구 목표 및 내용 ····· 5
표 1-2. 2차년도 연구 목표 및 내용 ····· 6
표 2-1. 2004년 콘크리트 표면절삭 시공 시장 현황 ····· 10
표 2-2. 2008년 콘크리트 표면절삭 시공 시장 예상 ····· 11
표 2-3. 2004년 콘크리트 표면절삭 장비 시장 현황 ····· 12
표 2-4. 2008년 콘크리트 표면절삭 장비 시장 예상 ····· 12
표 2-5. 콘크리트 표면절삭 작업 ····· 13
표 2-6. 표준시방서 및 전문시방서의 포장관련 규정 ····· 17
표 3-1. 각 항목별 대안창출 결과 ····· 41
표 3-2. 각 항목별 대안창출 결과 ····· 42
표 3-3. 엔진 형식 제안 ····· 43
표 3-4. 엔진 형식 대안의 평가 ····· 44
표 3-5. 후륜 구동 방식의 제안 ····· 44
표 3-6. 후륜 구동 방식 대안의 평가 ····· 45
표 3-7. 전원 장치의 제안 ····· 46
표 3-8. 전원 장치 대안의 평가 ····· 46
표 3-9. 방향전환 방식의 제안 ····· 47
표 3-10. 방향전환 방식 대안의 평가 ····· 48
표 3-11. 그라인더 형식의 제안 ····· 48
표 3-12. 커터날 형식 대안의 평가 ····· 49
표 3-13. 절삭 방식의 제안 ····· 49
표 3-14. 절삭 방식 대안의 평가 ····· 50
표 3-15. 그라인더 구동 방식의 제안 ····· 50
표 3-16. 그라인더 구동 방식 대안의 평가 ····· 51
표 3-17. 커터 높낮이 조절방식의 제안 ····· 51
표 3-18. 커터 높낮이 조절방식 대안의 평가 ····· 52
표 3-19. 절삭 방향의 제안 ····· 52

표 3-20. 절삭 방향 대안의 평가 ····· 53
표 3-21. 세부항목 선정결과 ····· 54
표 3-22. 원격 컨트롤러 최종사양 ····· 81
표 3-23. 전자제어 최종사양 ····· 83
표 3-24. Motor Drive 최종 사양 ····· 89
표 3-25. 산업용 컴퓨터 사양 ····· 96
표 3-26. 품질관리 시스템 방식 ····· 114
표 3-27 품질관리 시스템 방식별 장·단점 ····· 115
표 3-28. 각도센서 사양 ····· 118
표 3-29. 그라인더 높이에 따른 센서의 저항값 ····· 119
표 3-30. 네트워크 카메라 사양 ····· 123
표 3-31. 무선랜 컨버터 사양 ····· 123
표 3-32. 절삭 퍼센트 기준값 산정 ····· 138
표 3-33. MMI 프로그램 인터페이스 항목별 기능 ····· 149
표 3-34. 툴바 버튼별 기능 ····· 151
표 3-35. 절삭 품질관리 성능 ····· 171
표 3-36. 집진 성능 ····· 172
표 3-37. 주행 성능 ····· 174
표 3-38. 절삭 성능 ····· 175
표 3-39. 장비의 안전성 ····· 176
표 3-40. 연간 장비 운행 비용 비교 분석 ····· 178
표 3-41. 연간 수익 비교 ····· 179
표 4-1. 연구개발목표 달성도 ····· 181

<그림 차례>

그림 1-1. 연구팀의 구성 ····· 4
그림 2-1. 콘크리트 교량 바닥판 표면절삭 작업 ····· 8
그림 2-2. 건물 슬래브 ····· 9
그림 2-3. 항만 및 공항 바닥면 ····· 9
그림 2-4. 도로 차선제거 ····· 9
그림 2-5. 공공 토목부분별 비중 변화 ····· 9
그림 2-6. 도로 및 교량 수주액 변화 ····· 9
그림 2-7. LMC 및 아스팔트 교면 포장 공법 ····· 15
그림 2-8. 콘크리트 표면절삭 작업 프로세스 ····· 17
그림 2-9. 자동화 고려요소 및 세부항목 ····· 19
그림 2-10. 고려요소간 가중치 결정 ····· 20
그림 2-11. 단위공종별 해당 고려요소 파악 ····· 21
그림 2-12. 단위공종별 고려지수 평가 ····· 22
그림 2-13. 표면절삭 작업 자동화 순위 선정 ····· 23
그림 2-14. 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비의 구성 ····· 26
그림 2-15. 건설 매니퓰레이터 ····· 31
그림 2-16. 매니퓰레이터 조종을 위한 수동레버 ····· 32
그림 2-17. Ergo-Stick을 이용한 원격조종 ····· 32
그림 2-18. Ergo-Stick 의 구조 ····· 32
그림 2-19. 스페이스볼(SpaceBall) ····· 33
그림 2-20. 용재괴 분쇄로봇의 그래픽 모델 ····· 34
그림 2-21. 그래픽 콘트롤 인터페이스 ····· 34
그림 2-22. 로봇 조종을 위한 조이스틱 ····· 35
그림 2-23. 토공자동화를 위한 MMI ····· 36
그림 2-24. 그래픽 MMI 스크린 ····· 36
그림 2-25. GPS를 이용한 장비의 위치 파악 ····· 36
그림 2-26. 7.6m 프로파일미터 ····· 37
그림 2-27. ARIA(Automated Road Image Analyzer) ····· 37

그림 2-28. ARIA를 이용한 소성변형 측정 예 ····· 38
그림 2-29. ROAD-MAN (Kokusai Kogyo) - 일본 ····· 38
그림 3-1. 세부항목 선정 절차 ····· 40
그림 3-2. 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 모체 측면 ····· 55
그림 3-3. 장비 정면 ····· 55
그림 3-4. 장비 후면 ····· 55
그림 3-5. 제너레이터 및 엔진 작동 스위치 ····· 56
그림 3-6. 24V 배터리 충전용 제너레이터 ····· 56
그림 3-7. 절삭 그라인더 ····· 57
그림 3-8. 모터 드라이브 ····· 58
그림 3-9. 메인 드라이버 ····· 58
그림 3-10. 전륜 조향 유압 실린더 ····· 58
그림 3-11. 후륜 DC 웜기어 모터 ····· 58
그림 3-12. 집진장치 ····· 59
그림 3-13 GPS 이동국 ····· 60
그림 3-14. 네트워크 카메라 ····· 60
그림 3-15. 표면절삭 장비의 작업진행 방법 ····· 62
그림 3-16. 세로 1방향 진행경로 결정 ····· 62
그림 3-17. CAD 실행 화면 ····· 63
그림 3-18. menu 명령어 실행 화면 ····· 64
그림 3-19. APPLOAD 명령어 실행 화면 ····· 64
그림 3-20. 작업영역 표시 화면 ····· 65
그림 3-21. 기계제원 입력 화면 ····· 65
그림 3-22. 작업영역 표시 화면 ····· 66
그림 3-23. 새로운 기준점 작성 화면 ····· 66
그림 3-24. 좌표값 입력 화면 ····· 67
그림 3-25. 결과값 출력 화면 ····· 67
그림 3-26. 예상경로 표시 화면 ····· 68
그림 3-27. 자율주행 프로세스의 데이터 입력신호의 내용 및 처리 ····· 69
그림 3-28. 자율주행 프로세스에서 처리한 데이터의 출력 ····· 70

그림 3-29. 자율주행 프로세스에서 장비결과의 피드백 ····· 71
그림 3-30. 3점 측량 ····· 72
그림 3-31. GPS Data Plot ····· 73
그림 3-32. 방향각 및 수평이동량 계산 ····· 74
그림 3-33. Rotation 및 상대 좌표로 변환 ····· 74
그림 3-34. 회전각의 정의시에 12도의 오차가 포함된 경우 ····· 75
그림 3-35. 표면절삭장비의 충돌방지시스템 ····· 76
그림 3-36. 표면절삭장비의 충돌방지동작 순서 ····· 77
그림 3-37. Ultrasonic Sencer ····· 78
그림 3-38. 표면절삭장비의 경로 이탈 ····· 79
그림 3-39. 조이스틱 원격 콘트롤러 ····· 81
그림 3-40. 전자제어부 회로의 구성 ····· 82
그림 3-41. 메인 컨트롤러 ····· 84
그림 3-42. 메인_컨터롤러 회로부 ····· 84
그림 3-43. 전원부 ····· 85
그림 3-44. RF 송수신부 ····· 85
그림 3-45. RF 송수신기 ····· 86
그림 3-46. 모터 드라이브 시스템 구성 ····· 87
그림 3-47 모터드라이브 art work ····· 87
그림 3-48. 모터 드라이브 회로도 ····· 88
그림 3-49 완성된 모터 드라이브 ····· 88
그림 3-50. 증폭부 ····· 89
그림 3-51. 정지 후 점차 가속 상태 ····· 90
그림 3-52. 등속도 후 점차 감속 상태 ····· 90
그림 3-53. 출발 후 정지까지의 변화량 ····· 91
그림 3-54 원격조종 시스템 구성도 ····· 92
그림 3-55. 그래픽 MMI 시스템 개발요소 ····· 95
그림 3-56. 그래픽 조종인터페이스를 이용한 장비의 조종 ····· 97
그림 3-57. 콘크리트 표면절삭 장비의 그래픽 MMI ····· 98
그림 3-58. 능동적 그래픽 조종 시스템 ····· 98

그림 3-59. 수동적 그래픽 조종 시스템 ····· 98
그림 3-60. 그래픽 MMI의 설계 ····· 99
그림 3-61 DGPS ····· 101
그림 3-62. RTK GPS ····· 102
그림 3-63. 환경설정 ····· 107
그림 3-64. 작업 구성 ····· 108
그림 3-65. 기준점 시작하기 ····· 109
그림 3-66. 측량 종료하기 ····· 110
그림 3-67. GPS 흐름도 ····· 111
그림 3-68. GPS 기준국 ····· 111
그림 3-69. GPS 안테나 2EA ····· 112
그림 3-70. GPS 수신기(MS860) ····· 112
그림 3-71. GPS 소프트웨어 모듈 ····· 113
그림 3-72. 품질관리 시스템 구성 ····· 114
그림 3-73. Laser Scanner를 이용한 타이어 표면 테스트 ····· 116
그림 3-74. 3D Camera를 이용한 타이어 표면 테스트 ····· 116
그림 3-75. 품질관리 시스템 구성 ····· 116
그림 3-76. 작업상태 파악 시스템 구성 ····· 117
그림 3-77. 수정된 모터드라이버 시스템 ····· 119
그림 3-78. 이미지 프로세싱 구성체계 ····· 120
그림 3-79. AXIS 소프트웨어 ····· 121
그림 3-80. 이미지 프로세싱 프로그램 인터페이스 ····· 122
그림 3-81. 영상 및 통신 모듈 설치 ····· 124
그림 3-82. 조명장치 ····· 125
그림 3-83. 품질관리 계획 ····· 126
그림 3-84. 히스토그램 평활화 ····· 127
그림 3-85. 히스토그램 스트레칭 ····· 128
그림 3-86. 이진화 방식 비교 ····· 129
그림 3-87. 이진화 알고리즘 적용 ····· 131
그림 3-88. Otsu 알고리즘 이진화 값 ····· 132

그림 3-89. 노이즈 제거 알고리즘 적용 결과 ····· 133
그림 3-90. 침식연산 ····· 134
그림 3-91. 확장연산 ····· 135
그림 3-92. 노이즈 제거 알고리즘 적용 ····· 136
그림 3-93. 이미지 프로세싱 결과 TXT ····· 137
그림 3-94. 전체 결과 TXT ····· 137
그림 3-95. 동기화 ····· 138
그림 3-96. 동기화 순서도 ····· 139
그림 3-97. 개발 시스템의 구성요소 ····· 140
그림 3-98. 통합시스템의 구성 ····· 141
그림 3-99. 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 운용체계 ····· 142
그림 3-100. 표면절삭 시스템 운용 ····· 144
그림 3-101. 영상 데이터 통신 흐름 ····· 145
그림 3-102. FTP 서버 구축 ····· 145
그림 3-103. AXIS 네트워크 카메라 소프트웨어 툴킷 ····· 146
그림 3-104. FTP IP 설정 ····· 146
그림 3-105. 네트워크 카메라 기본 설정 ····· 147
그림 3-106. 이미지 프로세싱 프로그램 ····· 147
그림 3-107. 통합 소프트웨어 메인화면 ····· 150
그림 3-108. 통합 소프트웨어 툴바 ····· 150
그림 3-109. 프로그램 실행 ····· 152
그림 3-110. 장비 형태 설정 ····· 153
그림 3-111. 시리얼통신 환경 설정 ····· 153
그림 3-112. 상대좌표 설정 ····· 154
그림 3-113. 허용오차 설정 ····· 154
그림 3-114. 장비의 이동경로 생성 ····· 155
그림 3-115. 절삭장비 이동 ····· 155
그림 3-116. 다음 포인트로 복귀 ····· 156
그림 3-117. 후륜 구동방식 개선 전 ····· 158
그림 3-118. 후륜 구동방식 개선 후 ····· 158

그림 3-119. 개선 전 전류 ····· 159
그림 3-120. 개선 후 전류 ····· 159
그림 3-121. 보조바퀴 장착 전 ····· 160
그림 3-122. 보조바퀴 장착후 ····· 160
그림 3-123. 단동식 유압 실린더 ····· 162
그림 3-124. 복동식 유압 실린더 ····· 162
그림 3-125. 각도 센서 ····· 163
그림 3-126. 할로겐 램프 부착 ····· 165
그림 3-127. 부속품 함 제작 ····· 165
그림 3-128. 1차 현장실험 전경 ····· 166
그림 3-129. 2차 현장실험 전경 ····· 168
그림 3-130. 절삭 양호 ····· 171
그림 3-131. 양호구간의 불량 판정 ····· 171
그림 3-132. 절삭 불량 ····· 171
그림 3-133. 불량구간의 양호판정 ····· 171
그림 3-134. 배출되는 미세분진 ····· 173
그림 3-135. 바닥면 잔류 분진 ····· 173
그림 3-136. 전류 조향각(최대 45°) ····· 174
그림 3-137. 표면절삭 장비의 절삭 작업 ····· 175
그림 3-138. 사업화 발전 계획 ····· 180
그림 5-1. 연구개발 결과활용 추진체계 ····· 183
그림 6-1. 레이저장비를 이용한 3차원 센싱 ····· 188
그림 6-2. 수중작업용 백호를 위한 그래픽 MMI ····· 188
그림 6-3. 파이프 검사 로봇 ····· 189
그림 6-4. 뮌헨 BAUMA 출품작 ····· 190
그림 6-5. GPS 시스템을 사용한 토공 원격조종 시스템 ····· 190

여 백

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 필요성

1. 산업적 측면

콘크리트 표면절삭은 교량, 건축, 공항 및 항만 등의 콘크리트 공사에 빈번히 사용되고 있는 작업으로서 현재 소형 표면절삭, 연마 장비를 이용하여 수행하고 있는 노동집약적인 형태이며, 작업 시 발생되는 콘크리트 분진이 노동자의 건강에 심각한 피해를 주는 유해한 작업환경을 보유하고 있다. 즉, 콘크리트 표면절삭 작업 시 발생되는 콘크리트 분진 등으로 인한 노무자의 산업재해에 대한 위험과 대기환경 및 수질오염 등을 유발할 수 있는 유해한 작업 환경에서 운용되는 콘크리트 표면절삭 장비의 경우 장비 조작자 및 주변 자연환경이 위험에 노출되게 되므로 분진제어 기술을 포함한 장비의 원격조종시스템의 개발이 필요하다.

그리고 토목·건축과 관련된 노동현장이 여느 3D업종과 마찬가지로 숙련된 기능공의 부재로 인한 어려움을 겪고 있는 상황에서, 콘크리트 표면절삭 작업 또한 생산성과 품질이 장비를 다루는 기능공의 숙련도에 많이 좌우되는 경향이 있다. 그러므로 능숙한 장비조작자의 부재로 인하여 생길 수 있는 콘크리트 표면절삭 작업의 생산성 및 품질저하와 안전사고를 방지하며, 특히, 교량의 콘크리트 바닥판 표면절삭의 경우 장비조작자의 경험 미숙 및 실수로 인하여 교면포장의 부실 및 재시공으로 이어지는 것을 방지하기 위해 조종이 간편하며, 장비조종을 위한 조종자의 각종 의사결정에 대한 지원기능을 가진 원격조종 콘크리트 표면절삭 반자동화 시스템 개발이 시급하다고 하겠다.

나아가 반자동화 기술의 성공적 개발을 통한 신기술·신공법의 개발은 건설 산업의 이미지 제고 및 건설 분야에 반자동화 기술 연구개발의 활성화를 위한 기반환경을 조성할 수 있을 뿐만 아니라 건설시장 개방에 따른 대외 기술경쟁력을 확보하고, 국외 기술의 도입에 따른 기술 사용료의 절감 그리고 해외로의 기술이전 등이 가능하여 막대한 부가가치 창출이 가능할 것으로 기대된다.

2. 기술적 측면

콘크리트 표면절삭 작업은 작업 전 바닥판의 형상이 설계시의 형상정보와 일치하는 경우가 적으므로 실제 시공된 바닥면의 형상정보를 현장 시공측량을 통해 마련하여 장비조종자를 안내해 주기 위한 표식의 설치에 시간과 노력 때문에 시간이 많이 걸리는 상황에서 현장 바닥판 형상정보와 더불어 설계 시 계획된 형상정보 및 실시간으로 모니터링 된 장비의 위치를 종합적으로 연계하여 장비조종자에게 공급할 수 있는 기술의 집약, 다시 말해 그래픽 MMI (Man-Machine Interface)를 이용하여 시공측량에 의한 형상정보, 장비의 경로계획과 같은 시공계획에 대한 정보와 작업 진척에 따른 실시간 계측 정보를 콘크리트 표면절삭장비와 직접적 및 실시간으로 연결시켜주어 표면절삭의 품질 및 생산성을 높이고, 무선통신 제어시스템을 통한 원격조종시스템의 도입으로 유해한 환경에서 작업에 대한 장비조작자의 안전성을 확보할 수 있는 종합적인 자동화 개념 모델을 제시함으로서 콘크리트 표면절삭 작업뿐만 아니라 건설 산업 전반에 걸친 시공 자동화의 실현가능성을 높이며, 프리프로그래밍과 원격모니터링 기술 개발의 선행 연구로서 차후 개발 장비의 원격조종 지원이라는 반자동화의 한계 극복에도 기여할 것이다.

즉, 본 연구를 통하여 얻게 되는 콘크리트 표면절삭 장비의 실시간 위치 및 작업 진척도에 대한 정보, 최적의 장비 경로계획, 실시간 품질관리 시스템 등의 연구결과는 토공장비, 파일공사, 크레인, 콘크리트 펌프, 준설장비 등의 다양한 형태의 건설관련 중장비의 반자동화와 원격조종에 확대되어 적용될 수 있는 근간이 되어 줄 수 있는 지식기반을 제공할 것으로 판단된다.

3. 경제적 측면

현재의 콘크리트 표면절삭 작업은 기계경비를 제외한 총 작업비용 중 인건비의 차지 비율이 상당히 높은 노동집약적(Labor-intensive)인 특성을 지니고 있으므로, 콘크리트 표면절삭 작업을 비효율적으로 만든다. 또한, 장비조종자간의 숙련도 차이에 의해 품질 및 작업 생산성이 크게 영향을 받는 등 많은 문제점이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 콘크리트 표면절삭을 위한 반자동화 장비와 지원 소프트웨어의 개발을 통해 인력위주의 작업을 반자동화 시스템으로 대체함으로서 노무비 절감, 생산성 향상을 통한 막대한 원가절감 효과를 가져 올 수 있을 것으로 기대된다.

제 2 절 연구의 목표 및 내용

1. 연구의 최종목표

본 연구의 최종 목표는 콘크리트 표면절삭 작업을 위한 원격조종 시스템 개발에 있으며, 이 시스템은 콘크리트 표면절삭 장비위치 및 작업환경 그리고 작업의 진척도에 대한 실시간 연계 Display를 위한 그래픽 MMI 시스템, 원격조종을 위한 무선통신 및 제어시스템, 실시간 작업 결과 품질 계측을 위한 품질관리 시스템, 그리고 콘크리트 표면절삭 장비의 최적 경로계획 소프트웨어 모듈과 반자동화 대상 장비인 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비로 구성된다. 제안된 콘크리트 표면절삭 반자동화 시스템은 시작품(프로토타입)의 형태로 제작되며, 실험실 실험 및 현장실험을 통해 상용제품 개발의 직전 단계 수준의 반자동화 장비를 개발하는 것을 최종 목표로 설정하였다.

그래픽 MMI 시스템은 Man-Machine-Interface Unit와 GPS System으로 구성하며, MMI Unit은 산업용 컴퓨터와 그래픽 모니터로 구성, 원격조종을 위한 콘트롤센터(Control Center) 형식으로 개발될 것이다. GPS 시스템은 장비의 실시간 위치를 그래픽 모델로 표현하기 위해 필요하며, 콘크리트 표면절삭 장비에 설치되는 GPS 수신기와 정확도를 높이기 위해 필요시 되는 RTK(Real-Time Kinematic) Base Unit 및 부대 통신 장비로 이루어졌다. 지원 소프트웨어는 교량의 바닥판 형상 및 경로계획을 포함하는 CAD 정보, 실시간 바닥판 표면 품질관리 시스템의 정보 및 GPS Data를 실시간으로 처리하여 콘크리트 표면절삭 장비의 위치 및 방향, 계획된 경로 그리고 작업의 진척도를 MMI 모니터에 보여준다.

무선 원격조종 시스템은 제어/조종을 위한 원격제어기, 무선 모뎀을 이용한 송수신 제어장치로 구성되며, 원격조종 표면절삭 장비의 제어를 위해서는 무선 제어 신호를 처리할 수 있는 컨트롤러가 개발되어 콘크리트 표면절삭 장비에 장착된다. 원격제어기는 장비의 직접적인 명령을 내릴 뿐만 아니라, 콘트롤센터와의 연계를 통하여 그래픽 MMI 단계에서의 생성된 명령체계를 장비로 송출하는 기능을 포함한다.

품질관리 시스템은 콘크리트 표면절삭 장비의 작업결과를 관찰/분석하기 영상처리 시스템으로 구성되며, 절삭 품질관리를 위해서 영상정보의 이미지 프로세싱을 통해 품질기준 허용 유무를 연산하고 그 결과 값을 그래픽 MMI 시스템으로 제공하여 해당 좌표에 결과를 표시함으로써 장비 조종자가 인지할 수 있도록 한다.

최적 경로계획 시스템은 콘크리트 표면절삭 장비의 경로계획 선정을 위한 소프트웨어와 그래픽 MMI 상에서 실시간 경로 보정을 위한 경로계획 갱신 모듈로 구성되며, 콘크리트 표면절삭 장비의 위치를 측정하기 위한 그래픽 MMI 시스템의 RTK GPS 및 경로보정 프리프로그래밍을 위한 원격조종시스템과 연동되어진다. RTK GPS 시스템은 GPS 수신기로부터 받은 신호를 이용하여 현재의 콘크리트 표면절삭 장비의 위치를 파악하여 경로 이탈시 이탈정보를 생성해줌으로써 실시간으로 새로운 경로계획이 생성되도록 하고, 더 나아가 프리프로그래밍을 통한 제어가 더욱 효과적으로 이루어질 수 있도록 한다.

상기에서 제시된 연구 최종 성과품 이외에도 개발 장비 및 요소기술의 응용분야 및 활용방안을 제시하는 것도 본 연구의 최종 목표의 하나이며, 그림 1-1은 원격조종 콘크리트 표면절삭 시스템 개발을 위한 연구팀의 구성도를 보여주고 있다.

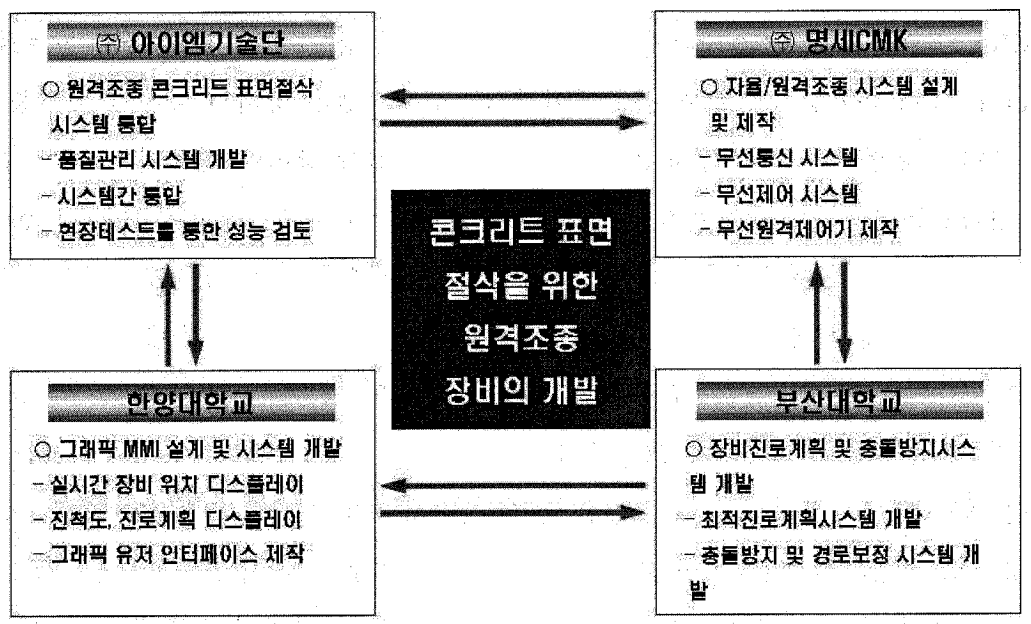


그림 1-1. 연구팀의 구성

2. 연차별 연구목표 및 내용

가. 1차년도 연구목표 및 내용

본 연구의 1차년도 연구목표는 첫째, 콘크리트 표면절삭 장비 개발을 위한 하드웨어, 소프트웨어, Man-Machine Interface를 연계한 개념 모델을 구상하고, 개념 모델을 통해 콘크리트 표면절삭 장비의 모체를 설계, 이를 바탕으로 장비의 모체를 제작

하는데 있으며, 둘째 원격조종을 위한 그래픽 MMI 및 콘트롤 인터페이스 구조 설계, 무선 조종을 위한 장비 구동 H/W 및 S/W 설계, 경로계획 시스템 설계 및 실시간 계측을 통한 품질관리 시스템 설계 등 원격조종을 위한 콘크리트 표면절삭 원격조종 장비의 요소기술을 설계하며 이를 토대로 개발 장비의 요소기술을 개발하며, 요소기술의 기술적, 경제적 타당성을 입증하는데 있다. 본 연구의 구체적인 1차년도 연구목표는 다음의 표 1-1과 같다.

표 1-1. 1차년도 연구 목표 및 내용

연구 목표	주요 내용 및 범위
• 콘크리트 표면절삭 작업의 현황 및 작업분석 • 국내·외 연구 및 기술동향 파악 • 원격조종 및 반자동화 요소기술 분석 및 대안 검토 및 최적기술 도출 • 원격조종장비 개념모델 및 기술적·경제적 타당성 검토 • 콘크리트 표면절삭 장비 모체 설계 및 제작 • 진로계획 시스템 설계 및 개발 • 원격조종을 위한 그래픽 MMI 및 콘트롤 인터페이스 구조 설계 • 무선 조종을 위한 장비의 구동 H/W 설계 및 S/W 제작 • 실시간 계측을 통한 Quality Control 시스템 설계	- 국내·외 문헌조사 및 현장조사를 통한 콘크리트 표면절삭 종류, 기술동향 및 세부 작업 프로세스 파악 - 개발될 제품의 다양한 적용 및 응용범위 평가 - 콘크리트 표면절삭 시스템 모듈 개발을 위한 요소기술의 특성 파악 및 주요 적용대상 원격조종 요소기술의 대안 도출 - 도출된 원격조종 요소기술 대안에 대한 정량적 및 정성적 분석기법을 통한 최적기술 도출 - 콘크리트 표면절삭 장비개발을 위한 하드웨어, 소프트웨어, Man-Machine Interface를 연계한 개념 모델 구상 및 설계 - 정량적 및 정성적 분석기법에 의한 개념 모델의 기술적·경제적 타당성 분석 - 원격조종 장비개발을 위한 콘크리트 표면절삭 장비의 모체 설계 및 제작 - 진로계획 소프트웨어 구현 및 GPS 시스템과의 연계방안 제시 - 최적 진로 계획 알고리즘 설계 - 충돌회피/실시간 바닥판 처리 상태를 고려한 진로 보정 알고리즘 개발 - 작업구간의 형상, 실시간 장비위치, 작업의 진척도, 장비진로계획, 시공품질 등의 그래픽 디스플레이 모드의 적정성 검토 및 선정 - 원격조종 콘트롤 S/W 알고리즘 및 H/W구조의 타당성 검토 - 각각의 그래픽 모드에 대한 형상 모델링 및 디스플레이 알고리즘 개발 - GPS 인터페이스를 이용한 장비 위치파악 Sensing

연구 목표	주요 내용 및 범위
	Mechanism 설계 - 다중모드 즉, 원격조종(수동 및 능동모드) 모드의 그래픽 콘트롤 구조 개발 - 원격조종 표면절삭 장비의 구동을 위한 H/W 설계 - 원격제어를 위한 Sensing 및 제어 알고리즘 설계 및 S/W 제작 - 무선 통신 시스템(제어신호, 영상신호)의 설계 - 표면절삭 작업의 품질기준관련 자료수집 및 기준개발 - 표면절삭 작업의 품질 계측 센싱 및 품질제어 알고리즘 개발

나. 2차년도 연구목표 및 내용

본 연구의 2차년도 연구목표는 첫째, 1차년 도에 제작한 원격조종 장비의 충돌방지 시스템 개발, 통합 주행알고리즘 개발, 원격조종을 위한 그래픽 콘트롤 인터페이스 시스템 제작, 무선 원격제어 H/W 제작 및 계측을 통한 품질관리 시스템 개발 등 표면절삭 원격조종 장비의 요소기술 개발 및 개발 H/W와 S/W의 시스템 통합이며, 둘째 개발 장비의 현장실험을 통한 성능분석, 장단점 분석을 통한 시스템 개선이다. 마지막으로 개발 장비의 상용화 전략수립 및 수익모델을 개발하는데 있다. 2차년도의 구체적인 연구목표는 다음의 표 1-2와 같다.

표 1-2. 2차년도 연구 목표 및 내용

연구 목표	주요 내용 및 범위
• 충돌방지 시스템 개발 및 통합 주행알고리즘 개발	- 다양한 환경 조건에 대한 고정밀도의 인식알고리즘 개발 - 레이저 센서와 GPS를 이용한 주행 시스템 개발 및 현장실험을 통한 주행 성능 평가
• 원격조종을 위한 그래픽 콘트롤 인터페이스 시스템 제작	- 개발 하드웨어와 소프트웨어간의 시스템 통합 - 그래픽 Man-Machine Interface를 위한 뷰잉(Viewing Scheme) 등 조종자의 상황인식 및 시공관련 정보제공을 위한 그래픽 프로그래밍
• 무선원격제어 H/W 제작	- GPS를 이용한 장비 위치파악 센싱을 위한 H/W 및 S/W 개발
• 계측을 통한 Quality Control 시스템 개발	- 다중모드의 콘트롤 구조를 고려한 그래픽 콘트롤 MMI 시스템 제작 - 영상처리관련 장비를 이용한 표면절삭 품질 콘트롤 시

연구 목표	주요 내용 및 범위
• H/W와 S/W 통합을 통한 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 제작 • 개발 장비의 현장실험 및 개선사항 도출 • 개발 장비의 상용화 전략 및 수익모델 개발	스템 H/W 개발 - 표면절삭 처리 품질 영상 및 신호정보를 Frame Transfer로의 전환을 위한 품질 콘트롤 시스템 S/W 개발 - 실험실 실험을 통한 성능 평가 - 현장 적용성 검토 및 개선사항 도출을 통한 실용화 방안 모색 - 무선원격제어 시스템 제작 - 장비구동을 위한 센싱 및 제어 HW 개발 및 모체 장착 - 개발 H/W와 S/W간의 시스템 통합 - 완성된 시스템의 현장실험을 통한 성능분석 - 교량 바닥판 콘크리트 표면절삭 현장에서의 실험추진 - 전문가 의견 수렴 및 장·단점 분석을 통한 시스템의 개선사항 도출 - 개발 장비의 수요시장 분석 - 예상 장비비의 산출을 통한 장비상용화를 위한 수익모델 개발 - 콘크리트 표면절삭 원격조종 요소기술의 활성화를 위한 민간기술이전 방안 제시 - 개발 장비 및 주요기술의 향후 활용방안 제시

제 2 장 콘크리트 표면절삭 작업 분석

제 1 절 콘크리트 표면절삭 작업현황 및 특성

1. 콘크리트 표면절삭 작업 현황

콘크리트 표면절삭은 교량, 건축, 공항 및 항만 등의 콘크리트 공사에 빈번히 사용되고 있는 작업으로서, 신설구조물의 경우 선(先) 시공된 콘크리트 표면층과 후(後) 시공되는 작업공정과의 부착성 및 평탄성을 확보하기 위하여 표면절삭 작업과정을 통해 시공성 및 품질을 향상시키거나 도로 포장시 콘크리트 포장면의 불량부나 이음부 주변의 평탄성을 확보하는데 사용된다. 기존 구조물의 경우는 콘크리트 표면의 열화층(풍화, 레이턴스, 이형제, 발리몰탈, 도장, 도색, 오염 등)을 제거하여 후(後) 작업공정을 원활히 수행하기 위하여 디스크 그라인더 등을 이용해 콘크리트 표면을 절삭, 제거, 연마하고 있다. 교량 공사의 경우, 대부분의 교량 바닥판(Bridge Deck)은 콘크리트로 시공되며, 신설 교량의 바닥판 시공 후 교면포장 시공을 위한 기존 바닥판의 평탄성을 확보하고, 교면포장과의 부착성, 시공성 및 품질향상을 도모하기 위해 콘크리트 바닥판의 표면절삭은 반드시 필요한 실정이다. 또한, 기존 교량의 바닥판 보강 및 교면포장의 교체 등의 유지보수 작업 시에도 기존 포장체의 제거 이후 열화된 콘크리트 바닥판의 건전도 및 내구성을 확보하기 위하여 열화된 바닥판 표면층 및 레이턴스를 제거하기 위하여 시공 전 바닥판을 갈아내는 표면절삭 작업이 선행될 필요가 있다.

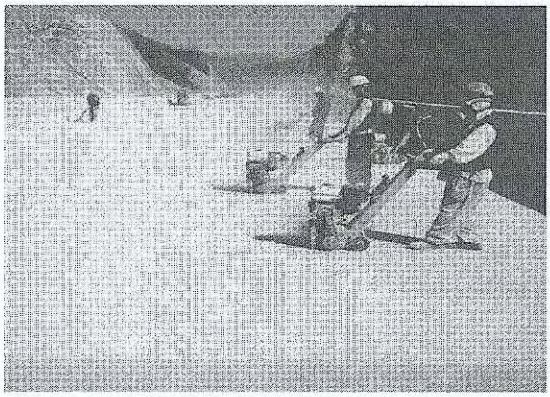


그림 2-1. 콘크리트 교량 바닥판 표면절삭 작업

또한 교통량 증가로 인한 도심지 주차 빌딩의 개발이 급속화 됨에 따라 주차 빌딩 슬래브에 대한 저항성 및 안정성을 도모하기 위해 사용되며, 공항시설의 활주로 및 항만컨테이너 부두시설의 컨테이너 적재장 등의 콘크리트 바닥면에 광범위하게 사용되고 있는 실정이다.



그림 2-2. 건물 슬래브

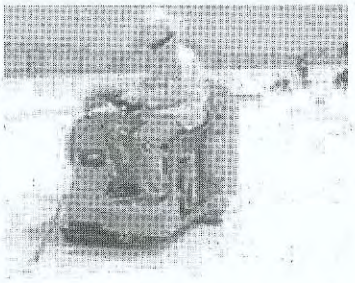


그림 2-3. 항만 및 공항 바닥면



그림 2-4. 도로 차선제거

2. 콘크리트 표면절삭 작업 시장 현황

1997년 외환위기 이후 국내 건설경기는 상당기간 위축되어있었으나 2002년에 회보 후 최근 크게 증가하고 있다. 특히, 공공부분에서 도로, 교량 공사가 차지하는 부분이 50%에 이르고 있으며, 정밀시공이 요구되는 도로, 교량 공사의 증가는 콘크리트 교면의 정밀절삭에 대한 수요 증가를 대변한다고 할 수 있다. 뿐만 아니라, 도로 및 교량 공사와 항만· 공항시설 등에서 최근 사용되는 공법에서 고도로 정밀한 표면절삭이 요구되는 공사의 비중이 증가하는 경향을 보이고 있다. [건설교통부, 2004]

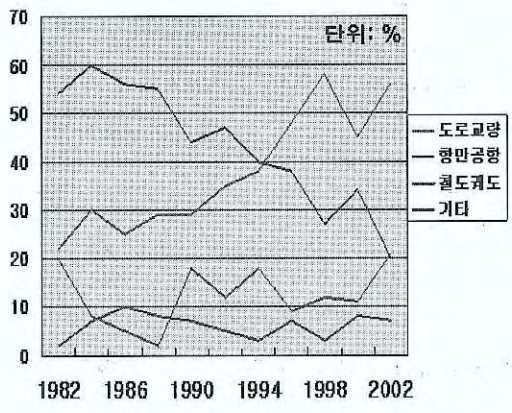


그림 2-5. 공공 토목부분별 비중 변화



그림 2-6. 도로 및 교량 수주액 변화

표면절삭 시장은 도로 및 교량 공사의 수주량에 영향을 받는데 그림 2-6에서 도로 및 교량 공사의 수주액을 관찰하면 지속적으로 상승한다는 것을 알 수 있다. 즉, 이는 표면절삭 시장이 99년 이후 지속적인 증가 추이에 있다는 것을 보여준다. 또한, 고속화도로 및 고속도로의 포장형태가 아스팔트에서 콘크리트 위주로 변화하는 추세로, 향후 고품질의 표면절삭의 수요가 지속적으로 발생할 것으로 예상할 수 있다.

2004년도 콘크리트 표면절삭 시공의 규모는 LMC 공법이 적용되는 교면이 고속도로와 일반국도의 교량 연장 각각 18.96km와 2.51km 수준으로 고품질 시공을 가정하였을 때 합계 27.4억 원의 규모에 달하는 시장규모로 파악되었다. 이외에도 아스팔트 교면 포장에서 고속도로와 일반국도의 교량 연장 각각 24.43km와 24.28km에 대하여 중품질 시공의 비용으로 54.4억 원, 그리고 도로 유지관리에 피리요한 공사 규모가 2003년 기준 총 교량 연장 2,685km의 약 3%에 대하여 중품질 시공의 비용으로 55.1억 원에 달하는 등 국내 총 교면절삭작업의 시장규모는 2004년 한 해 동안 136.9억 원 수준이 될 것으로 파악되었다. 그리고 이에 따른 교량공사 변화 추이에 따른 2008년 표면절삭 시장을 예측해보면 약 220억 원의 수준이 될 것으로 추정되며, 국외의 잠재적 시장을 고려하면 약 1780억 원 시장 형성을 예상할 수 있다.

표 2-1. 2004년 콘크리트 표면절삭 시공 시장 현황

시공구분	도로구분	교량연장 (km)	단가 (원/m3)	시장규모 (억 원)	합계 (억 원)
LMC 교면포장	고속도로	18.96	11,200	24.2	27.4
	일반국도	2.51	11,200	3.2	
아스팔트 교면포장	고도로	24.43	9,800	27.3	54.4
	일반국도	24.28	9,800	27.1	
유지관리조치 교면 재포장	교량 총 연장 약 1,685km 중 연간 약 3% 재포장			55.1	55.1
국외의 표면절삭	국내 시장규모의 최소 1.2배 X 6개국			985.7	985.7
2004년 콘크리트 표면절삭 시공 시장					1,122.6억 원

표 2-2. 2008년 콘크리트 표면절삭 시공 시장 예상

시공구분	예상 교량 총 연장 (km)	단가 (원/m3)	예상 시장규모 (억 원)
LMC 교면포장	52.98	11,200 (고품질)	67.65
일반 아스팔트 교면포장	77.02	9,800 (중품질)	86.05
유지관리조치 교면 재포장	교량 총 연장 약 1,918km 중 연간 약 3% 재포장		64.28
국외의 표면절삭	국내 시장규모의 최소 1.2배 X 6개국		1,569.46
2008년 콘크리트 표면절삭 시공 시장			1,787.44억 원

한편 국내 콘크리트 표면절삭 시공을 전담하고 있는 국내 업체는 35개 사에 달하며 이 때 사용되는 콘크리트 표면절삭 장비는 각 업체별로 평균 5대 정도 보유하고 있는 것으로 파악되며, 이를 기준으로 2004년 현재 표면절삭 장비 시장의 전체규모는 96억 원에 이를 것으로 판단된다. 또한 해당 장비의 내용연수를 5년으로 간주하면 1개 회사당 연간 1대 정도 구매하는 것으로 추정할 수 있으며, 일반적인 콘크리트 표면절삭기의 가격이 5,500만원으로 가정할 때 연간 19.5억 원의 신규장비 구매수요가 있는 것으로 파악된다.

본 연구의 경우 인건비 절감 및 작업환경 개선의 효과를 고려할 때 우선적으로 진출할 수 있는 해외시장은 일본이 될 가능성이 높은데 일본의 경우 산악지형이 많아 교량 건설이 많고 자국민의 인건비가 매우 높기 때문이다. 일본건설기계협회(Japan Construction Equipment Manufactures Association)의 통계자료에 따르면 2002년 한 해 동안의 건설용 기계의 일본 국내 시장규모는 완제품 기준으로 5조원을 약간 상회하는 수준이며 그 중에서 도로용 건설기계의 시장규모는 3600억 원에 이르고, 콘크리트 관련 건설기계는 1950억 원 정도의 시장을 형성하고 있는 것으로 판단되었다. 도로용 건설기계의 세부적인 시장규모를 살펴보면 2002년 동안 도로 표면공사를 위한 장비의 경우 669억 원의 규모를 형하고 있고, 그 나머지를 롤러나 아스팔트 포장용

장비가 시장을 형성하고 있다. 이를 바탕으로 일본은 콘크리트 표면절삭 및 평탄화를 위한 장비의 시장 규모는 국내 시장의 수십 배를 형성하고 있다고 판단할 수 있다. 한편 이와 관련하여 중국이나 대만의 경우 시장 규모를 각각 500억 원과 50억 원 규모로 예상할 수 있다. 그러나 이들 시장이 모두 콘크리트 표면절삭용 기계에 해당한다고 할 수 없으며 본 평가에서는 국내 기계 산업 분야의 일반적 수출업체 사례 및 차후 영업망 확보 수준 및 시장 접근성 등을 고려할 때 국내 시장의 약 2배에 해당하는 40억 원 예측할 수 있는 콘크리트 표면절삭용 기계의 시장이라 하겠다. 그리고 2008년 표면절삭 장비 시장을 업체 증가와 단가 상승을 고려하면 총 시장규모는 135억 원으로 예상할 수 있다.

표 2-3. 2004년 콘크리트 표면절삭 장비 시장 현황

구 분	업체 수 (개)	장비 수 (대)	단가 (백만 원/대)	시장규모 (억 원)
국내	35	1	55	19.25
국외	국내 시장규모의 2배 예상			39.50
2004년 콘크리트 표면절삭 장비 시장				58.75억 원

표 2-4. 2008년 콘크리트 표면절삭 장비 시장 예상

구 분	업체 수 (개)	장비 수 (대)	단가 (백만 원/대)	시장규모 (억 원)
국내	42	1	75	45.00
국외	국내 시장규모의 2배 예상			90.00
2008년 콘크리트 표면절삭 장비 시장				135.00억 원

3. 콘크리트 표면절삭 작업 특성 및 적용분야

가. 콘크리트 표면절삭 작업 특성

현재 시공되고 있는 콘크리트 표면절삭 작업은 수동 표면절삭 및 연마 장비를 이용하여 수행하고 있어 작업 시 발생되는 콘크리트 분진이 노동자의 건강에 심각한 피해를 주는 유해한 작업환경을 가질 뿐 아니라, 작업의 생산성과 품질이 장비를 다루는 기능공의 숙련도에 많이 좌우되는 노동집약적 특성을 가진다. 그러므로 콘크리트 표면절삭 작업 시 발생되는 콘크리트 분진 등으로 인한 노무자의 산업재해에 대한 위험성 경감, 콘크리트 표면절삭 작업으로 인한 대기환경 및 수질 오염 등의 최소화, 장비 조작자의 경험 미숙 또는 실수로 인한 안전사고 및 시공부실로 인한 재시공 방지를 위해 표면절삭 장비의 원격조종 필요성이 부각되고 있다. 이러한 표면절삭 작업의 현재 작업 특성을 정리하면 다음 표 2-5와 같다.

표 2-5. 콘크리트 표면절삭 작업

대상 작업	특성
콘크리트 표면절삭 작업	노동집약적 특성을 갖는 후진적 작업공종 노동생산성의 한계 극복 요구 증대 비숙련공에 의한 생산성 및 품질 저하 작업 전 바닥판과 설계시 간의 형상정보 차이 교면포장 부실 및 재시공 가능성 경험 미숙으로 인한 안전사고 발생 콘크리트 분진 등으로 인한 산업재해 발생 대기환경 및 수질오염 등을 유발할 수 있는 유해한 작업환경 환경오염으로 인한 민원 발생 가능성

나. 표면절삭 작업 적용 분야

콘크리트 표면절삭작업은 교량, 공항 및 항만, 슬래브 등 토목과 건축의 거의 모든 콘크리트 공사에 빈번히 사용되나 본 연구에서는 콘크리트 표면절삭 작업이 주로 적용되는 도로포장의 교면포장 및 LMC 포장, 콘크리트 포장을 위주로 조사하였다.

(1) 교면포장 및 LMC 포장

교면 포장은 일반 포장에 비해 골재의 밀도가 더 높으며 잔골재 위주로 포장을 하거나 특수한 재료를 첨가하는 특징을 가진다. 일반적으로 일반 포장은 노상 위에 보조기층, 기층, 표층 순으로 골재와 아스콘을 깔지만 교면 포장은 표층으로만 이루어지기에, 콘크리트로 상판을 만들 때 아무리 정밀하게 면을 고르더라도 요철이 생기게 되며 이를 평탄성을 유지시키기 위해 아스팔트 콘크리트(아스콘)로 기계 포설하게 된다.

그러나 절삭된 콘크리트 면 위에 방수층 설치와 8cm 두께의 아스콘이 포설되는 기존 아스팔트 교면 포장의 경우뿐만 아니라, 최근 콘크리트 교면포장공법으로 가장 빈번히 사용되고 있는 LMC 포장 공법은 콘크리트 절삭면 위에 5cm 두께의 LMC (Latex Modified Concrete)를 포설하기 때문에 콘크리트 슬래브의 강도가 약한 층을 제거하고 부착성을 향상시키기 위하여 콘크리트 절삭 표면의 고르기 품질에 있어 고품질의 콘크리트 표면절삭 작업이 요구되는 실정이다.

LMC는 물속에 스틸렌 부타디엔계 폴리머를 고르게 분산시킨 라텍스를 보통 콘크리트에 일정량 혼합하여 콘크리트의 성능을 크게 개선시킨 라텍스혼합개질콘크리트를 일컫는다. LMC 교면포장공법은 기존 아스팔트를 이용한 교량교면공법과는 달리 그 중간층에 방수 처리용 막을 시공하지 않고 라텍스 처리된 콘크리트를 아스팔트 대신 시공하기 때문에 하부 콘크리트 층과 LMC 층과의 기계적 접착강도를 확보하기 위하여 하부 콘크리트 표면의 평활도 확보와 불순물 제거 등이 중요하게 된다. 작업순서는 교량의 바닥판 상면을 3mm 내외 표면 절삭하여 레이턴스 및 표면의 약한 강도층을 제거한 다음, 그 위에 포설두께 5cm 내외로 LMC를 포설 마무리하며 콘크리트의 유동성이 높아 작업성이 우수한 등 최근 빈번히 사용되고 있다. 이 공법은 작업성이 우수하며 재료의 분리저항성이 향상되고 신·구 콘크리트의 부착력이 증가하는 특성을 지닌다. 또한, 휨·인장강도의 증가로 균열 발생 억제 및 내구성이 증진되고 포장층의 변형이 없어 지속적인 평탄성 유지가 가능하여 콘크리트 바닥면의 수명을 연

장시킬 수 있다.

이러한 이유로 교량교면 포장공법 LMC 포장의 경우, 바닥판 표면처리 품질이 교면포장의 내구성 및 안전성에 미치는 영향이 절대적으로 중요시되고 있으며 바닥판 표면처리 품질이 교면포장의 내구성 및 안전성에 미치는 영향이 절대적으로 중요시되고 있다.

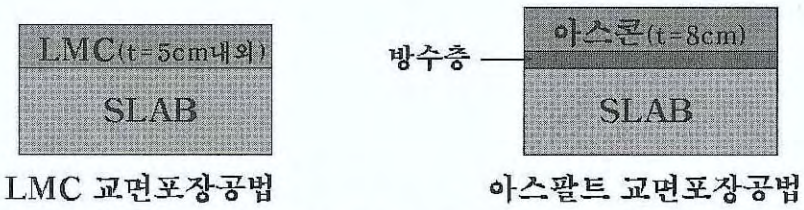


그림 2-7. LMC 및 아스팔트 교면 포장 공법

(2) 콘크리트 포장

현재 사용되고 있는 콘크리트 포설 방법으로는 고정 거푸집에 사용하는 인력에 의한 방법과 슬립폼 페이버(Slip form paver)에 의한 방법이 있으며 공사규모나 장비 및 작업여건에 따라 이를 선택하여 적용하고 있다. 콘크리트 포설방법으로는 주로 슬립폼 페이버에 의한 방법이 사용되며 콘크리트의 타설 후 슬립폼 페이버는 콘크리트를 펴고, 다지고, 고르고, 마무리하는 일을 일관된 작업으로 수행하게 된다. 슬립폼 페이버에 의해 포설 작업이 완료된 후에는 초벌마무리, 평탄마무리, 거친면마무리 순으로 표면마무리 작업을 수행한다. 여기에는 주로 기계에 의한 마무리 방법이 사용되며 이러한 마무리 방법으로 피니셔에 의한 초벌마무리, 표면마무리기에 의한 평탄마무리, 브러시 등에 의한 거친면 마무리가 일반적으로 사용되고 있다. 고속도로 콘크리트 포장의 경우 1일 1개소 평균 약 350m의 2차선 구간에 대해 콘크리트 타설이 시행되고 있다. 이 때 표면 마무리 및 평탄화에 있어 작업부의 양 끝단 각 3m, 총 6m 부분은 거푸집 설치 등으로 인하여 포장면이 고르지 못하고 구간의 이음부에 불연속면 또는 요철 등이 생길 수 있어 인력을 투입하여 콘크리트 표면절삭 작업이 이루어지고 있다.

또한 콘크리트 덧씌우기 포장에도 콘크리트의 표면절삭작업이 수행된다. 이는 기존 포장의 추가적인 파손의 진전을 방지하고, 기존 포장면과의 접착을 양호하게 처리하

기 위함이다. 기존 시멘트 콘크리트 포장 표면의 절삭 깊이는 절삭장비를 이용하여 6~7mm 또는 설계도서에 명시된 깊이이며, 이때에는 기존 시멘트 콘크리트 포장체 표면의 레이턴스를 비롯한 느슨한 콘크리트, 기름, 먼지, 그리고 기타 이물질까지 제거해야 한다. 기존 콘크리트 표면위에 새로운 콘크리트 포장이 포설된 후에는 콘크리트 포장과 마찬가지로 요철 제거와 같은 콘크리트 표면절삭 작업이 수행되게 된다.

상기와 같이 현재 사용되고 있는 콘크리트 표면절삭 작업에는 먼지를 비롯한 기타 미세물질이 많이 배출되는 유해한 작업환경이 될 수밖에 없다. 또한 콘크리트의 표면절삭작업과 평탄성 측정 작업이 별도로 이루어지게 되어, 표면절삭작업이 제대로 이루어지지 않을 경우 재시공으로 인한 경제적 손실이 발생하게 된다.

제 2 절 콘크리트 표면절삭 작업분석

1. 콘크리트 표면절삭 작업 분석

기존의 콘크리트 표면절삭 작업 프로세스는 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 작업구간에 대한 정보 확인 및 작업 진행 순차 생성을 위한 계획 단계와 절삭장비의 이동과 콘크리트 절삭 및 분진 제거를 위한 실행단계, 마지막으로 수행된 작업의 품질을 평가하고 재작업을 판단하는 확인단계로 나누어진다. 계획 단계에서는 프로파일미터를 통하여 대상 바닥면의 평탄성에 대한 정보를 사전 취득한 후, 이를 근거로 절삭 대상면과 그 순차를 선정하여 작업 경로계획을 수립한다. 다음 실행단계에서는 절삭 장비를 구동하여 작업 경로를 이동해가며 절삭을 실시하며 절삭 작업에서 발생하는 분진은 노무자의 안전 위협과 대기환경 오염의 원인이 되므로 이를 흡입하여 처리한다. 습식 절삭의 경우 살수 처리를 포함하는데, 분진이 물과 혼합되어 슬러지 형태로 존재하게 되며 이 역시 적절히 제거해야 한다. 마지막 확인단계에서 표면절삭 작업이 마무리 되면 작업자가 절삭면의 품질을 확인하여 소요의 기준에 만족하는지를 확인 후 재절삭 여부를 판단한다. 다음 그림 2-8은 콘크리트 표면절삭 작업이 이루어지는 주요 공종인 LMC 포장을 기준으로 한 작업 프로세스도이다.

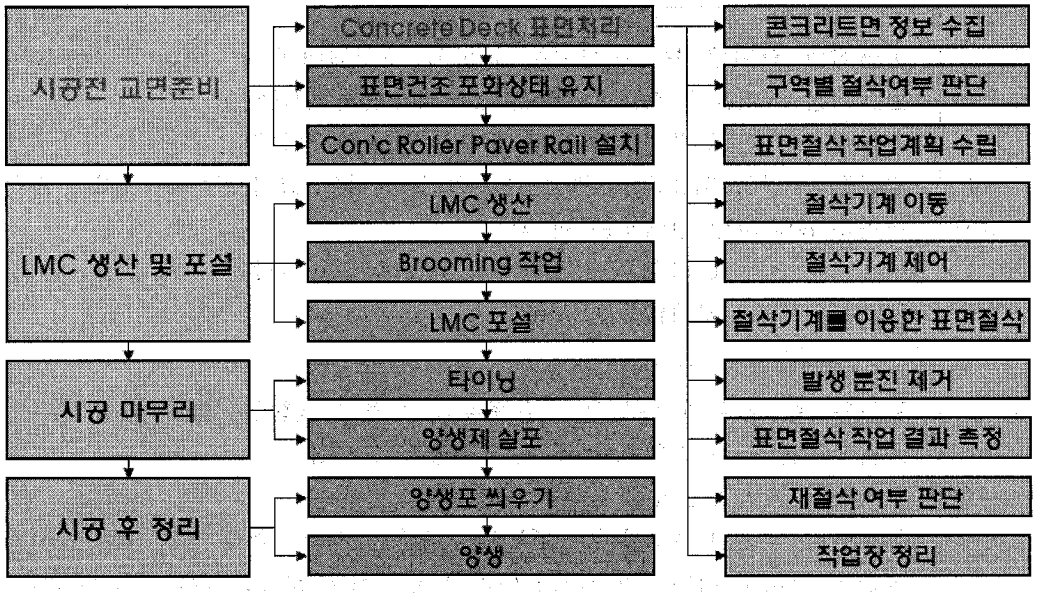


그림 2-8. 콘크리트 표면절삭 작업 프로세스

2. 표준시방서 및 전문시방서 현황

국내 표준시방서와 전문시방서에서는 표면절삭이 적용 가능한 포장공사에 대해 동일한 규정을 적용하고 있으며 시공 과정을 중심으로 표 2-6에 정리하여 나타내었다.

표 2-6. 표준시방서 및 전문시방서의 포장관련 규정

명칭		·시멘트 콘크리트 포장공사
적용범위		·시멘트 콘크리트포장 공사에 적용
참조규격		·KS F 2401, 2402, 2403, 2408, 2409, 2502, 2540, 2560, 4009, 8006,
시공	시공 장비	·배치플랜트(batch plant), 믹서(mixer), 포클레인과 스프레더(spreader), 슬립폼 페이버(slipform paver), 거친면 마무리기, 양생제 살포기, 콘크리트 커터(concrete cutter) 등을 사용
	시공 면 준비	·계약상대자는 완성된 기층면이 공사용 차량의 왕래로 인하여 훼손 및 골재의 탈리 등이 발생하였을 경우 계약상대자는 즉시 이를 보완 ·보조기층이나 기층면이 건조해 있을 때는 소량의 물을 균일하게 살수한 후 콘크리트를 타설 ·보조기층 표면에 분리막을 설치할 경우에는 가능한 한 전 폭으로 깔아 겹이음부가 없도록 하여야 하며, 부득이하게 이음을 할 경우 세로방향으로 10cm 이상, 가로방향 30cm 이상 겹치도록 설치

	거푸집 설치	· 거푸집의 측면은 브레이싱으로 저판에 지지되어야 하고 이때 저판에서의 브레이싱 지지점은 측면으로부터 높이의 3분의 2지점 이상 · 거푸집 설치의 이격 허용오차는 거푸집용 강재두께 이하 · 거푸집은 길이 3m마다 윗면의 변형이 3㎜ 이상 있어서는 안 되며, 측면의 변형이 6㎜ 이상 있어서는 안 됨 · 곡선반경 50m 이하의 경우에는 목재 거푸집을 사용할 수 있으며, 이때 60cm마다 강재 지지말뚝을 설치
	배합	· 포장용 콘크리트의 배합은 소요품질과 작업에 적합한 워커빌리티 및 피니셔빌리티를 갖는 범위 내에서 단위수량을 최소화 · 포장용 콘크리트는 AE감수제를 사용 · 인력타설 시공이 불가피한 경우에는 별도의 배합설계를 실시하여 감독자의 승인을 얻어야 하며, 이때에는 어떠한 경우라도 슬럼프 값이 7.5cm 이하
	시험포장	· 시험포장의 면적은 1,000㎡ 정도로 하며, 감독자의 승인을 받아 이를 조정 · 포장의 두께와 마무리 및 재료분리를 최소로 하는 양호한 시멘트 콘크리트 포장을 시행할 목적으로 시험포장을 실시 · 계약상대자는 시험포장의 장소, 혼합물의 배합, 시공기계, 시공방법이 포함된 시험포장 계획서를 제출하여 승인을 받은 후 시행하고, 그 결과에 대하여는 감독자와 협의하여야 한다.
	표면마무리	· 초벌마무리, 평탄마무리, 거친 마무리 순으로 시공 · **초벌마무리를 한 후에는 표면마무리 장비에 의한 기계 마무리나 플로우트(Float)에 의한 인력마무리로 종·횡방향의 요철을 고르는 평탄마무리 수행** · 횡방향 거친면 마무리를 인력으로 시행시 홈의 깊이는 3㎜ 이상을 표준으로 하고, 홈의 간격은 2~3cm로 하여 충분한 마찰계수를 갖도록 함 · 종방향 거친면 마무리를 장비시행시 홈의 깊이는 3㎜ 이상을 표준으로 하고 홈의 간격은 2cm 이내로 함. 또한 형성된 홈의 함몰 방지를 위하여 콘크리트의 슬럼프는 2cm 이내가 되도록 관리하며 포설장비는 낮은 슬럼프에도 충분한 작업 능력을 갖는 기종을 선택

제 3 절 자동화 공정 선정 및 제안

1. 자동화 장비 개발 대상 공정

콘크리트 표면절삭 작업의 자동화 개념모델 설계를 위하여 세부 작업별로 자동화 고려요소에 대한 자동화 수요 평가가 선행되어야 한다. 이 평가의 결과를 이용하여 콘크리트 표면절삭 작업에 대한 자동화 모델을 제안을 할 수 있으며, 기술적·경제적 평가를 통해 최종적으로 자동화 장비를 설계할 수 있다.

가. 자동화 개발을 위한 고려요소 산정

자동화 모델 선정을 위한 자동화 고려 요소는 'A generic cost-concern matrix for identifying automation needs in construction' (Sy-Jye Guo, R.L Tucker 1996)에서 사용한 자동화 고려지수 산정 방법을 국내 건설 자동화 실정에 맞추어 수정 보완하여 건설 자동화 우선순위 선정에 이용하였다. 이러한 자동화 고려지수 산정을 위해 건설현장의 실제 수요측면을 반영하기 위한 요소들로 안정성, 생산성, 품질성, 장비활용성, 노동활용성 등 5가지 고려요소로 선정하였다. 그리고 대상공종들과 각 고려요소와의 관계 정도에 대해 정량적 수치로 측정 할 수 있도록, 고려요소의 대상작업 특성을 반영하여 세부항목을 다음과 같이 선정하였다.

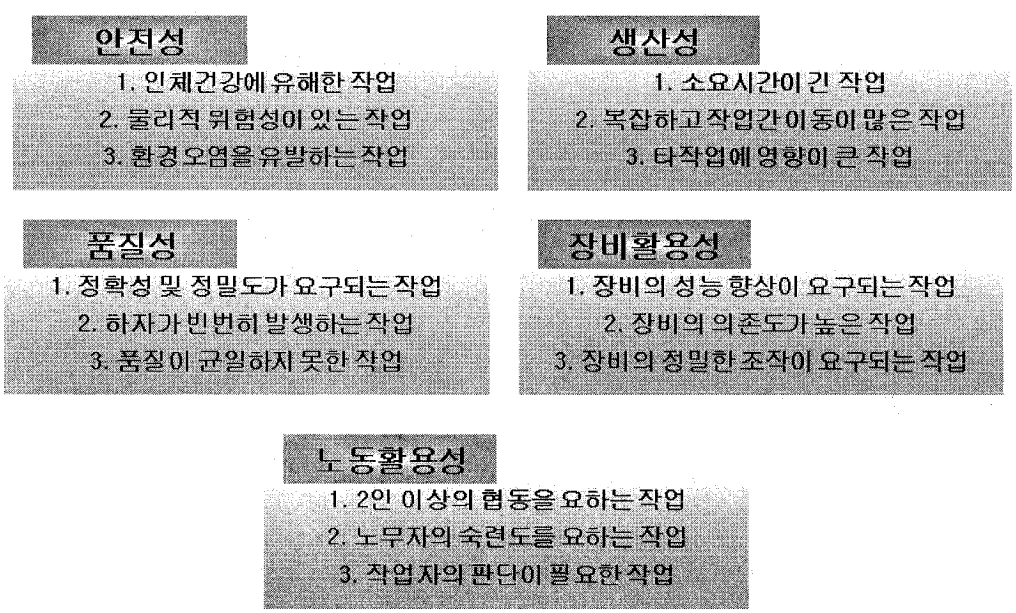


그림 2-9. 자동화 고려요소 및 세부항목

나. 고려요소간의 가중치 결정

5가지 고려요소는 건설현장의 공사 관리자 및 개발자를 대상으로 설문조사를 통해 AHP기법을 통한 쌍대비교로 가중치를 산정하여 건설현장의 수요를 반영한다. 그 결과 5가지 고려요소를 바탕으로 콘크리트 표면절삭 작업에서의 관계정도를 산정해보면 물리적으로 위험성을 가지고, 콘크리트 폐기물이 발생하는 작업임으로 안전성이 가장 고려해야 할 요소이며, 수동 장비의 의존도가 높으며 노동집약적인 특성을 지는 작업의 특성에 따라 장비활용성과 노동활용성도 비중 있게 고려해야 한다고 분석되었다. 반면 생산성과 품질성은 건설 공사에 매우 비중 있게 다뤄야할 중요 요소이나, 장비의 개발에 있어서 주요 대상 요소가 아닌 앞선 고려요소의 개선을 통하여 부수적인 효과를 누리고 있다고 판단되어 현재 작업에 비해 추가적인 고려가 상대적으로 적게 필요하다고 분석되었다.

	안전성	장비 활용성	노동 활용성	품질성	생산성	Row Sum	가중치
안전성	1	2	2	2	3	1.69	0.34
장비 활용성	1/2	1	2	2	3	1.28	0.26
노동 활용성	1/2	1/2	1	2	2	0.91	0.18
품질성	1/2	1/2	1/2	1	2	0.69	0.14
생산성	1/3	1/3	1/2	1/2	1	0.43	0.09
Column Sum	2.41	4.33	7.50	7.50	12.00	5.00	1.00

그림 2-10. 고려요소간 가중치 결정

다. 단위공종별 고려지수 평가

자동화 수요분석을 위한 대상이 되는 소공종에 대해서 고려요소 별 세부항목의 해당비율을 세부항목 관련 지수로 결정한다. 자동화 고려지수는 해당 자동화 대상 작업에 대해 세부항목의 관련 지수와 고려요소의 가중치를 곱함으로써 개별 고려요소에 대한 지수를 구할 수 있으며, 5 가지 고려요소의 해당 지수를 모두 더해서 나오는 값

을 산출하여 해당 자동화 고려지수로 결정한다.

우선 교면 포장시의 콘크리트 표면절삭 작업 분석을 바탕으로 단위공종별 해당 고려요소 파악을 해 보면, 분석을 실시할 Task 단계를 대상으로 5가지 고려요소의 세부항목에 대해 해당 사항을 확인해보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 예를 들어 현재의 작업 중 절삭기계의 제어는 절삭 중 장비 및 콘크리트 파손으로 인한 인명피해가 발생할 수 있으므로 물리적 위험성이 있다고 판단되었으며, 기존의 구식 조종장치를 개선할 하드웨어 개발이 요구되며, 특히 정밀한 조작성이 요구되는 특성을 가진다. 그리고 직관적이지 않은 조종 장치는 조종자의 숙련도를 요구할 뿐만 아니라 각종 제어 명령을 조종자가 순간적인 판단을 통해 작업을 진행하여야 한다. 품질과 생산성에 있어서는 타작업의 영향이 크며, 정확하고 신뢰성 있는 조종 성능을 발휘하여야 한다고 분석되었다.

Task	안전성	신뢰성 및 품질	조종 편리성	조작성	생산성
콘크리트면 정보 수집		2,3	1	1	1,2
구역별 절삭여부 판단			2,3	1,3	3
표면절삭 작업계획 수립			2,3	1,2,3	3
절삭기계 이동	2	1,2,3	2	1	1,2
절삭기계 제어	2	1,3	2,3	1,2,3	3
절삭기계를 이용한 표면절삭	1,2,3	2,3	2	1,2	1
발생 분진 제거	1,3	2		2	3
표면절삭 작업결과 측정		1	2,3	1,3	
재절삭 여부 판단			2,3	1,3	3
작업장 정리	3		1		1,2

그림 2-11. 단위공종별 해당 고려요소 파악

앞에서 구한 고려요소의 가중치와 분수 형태로 표현한 세부항목의 관련지수를 바탕으로 Automation Concern Index를 산정하였다

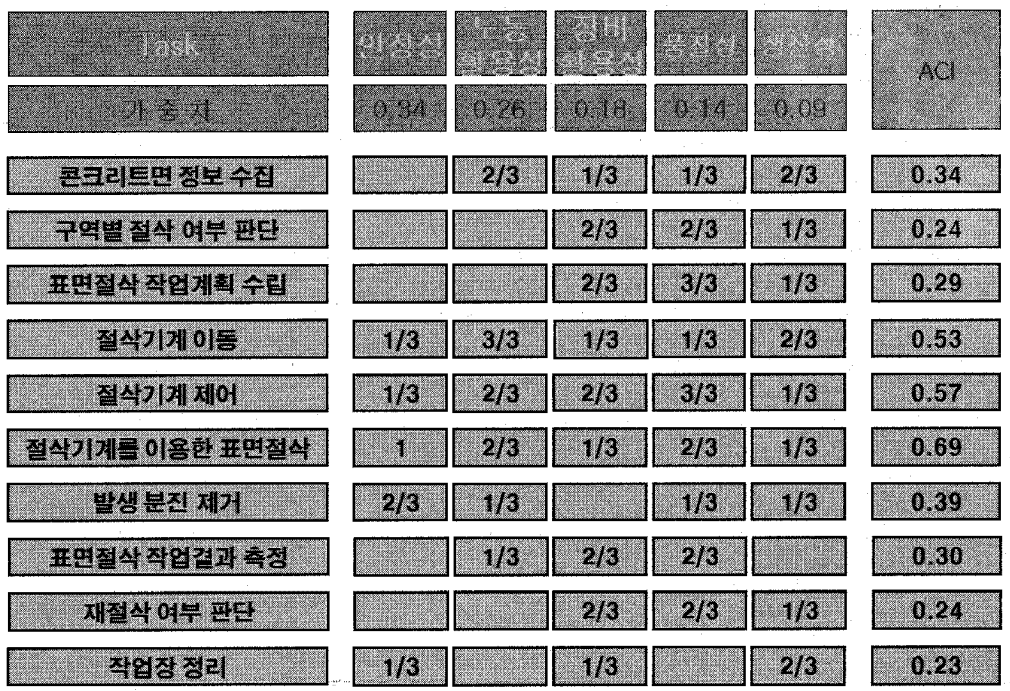


그림 2-12. 단위공종별 고려지수 평가

라. 자동화 수요 분석 결과

이와 같은 과정을 통해서 구해지는 자동화 고려지수를 기반으로 작업분류체계를 이용하여 분류되어진 소공종들에 대해 내림차순으로 정렬하여 순위를 선정함으로써 자동화 수요가 더 높은 작업들을 분류해 낼 수 있다. 즉 자동화 고려요소의 개발 우선 가중치를 기반으로 공종별 특성을 고려해 줌으로써 구해진 자동화 고려지수를 통해 콘크리트 표면절삭 작업에 대한 자동화 관심소요의 순위를 평가할 수 있었다.

분석 결과 절삭기계를 이용한 표면절삭 수행과 이를 위한 기계 제어 및 이동이 자동화 소요가 높다고 판단되었다. 이는 물리적 위험성이 있는 공종이며 장비의 정밀한 제어 및 조종자의 숙련도가 요구되고, 콘크리트 표면을 절삭하고 품질을 결정하는 가장 핵심적인 공종이기 때문으로 분석된다. 다음으로 절삭으로 인하여 발생하는 분진의 제거 및 작업 전후의 콘크리트 바닥면의 평탄성 측정이 자동화 소요가 높은 편으로 평가 되었다. 이러한 해당 작업들이 콘크리트 표면절삭 장비의 개발에 있어서 관심소요가 높으므로 이 소요들을 반영한 자동화 장비의 개발이 요구되는 실정이라는 결론은 내릴 수 있다. 그러나 이러한 결과들은 실현가능성 및 기술적, 경제적 타당성에 대한 평가는 결여된 상태이므로 각 공종별 자동화 제안 단계에서는 소요가 높은

공종들에 대해 최적의 요소기술을 도출하여 자동화 장비의 최종 설계 및 개발을 실시한다.

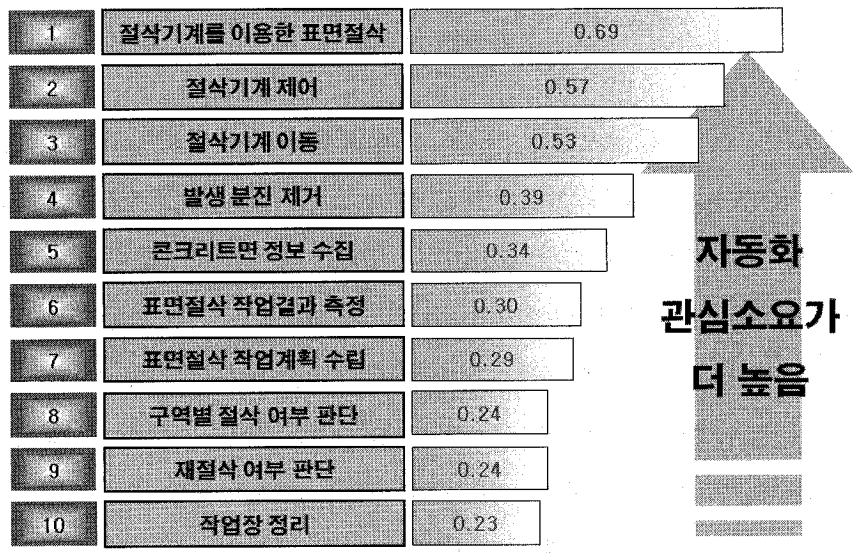


그림 2-13. 표면절삭 작업 자동화 순위 선정

2. 공종별 자동화 제안

국내에서는 1990년대 후반부터 건설자동화의 필요성이 대두되고 자동화 시스템 개발 및 건설 기계 자동화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 진동 롤러, 타워크레인 등 기존 장비의 자동화 연구뿐만 아니라 미장 로봇, 교량유지관리를 위한 교량하부 안전 점검용 로봇, 흄관매설 자동화 장비, 도로면 유지보수를 위한 크랙실러 장비, 기성 콘크리트 말뚝의 두부정리 로봇 등의 개발을 위한 연구도 수행되었다. 최근에는 토공현장에서 사용되는 굴삭기의 자동화에 대한 연구도 수행 중에 있다. 이러한 연구개발 사례를 바탕으로 원격조종 및 MMI(Man-Machine Interface) 시스템에 주안점을 두어 작업 현장에서의 환경성 및 안전성 개선이 요구되는 콘크리트 표면절삭 작업에 대하여 단위 작업별 자동화 아이디어를 제안하고자 한다.

가. 절삭기계를 이용한 표면절삭

절삭 방식과 절삭 장치에 대해서는 기존의 장비와 유사한 방향으로 개발하여야 하겠으나 슬러지 및 유해 물질 발생을 줄이기 위하여 건식 절삭 방식을 적용해야 할 것이다. 그리고 절삭량을 결정하는 절삭 시간은 장비의 이동 속도에 관계되므로 적정

절삭을 위한 장비 진행 속도의 사전 조정이 요구되며, 조작 미숙 및 장비 이상으로 인해 콘크리트면의 과다 절삭 등의 파손 사고를 방지토록 하는 안전 시스템이 필요하다고 판단된다.

나. 절삭장비의 제어 및 이동

기존의 장비는 조종자가 인력으로 무거운 장비를 조종해야 하는 불편이 있어 자동화 수요가 높다고 판단된다. 절삭장비의 이동은 작업 위치의 결정뿐만 아니라 이동속도에 의해 절삭 정도를 결정하도록 하는 중요한 요소이므로 대단히 정밀한 기술을 요한다. 그러므로 단순히 GPS와 무선조종장치를 통한 위치정보에 대한 고려뿐만 아니라 정밀하게 속도와 방향을 조종할 수 있도록 반자동 주행 시스템이 개발되어야 한다고 판단된다. 이는 정확한 위치와 방향을 위한 RTK-GPS 시스템과 세밀한 속도 및 토크 조절을 위한 전동모터 시스템, 주행 오차 보정 및 프리프로그래밍을 위한 알고리즘으로 해결 할 수 있으리라고 판단된다.

또한 장비 조종에 있어서 장비 조종자를 열악한 작업환경에서 탈피시키는 것이 가장 우선시 되어야 한다는 판단 하에 그래픽 유저 인터페이스를 이용한 무선 원격조종의 개발이 필요하다고 고려된다. 장비 조종자에게 장비의 작업 상황 및 절삭면 품질 정보를 실시간으로 제공하는 유저 인터페이스의 개발을 통해 장비의 현장 적용성을 높여야 할 것으로 고려된다.

다. 발생 분진 제거

작업장 환경개선 및 안전성에 대한 요구와 최근 심각하게 대두되는 환경문제로 인하여 건식 절삭시 분진제거에 대한 자동화 소요 수준 또한 매우 높다고 할 수 있다. 또한 품질 측정을 위한 영상 촬영시 분진의 제거는 필수적이다. 따라서 표면절삭 장비에 분진 흡입 시스템을 효과적인 형태로 장착하여 집진 성능이 충분히 발휘되도록 해야 한다.

라. 대상 정보 수집 및 판단

기존의 표면절삭 작업의 경우, 계획을 수립하기 위해서 작업 대상의 일반 정보 및 콘크리트 표면의 평탄성 정보를 사전에 습득하여야 한다. 특히 표면의 평탄성 여부를 측정하기 위하여 절삭 전 프로파일미터 장비의 선행 작업을 통하여 바닥면의 정보를

수집하고 있는 실정이다. 이를 자동화 장비 개발을 통해 작업 단일화를 실시하면 작업 효율 및 생산성을 높일 수 있을 것으로 판단되며, 레이저 등을 이용한 길이 측정의 경우 장비 진동 및 변화가 많은 실외 작업 환경으로 인하여 오차 발생이 예상되므로 10mm 내외의 표면 요철을 효과적으로 인식하여 절삭 정도를 조절하기 위해서는 각도 센서를 이용하여 바닥면의 접지 각도를 인식함으로써 장비 조종에 반영토록 하는 시스템의 개발이 요구된다.

마. 작업 계획 수립

기존의 표면절삭 작업의 경우, 프로파일미터를 이용하여 정보를 수집하고 실제 바닥면과의 비교 분석을 실시하여 주요 작업 대상면을 설정한 후 이를 우선 작업한 뒤, 주변 영역에 대한 절삭을 실시하도록 작업 계획을 수립한다. 본 연구에서는 바닥면의 요철 분석이 절삭과 동시에 이루어지는바 전체 면적에 대한 절삭을 실시하도록 최적 동선을 수립함이 효과적이라 판단된다. 이를 위해 기존 설계 CAD Data 이용 및 현지 측량을 통하여 작업 경로를 설정하여 장비 조종을 위한 시각적 정보를 제공할 뿐만 아니라 실시간으로 장비의 경로를 분석하여 자율 주행 지원을 가능토록 한다.

바. 표면절삭 작업 결과 검사 및 판단

표면절삭작업 이후의 작업 품질을 원거리에서 실시간으로 검사하기 위하여 시각적 확인 장치가 마련되어야만 한다. 하지만 디젤엔진을 장착한 절삭장비의 진동이 예상되고, 절삭 후 콘크리트 표면의 절삭 형상을 확인함으로써 그 결과를 판단할 수 있는바, 진동에 약한 거리 측정 센서보다는 형상 정보 시스템이 보다 효율적으로 판단된다. 형상 정보를 취득을 위해서 카메라 비전 시스템과 이미지 프로세싱 알고리즘이 수반되어야 한다.

3. 자동화 개발을 위한 요소 기술 분석

이와 같은 공종별 자동화 제안을 바탕으로 성공적인 원격조종 콘크리트 표면절삭 시스템을 개발하기 위해서는 기계를 이용한 절삭, 제어, 구동, 품질 센싱, 집진, 작업 계획 등 자동화 소요가 발생한 대상 공종들의 특성 및 한계점을 극복할 수 있는 기능의 결정 및 구체화가 필요하다. 이러한 기능을 핵심 모듈별로 구분하여 개발 장비의

요소기술을 분석해보면 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비는 다음 그림 2-14와 같이 최적 경로계획 시스템, 원격조종 시스템, 그래픽 MMI 시스템, 품질관리 시스템 등 4가지 주요 기술 구성되어야 한다. 모든 작업구간을 커버할 수 있도록 작업계획을 수립하여 최적의 경로계획을 생성하고 생성된 경로에 따라서 원격조종을 실시하고, 실시간으로 장비가 적절히 이동하며 작업을 수행하는지 모니터링하며, 작업한 구간의 품질을 관리할 수 있는 기능을 포함하여야 한다. [Krishnamurthy et al, 1998] [karl et al, 1994]

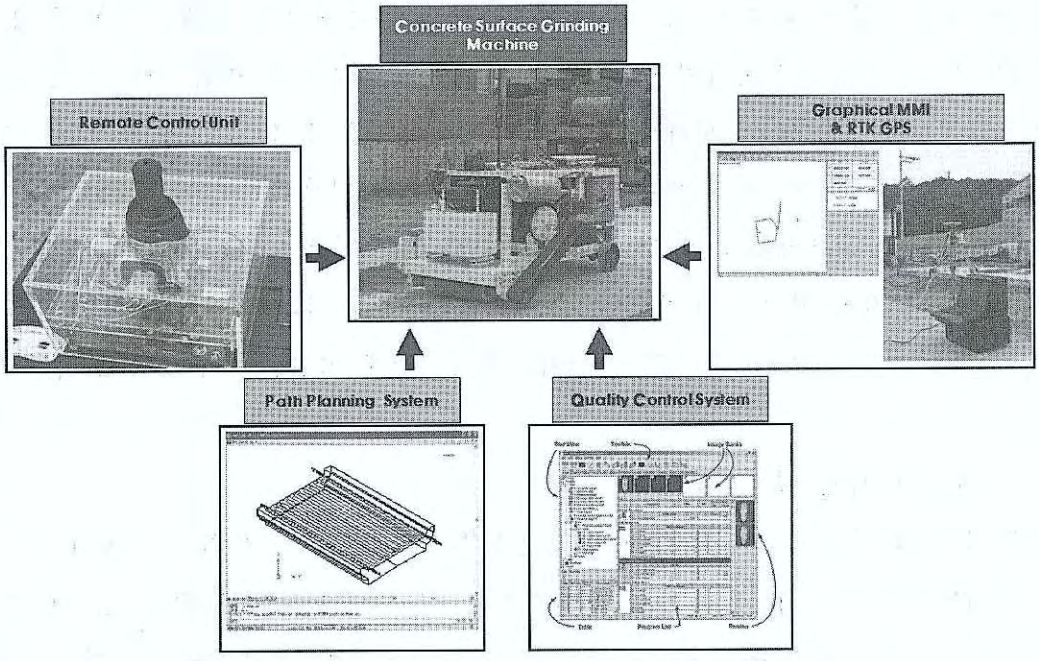


그림 2-14. 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비의 구성

가. 최적경로계획 시스템 기술

자동으로 제어되는 기기의 경로 탐색의 최적화 알고리즘은 여러 분야에서 사용되고 있다. 로봇 청소기, 자율이동로봇 등에서 벌써 경로 탐색의 최적화 알고리즘이 많이 개발되어 사용되고 있으며, 이에 대한 국내외 기술개발 사례를 보면 다음과 같다.

(1) 자율로봇 경로생성 관련 기술개발 사례 (국내)

이러한 기술은 한국 퍼지 및 지능시스템 학회(2002권 215-218)의 자율이동로봇의 경로탐색 및 방향 제어에 관한 연구에서 그 동향을 알 수 있다. 동 연구에서 구현한

시스템은 비전(Vision)시스템을 이용하여 자율 이동로봇의 경로를 탐색하고 추출된 정보로부터 자율 이동로봇의 위치제어 성능을 제시하였다. 일반적인 로봇시스템은 자신이 이동해야 할 목표 지점을 자율적으로 생성할 수 없으므로 다른 시스템의 정보를 이용하여 미로를 탐색하거나 장애물을 인식하고 식별하여 자신의 제어전략을 수립하여야 한다. 그리고 동 연구에서 제시한 시스템은 자율이동로봇의 행동 환경을 호스트 PC인 비전시스템이 로봇의 현재위치, 로봇이 이동해야 할 목표위치, 장애물의 위치와 형태 등을 분석한다. 분석된 결과 값을 RF-Module을 이용해서 로봇에 전송하면 로봇은 그 데이터를 받아서 동작하게 되며 로봇이 오동작 또는 장애물로 인해 정확한 목적지까지 도달하지 못할 때 호스트 PC는 새로운 최단경로를 만들거나 장애물을 회피할 전략을 로봇에게 보내준다. 본 알고리즘은 매우 단순하면서도 실시간 처리에 적용가능하며, 자율 이동로봇의 충돌회피, 최단 경로 생성에 대한 가능성을 제시하였다.

(2) 자율로봇 경로생성 관련 기술개발 살계 (일본)

도쿄 공업대학 대학원 이공 학연(학교-연구소)구과기계 우주 시스템 전공의 히로세 시게오 교수들의 연구 그룹은 이동하는 로봇이 장애물의 뒤편에 있는 사각역의 모습을 예측해 이동 경로를 찾아내는 시스템을 개발했다. 이 로봇은 독자적으로 경로를 탐색하기 위한 지도를 제작하지만, 사각역이 효율적인 움직임의 방해가 되고 있었다. 새로운 시스템에서는 예측 보간으로 불리는 기술로 실측에 가까운 지도를 제작할 수 있도록 했다. 새로운 시스템은 장애물이 많은 옥외에서 이용되는 공사용, 재해 구조용 등 로봇의 효율적 가동에 공헌하는 기술로서 주목받는다. 자율 이동을 하는 로봇은 진행하는 모퉁이를 카메라로 찍어, 그 지도를 제작해 장애물을 피하면서 목적지에 움직인다. 그러나 지도를 만들 때, 목적 방향으로 카메라를 향하면, 수목, 돌 등의 장애물의 정면은 파악살 수 있지만, 사각역이 되는 뒤편을 볼 수 없다. 이 때문에 지도 안에 미계측 부분이 남는다. 이 미계측부를 요인으로 해, 로봇의 움직임은 제약을 받고 있었으며, 시스템은 이 문제를 해결하려고 시도했다. 사각역의 정보를 예측 보간하는 것은 인간의 시각 정보처리를 참고로 했다. 인간은 미지의 경로를 움직이는 경우, 과거에 얻은 지식을 활용하는 것으로 , 정보의 예측 보간을 실시하고 있다. 예를 들면, 인간이 숲 안에서 움직이는 경우, 나무의 겉모양만 보아도 뒤편이 겉과 같이 둥그스름해 전체적으로 원주형을 하고 있는 것을 상상해, 결과적으로 사각역 형상을 예

측할 수 있다. 이것은 인간의 경우 무의식중에 통계적 데이터를 처리해, 반복 출현하기 쉬운 물체 형상 데이터의 지식을 경험적으로 가지고 있고, 새롭게 관측한 단편적 정보를 지식과 대응시키는 능력이 있기 때문이다. 새로운 기술도 이 수법을 응용했다. 구체적으로 영역 내의 물체의 형상을 주위의 전 방향으로부터 계측해, 데이터베이스(DB) 내에 축적한다. 미지의 영역으로 이동했을 경우는 이동하면서 지형을 계측한다. 계측 범위에 사각역이 생겼을 경우, 부분 정보와 대조해 적합한 것을 적용시킴으로써 사각역을 예측한다. 장애물을 통과할 때에 그 물체 뒤편의 정보를 얻을 수 있는 것으로부터, 학습하면서 영리해지는 측면도 가진다. 모델 장애물을 복수 배치한 실험에서 예측 보간한 지도는 실측도와 거의 같은 결과를 출력하여, 시스템의 제품화 가능성을 나타냈다.

나. 원격조종시스템 기술

무선 원격조종 시스템은 콘크리트 표면절삭 장비의 작업 상태를 관찰하기 위한 영상 시스템, 제어/조종을 위한 원격제어기, 무선 모뎀을 이용한 송수신 제어장치로 구성되며, 원격조종 도저의 제어를 위해서는 무선 제어 신호를 처리할 수 있는 비례 제어 방식 유압 밸브 및 컨트롤러가 개발되어 콘크리트 표면절삭 장비에 장착된다.

무선 원격조종 기술에 관하여 특정소출력무선국용 무선설비의 기기는 정보통신부 고시 제 1999-46호(기술적 조건)에 의해 주파수 대역별로 그 사용처가 정해져 있다. 이 무선 기기의 종류는 데이터 전송용 특정소출력무선기기, 무선호출용 특정소출력무선기기, 이동체식별용 특정소출력무선기기, 무선 LAN 용 특정 소출력무선기기, 무선마이크용 특정소출력 무선기기, 무선조정용 및 안전시스템용 특정소출력무선기기 등으로 나뉜다. 이 무선 기기의 종류 중 본 신청기술과 관련된 건설 기계에 적용 가능한 기기의 종류는 무선 조정용 및 안전 시스템용 특정 소출력 무선기기이다. 이는 산업용(무선중장비, 크레인 등)에 적용할 경우 그 적용 주파수 대역이 447.8625~447.9875MHz 의 주파수 대역을 가지며, 주파수허용편차는 7×10^{-6} 이하로 무선조정용 및 안전시스템용 무선기기는 다른 기기의 오동작을 방지하고 다른 기기의 신호에 의한 오동작을 일으키지 않도록 기기별 코드식별기억장치를 갖추어야 한다. 일반적으로 무선 조정용 기기에 적용되기 위해서는 비례제어 조정이 권장되며, 주위 사용 주파수 확인으로 현재 사용하지 않는 주파수 자동 선택 기능이 있어야 하고, 유/무선 겸용 기능이 제공 되어야 하며, 비상정지 시 수신부 출력 차단기능이 권

장되고, RPM 조정 및 원격 시동 기능이 필요하며, 송신기 배터리 만충전 시 12시간 이상 연속 사용이 가능해야 하며, 속도 조절 기능도 필요하다.

다. 그래픽 MMI 시스템 기술

(1) 그래픽 MMI의 정의

Man-Machine Interface (이하 MMI)란 사람과 기계간의 접촉 매체 및 수단을 뜻하며, 사람과 기계간의 통신과 관련된 모든 주제를 포함하는 하나의 연구 분야로도 인식된다. 다시 말해 작동 스위치, 그리고 조종을 위한 컨트롤러 등도 대상 기계와 이를 운용하는 장비 사용자를 연결시켜주는 것도 MMI 인 것이며, 컨트롤러를 효율적으로 배치하고 시각적으로 눈에 잘 띠게 만들며 사용자로 하여금 직관적으로 기계조작을 쉽게 해 줄 수 있도록 만들어 주는 것이 연구 분야로서의 MMI에서 다루는 주제가 된다. 이러한 MMI는 간단한 가전제품에서 뿐만 아니라 우주공간에서의 시설물을 건설하기 위한 로봇의 원격조종을 위해 개발된 기술적으로 매우 복잡한 MMI 까지 그 범위가 매우 넓다. 그러나 일반적으로 자동화 및 로보틱스 분야에서 뜻하는 MMI 란 통상 원격조종 장비 혹은 자동화 장비의 조종을 위한 진보된 형태의 조종 인터페이스 시스템을 뜻하며, Human-Machine Interface 혹은 Man-Machine System으로 불리기도 한다.

이와 같은 MMI를 바탕으로 조종 인터페이스 시스템의 효율적 운용을 위하여 시각적 표현 기술을 MMI 기술과 접목시킨 그래픽 MMI는 장비와 작업환경에 대한 컴퓨터 그래픽 묘사로 보다 나은 공간감각을 운전자에 제공함으로써 크기가 큰 중장비나 원격조종장비를 조종하는데 있어서 조종성을 향상시킬 수 있다. 우주공간에서의 시설물의 건설을 위한 로봇의 원격조종과 핵폐기물 처리를 위한 장비의 원격조종으로부터 시작된 이 기술은 소위 그래픽 조종 인터페이스라 불리며, 시시각각으로 변하는 작업환경과 장비에 대한 그래픽 모델을 실제 상황과 같이 실시간으로 업데이트함으로써 장비조종자로 하여금 장비의 조종을 그래픽환경을 이용할 수 있게 한다. 다시 말해 조종자는 이 기술을 이용하여 크기가 큰 중장비나 원격조종장비를 조종하는데 있어서 향상된 공간감각을 갖게 될 수 있을 뿐만이 아니라, 그래픽 모델을 이용한 장비조종의 실시간 시뮬레이션을 통하여 안전하고 신뢰성 있는 장비조종을 보장할 수 있다. 또한, 그래픽 조종 인터페이스는 시공하고자 하는 시설물의 CAD 데이터와 장비와 작업환경에 대한 그래픽 모델을 합성함으로써 장비조종의 계획, 관련된 측량작

업, 그리고 장비운용의 경과를 기록하는데 있어서 큰 도움을 줌으로써 시공과정의 자동화에 크게 기여할 수 있다.

(2) 건설자동화와 MMI

토목/건축 시설물의 시공 및 유지보수를 포함한 건설작업의 자동화는 건설작업이 제조업에 비하여 큰 힘을 요구하고 작업환경이 정형화 되어있지 않으며, 실외에서 행하여지고 작업 자체의 반복성이 떨어지기 때문에 제조업에서의 공장자동화에 비하여 미약한 실정이다. 이러한 건설 자동화의 난점을 고려하여 볼 때 완전 자동 시스템, 자율 조종 로봇 혹은 프리-프로그래밍 로봇(Pre-programmable robot) 등의 적용은 작업의 특성에 따라 다르긴 하지만 공장자동화 하고 비교해 보았을 때 매우 힘들거나 개발 가능하더라도 개발비용이나 작업시간 등이 현실적이지 못한 경우가 많다.

그러나 건설 산업은 위험한 작업환경으로 인하여 여러 가지 안전사고를 쉽게 유발할 수 있는 환경을 가지고 있으므로 로봇과 원격조종 시스템의 도입을 통하여 이와 같은 산업재해를 방지할 수 있고, 숙련된 건설 인력의 부족 문제와 고령화 문제를 로봇의 도입을 통하여 완화시키며 건설 산업의 이미지를 개선하여 건설 산업 종사자의 수를 증가시키는 결과를 가지고 올 수 있으므로 그 자동화의 중요성을 인식하고 기술개발의 노력을 꾸준히 매진해야 한다.

이러한 상황에서 고려해보면 건설 산업의 특성상 건설 자동화는 로봇 혹은 장비조종의 일부를 조종자에게 맡기는 반자동 시스템이 문제 해결을 위한 좋은 대안이 될 수 있다. 선진국의 예를 살펴보면 일본의 Kajima 사의 콘크리트 바닥마감용 로봇의 경우 많은 노력을 기울여 콘크리트 바닥을 조종자의 도움 없이 돌아다닐 수 있는 자율항법 (Self-Navigation) 시스템을 가진 완전자동 시스템을 개발하였지만 생산성의 문제 때문에 이를 포기하고 사람이 원격조종을 하여 로봇의 경로결정을 하되 트라월링(trowelling, 흙손작업) 및 충돌방지 등의 기능은 로봇이 수행하게 되는 반자동 원격조종 시스템을 선택하였다. 이는 기계와 조종자가 하나의 협력 체제를 이루었을 경우가 완전히 기계의 자동화에 의존했을 때 보다 나은 성과를 보인 예로서, 이처럼 건설 환경에서는 인간이 보유한 능력과 기계가 보유한 능력을 적절히 조합하여야 하며, 진보된 형태의 MMI 가 이 부분에 크게 기여할 수 있다.

그리고 앞에서 언급한 바와 같이 조종자와 장비의 단순한 통신의 수준을 넘어서서 자동화와 연관 지어서 지칭되는 MMI의 형태로는 1) 기존의 조종방식에서 벗어나서

작업의 속도 및 품질을 향상시킬 수 있는 혁신적인 조종명령 입력도구, 2) 조종자에게 작업 상황 및 환경에 대한 이해를 돕는 도구 혹은 시스템, 3) 기계(컴퓨터)와 조종자의 협력을 통해서 주어진 작업을 수행하게 되는 협력체제 등이 있을 수 있다. [과학기술부, 1998]

(3) 건설 매니퓰레이터(Manipulator) 의 조종을 위한 MMI

유압에 의해 작동되는 다목적용 건설 매니퓰레이터의 조종성을 향상시키기 위해서 세 가지의 MMI 가 미국의 텍사스 주립대학교 건설자동화 연구실에서 개발되었다. 그림 2-15에 보인 바와 같이 매니퓰레이터는 플랜트 건설시의 파이프 설치 등에 쓰이는 총 8개의 자유도를 가진 중장비다. 이 매니퓰레이터의 자유도는 전체 몸체의 회전, 크레인 붐의 리프트(Lift) 와 텔레스코프(Telescope : 길이를 길게 늘였다 줄였다 하는 동작), 매니퓰레이터 팔의 리프트(Lift) 와 텔레스코프(Telescope), 그리고 엔드이펙터(End Effector : 파이프 혹은 다른 물체를 실제적으로 쥐는 부분)의 3개의 회전 자유도이다. 이들 8개의 해당 조인트에 할당된 유압밸브에 의해 조종이 되며, 조종자는 그림 2-16의 8개의 자유도는 수동 레버를 이용하여 각각의 조인트를 조종하여야 했다. 그러므로 조종자는 한 번에 단지 두 개의 조인트만을 양손을 이용하여 움직일 수 있었으며, 레버의 숫자가 너무 많아 매니퓰레이터의 조종이 혼란스럽고 힘들었다.



그림 2-15. 건설 매니퓰레이터

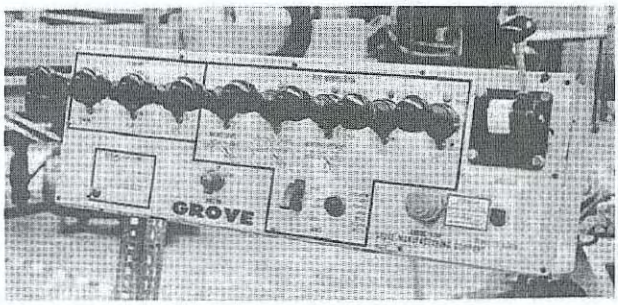


그림 2-16. 매니퓰레이터 조종을 위한 수동레버

이러한 문제를 극복하기 위하여 그림 2-17과 2-18에 보이는 Ergo-Stick을 개발하였다. 그림 2-17는 Ergo-Stick을 매니퓰레이터 그래픽 모델에 연결하여 조종에 대한 시뮬레이션을 하는 모습이다. 이 Ergo-Stick은 복잡한 매니퓰레이터의 조종을 훨씬 쉽게 하였는데 그림 2-15와 같이 왼팔 조종대로는 크레인에 할당된 3개의 자유도를 그리고 오른팔 조종대로는 매니퓰레이터에 할당된 다섯 개의 자유도를 직관적으로 조종할 수 있었으며, 기존의 수동레버 조종시스템과는 달리 2개 이상의 조인트를 동시에 조종함으로써 조종성을 향상 시킬 수 있었다.

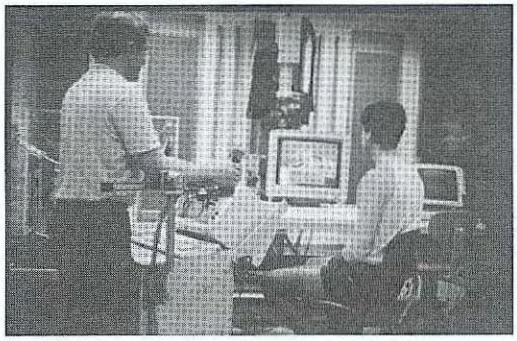


그림 2-17. Ergo-Stick을 이용한 원격조종

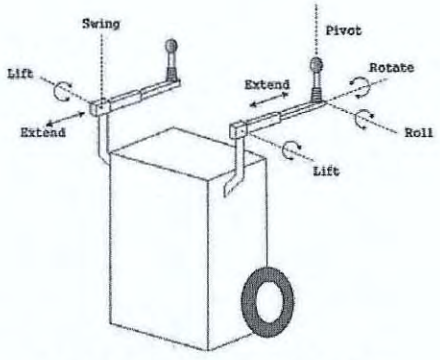


그림 2-18. Ergo-Stick 의 구조

Ergo-Stick 다음세대로서 개발된 MMI 는 그림 2-19에 보인 스페이스볼(SpaceBall) 이다. 이 스페이스볼은 전후좌우로 밀고 당김으로서 그리고 위로 당기고 아래로 누름으로써 매니퓰레이터 팔의 리프트와 텔레스코프 그리고 몸체의 회전에 대한 조종을 하였으며, 엔드 이펙터가 가진 3개의 회전 자유도는 그림 2-18에 보인

바와 같이 x, y, z 축을 중심으로 회전하여 줌으로써 이룰 수 있었다. 그러므로 이는 매니퓰레이터의 조종을 더욱 직관적이고 용이하게 만들었다.

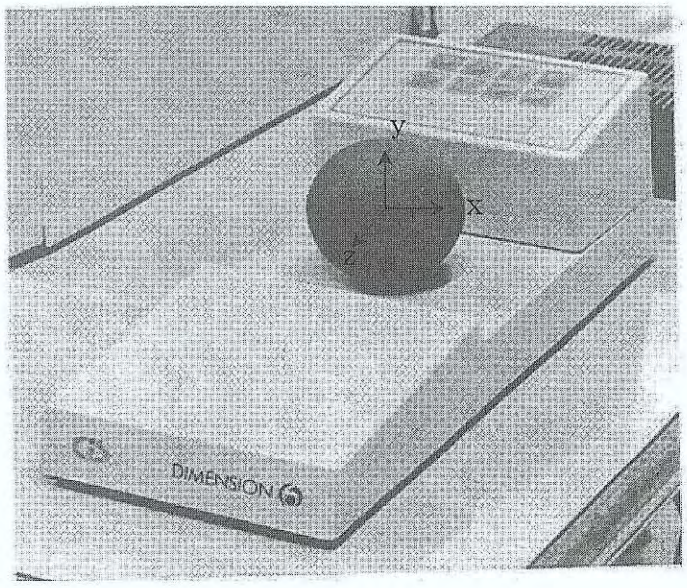


그림 2-19. 스페이스볼(SpaceBall)

또한 이 스페이스볼을 이용하여 Resolved Motion Control을 위한 몇 가지의 모드 또한 개발되었는데 이는 예를 들어 엔드이펙터가 쥐고 있는 파이프의 방향(Orientation)을 바꾸지 않으면서 직선운동을 하는 경우가 그중 하나이다. 이러한 움직임을 위해서는 몇 개의 조인트가 동시에 움직여야 하는데 이를 위한 Inverse Kinematics 계산은 컴퓨터에 의해 행하여 졌고 조종자는 단지 스페이스볼을 원하는 방향으로 밀거나 당기기만 하면 되었다. 앞에 설명한 두 가지의 MMI는 전술한 세 개의 형태의 MMI 중에서 첫 번째인 '기존의 조종방식에서 벗어나서 작업의 속도 및 품질을 향상시킬 수 있는 혁신적인 조종명령 입력도구' 의 범주에 속하는 것이다.

(4) 화력 발전소 유지 보수 로봇

앞에서 살펴본 개선된 조종명령 입력도구에 컴퓨터 그래픽을 이용한 MMI를 접목함으로써 그래픽 조종 인터페이스도 개발되었다. 그림 2-20에서와 같이 로봇은 화력발전소의 유지보수 작업의 하나인 용재괴(Clinker) 분쇄작업을 위해 제작되었다. 갈탄을 사용하는 화력발전소의 용광로는 갈탄 연소과정 후의 부산물인 용재괴를 산출

하며, 이 용재괴는 용광로의 바닥부분인 호퍼구조물에 쌓이게 되는데, 그림 2-20에 보인바와 같이 로봇을 호퍼구조물에 장착시킨 후 공기압 해머가 부착된 로봇팔을 움직여서 크기가 큰 용재괴를 분쇄하게 된다. 이 로봇은 원격조종을 필요로 하였는데, CCTV에만 의존하여 로봇을 원격조종할 경우 조종자가 정확한 공간감각을 갖기 힘들기 때문에 조종의 효율성이 떨어지며 최악의 경우 작업 중 사고로 까지 이어질 수 있었다. 더욱이 용광로 호퍼 구조물 안의 환경은 먼지와 재 때문에 CCTV의 화질 또한 정상적인 상황보다 좋지 않게 될 수 있기 때문에 그래픽조종 인터페이스가 개발되었다.

개발된 그래픽 조종 인터페이스는 그림 2-21과 같이 용재괴의 위치정보를 포함한 호퍼 환경과 로봇팔의 3차원 그래픽 모델을 실시간으로 업데이트 해줌으로써 조종자에게 향상된 공간감각을 공급하여 주었고 또한 이들 모델의 실시간 해석을 통하여 로봇팔과 호퍼구조물의 충돌을 사전에 방지하여 줌으로써 로봇의 안전한 조종을 보장할 수 있었다. [김재호외 3인, 2003]

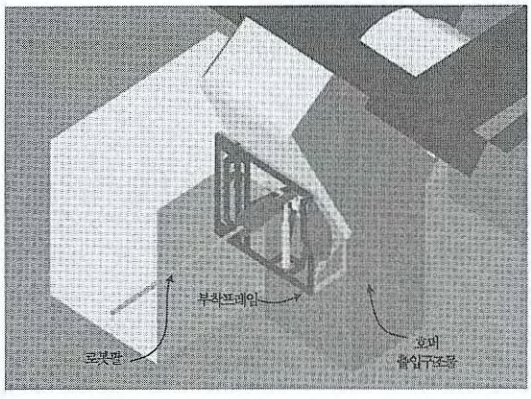
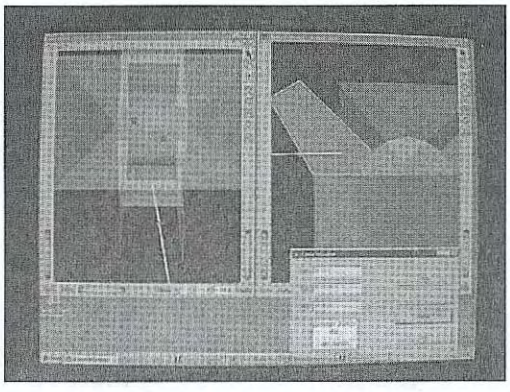


그림 2-20. 용재괴 분쇄로봇의 그래픽 모델


그림 2-21. 그래픽 콘트롤 인터페이스

또한 로봇의 효과적인 원격조종을 위하여 개발된 MMI는 MMI의 세 가지 기능을 모두 가지는 하나의 시스템으로 그림 2-22에 보인 바와 같이 콘트롤센터에 부착된 조이스틱을 통하여 조종명령 입력이 매우 직관적으로 이루어 졌다. 조이스틱의 세 개의 버튼은 로봇팔의 전·후진과 공기압 해머의 작동을 위해 이용되었으며, 로봇 팔이 목표하는 방향(Orientation)은 조이스틱을 전후좌우로 조작함으로써 바꾸어 준다.

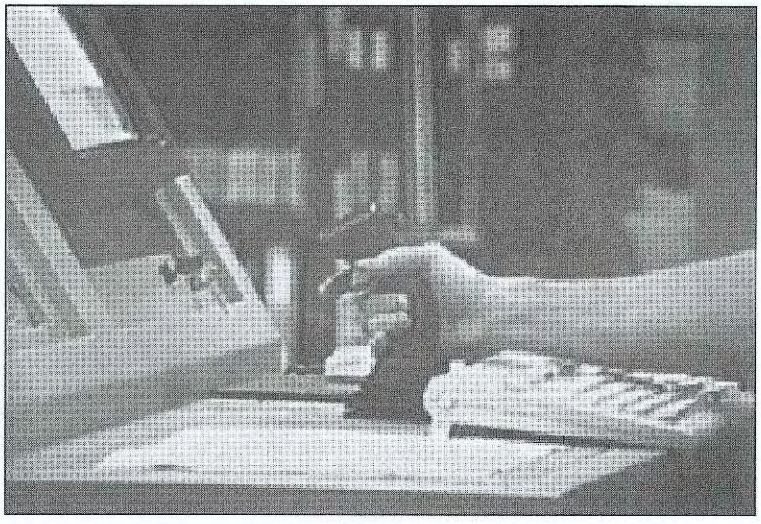


그림 2-22. 로봇 조종을 위한 조이스틱

(5) 토공자동화 시스템

그래픽을 이용한 MMI의 또 다른 예로서 미국 Trimble사와 Caterpillar사의 토공자동화 시스템을 들 수 있다. 이들 시스템은 불도저, 다짐기, 굴삭기 등의 토공장비의 실시간 위치정보를 GPS 시스템을 이용하여 실시간으로 업데이트 하여 그림 2-23과 같이 장비 내에 설치된 모니터 상에 CAD 설계정보와 오버랩하여 보여줌으로써 장비 운전자에게 절토위치와 성토위치에 대한 정보를 제공하여 준다. 이 MMI를 이용하면 기존의 토공 작업 시 요구되던 측량말뚝을 설치할 필요 없이 조종자는 어느 부분을 절토 혹은 성토를 해야 할 지를 그래픽정보에 준하여 알 수 있게 되므로 매우 효율적인 토공작업을 수행할 수 있게 된다. 그림 2-23은 원지반과 함께 절·성토 면에 관한 정보를 보여주는 그래픽 MMI 이며, 그림 2-24는 GPS를 이용한 토공장비의 위치정보를 업데이트 방식을 개념적으로 보여주고 있다. [김문상외 2인, 2002]

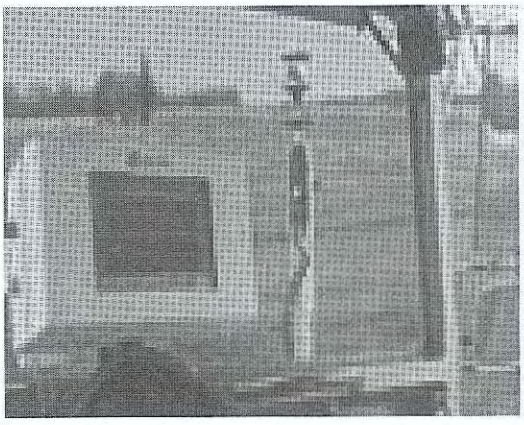


그림 2-23. 토공자동화를 위한 MMI

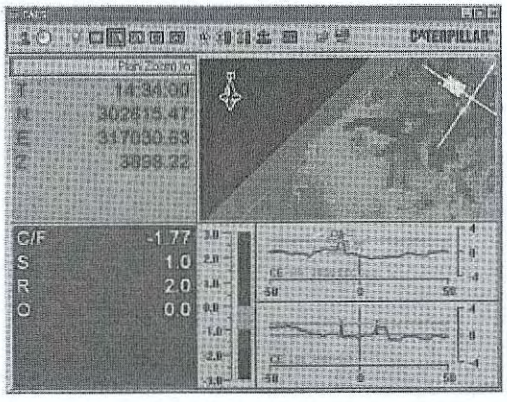


그림 2-24. 그래픽 MMI 스크린

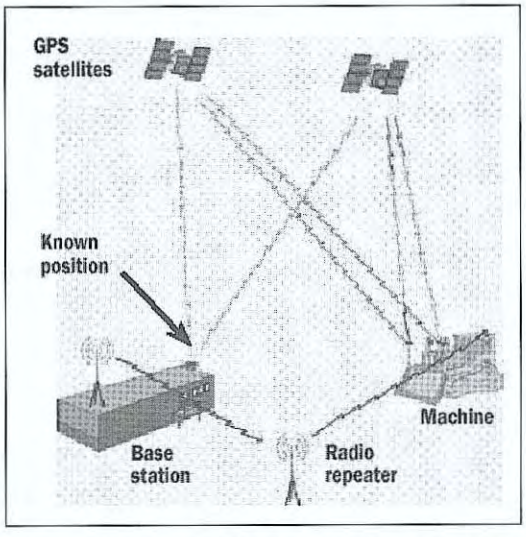


그림 2-25. GPS를 이용한 장비의 위치 파악

라. 품질관리 시스템 기술

현재 시멘트 콘크리트 포장 및 아스팔트 콘크리트 포장 노면의 평탄성을 측정하는 방법으로 주로 그림 2-26과 같은 7.6m 프로파일미터에 의한 포장 평탄성 시험방법(KS F 2372)이 사용되고 있다. 프로파일미터에 의한 측정방식은 일반 사용자가 쉽게 측정이 가능하나 후처리 작업에 많은 시간이 소요되므로 7.6m 프로파일미터를 사용한 평탄성 시험방법은 실시간 작업면의 품질제어 시스템으로 자동화하기에는 무리가 있다. 도로 평탄성 측정과는 달리 도로의 표면결함 측정방식은 표면결함 육안 조사의 문제점을 해소하는 차원에서 많은 기관들이 ARAN, ARIA와 같은 자동포장상태 조

사장비를 개발 및 사용하고 있다. 특히 초음파 센서 방식의 소성변형 조사 자동화 장비 및 비디오 방식의 균열 검출 장비는 이미 국내에도 도입되어 사용되고 있다. 도로의 표면결함 중 소성변형 측정 장비로는 초음파 센서 방식과 레이저 방식이 주로 사용되고 있으며, 노면의 균열을 검출하는 장비로는 필름 및 비디오 방식, 레이저 방식 및 디지털 방식이 주로 사용되고 있다.

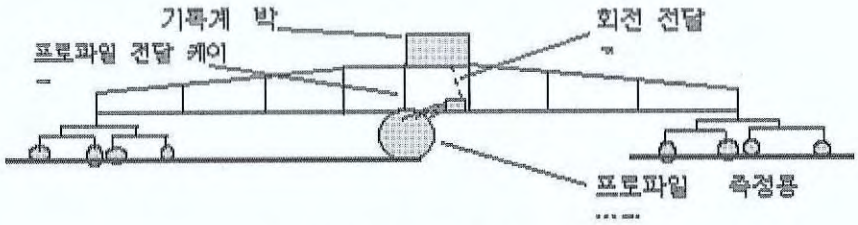


그림 2-26. 7.6m 프로파일미터



그림 2-27. ARIA(Automated Road Image Analyzer)

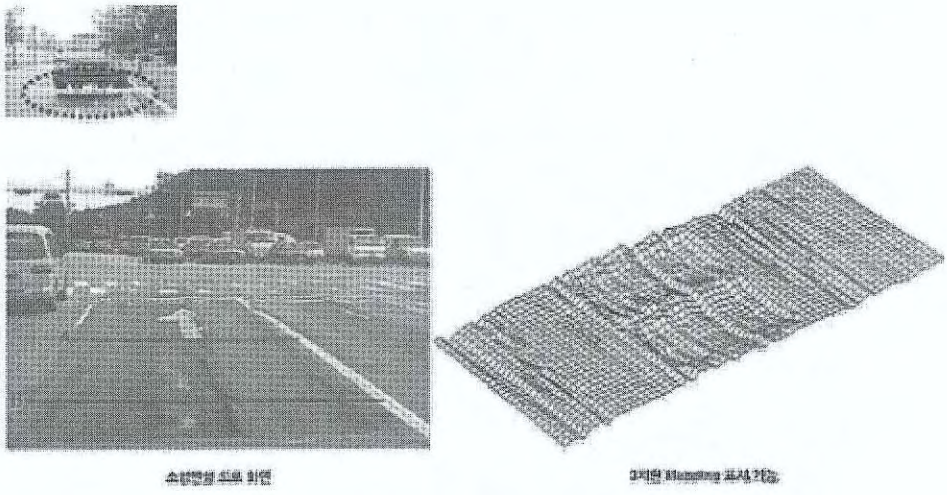


그림 2-28. ARIA를 이용한 소성변형 측정 예

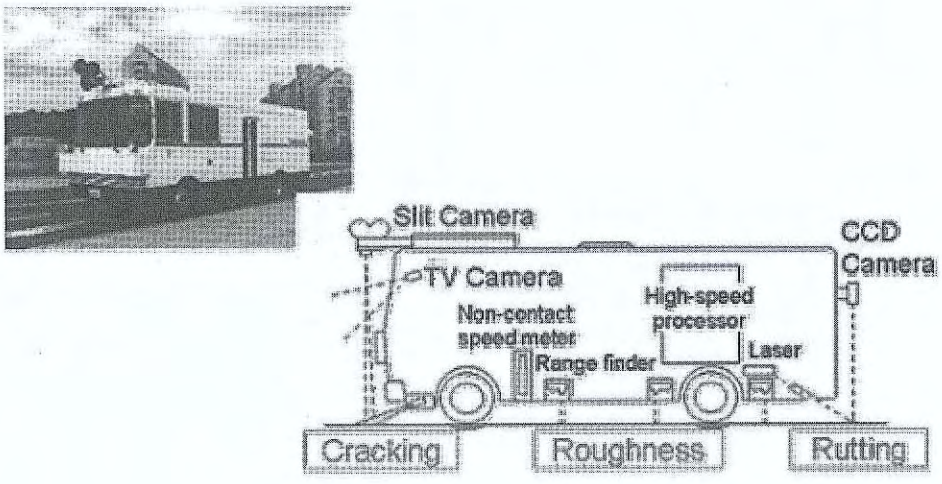


그림 2-29. ROAD-MAN (Kokusai Kogyo) - 일본

따라서 그림과 같은 도로 품질 조사 자동화 장비와 같이 본 개발 장비에도 품질제어 시스템 구축을 위해서는 머신비전시스템이 요구되어 진다.

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

원격조종 콘크리트 표면절삭 장비는 작업자가 소음과 분진 등과 같은 위험환경요소로부터 벗어나, 경로계획 및 GPS 위치정보 시스템을 결합하여 절삭되어질 위치와 거리를 정확하게 파악하고 품질제어 시스템과의 연동으로 절삭품질을 판단하며 효과적으로 콘크리트 표면절삭을 하기 위한 자동화 장비이다. 이를 위하여 원격조종에 적합한 콘크리트 표면절삭장비 모체와 이를 효과적으로 제어하기 위한 무선조종 시스템 및 그래픽 MMI 시스템, 건설현장 상황에 따른 최적의 경로계획 수립과 작업 중 실시간으로 이를 유지시켜주는 최적 경로계획 시스템, 작업 후 콘크리트 바닥면의 품질관리 영상처리 시스템 개발이 요구되어 진다. 따라서 본 연구팀에서는 2년에 걸쳐 이와 같은 주요 5개 핵심 시스템을 유기적으로 연계하여 개발을 진행하였다. 그리고 5개 주요 시스템의 기능적 통합을 통하여 표면절삭장비 모체에 절삭 장비의 기본 성능을 구현하는 구동장치뿐만 아니라 제어, 통신, 품질관리 등의 원격조종을 위한 기능을 담당하는 하드웨어를 통합, 구축하였으며, 원격의 콘트롤센터에서 장비조종자가 PC와 원격 컨트롤러를 통해 효과적으로 장비를 제어할 수 있는 원격조종 지원 소프트웨어를 개발하였다.

또한 이러한 개발 과정과 동시에 표면절삭 원격조종 시스템을 효율적으로 운용하기 위한 통합 시스템의 운용 계획 및 방안을 수립하고 개발 결과를 바탕으로 최종 운영 절차를 구체화하였으며, 목표 성능을 발휘하기 위한 성능테스트를 지속적으로 실시함으로써 성능을 개선하고 완성도를 향상시켰다. 그리고 최종적으로 개발된 원격조종 콘크리트 표면절삭 시스템의 현장 실험을 통하여 그 성능을 구체화하고 차 후 연구 개발의 활용 계획 및 개선점을 도출하였다.

제 1 절 원격조종 콘크리트 표면절삭 시스템의 설계 및 개발

1. 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 모체 개발

원격조종 콘크리트 표면절삭 장비의 개발을 통한 생산성 및 절삭품질 향상과 유해환경 노출에 따른 작업원의 안전성 증진의 목표를 실현할 수 있도록 장비의 각 요소에 적합한 항목을 선정하도록 한다. 개발 장비의 세부 항목에 대하여 그림 3-1과 같은 절차를 따라 개발 장비 설계안을 선정하였으며, 1차 제작 후 계속적인 테스트를 통해 성능 개선 등을 도모하였다.



그림 3-1. 세부항목 선정 절차

가. 세부 항목 선정을 위한 방법론

표면절삭 작업은 기계경비를 제외한 총 작업비용 중 인건비의 차지 비율이 상당히 높은 노동집약적인 특성을 지니고 있으며 또한 장비 조종자의 숙련도 차이에 의해 품질 및 작업 생산성이 크게 영향을 받는 작업이므로 이를 보완하기 위해 장비 모체의 세부 항목 선정 시 이러한 요소를 고려하여 장비 모체의 세부 항목 선정을 위한 기본

방향을 수립하였으며, 세부 항목 선정을 위해 수립된 기본방향은 다음과 같다.

(1) 장비의 원격 조종이 용이한 대안을 선정한다.
(2) 유해환경 노출에 따른 작업원의 안전성을 증진시킬 수 있는 대안을 선정한다.
(3) 장비의 유지관리가 용이한 대안을 선정한다.
(4) 현재 실시되고 있는 표면절삭 작업에 비해 더 나은 생산성과 품질을 확보할 수 있는 대안을 선정한다.

다음으로 장비의 세부 항목별 필수적인 기능을 만족하며 본 장비에서 활용 가능한 대안을 연구진 및 자문단의 협의를 통해 도출하였으며, 각 항목별 도출된 대안은 다음의 표 3-1과 같다.

표 3-1. 각 항목별 대안창출 결과

항 목	대안1	대안2	대안3
엔진형식	디젤엔진	가솔린엔진	-
후륜구동 방식	유압모터 방식	전기모터 방식(AC)	전기모터 방식(DC)
동력장치	별도 발전기 사용	제너레이터 사용 (전원 직접 공급)	제너레이터 사용 (충전식 배터리 병행)
방향전환 방식	조향장치 사용	뒷바퀴 굴림차 이용 (앞바퀴 고정)	뒷바퀴 굴림차 이용 (앞바퀴 자유)
그라인더 형식	커터날 형식	그라인더 형식	스크류 형식
절삭 방식	습식 절삭 (살수 장치 포함)	건식 절삭 (집진 장치 포함)	
그라인더 구동방식	벨트 구동	유압모터 구동	
그라인더 높낮이 조절	유압실린더 사용	장비 모체 상하조절	
절삭 방향	순방향 절삭	역방향 절삭	

다음으로 장비의 각 항목별 도출된 대안을 평가하여 본 표면절삭 장치에 적합한 대안을 이끌어 내기 위해 대안을 평가할 수 있는 평가기준을 연구진의 토의를 거쳐 선정하였으며, 각 세부항목별 선정된 평가기준에 대해 항목에 대한 평가기준의 중요도를 고려하여 각 평가기준의 비중 합이 100이 되도록 평가기준의 비중을 결정하면 그 결과는 다음 표 3-2와 같다.

표 3-2. 각 항목별 대안창출 결과

항 목	평가기준1	평가기준2	평가기준3	평가기준4
엔진형식	성능	유지관리성	안정성	환경영향성
	50	20	20	10
후륜구동 방식	성능	호환성	안정성	사용용이성
	40	30	20	10
동력장치	호환성	성능	안정성	유지관리성
	40	30	20	10
방향전환 방식	사용용이성	성능	호환성	안정성
	30	30	30	10
그라인더 형식	성능	호환성	안정성	유지관리성
	30	30	30	10
절삭 방식	환경영향성	용이성	유지관리성	안정성
	50	30	10	10
그라인더 구동방식	성능	호환성	안정성	유지관리성
	30	30	30	10
그라인더 높낮이 조절	사용용이성	성능	호환성	안정성
	30	30	30	10
절삭 방향	성능	안정성	사용용이성	호환성
	40	30	20	10

나. 세부 항목별 대안 선정 결과

전 단계에서 연구진에 의해 결정된 배점에 의해 세부항목의 평가기준별로 각 대안

의 장·단점의 비교·분석을 실시하여, 대안별 배점을 주어 각 배점의 합계를 비교 세부항목의 대안을 결정한다.

(1) 엔진 형식

엔진은 가장 중요한 장비 구성요소로써, 그라인더의 회전력 제공과 집진기 및 제너레이터를 운용하기 위한 핵심 unit 이다. 본 장비에 적합한 엔진을 적용하기 위하여 다음의 두 엔진 형식을 비교하여 보았다.

표 3-3. 엔진 형식 제안

구분	대안 1	대안 2
	디젤엔진	가솔린엔진
장점	- 최대 토크가 큼 - 유지관리비가 저렴함 - 초기 비용 저렴	- 부피가 작음 - 초기비용 높음 - 사용성 우수
단점	- 진동이 심함 - 소음, 매연이 심함	- 최대 토크가 작음 - 유지비용 높음 - 초기 구입비용 불리

본 장비는 절삭장치를 콘크리트면에 접촉시켜 절삭시키므로 커터날의 축이 충분한 회전속도뿐만 아니라 회전력을 가져야 하므로 최대 토크가 큰 디젤 엔진이 가솔린 엔진에 비해 본 장비에 적합한 것으로 판단되었으며, 또한 추후 장비의 실용화를 위해 장비의 제작단가가 싸고 또한 장비 사용자의 유지관리비용 측면에서도 디젤 엔진의 사용이 적합하다고 판단되었다. 따라서 2400CC(140마력 상당)의 디젤엔진을 본 표면 절삭 장비의 엔진으로 선정하였다.

표 3-4. 엔진 형식 대안의 평가

평가항목	대안 1(디젤 엔진)	대안 2(가솔린엔진)
성능(50)	40	30
유지관리성(20)	18	16
안정성(20)	16	18
환경영향성(10)	6	10
합계(100)	80	74

(2) 후륜구동 방식

본 장비는 엔진의 활용성을 극대화 하고 구동의 속도 조절성과 유용성을 위하여 장비 후륜에 별도의 모터를 구성하였다. 모터 방식을 도입함으로써 엔진의 출력에 영향을 주지 않고 절삭력 및 집진력의 성능이 유지되며, 전자제어 시스템으로 속도를 사용자의 요구에 따라 조절할 수 있다. 구동 모터의 선택을 위하여 다음 표에서와 같이 형식별 모터 성능을 비교분석 하였다.

표 3-5. 후륜 구동 방식의 제안

구분	대안 1	대안 2	대안 3
	유압모터 방식	전기 모터 방식 (AC)	전기 모터 방식 (DC)
장점	- 구동력이 뛰어남 - 대형 중량 장비에 적합	- 높은 에너지 효율 - 소형 경량 장비에 적합 - 저속에서 안정	- AC 방식과 유사 - 웜기어모터 사용시 출력 조종을 통한 제어에 유리
단점	- 저속에 불안정 - 온도변화에 민감 - 장시간 사용시 유압에 영향 - 유압동력 필요	- 유압모터에 비해 힘이 부족 - 전원공급장치 필요	- DC 배터리 필요

유압모터는 장비 이동을 위한 충분한 성능을 발휘할 것으로 예상되나, 유압모터 운용을 위한 부가적인 유압시스템이 요구되며, 특히 미세 조절시에는 전기 모터가 상대

적으로 유리하다 판단된다. 특히, 본 장비는 작업인부가 운전을 하던 기존의 방식과 달리 원격 조종이 가능하여 일정시간 이상 지속적으로 작업을 실시하게 되므로 모터를 장시간 사용하게 된다. 따라서 유압모터 방식은 본 장비에 불리하다고 판단된다. 또한 소형 경량의 전기모터가 장비의 공간 활용에도 유리하다. 특히 DC 모터를 이용할 경우 충전 배터리 사용으로 인해 엔진 미 구동시에도 장비 이동이 가능하다. 그러나 1 ton 내외로 예상되는 장비의 중량으로 인해, 특히 웜기어를 사용하지 않는 AC 모터 사용시에 절삭회전력에 의한 성능 저하가능성이 있으므로 절삭회전력의 영향 정도에 따라 별도의 DC 시스템 적용여부를 결정하기 위한 성능 테스트가 필요하다. 그러므로 후륜 구동 방식과 전원 장치의 복합적으로 고려하여 시스템을 갖추어야 한다.

표 3-6. 후륜 구동 방식 대안의 평가

평가항목	대안 1	대안 2	대안 3
성능(40)	40	36 (테스트 필요)	40
호환성(30)	21	30	24
안정성(20)	18	18	18
사용용이성(10)	8	9	10
합계	87	93	92

(3) 발전 장치

장비의 사용을 위하여 구동장치에 사용되는 배터리의 지속적인 충전이 요구되어진다. 이는 발전기를 통한 충전으로 해결이 가능하며 장비에 별도의 발전기를 추가하여 구동전원을 공급하거나 엔진을 이용한 제너레이터를 적용하는 방법을 고려하였다.

표 3-7. 전원 장치의 제안

구분	대안 1	대안 2	대안 3
	별도 발전기 사용	제너레이터 사용 (전원 직접 공급)	제너레이터 사용 (충전식 배터리 병행)
장점	- 절삭작업과 관계없이 일정 전력 발생	- 가격 저렴 - 장비의 공간활용성 증진 - 추가 장치 사용 유리	- 엔진 미구동시 전원 사용 - 공간 활용 유리
단점	- 장비의 공간 활용 저하 - 추가 비용 발생	- 절삭과정에서 엔진에 과부하 발생 시 전력량 변동 우려	- 전력 부족 가능

별도의 자동화장치뿐만 아니라, 후륜구동방식에 사용되는 전기모터로 인해 개발 장비의 전원장치는 충분한 용량의 전원이 공급되어야 한다. 또한 장비의 공간을 효율적으로 활용하여야 하므로, 후륜구동 전기모터을 위한 제너레이터 방식으로 설계하는 것이 별도의 엔진을 사용하는 것보다 유리하다고 판단된다. 그러나 엔진 출력에서 전력을 직접 발생시키는 경우 제너레이터에 의해 생산되는 전력량의 변동 우려가 있으므로 테스트를 통해 절삭 깊이가 1cm 내외에서의 전력 공급 안정성을 테스트 하여 엔진에 과부하 발생가능성을 점검함으로써 제너레이터와 배터리 병행 여부, AC 모터 사용 및 DC 모터 사용 여부를 결정하기로 하였다. 단 엔진 시동을 위한 배터리는 기본적으로 장비에 포함한다.

표 3-8. 전원 장치 대안의 평가

평가항목	대안 1	대안 2	대안 3
호환성(40)	28	40	36
성능(30)	30	27	27
안정성(20)	18	14 (테스트 필요)	20
유지관리성(10)	9	10	8
합계	85	91	91

(4). 방향전환 방식

콘크리트 절삭의 범위는 대부분 전면을 대상으로 하기 때문에 작업 특성상 비절삭면이 발생하지 않도록 해야 한다. 따라서 절삭면과 후속 작업의 절삭면의 경계는 일치하도록 하며, 이는 회전이 자유자재로 이루어 져야만 가능한 작업이다. 또한 본 장비는 1ton에 가까운 무게를 지니고 있으며, 하중을 견디면서 회전이 가능해야 한다. 최적의 조향방식을 적용하기 위하여 다음의 표에서 각 형식별 장점, 단점을 비교하여 보았다.

표 3-9. 방향전환 방식의 제안

구분	대안 1	대안 2	
	조향장치 사용	뒷바퀴 굴림차 이용 (앞바퀴 고정)	뒷바퀴 굴림차 이용 (앞바퀴 자유)
장점	- 장비의 신뢰성 및 안정성 우수	- 별도의 조향장치 불필요	- 별도의 조향장치 불필요 - 적은 뒷바퀴 구동력이 요구됨
단점	- 별도의 조향장치 필요	- 회전력을 충분히 발휘하기 위한 뒷바퀴 구동력 필요	- 실제 회전 정도를 정밀히 예측하기 힘듦

장비의 방향전환 방식으로 별도의 조향장치를 사용하는 것에 비해 전기모터를 사용하여 두 바퀴 굴림차를 이용하는 것이 내구성 및 장비의 안정성에 불리할 수 있으나, 추가적인 유압 조향 시스템을 필요로 하지 않으므로 장비 구성에 유리하며, 원격 조종을 통한 장비의 정확한 방향전환에 적용 가능하다 예상된다. 그러나 바퀴 굴림차를 이용한 조향 시스템이 많은 로봇 장비에서 적용되었다 하더라도 절삭장비의 중량 및 무게 배분에 따라 장비 후면부에 위치한 후륜장치 굴림 차로만 방향을 전환하기에 무리가 있을 수 있으므로 충분한 성능을 발휘하는지에 대한 테스트가 필요하다고 판단된다.

표 3-10. 방향전환 방식 대안의 평가

평가항목	대안 1	대안 2	대안 3
사용용이성(30)	24	27	27
성능(30)	30	24 (테스트 필요)	27 (테스트 필요)
호환성(30)	24	27	27
안정성(10)	10	8	9
합계	85	86	90

(5) 그라인더 형식

그라인더는 절삭을 수행하는 가장 근본적이고 핵심적인 부품이며, 마모에 강하고 절삭 품질이 뛰어나며 엔진의 출력변화에 큰 영향을 주지 않는 방식을 선택해야 한다.

표 3-11. 그라인더 형식의 제안

구분	대안 1	대안 2	대안 3
	커터날 방식(수직)	그라인더 방식(수평)	나선형 배열 방식
장점	- 절삭시 전륜 역할 - 절삭 품질이 가장 뛰어남	- 상대적 저렴한 가격	- 저렴한 가격 - 절삭시 전륜 역할
단점	- 구입비가 비쌈	- 유압모터 다수 필요 - 높낮이 일괄 변환장치 필요 - 절삭시 진행방향에 영향 의심	- 절삭시 진행방향에 영향 의심 - 진동 발생이 심함

기존의 다수의 다이아몬드 커터날을 수직으로 겹쳐 배열하여 그라인딩 하는 방식은 많은 커터 수가 필요하여 고가의 구입비가 필요하고, 하나의 커터날 교체시에도 전체의 커터날을 교체해야 되므로 비효율적이나, 절삭작업시 커터날이 전륜역활을 하게 되어 장비의 조작에 유리하고, 엔진 회전력을 그대로 이용할 수 있을 뿐 아니라

순간 절삭면이 가장 넓고 절삭깊이 조절도 가능하여 타 방식에 비해 절삭성능이 우수하다. 또한 커터날과 바닥면이 수직을 유지하는 방식은 유사 작업인 그루빙 작업에 적용 가능하다.

표 3-12. 커터날 형식 대안의 평가

평가항목	대안 1	대안 2	대안3
성능(30)	30	24	27
호환성(30)	27	21	27
안정성(30)	27	24	21
유지관리(10)	7	8	8
합계	91	77	83

(6) 절삭 방식

표면절삭 작업의 특성상 환경오염 유발 가능성이 매우 높아 이를 보완하기 위한 절삭 방식 선택이 필요하다고 판단된다.

표 3-13. 절삭 방식의 제안

구분	대안 1	대안 2
	습식절삭	건식절삭
장점	- 작업시 발열 최소화 - 그라인더 소모 적음 - 절삭시 부하가 적게 걸림	- 환경유해물질 발생 차단 - 작업장 환경의 개선 - 살수 장치 필요 없음
단점	- 환경유해물질(슬러지) 배출 - 살수 장치 및 보조 작업 필요	- 분진발생으로 인한 집진장치 필요 - 건식 전용 그라인더 필요 - 그라인더 냉각장치 필요 - 절삭시 부하가 많이 걸림

습식 절삭방식을 채택 시에는 절삭작업 도중 먼지발생 저감 및 그라인더 날의 발열

억제를 위해 살수를 실시하나 이로 인해 환경유해물질인 슬러지가 발생되므로 환경오염을 줄이기 위해 건식 절삭방식을 채택하며, 건식절삭방식을 채택함으로써 발생할 수 있는 그라인더 부하 발생을 최소화하기 위한 대책이 강구되어야 한다. 또한 발생하는 분진을 제거하기 위해 집진장치를 추가해야한다.

표 3-14. 절삭 방식 대안의 평가

평가항목	대안 1	대안 2
환경영향성(50)	30	40
용이성(30)	27	30
유지관리성(10)	9	7
안정성(10)	9	7
합계	75	84

(7) 그라인더 구동 방식

소요의 절삭력을 얻기 위하여 엔진으로부터 발생되는 회전력을 효과적으로 전달하는 매개방식을 적용할 필요가 있다. 엔진 출력의 손실저감 및 소음, 내구성 등이 검토되어져야 하며 형식별 장점, 단점을 다음 표에서 비교분석 하였다.

표 3-15. 그라인더 구동 방식의 제안

구분	대안 1	대안 2
	벨트 구동	유압 모터 구동
장점	- 저렴한 가격 - 엔진 직속 연결	- 장비 내부에 설치 가능
단점	- 내구성이 부족함 - 공간 확보 필요	- 추가 유압장치 필요 - 가격이 비쌈

유압 모터를 사용시 장비 내부에 설치가 가능하여 공간을 효율적으로 사용할 수 있으나, 유압모터의 가격이 비싸다. 반면 벨트 구동 방식을 사용시에는 기존의 엔진 구동력을 직접적으로 이용할 수 있으므로 추가적인 장치가 불필요하므로 추후 장비의 실용화를 위해 장비의 제품화를 위해 경제성이 우수한 벨트방식으로 그라인더 구동

방식을 채택하였다.

표 3-16. 그라인더 구동 방식 대안의 평가

평가항목	대안 1	대안 2
성능(30)	27	30
호환성(30)	30	21
안정성(30)	24	27
유지관리성(10)	9	9
합계	90	87

(8) 그라인더 높낮이 조절

절삭면의 품질관리 및 그라인더의 과다절삭으로 인한 엔진부하의 저감 등을 위하여 그라인더의 높낮이를 반드시 조절해야 한다. 높낮이 조절은 원격으로 조절되기 때문에 사용자가 콘트롤하기 쉬운 형식을 적용해야 하며 절삭면의 깊이에 따라 엔진 부하에 따른 출력 저감현상이 발생하기 쉬우므로 미세한 조절이 가능한 형식 또한 적용해야만 한다.

표 3-17. 커터 높낮이 조절방식의 제안

구분	대안 1	대안 2
	유압실린더 단순 조절	장비 몸체 상하 조절
장점	- 조작용이 - 직관적 정밀 제어가 가능	- 추가 장치가 적게 필요함 - 하중 이용 가능
단점	- 프레임 분할 필요 - 무게, 수평 유지의 어려움	- 미세 조정 어려움

유압실린더를 사용하여 그라인더 새프트의 높낮이를 조절할 경우에도 앞바퀴에 지지되는 장비의 무게를 순간적으로 그라인더 날이 지지하게 되며 반력으로 인해 절삭

깊이의 미세 조절에 약점을 가지므로 추가 장치가 적게 필요하고 유지관리가 쉬운 장비 전체의 상하조절을 통한 커터 높낮이 조절 방식을 채택하였다.

표 3-18. 커터 높낮이 조절방식 대안의 평가

평가항목	대안 1	대안 2
사용성(30)	27	24
성능(30)	27	27
호환성(30)	21	27
안정성(10)	8	9
합계	83	87

(9) 절삭 방향

그라인더의 회전 방향과 장비의 진행 방향을 일치하도록 하여 절삭을 진행하는 방식과 각각의 방향을 반대로 설정하여 절삭을 진행하는 방식을 비교하여 어느 방식이 더 우수한 품질과 활용성을 지니는지 확인할 필요가 있다. 다음의 표는 두 방식을 비교한 내용이다.

표 3-19. 절삭 방향의 제안

구분	대안 1	대안 2
	순방향 절삭	역방향 절삭
장점	- 구동장치에 부하가 덜함 - 절삭 경계면이 매끄러움	- 절삭력 확보에 유리 - 밀어주는 조종이 유리함
단점	- 절삭방향으로의 장비 끌림	- 절삭 경계면이 매끄럽지 못함 - 구동장치에 부하가 심함

일반적으로 그라인더 회전방향으로 장비를 주행시키면서 절삭을 하는 것이 유리하다고 생각되나, 충분한 절삭력을 가하면서도 장비가 그라인더 회전속도에 끌려가지 않도록 역방향 절삭도 고려하여 보았다. 그러나 역방향 절삭이 시점부, 종점부 품질

저하 가능성이 있고 엔진 등에 과도한 부하가 발생할 수 있을 것으로 판단되어, 기존 방식의 순방향 절삭을 채택하였다.

표 3-20. 절삭 방향 대안의 평가

평가항목	대안 1	대안 2
성능(40)	36	36
안정성(30)	30	24
사용용이성(20)	16	18
호환성(10)	9	9
합계	91	87

세부항목 선정 절차를 거친 선정된 장비의 세부항목을 정리하면 표 29의 선정안과 같다. 장비의 개발 단계에서는 이와 같은 최초 선정안을 기반으로 장비 모체 개발 및 테스트를 실시하였으며, 일부 항목에서는 개발 단계에서 테스트를 통해 개선안과 같이 설계안을 변경하였다. 테스트를 통하여 전기모터 방식을 DC 웜기어 방식으로 전환하였으며, 충전용 배터리를 사용하여 전원을 공급하였고, 별도의 유압 조향 시스템을 구축하였다. 자세한 성능 실험의 결과는 3절에서 다루었다.

표 3-21. 세부항목 선정결과

항목	선정안	개선안
엔진형식	디젤엔진	
후륜구동 방식	전기모터 방식(AC)	전기모터 방식(DC)
동력장치	제너레이터 사용 (전원 직접 공급)	제너레이터 사용 (충전용 배터리 사용)
방향전환 방식	뒷바퀴 굴림차 이용 (앞바퀴 자유)	조향장치 사용
그라인더 형식	커터날 형식	
절삭 방식	건식 절삭 (집진 장치 포함)	
그라인더 구동방식	벨트 구동	
그라인더 높낮이 조절	장비 모체 상하조절	
절삭 방향	순방향 절삭	

다. 최종 장비 모체 개발 결과

콘크리트 표면절삭 장비의 모체는 폭 110cm, 길이는 210cm, 높이는 115cm, 총 중량 1ton으로 구성하여 운반이 용이케 하였으며, 기본적으로 그라인더에 동력을 전달하기 위한 디젤 엔진 및 콘크리트 표면을 절삭하는 65cm 폭의 건식 다이아몬드 그라인더, 장비의 이동을 위해 24V 배터리로 구동되는 2개의 DC 웜기어모터와 후륜장치, 조향을 위한 전륜장치, 장비 높낮이 조절을 위한 복동식 유압 실린더를 포함한다. 그리고 콘크리트 표면절삭 장비의 원격조종을 실현하기 위한 제어 및 구동장치, 장비의 위치 및 경로방향 정보를 제공하기 위한 2개의 GPS 수신기와 콘트롤센터와의 무선통신을 위한 통신장치, 품질관리를 위한 카메라 및 절삭작업으로 인해 발생하는 콘크리트 분진을 흡입하기 위한 집진장치가 추가 장착된다. 세부적으로 콘크리트 표면절삭 장비는 그라인더를 콘크리트면에 접촉시켜 절삭하므로 그라인더가 충분한 회전속도뿐만 아니라 충분한 회전력이 필요하므로 장비의 엔진형식으로는 최대 토크가 큰 디젤 엔진이 적합하며, 작업인부가 수동으로 운전을 하던 기존의 방식과 달리 원격조

종을 통하여도 작업위치의 미세한 조작이 필요하므로 정밀 제어가 유리한 DC 웜기어모터를 후륜구동으로 사용하였다. 또한 전륜 조향 장치는 좌우 45°로 회전할 수 있도록 하였으며 최저 회전반경은 210cm, 장비의 최고 속도는 13cm/s 으로 설정하였다.

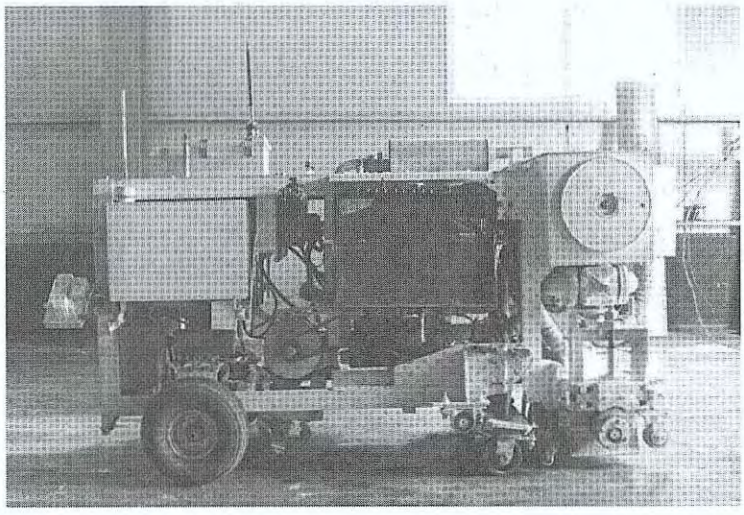


그림 3-2. 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 모체 측면

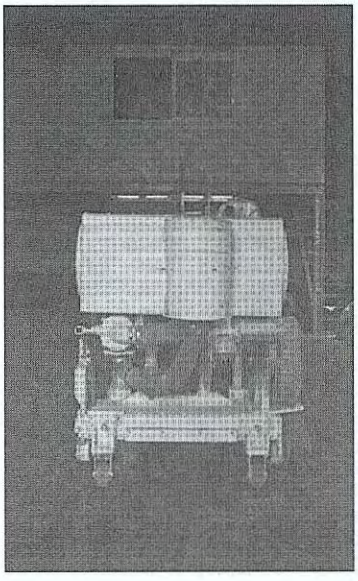


그림 3-3. 장비 정면

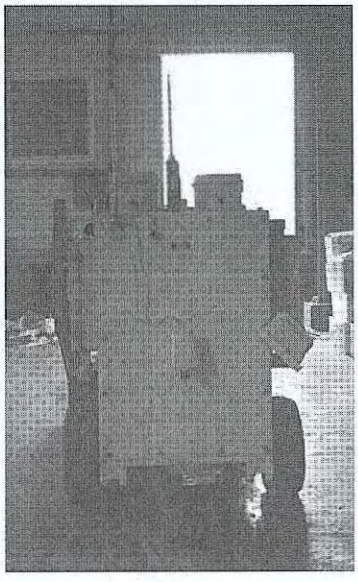


그림 3-4. 장비 후면

(1) 동력공급 장치

콘크리트 표면절삭 장비에는 절삭 동력 및 주행 동력의 공급이 필요하다. 절삭 동

력으로는 콘크리트면에 그라인더를 접촉시켜 표면을 절삭하게 되므로 그라인더 축에 충분한 회전속도 및 회전력이 필요하므로 절삭 동력으로는 최대 토크가 큰 디젤 엔진이 유리하며, 추후 개발 장비의 실용화를 위해서도 낮은 제작단가, 용이한 유지보수 및 저렴한 유지비용 등의 장점으로 인해 디젤 엔진이 적합하므로 본 개발 장비에 2400cc(140마력) 디젤 엔진을 적용하였다. 또한 개발 장비에는 절삭 동력과 별도로 후륜의 구동에 사용되는 DC 웜기어 모터의 동력공급이 필요하다. DC 웜기어 모터의 동력에는 안정적인 전력의 공급이 요구되므로 4개의 병렬 연결된 24V 배터리를 사용하였다. 배터리를 충전을 위해서는, 장비가 절삭을 하지 않을 경우 엔진의 회전을 이용한 제너레이터를 사용하여 배터리를 충전하고, 절삭작업 시에는 엔진의 출력저하를 방지하기 위해 제너레이터를 사용하지 않도록 제너레이터 작동 스위치를 설치하여 엔진의 효율성을 향상시켰다.

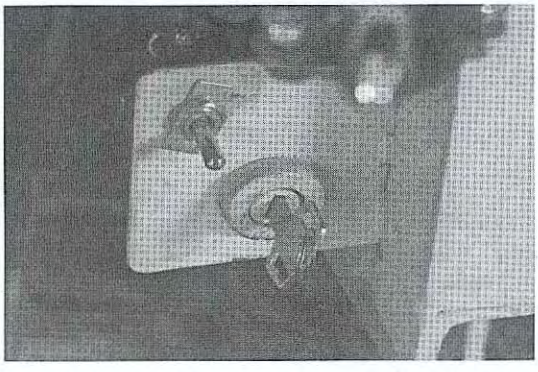


그림 3-5. 제너레이터 및 엔진 작동 스위치

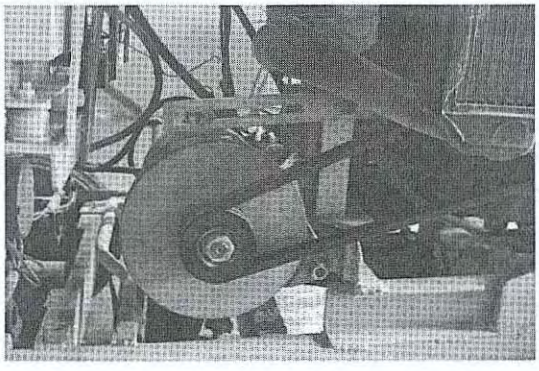


그림 3-6. 24V 배터리 충전용 제너레이터

(2) 절삭 장치

개발 장비의 절삭장치는 Φ 100mm 건식 다이아몬드 커터(cutter)를 수직으로 배열하여 콘크리트 표면을 절삭하는 그라인더로 구성하였다. 다수의 커터를 수직으로 겹쳐 배열하여 그라인더를 구성하는 방식은 많은 수의 커터가 필요하여 초기비용은 높으나, 절삭품질이 우수하고 절삭을 위한 그라인더의 조작에도 유리하다. 표면절삭 작업의 경우 상황에 맞는 그라인더의 높낮이를 미세하게 조절해야하므로 유압실린더의 밸브개폐시간을 조절하여 미세한 높낮이를 조절할 수 있는 복동식 유압장치를 사용하여 그라인더의 높낮이를 조절할 수 있도록 하였다. 또한 콘크리트 포장의 강도가 현저하게 낮은 구간에서 콘크리트 표면이 과다 절삭되는 구간이 발생하지 않도록 그라인더가 일정한 깊이이상으로 절삭하지 못하도록 장비의 전방에 보조바퀴를 설치하였다.

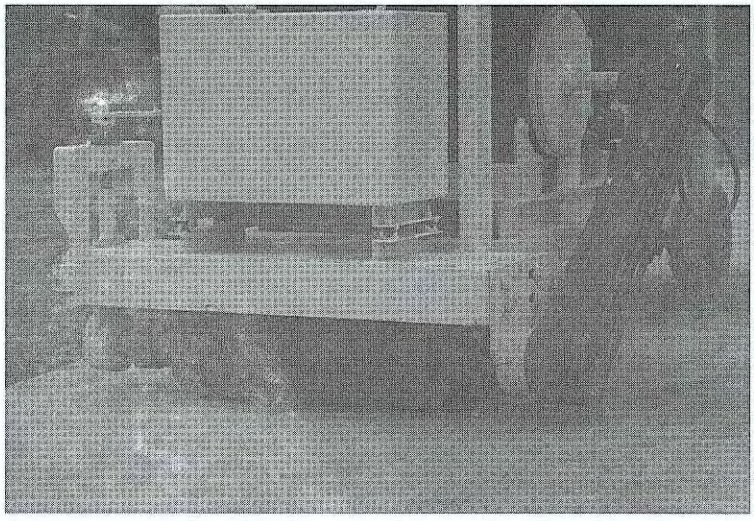


그림 3-7. 절삭 그라인더

(3) 제어 장치

제어 장치는 입력 받은 제어 신호를 장비의 각 구동부에 전달하는 모터드라이브 및 원격에서 장비의 제어 신호를 송출하는 조이스틱과 장비에 장착되어 조이스틱으로부터 받은 신호를 모터드라이브에 전달하는 메인드라이버로 구성된다. 메인드라이버 및 모터 드라이브의 전원은 엔진 시동용 12V 전원을 사용하였으며 안정적으로 전원을 공급받을 수 있도록 7812 및 7805 레귤레이터를 사용하였다. 엔진에 공급되는 연료량을 조절하는 스로틀은 표면절삭 작업 시에 엔진의 출력을 조절하기 위해 사용된다.

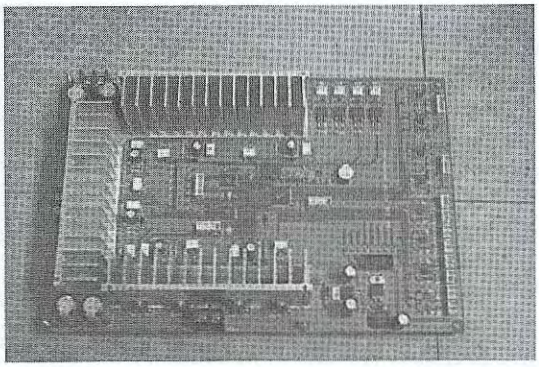


그림 3-8. 모터 드라이브

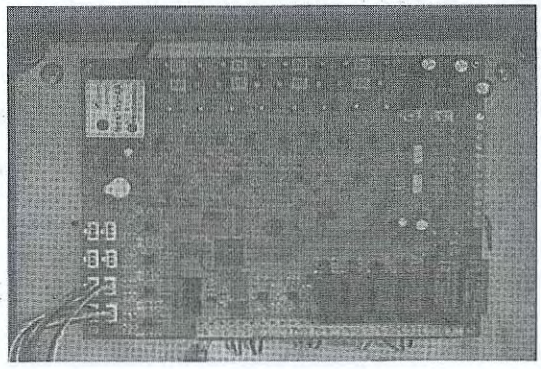


그림 3-9. 메인 드라이버

(4) 주행 장치

주행 장치는 장비의 전·후진을 담당하는 후륜 DC 웜기어모터와 장비의 방향 전환을 담당하는 전륜의 조향장치로 이루어져 있다. DC 웜기어모터를 이용한 장비의 전·후진 속도는 웜기어모터에 입력되는 전압으로 조절되기 때문에 모터 드라이브를 이용하여 장비의 전·후진 속도를 제어하기가 용이하다. DC 웜기어모터의 경우 유압모터에 비해 구동력이 부족한 단점을 가지나 장비의 중량이 약 1ton 가량으로 DC 웜기어모터를 사용하여 장비를 이동시키는데 무리가 없으며, 높은 에너지 효율 및 저속에서 모터의 안정성이 뛰어나 저속에서 표면절삭 작업을 실시하는 본 개발 장비에 적합하다.



그림 3-10. 전륜 조향 유압 실린더

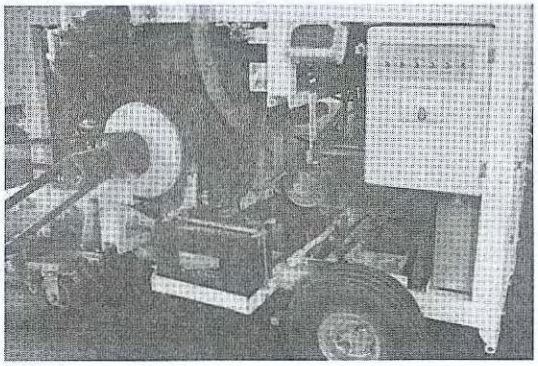


그림 3-11. 후륜 DC 웜기어 모터

(5) 집진 장치

집진 장치는 절삭작업으로 인해 발생한 콘크리트 분진을 흡입하기 위한 장치로 흡입력을 발생시키는 블로어(Blower), 흡인된 분진을 저장하는 호퍼(hopper) 및 미세분진의 공기 중 배출을 방지하기 위한 호퍼 내 카트리지 및 배기구 여과 필터로 구성되어 있으며, 그라인더의 주변을 고무막으로 밀폐하여 콘크리트 분진의 집진성능을 높였다. 그라인더 주변에서 흡인되지 않고 절삭면에 남아있는 분진은 장비 후방에 장착된 분진제거 솔과 2차 흡입구를 통해 제거할 수 있도록 하였다. 흡입력을 발생시키는 블로어의 동력은 엔진회전을 이용하도록 하였다.

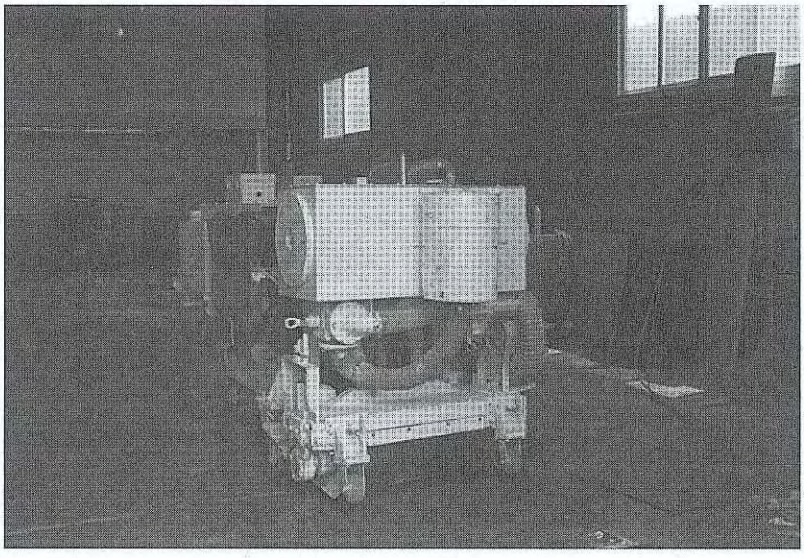


그림 3-12. 집진장치

(6) 원격조종 지원 장치

콘크리트 표면절삭 장비의 원격조종을 위해서는 표면절삭장비를 직접적으로 구동, 제어하는 상기의 기본적인 장치이외에 장비의 위치 및 진로방향, 장비의 주변 장애물 및 절삭작업 후 절삭면의 작업품질 등의 정보를 원거리에 있는 장비조작자에게 제공할 수 있어야하므로 장비의 위치 측정을 위한 GPS 이동국, 충돌방지 장치 및 영상처리 장치와 같은 원격조종 지원 장치가 필요하다.

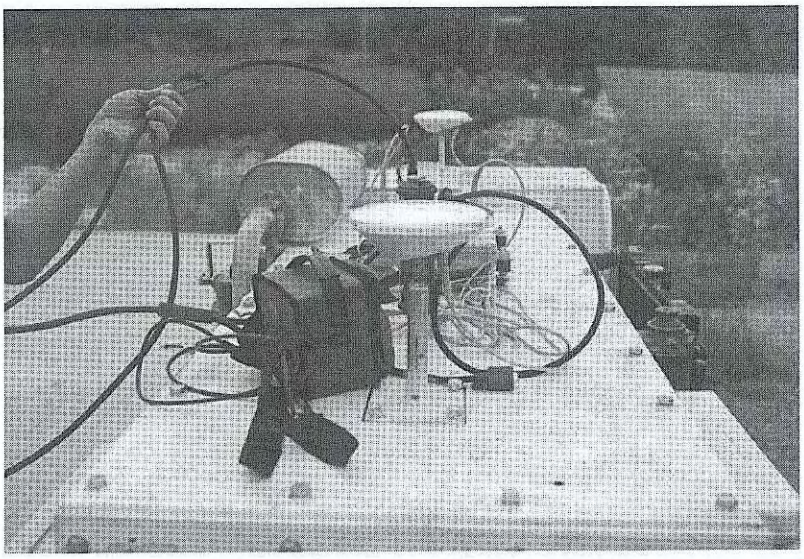


그림 3-13 GPS 이동국

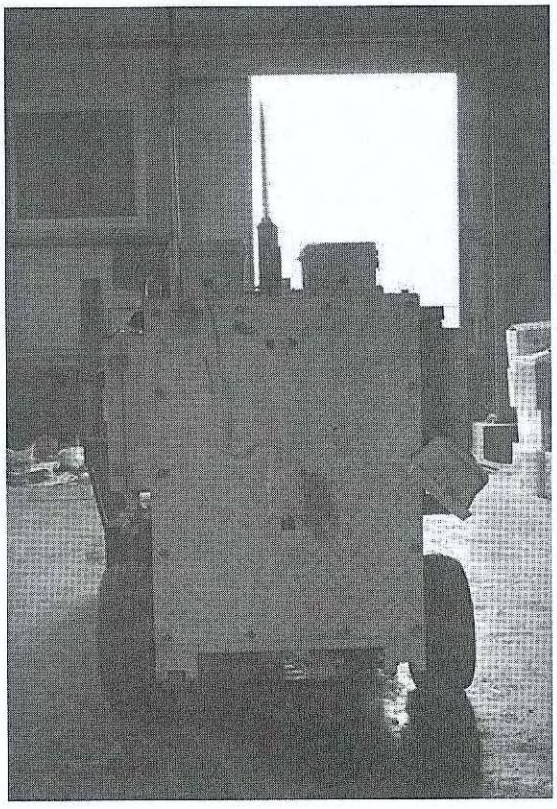


그림 3-14. 네트워크 카메라

2. 최적 경로계획 시스템

현재의 표면절삭 작업은 교량과 도로 등 한정된 공간의 콘크리트 마감을 위해서 적용되므로 공간의 특성을 고려하여 최적의 표면절삭 작업의 효과를 달성하기 위해서는 작업 구간 내에서의 최적 경로계획 시스템이 필요하다. 최적 경로계획 시스템은 크게 두 단계로 수행되는데, 작업 준비단계에서 작업 공간내 장비의 최적 경로를 작성하기 위해 AUTO-LISP를 이용하여 장비가 이동하는 위치적 좌표데이터 및 장비폭, 이동 속도 등을 포함한 DXF파일을 생성하고, 장비 구동단계에서는 생성된 DXF파일을 MMI 시스템에 적용하여, 계획된 장비 위치 정보 및 계획경로와 실제 장비 위치 및 구동 경로의 오차 데이터를 바탕으로 장비가 계획경로에 복귀 가능하도록 실시간으로 보정 경로계획을 작성하여 절삭작업 중 발생되는 장비 이탈 문제를 보완한다.

작업 준비단계에서 CAD를 기반으로 한 AUTO-LISP를 이용한 경로계획은 작업대상이 되는 전 구간 내에 미작업 구간이 발생하지 않도록 장비의 회전반경 및 크기, 그라인더 폭 등과 같은 장비의 특성을 고려하여 작업구간에 대한 장비 경로를 계획한다. 이 때 작업 경로는 절삭 장비의 최대 회전 구간 및 속도, 그리고 미작업 구간을 관리하기 용이하게 하기위해 세로 1방향 작업을 계획하였다. 세로1방향 계획은 시작점에서 세로방향으로 절삭작업을 진행 한 후 세로방향 절삭작업 종료 후 장비가 후진으로 다음 세로장향 작업의 시작점으로 복귀하도록 하는 N자 형식의 경로계획이다. 그리고 구동단계에서의 실시간 경로 보정은 GPS를 통해 얻어진 실제 장비의 주행방향을 실시간으로 계획경로의 목표지점에 맞추도록 방향 값을 재산정하여 이를 바탕으로 제어시스템에서 실시간으로 보정명령을 송신하게 함으로써 장비가 계획된 경로 상에서의 작업을 수행하도록 한다.

가. 예상 진행 경로 결정

표면절삭 장비의 작업진행은 세로 1방향, 가로 1방향, 세로 양방향, 가로양방향으로 실행 할 수 있다. 그러나 작업 구간별 각 지점에서 표면절삭 장비의 움직임 따른 회전반경이 커서 가로양방향 및 세로양방향으로 운영하기에 어렵고, 표면절삭 장비의 운영도 비효율적이다.

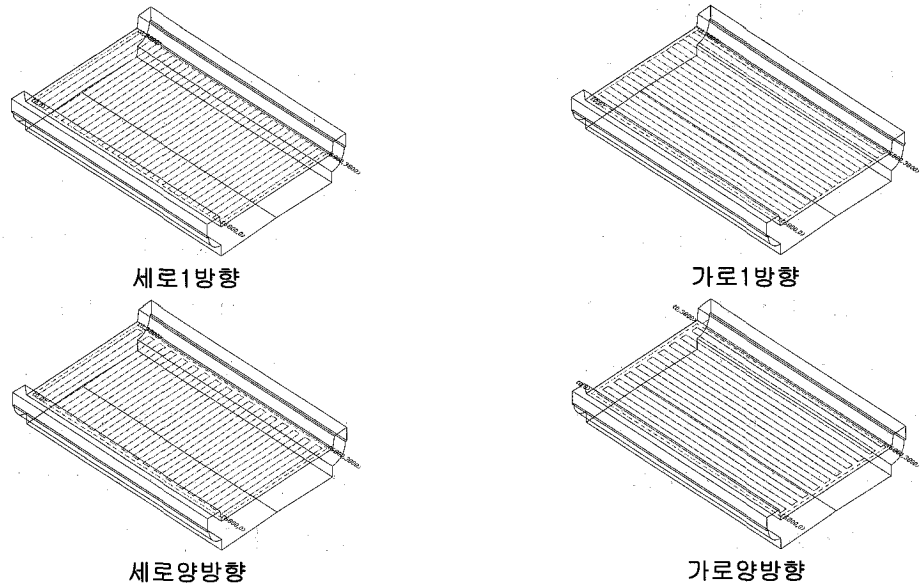


그림 3-15. 표면절삭 장비의 작업진행 방법

따라서 장비의 폭과 작업구간 별 작동 범위를 고려하여 표면절삭 작업의 최적경로는 세로1방향으로 설정한다. 최초 ①지점에서 표면절삭 장비는 ②지점으로 절삭 작업을 실행하고, ②지점에 도착한 후 표면절삭 장비는 다음 작업을 실행하기 위한 시작지점의 경로를 ③지점으로 결정한다. 그리고 ②지점에서 ③지점까지 표면절삭 장비가 이동 한 후 ③지점에서 ④지점으로 다음 절삭구간의 절삭작업을 수행한다.

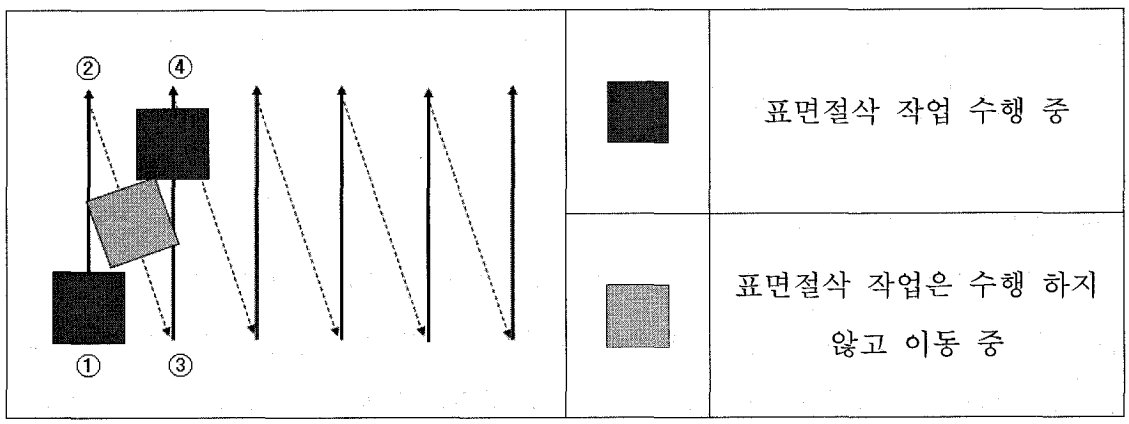


그림 3-16. 세로 1방향 진행경로 결정

나. 예상 진행 경로 작성을 위한 Auto-Lisp 파일 생성

최적경로를 생성하기 위해 CAD를 기반으로 한 Auto-Lisp 파일을 이용하여 DXF

파일을 작성한다. DXF 파일은 장비의 기본적인 제원 및 장비의 위치, 이동 방향, 거리 등을 포함하고 있으며, MMI 시스템과 연계하여 세로 1방향으로 표면절삭 장비가 작업을 수행 할 때 표면절삭 구간 및 최적경로를 제공하고, MMI 시스템과 GPS 장비를 이용하여 표면절삭장비에 명령을 전달한다. 경로생성은 최초 진행거리와 장비의 폭을 입력하여 (0,0)를 시점으로 표면절삭 장비의 예상경로를 결정하며, 예상경로 결정 후 MMI 소프트웨어에서 사용될 DXF 파일을 생성한다. 다음은 캐드를 사용해서 예상경로를 생성하는 단계별 화면이다.

(1) CAD 실행

예상경로를 파악하고 DXF 파일을 작성하기 위해 CAD를 실행한다.

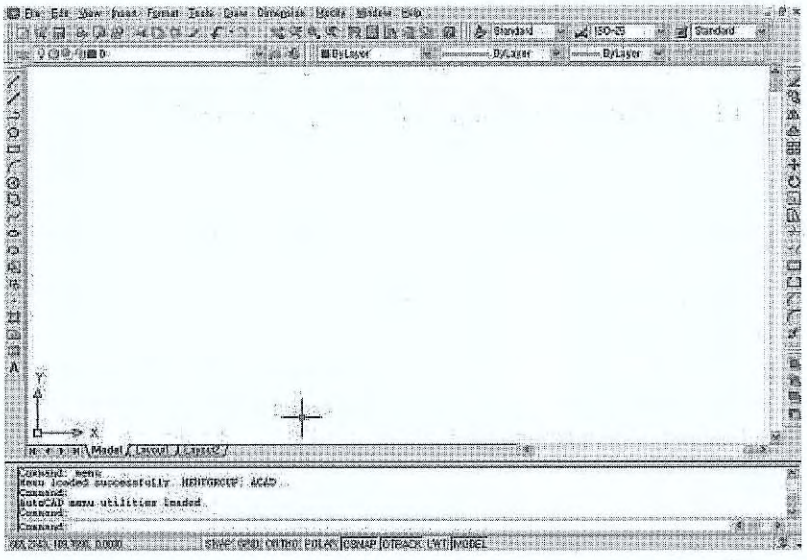


그림 3-17. CAD 실행 화면

(2) menu 명령어 실행

Lisp 프로그램을 실행하기위해 menu 명령어를 입력한다.

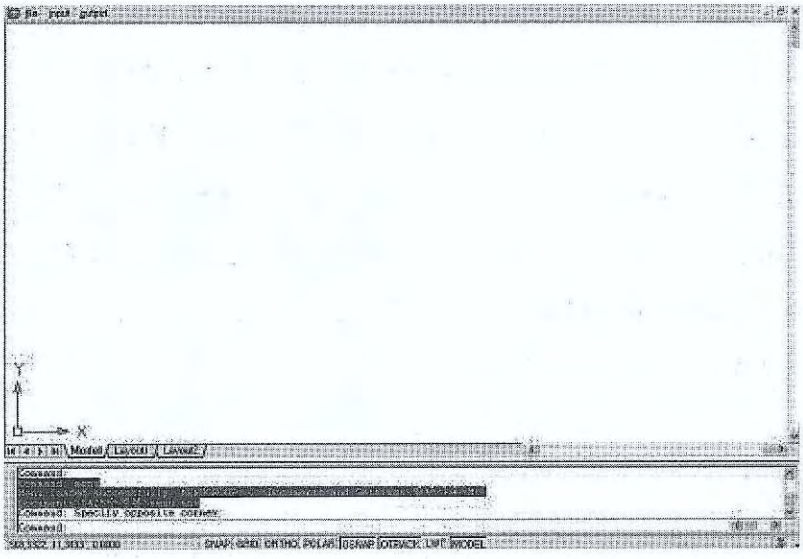


그림 3-18. menu 명령어 실행 화면

(3) APPLOAD 명령어 실행 (작업영역표시.lsp, input.lsp)

작업영역을 표시하기 위해 APPLOAD 명령어를 실행한다.

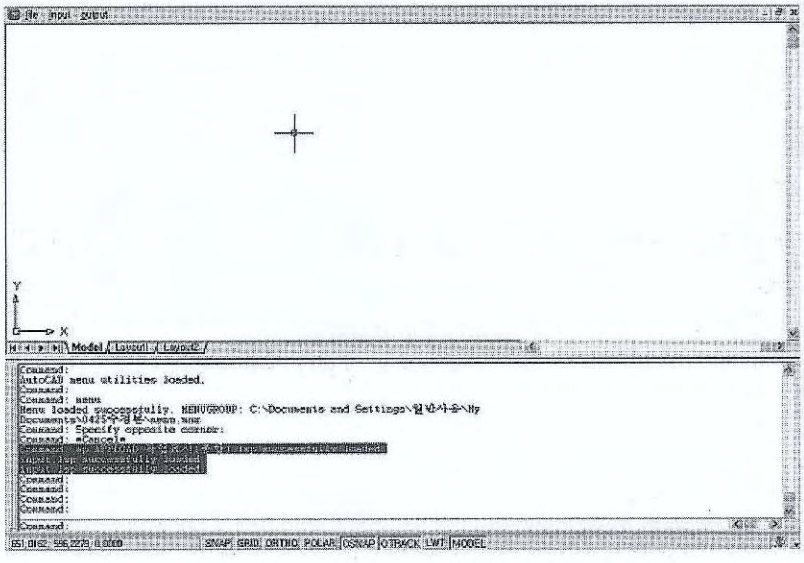


그림 3-19. APPLOAD 명령어 실행 화면

(4) 작업영역 표시

작업영역을 CAD 상에 표시한다.

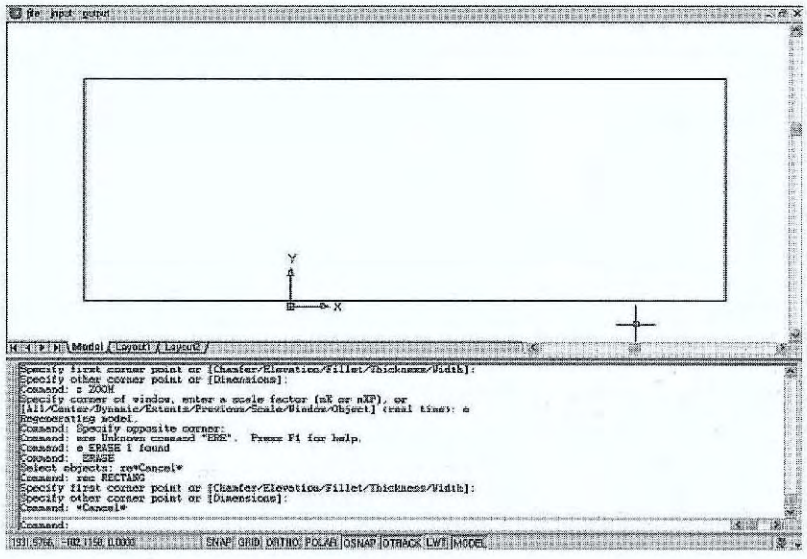


그림 3-20. 작업영역 표시 화면

(5) Input - 기계제원

CAD에 기계제원을 입력한다. 예) 기계 폭을 입력하시오(m) :2

기계 속도(m/h)를 입력하시오 :100

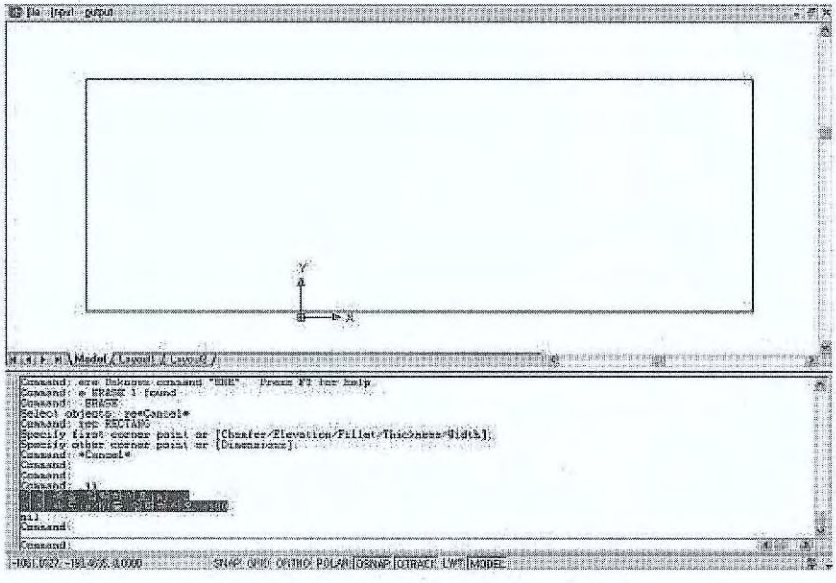


그림 3-21. 기계제원 입력 화면

(6) 작업영역 표시

예상경로 생성을 위한 작업영역을 CAD상에 표시한다.

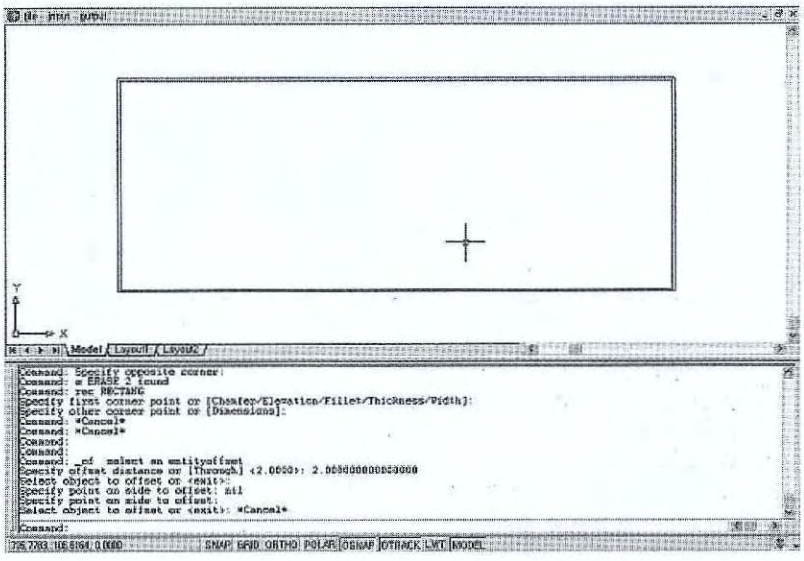


그림 3-22. 작업영역 표시 화면

(7) 새로운 기준점

예상경로의 새로운 기준점을 작성한다.(왼쪽 아래점을 기준점으로 설정한다)

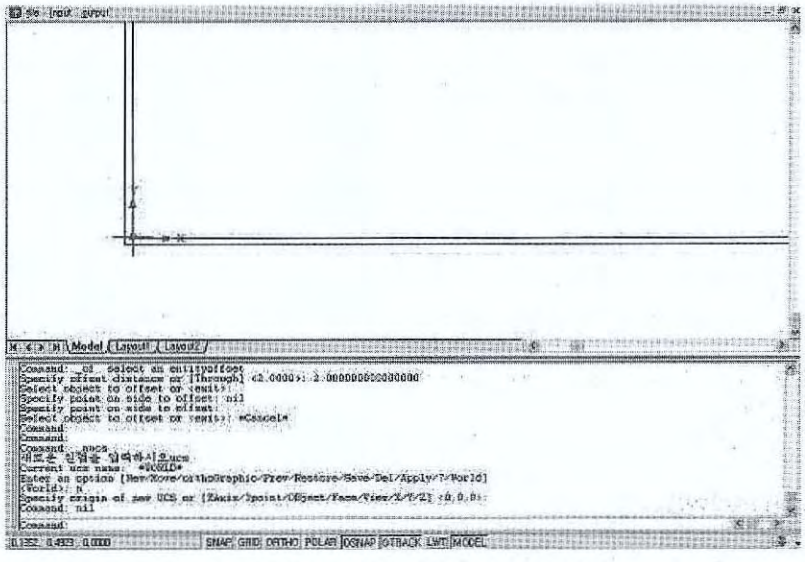


그림 3-23. 새로운 기준점 작성 화면

(8) 좌표값입력

예상경로의 각 지점을 표시하기 위해 기준점에서 시계방향으로 예상경로 각 지점의 끝부분을 클릭한다.

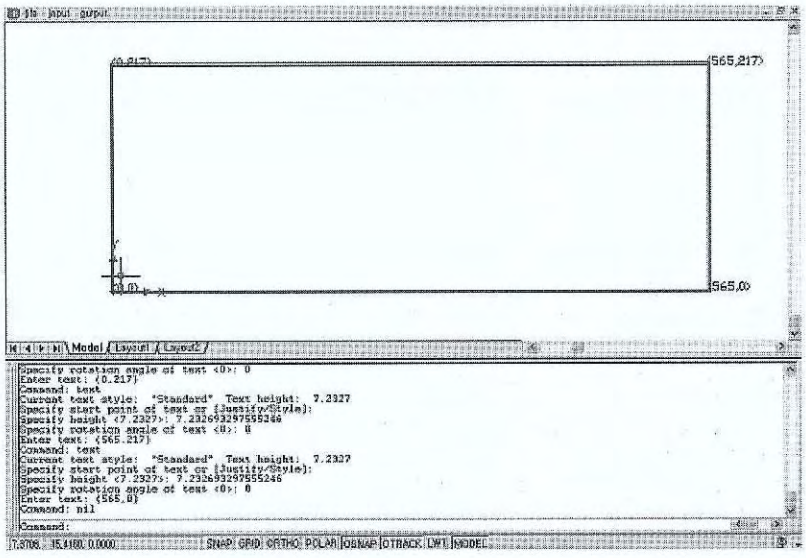


그림 3-24. 좌표값 입력 화면

(9) 결과값 출력

예상경로의 결과값을 출력하기 위해서 기준점으로부터 시계방향으로 각 지점의 끝 부분을 클릭한다.

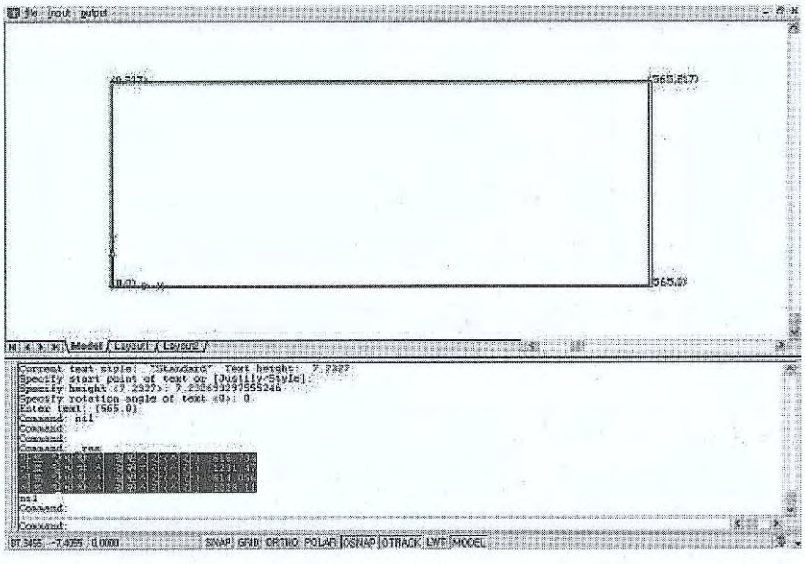


그림 3-25. 결과값 출력 화면

(10) 결과 표시

해당하는 결과값을 CAD 상에 표시하여 예상경로 결과값을 출력한다.(output - 세

로 1방향 및 사선)

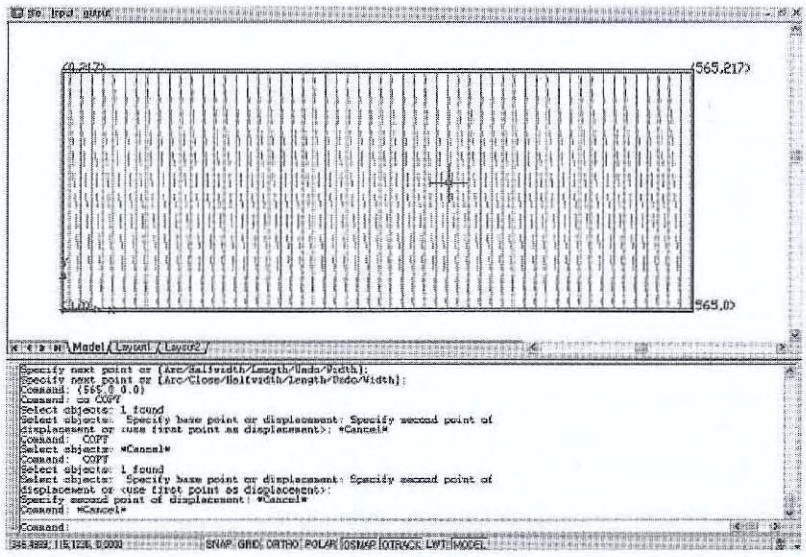


그림 3-26. 예상경로 표시 화면

다. 자율주행 프로세스

표면절삭장비는 Lisp파일로 생성된 최적경로, GPS 데이터 통신, MMI 시스템으로 자동 제어된다. 표면절삭장비는 입력된 최적경로 데이터를 데이터 취득함수로 호출하여 처리하고, 처리한 데이터를 영상으로 처리한 후 장비제어 결과를 피드백함으로써 자율주행이 가능하다.

(1) 데이터 입력신호의 내용 및 처리

자율주행 프로세스는 GPS 통신 연결, GPS 데이터의 취득함수 호출, 저장 데이터 불러오기의 순서로 이루어진다. GPS 통신연결은 프로그램 화면에서 데이터 취득함수를 호출하여 1)위치, 시간, 방위각 정보의 자율주행 관련 데이터를 취득한다. 2) 위치, 시간정보와 방위각 정보의 데이터 가공함수에서 취득된 데이터에 시간정보를 추가해서 품질처리정보를 취득한다. 3)품질처리정보는 jpg 파일명, 품질처리시간, 품질처리결과, 양호여부 등으로 구성되며 jpg 파일명과 품질처리시간의 가공정보를 통해서 품질처리 이미지(jpg 파일)를 생성하고, GPS 통신 연결단계로 다시 피드백 한다.

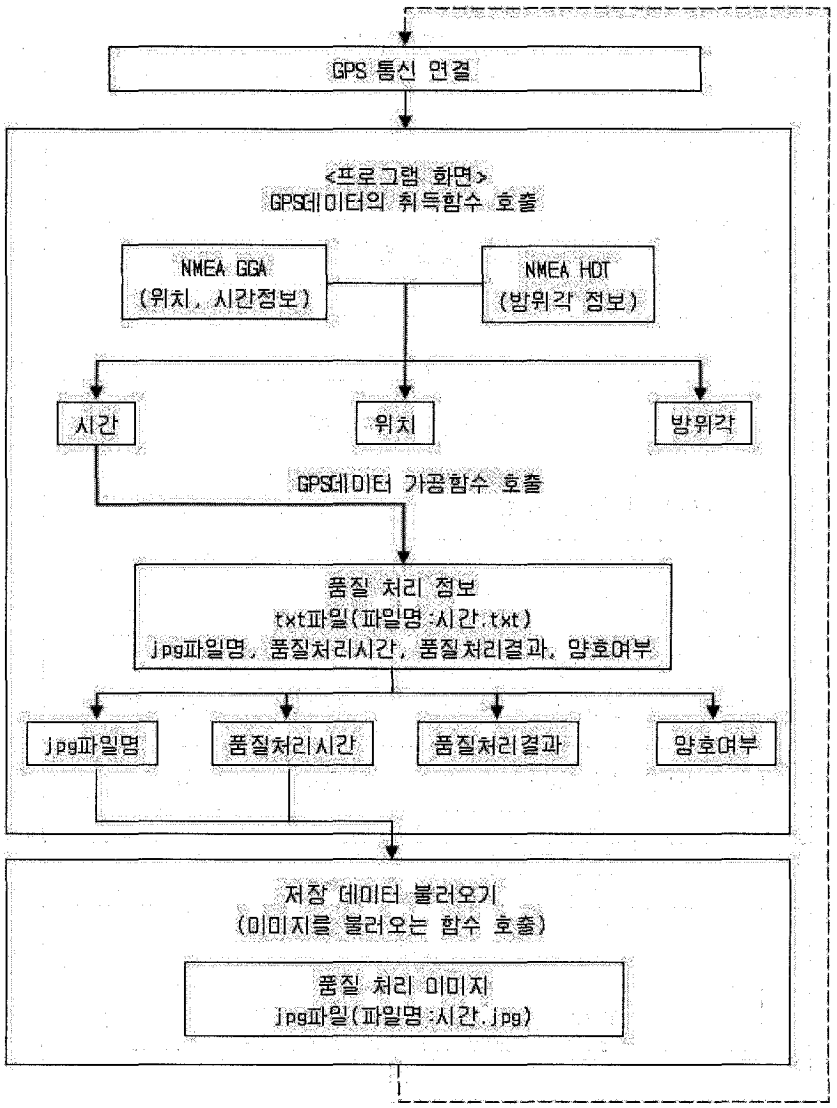


그림 3-27. 자율주행 프로세스의 데이터 입력신호의 내용 및 처리

(2) 처리한 데이터의 출력

MMI 소프트웨어에서는 GeoDXF 함수와 GPS 신호수신부의 명령을 통해 처리된 데이터의 예상경로를 출력한다. 프로젝트를 시작하면 최초 GepoDXF 함수에서 캐드로 작성된 Lisp 파일로 생성된 예상경로(dxf 파일)를 호출하여 표면절삭장비의 예상경로계획을 작성한다. 그리고 GPS 신호 수신부를 통해서 영상처리 결과의 출력 및 장비 구동명령을 전달하게 되고, 명령 전달 이후 장비 이동경로 함수 및 장비 배치 모양 함수를 호출한다. 이후 모니터에 장비의 방향 및 장비의 위치를 표시하여 GeoDXF 함수를 통한 예상경로와의 오차범위를 출력한다.(영상 처리 결과는 품질 처리된 jpg 파일을 의미한다)

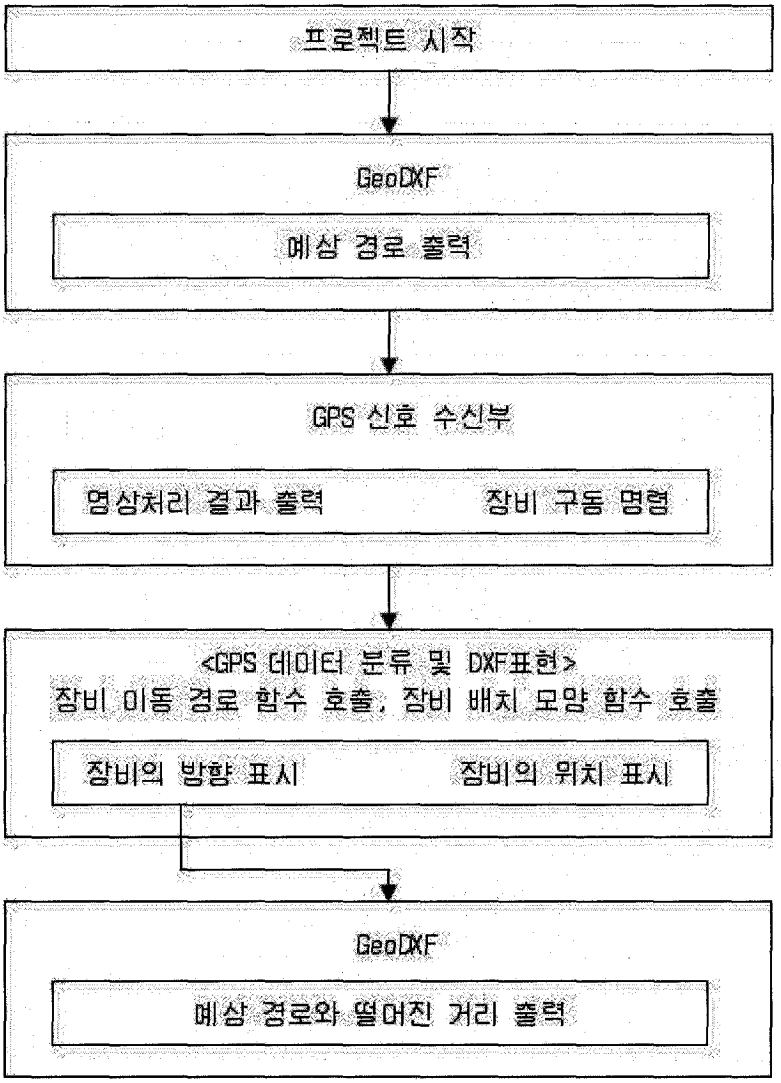


그림 3-28. 자율주행 프로세스에서 처리한 데이터의 출력

(3) 장비제어 결과의 피드백

장비제어 결과는 GPS의 정보를 통해 장비제어 명령 작성함수를 호출하여 저장데이터를 로드하고 다시 첫 단계로 피드백 된다. 수신한 GPS 신호(위치 정보, 방향 정보)와 dxf 파일로 그려진 예상경로의 포인트 정보로 장비제어 명령을 작성한 후 시리얼 포트를 통해서 장비 제어 명령을 내보내준다. 프로그램 화면에서는 예상경로의 dxf 파일의 포인트 정보와 현재 위치정보, 그리고 방향정보를 통해서 장비제어 명령을 작성하여 작성된 함수를 호출한다. 이후 시리얼 포트를 통해서 장비제어 명령을 내보내 줌으로써 명령 전송 함수를 호출 한다.

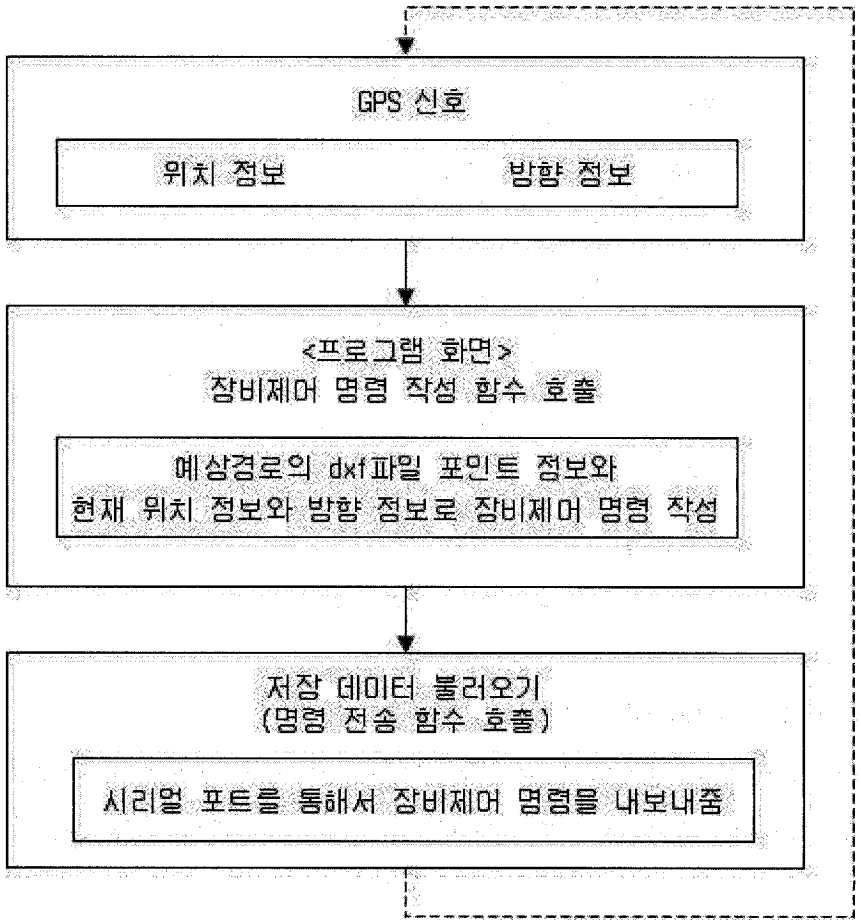


그림 3-29. 자율주행 프로세스에서 장비결과의 피드백

라. 장비경로 설정

표면절삭장비를 구동하기 전에 작업영역 및 경로의 결정 그리고 GPS 보정데이터를 전송하는 GPS Base의 정확한 위치를 결정하기 위해서 3점을 측량방법을 이용하여 작업지점을 사전 측량한다. 측량한 결과는 가까운 상시관측소와 기선을 구축하여 정확한 위치를 결정한다(1 점은 GPS Base의 위치, 나머지 2 점은 장비가 출발하는 점과 최초 방향 변환 지점). 그리고 장비를 구동할 때, 상대좌표 또는 절대좌표로 구동 할 수 있다. 첫째, 상대좌표는 장비를 시점인 (0,0)에서 구동시켜 프로그램 화면의 북향(도북)으로 구동시키는 방식이고, 둘째, 절대좌표는 현재위치에서 수신한 위치를 그대로 화면상에 표시하는 방식이다. 그리고 상대좌표의 경우 장비의 절대 위치를 특정위치만큼 이동시키고, 회전시켜야하는데, 이동량은 점 1의 절대위치로, 회전량은 점 1과 점 2를 잇는 기선의 방위각으로 구할 수 있다. [Moon, S et al, 1997]

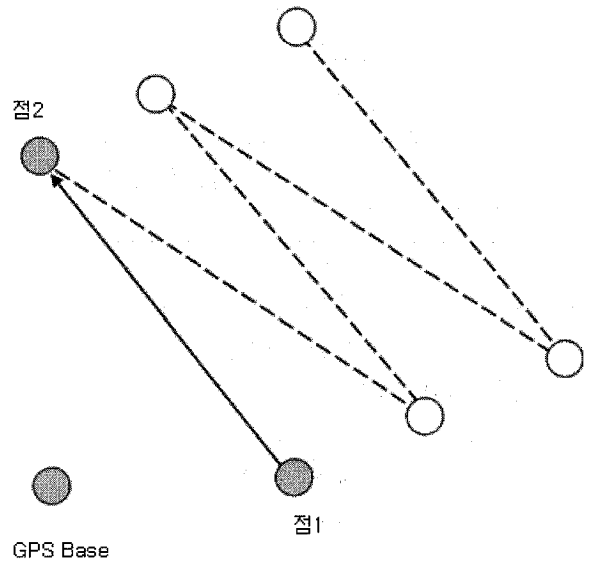


그림 3-30. 3점 측량

(1) 절대좌표에서 상대좌표로 변환

Lisp 파일로 입력된 최적경로인 상대좌표를 절대좌표로 변환한다. Cad상에서 입력한 좌표는 (0,0)을 기준으로 하기 때문에 GPS장비를 사용해서 좌표값에 따른 표면절삭작업을 하기 위한 좌표변환이 필요하다. 절대좌표는 3점 측량으로 결정하고, Lisp 파일에서 입력된 최적경로를 절대좌표화 함으로써 실제 표면절삭장비가 최적경로로 자율주행 작업을 할 수 있는 환경을 마련한다. GPS 장비의 요소기술 및 좌표변환 방법은 다음과 같다.

(가) GPS Data Plot

기준점에서 3시간 동안,1초 간격으로 수신한 RTK-GPS 데이터는 동서 방향으로 최대 5.5cm, 남북 방향으로 최대 12cm에 걸쳐 분포된다. RTK-GPS 데이터는 실시간으로 결정되는 정밀한 좌표이나 완벽하게 조정된 좌표가 아니기 때문에 정확도에 어느 정도의 불확실성을 포함하고 있다. 따라서 기준점의 정밀한 좌표를 결정하기 위해서 통상 정지(Static) 측량 또는 신속정지(Rapid Static) 측량을 수행한다. 좌표변환은 하나의 좌표계를 다른 좌표계로 변환을 할 때 사용되며, 두 좌표계의 기준축은 확실히 정의되어 있어야 한다. 좌표변환은 크게 회전, 이동, scaling의 3단계를 거치게 되는데, 회전각은 두 좌표축의 사잇각으로 결정한다. 만약 좌표변환을 할 때, 불확실성이 내포된 2점의 데이터, 즉 일정시각의 RTK-GPS 좌표 2점(절대좌표)으로 좌표축

을 정의한다면 변환된 상대좌표는 잘못된 계산결과를 산출할 수 있다. 따라서 GPS 측량을 이용한 좌표변환을 할 때에는, 정확한 위치의 산출이 가능한 static 측량으로 2점의 위치를 결정하고 이를 절대좌표축으로 이용해야 한다.

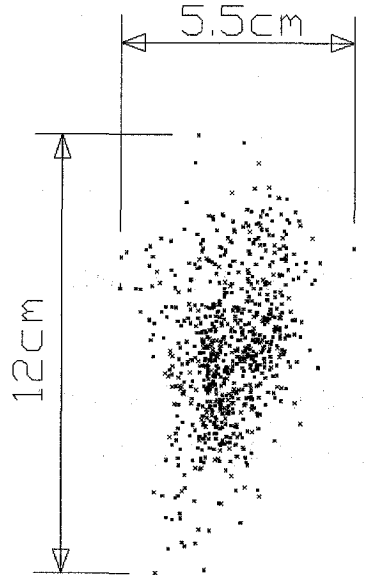


그림 3-31. GPS Data Plot

(2) 절대좌표를 상대좌표의 경로 상에 표현

절대좌표를 상대좌표의 경로 상에 표현하기 위해서는 회전각과 수평이동량을 변환해야 한다. 먼저 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.

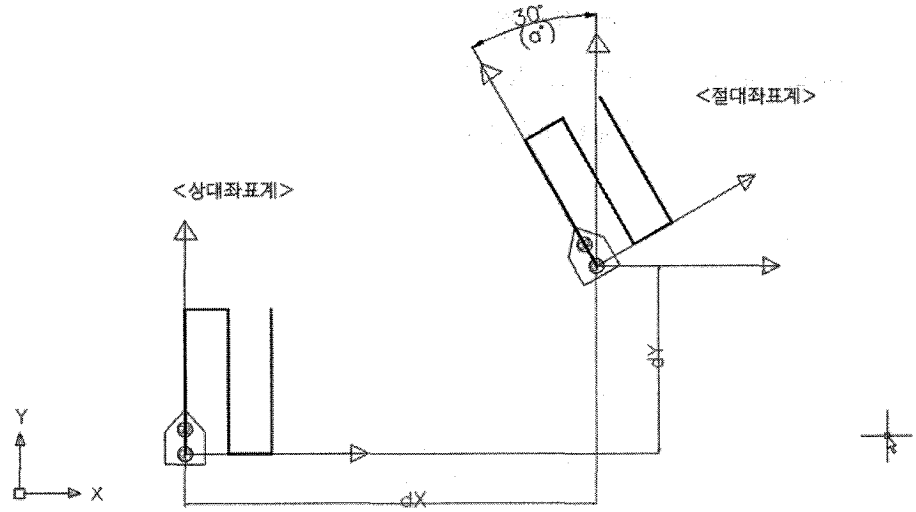


그림 3-32. 방향각 및 수평이동량 계산

절대좌표에서 상대 좌표로 변환하는 경우 Rotation 명령을 실행하고 및 상대 좌표로 변환한다. 이 경우 다음과 같은 공식을 적용하여 절대좌표에서 상대좌표로 변환한 좌표를 구한다 .[Moon, S et al, 1998]

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

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

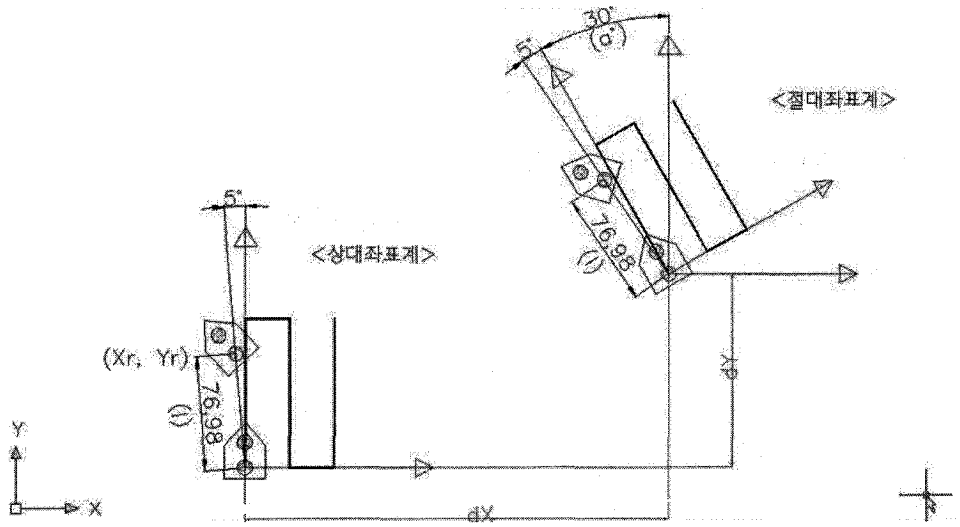


그림 3-33. Rotation 및 상대 좌표로 변환

(3) 잘못된 방향각의 정의

좌표변환의 회전각을 2개의 GPS에서 산출되는 RTK 좌표를 이용하여 산출할 경우 위의 설명처럼 RTK 측량의 특성상 계산된 위치에 오차가 포함될 수 있다. 아래 그림은 RTK측량 위치가 매우 정밀하지 못하여 상대좌표로 변환된 장비가 정확한 경로를 따라가고 있음에도 불구하고, 상대좌표계 상에서는 예상 경로를 벗어나는 모습을 보여주고 있다. 표면절삭장비는 최초, 좌표변환을 위한 회전각을 산출하기 위하여 출발점에 위치하여 RTK 측량 데이터를 수신한다. 이 때 결정되는 2점의 RTK 측량 좌표를 이용하여 방위각을 산출하고, 이를 좌표변환을 위한 회전각으로 사용한다. 그림 3-33의 <절대좌표계> 그림에서 파란색으로 좌표축이 결정되어야 하지만 앞서 설명한 것처럼 RTK 측량 결과는 오차를 포함하고 있으므로 오차가 포함되어 있는 적색의 축으로 정의가 된다. 표면절삭장비가 구동되고, 오차가 포함된 회전각으로 상대좌표변환을 수행하게 되면, 장비는 절대좌표계상에서 예상경로를 따라 정확히 이동함에도 불구하고, 좌표 변환된 상대좌표계에서는 경로를 이탈하여 나타난다. 그림 3-34의 <상대좌표계> 그림에서 붉은 이동체의 모습이 오차가 포함된 회전각을 이용한 좌표변환 결과, 잘못된 위치에 표시되는 모습을 보여준다. 또한 오차가 포함된 회전각은 장비가 진행함에 따라 경로에서 더욱 벗어남을 예상할 수 있다.

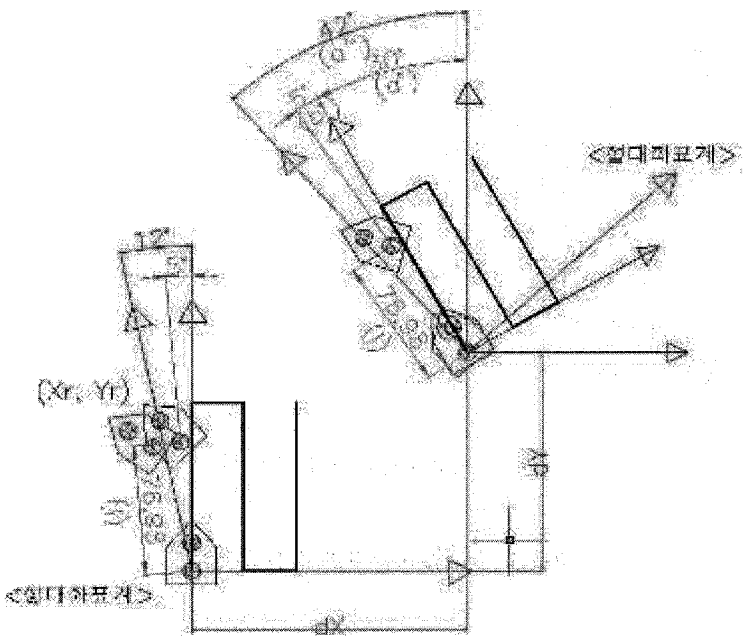


그림 3-34. 회전각의 정의시에 12도의 오차가 포함된 경우

마. 표면절삭장비의 충돌방지시스템

표면절삭장비의 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 컨트롤러 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.

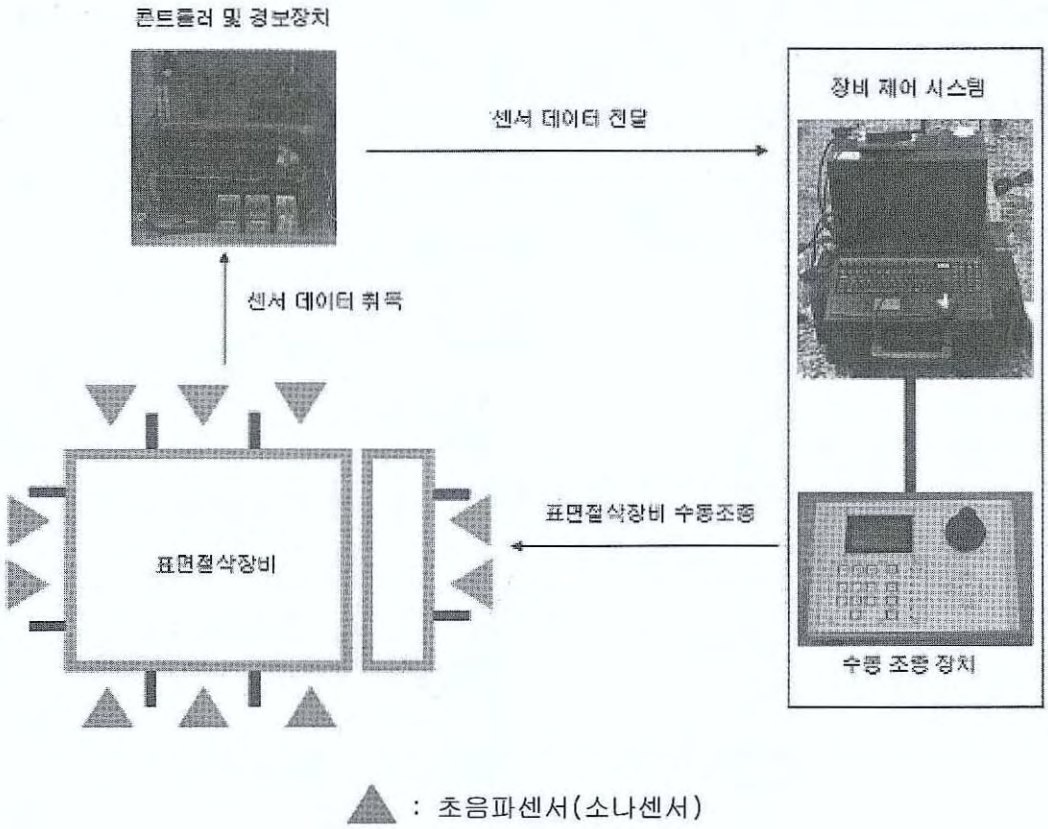


그림 3-35. 표면절삭장비의 충돌방지시스템

초음파 센서를 사용하여 충돌방지 시스템을 구현하는 알고리즘은 다음과 같다. 최초 표면절삭작업 실행 시 Auto-Lisp 파일에서 정의한 작업구획을 MMI 시스템에서 좌표 변환하여 절삭작업을 시작한다. 표면절삭장비에 장착된 GPS 장비는 표면절삭장비가 작업구간을 이탈하지 않도록 GPS 좌표값에 따른 현재위치를 계속 수신하고 있으며 지정된 경로계획에 따른 절삭작업과 지속적인 경로탐색을 실행한다. 초음파 센서와 연결되어 장비에 장착되는 컨트롤러는 표면절삭장비가 작업을 수행 할 때 장비와 주위에 있는 장애물과의 거리를 측정하여 일정 구간 이하로 장비가 장애물과 접촉하게 되면 센서가 동작하도록 구성되어있다. 자율주행 작업 중 초음파 센서에 장애물이 감지되면 컨트롤러는 장비가 경보음을 울리면서 정지하도록 명령한다. 장비가 정지한 후 장애물을 지나가기 위해서 무선조이스틱이나 장비 콘트롤 시스템을 이용하여 수동으로 장비를 조작하여 장애물이 없는 장소로 이동시킨다. 이동된 표면절삭장비는 GPS 장비를 사용하여 현재위치 및 표면절삭 구간을 재탐색하고, 충돌방지를 위한 초음파 센서를 다시 동작시킨 후 경로계획 구간의 표면절삭 작업을 재개한다.

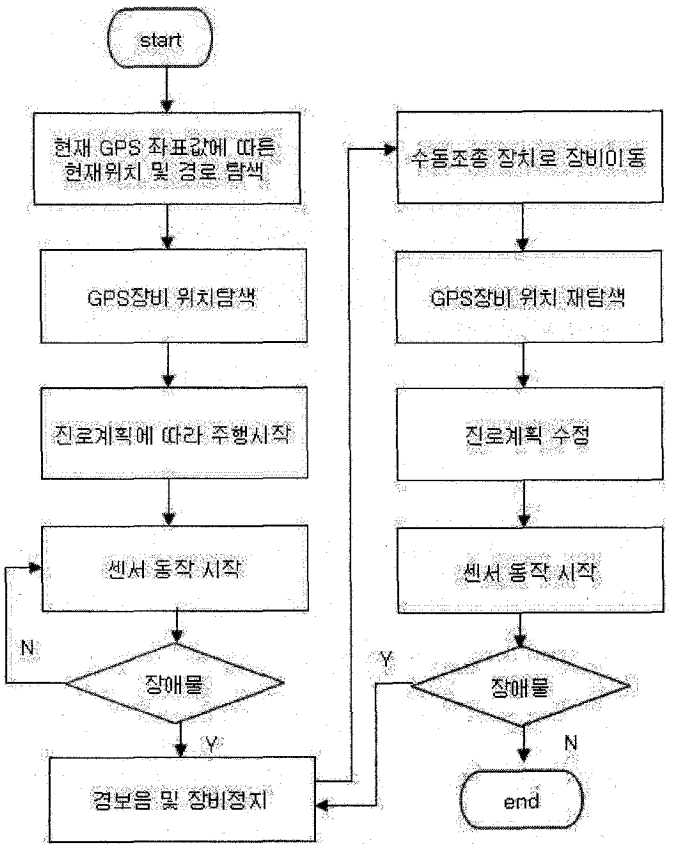


그림 3-36. 표면절삭장비의 충돌방지동작 순서

(1) 초음파 센서

표면절삭장비의 외부에 부착된 10개의 초음파 센서는 0~6m의 거리 정보를 일정한 접압으로 Linear하게 변환시킨다. 거리측정에 사용한 초음파 센서는 Ultrasonic Sensor모듈을 사용했다. 이 모듈은 초음파를 발사하고 그 반사음을 받는 송수신 겸용 센서로서 방수/방진형 구조로 구성되어 있으며 사용 환경의 제약이 없다. 그리고 넓은 사용온도 범위(-40℃ ~ +85℃)를 가지고 있으며, 최대 6m 까지 탐지가 가능하여 표면절삭장비과 장애물의 충돌회피에 사용할 수 있다. 아래의 초음파 센서 10개를 사용하여 거리정보(0 ~ 6M)를 일정한 전압(V)의 형태로 변환하여 그 10개 채널의 전압 값을 표면절삭장비에 부착된 센서 컨트롤러에 데이터를 전달한다.

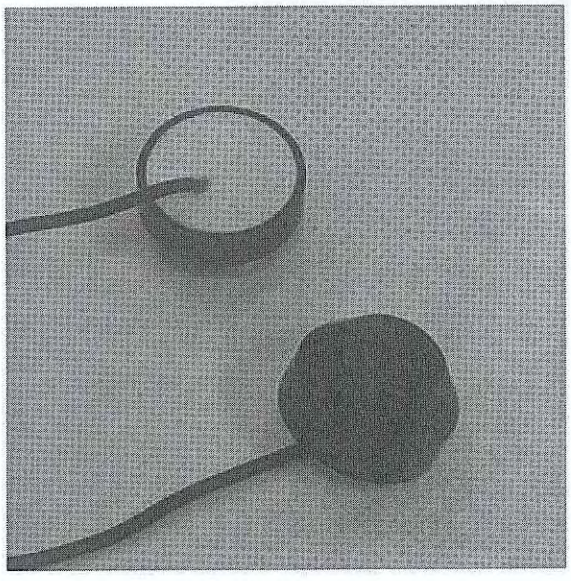


그림 3-37. Ultrasonic Sensor

바. 경로계획 이탈시 보정계획

표면절삭장비는 Auto-Lisp에 의해 결정된 경로계획에 따라 작업을 진행하게 되며, 총 4가지의 경로계획 결정 방법 중 가장 적절한 방법인 세로1방향으로 절삭 작업을 수행하게 된다. 그러나 표면적삭 작업 수행 중에는 노면이 고르지 못하거나 불규칙적인 장비의 움직임 때문에 예상경로에서 장비가 이탈하는 경우가 발생 될 수 있다. 그림 3-38 과 같이 ①에서 ②로 절삭작업을 할 때 장비의 진동이나 노면 평탄한 상태 또는 경사에 따라 실제로 작업을 수행 할 구간을 이탈하는 경우가 발생한다. 현재 표면절삭장비는 절삭작업 수행 시 앞바퀴를 지면에 접촉하지 않고 그라인더를 노면에

접촉시켜 작업을 수행하기 때문에 조향장치를 사용해서 경로이탈 시 장비의 방향을 전환하는 것이 어렵다. 따라서 이러한 경우에는 뒷바퀴의 바퀴 별 회전속도를 다르게 해서 장비의 위치를 보정하게 된다. GPS 장비와 연계된 MMI 시스템은 장비가 경로 계획에 따라 움직이도록 명령을 전달하고, GPS 장비와 작업 구간(절삭작업의 시작점과 목표지점, 즉 ①~②를 연결하는 직선)과의 각도를 계속 입력 받게 된다. 표면절삭 작업 중 MMI 시스템은 GPS 장비에서 입력받은 각도가 일정 수치 이상으로 크게 벌어지면 절삭작업 때문에 지면과 떨어져 있는 조향장치 대신에 뒷바퀴의 회전속도를 조절하게 된다. 그림과 같이 경로계획에서 오른쪽으로 장비가 이탈한 경우에 MMI 시스템은 뒷바퀴 중 좌측바퀴보다 우측바퀴의 회전속도를 증가시켜 장비를 경로계획 상의 구간으로 보정시킨다.

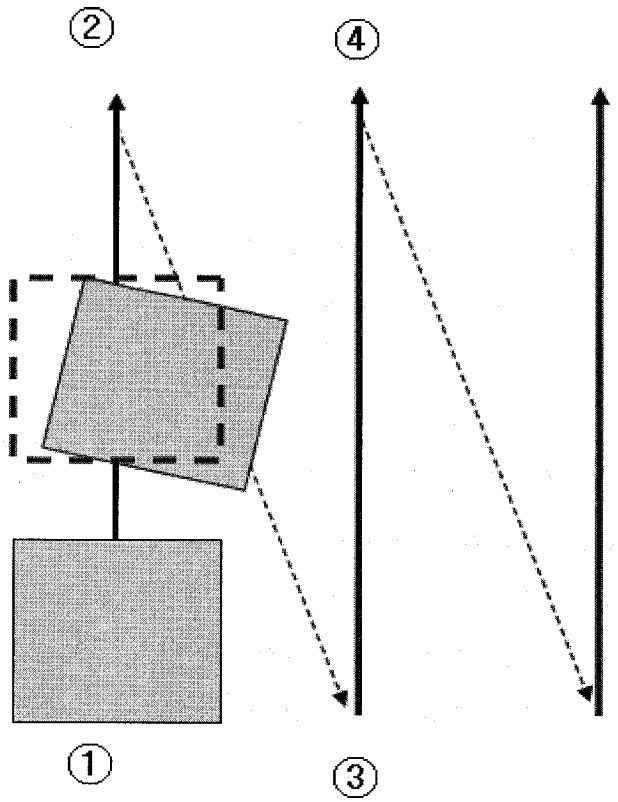


그림 3-38. 표면절삭장비의 경로 이탈

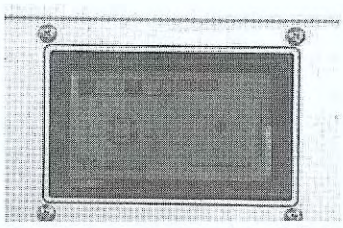
3. 원격조종 시스템

표면절삭 장비는 유해한 환경에서 조종자를 보호하기 위하여 원격으로 조종되어야 한다. 따라서 원거리에서 조종자가 장비를 경로에 따라 이동시킬 수 있도록 전후 구동 및 조향을 제어할 수 있어야 하며, 콘크리트 표면절삭작업을 위한 절삭 그라인더의 상하 조절의 기능을 포함하는 원격조종 시스템이 필요하다. 또한 조종자가 컴퓨터 또는 조이스틱을 통해 장비를 원거리에서 제어하기 위한 무선통신 시스템이 구축이 선행되어야 한다. 또한 이러한 콘크리트 표면절삭 작업의 일련의 과정을 장비 조종자가 손쉽게 명령할 수 있도록 그래픽 MMI 시스템과의 연계의 필요성이 있다.

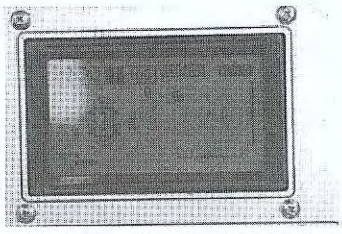
무선 원격조종 시스템은 사용자가 그래픽 MMI 시스템을 통해 디스플레이 된 정보를 바탕으로 장비를 원거리에서 직접 제어하기 위한 장비로서 사용자의 명령을 받아들일 수 있는 원격 제어기로부터 장비로 신호를 송신하는 송신부와 사용자의 명령을 입력받아 장비에서 직접 제어하는 수신부로 구성된다. 개발된 송수신 제어장치는 원거리에서 목표 대상이 되는 장치들을 제어하고자 할 때, 무선 송수신기를 이용하여 사용자가 원하는 조작을 할 수 있는 장치로서 RC 장치를 컨트롤하기 위한 발신기인 송신기와 송신기에서 보내어진 서보의 제어 신호를 복조하여 서보로 송신기로부터의 제어 신호를 보내어 주는 역할을 하는 장치인 수신기, 수신기의 지령에 따라서 전파의 신호를 기계적인 움직임으로 바꾸는 장치인 모터 서보로 구성된다.

가. 원격 컨트롤러

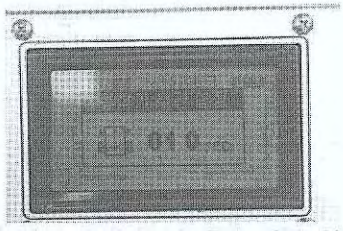
아래 그림 3-39는 본 과제를 위하여 개발된 조이스틱 원격 컨트롤러이다. 다음 원격 컨트롤러는 콘크리트 표면절삭 장비의 전·후진 및 회전, 그라인더 높낮이 변경 등을 제어하는 기능을 포함하며, 콘트롤센터 내 MMI 시스템과 연계함으로써 그 기능을 컴퓨터상에서 프리프로그래밍으로 구현하였다. 그림 3-39에서 보는 바와 같이 속도, 각도, 절삭 높이, 장비의 구동 상태 등을 장비조종자에게 시각적 정보를 제공하는 디스플레이창과 수동 조절용 조이스틱, 프리프로그래밍된 명령을 수행케 하는 10개의 제어 버튼 및 4개 모드조정 버튼으로 구성된다. 또한 장비와의 통신을 위한 안테나가 일체형으로 부착되어 있다.



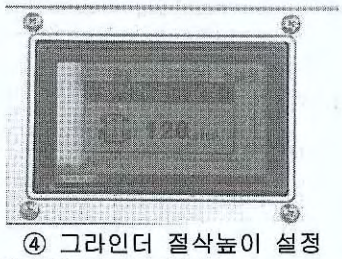
① 원격 콘트롤러 디스플레이



② 주행 및 조향각도 표시



③ 절삭 유압 밸브 개폐 시간 설정



④ 그라인더 절삭높이 설정



⑤ 완성된 원격 콘트롤러

그림 3-39. 조이스틱 원격 콘트롤러

표 3-22. 원격 컨트롤러 최종사양

용 도	제어 계측
전원전압	5V 충전지
소비전력	500mW 이하
시스템 동작온도	-20℃ ~ 70℃
통신거리	300m
사용주파수	300~500MHz
전파형식	F2D
입력	Analog 2ch, digital 12ch
출력	RF 1ch, 액정, LED 4ch
PC 통신	RS232
mi-com	Atmega
수신감도	≤ -87dBm
무선 전송속도	1 Mbps
액정	128×64 graphic

(1) 전자 제어부

그림 3-40은 조이스틱 전자제어부의 블록도이다. 홀 센서는 자기장의 방향의 x, y 축 성분에 대응하여 90°의 위상차를 가지는 신호를 출력한다. 온도와 같은 외부환경의 변화에 의하여 offsets전압 성분이 존재하게 된다. 자기장의 인가되지 않은 상태에서도 외부에 존재하는 자계의 영향, 전자파 노이즈에 의하여 기준전압(2.5V)에 대하여 일정한 편차를 가진 offsets를 유지하게 된다. 이것은 측정오차에 영향을 주는 원인이기도 하다. Offsets를 제거하는 방법은 주로 회로적인 방법과 소프트웨어로 해결할 수 있다. 본 연구에서는 회로설계에서 차동증폭 방식으로 offsets를 제거하는 보상방법을 취하였다.

신호변환 회로에서처럼 제어기 회로내부의 기준전압과 홀 센서 기준전압차를 차동회로로 구성한 후 증폭과 저주파 필터를 통과하여 프로세서에서는 offsets가 소거되고 노이즈 성분이 제거된 신호를 획득하게 된다.

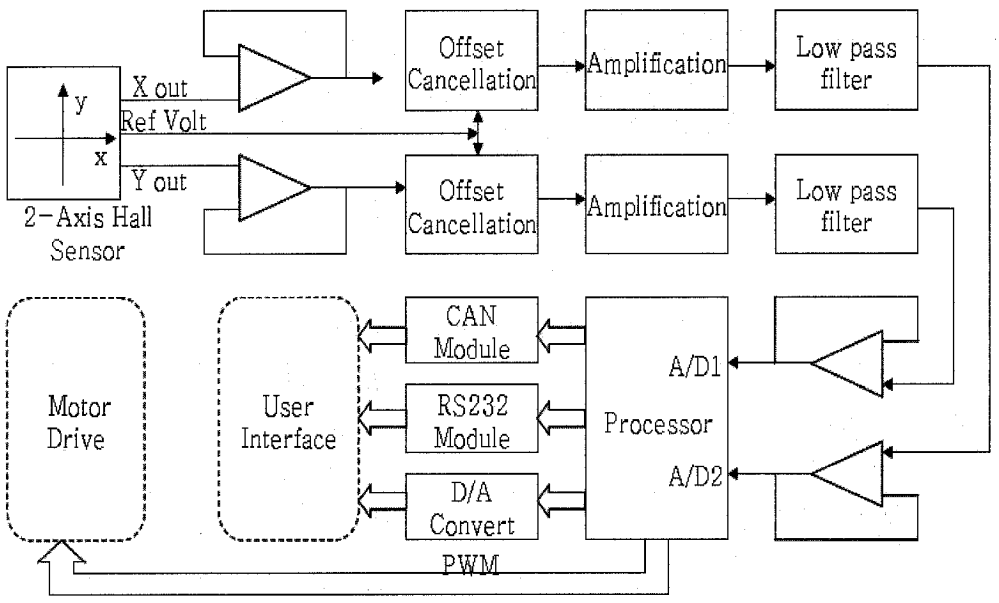


그림 3-40. 전자제어부 회로의 구성

소프트웨어에서는 CAN, RS232, D/A, PWM와 같은 다양한 인터페이스로 모듈화하여 부동한 응용환경에 적합하도록 범용성을 고려하여 설계하여 간단한 회로의 최적화 설계를 구현하였고 회로의 각 기능모듈을 buffer로 격리하여 신호흐름의 연관성, 하드웨어적인 독립성을 확보하여 하나의 기능모듈의 고장이 다른 모듈에 영향을

미칠 수 없게끔 설계하여 유지보수 용이하게 되었다. 제작된 제어기의 최종사양은 아래와 같다.

표 3-23. 전자제어 최종사양

구분	사양
CPU	Microchip PIC18F448
내부데이터 처리속도	100nsec
RS232통신	38400bit/s
D/A출력	0.02V resolution
PWM출력	0.5~10KHZ 가변, 0~5A 모터드라이브 내장

나. 메인 컨트롤러

메인 컨트롤러는 장비 조작자가 원격 컨트롤러를 통해 입력한 신호를 무선으로 수신하여 입력된 신호에 따라 PWM(Pulse with Modulation)의 RF 1ch 제어신호로 변환하여 모터 드라이브로 출력한다. 메인 컨트롤러와 조이스틱 원격 컨트롤러와의 통신은 F2D의 전파형식을 사용하며, 통신 주파수는 300~500MHz를 사용한다. 조이스틱 원격 컨트롤러와 메인 컨트롤러의 무선 전송속도는 1Mbps로 장비 조작자가 조이스틱 원격 컨트롤러를 통해 입력한 신호를 메인 컨트롤러에서 수신하는데 무리가 없도록 설정하였다. 또한 메인 컨트롤러는 개발 장비의 그라인더에 부착된 각도센서에서 입력되는 저항 값을 수신하며 장비 조작자가 각도센서의 저항 값을 통해 그라인더의 높낮이를 인식할 수 있도록 메인 컨트롤러에서 조이스틱 원격 컨트롤러로 각도센서의 데이터를 전송한다. 메인 컨트롤러에 사용된 메인 프로세서는 마이크로칩(社)의 PIC18F448을 사용하였으며 추가적인 기능으로 포스-피드백을 포함한 제어 컨트롤러이다.

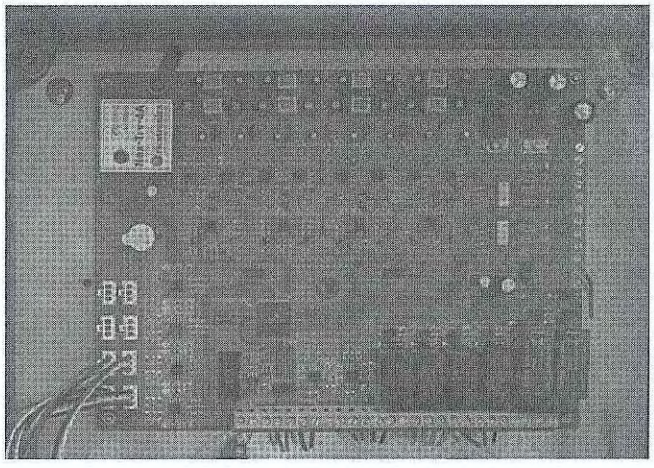


그림 3-41. 메인 컨트롤러

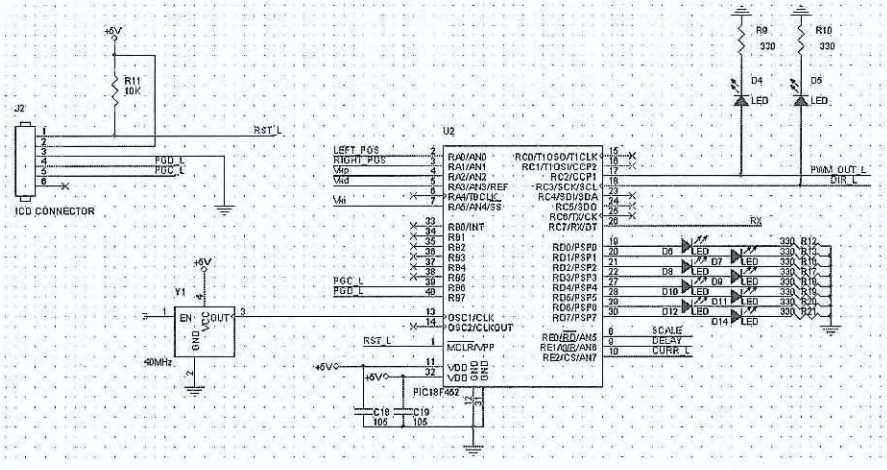


그림 3-42. 메인_컨터롤러 회로부

(1) 전원부

메인 전원부에서는 엔진에서 제너레이터를 통하여 충전된 차량 배터리로 12-24V 전원을 사용하며 전압 안정화를 위하여 7812 및 7805 레귤레이터를 사용하였다. 또한 차량 배데리의 충방전을 원활하기 위하여 엔진에 충전기를 붙여서 배터리를 충전한다.

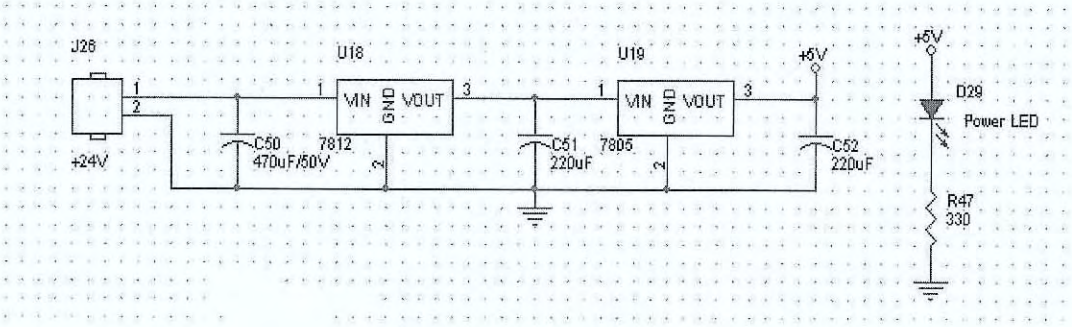


그림 3-43. 전원부

(2) RF 송수신부

그림 3-44와 그림 3-45는 송수신부로서 메인컨터롤러에서 원하는 제어신호만큼의 모터를 구동하기 위하여 소프트웨어적으로 구성되어있으며 현재 송신거리는 약 100M 정도로 예상하고 있고 RF송신기의 조합으로 더욱 보강 할 계획이다. 또한 확장성을 고려하여 CAN 통신도 추가하여 설계하였다.

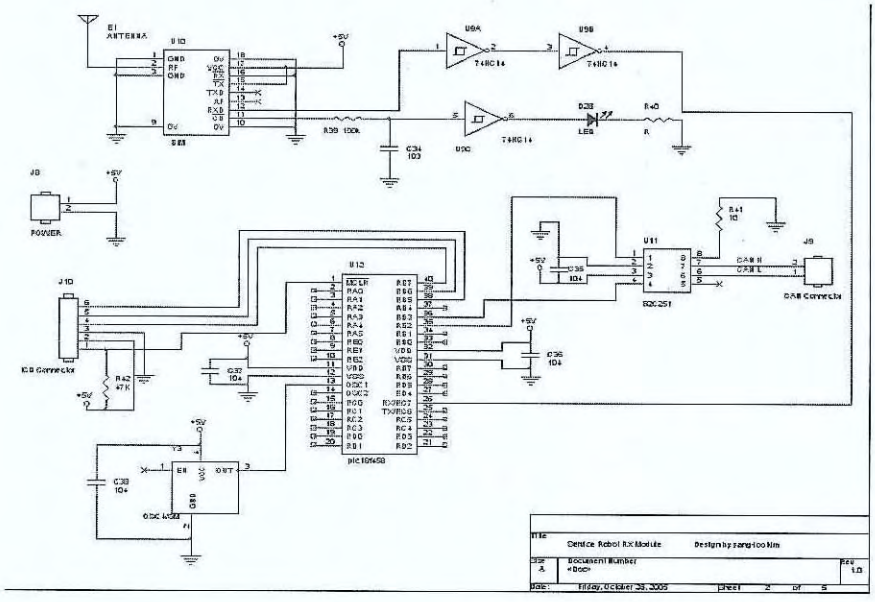


그림 3-44. RF 송수신부

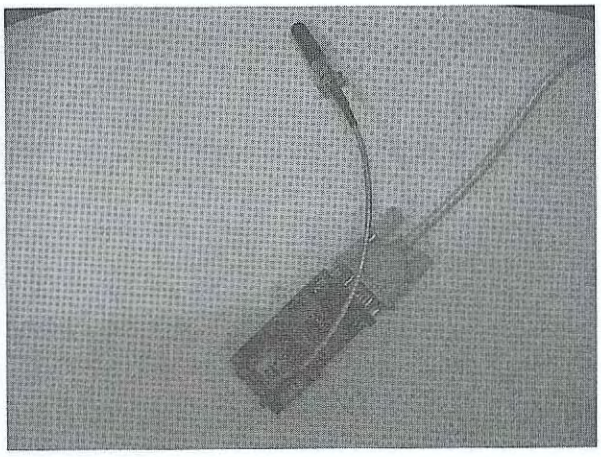


그림 3-45. RF 송수신기

다. 모터드라이브 시스템 구성 및 실험

모터 드라이브는 메인 컨트롤러로부터 입력받은 RF1ch 신호를 후륜의 DC 웜기어 모터 및 조향장치의 유압실린더 밸브를 조절할 수 있는 Motor 3ch의 신호로 출력하여 모터 및 실린더를 제어할 수 있도록 한다. 또한 각도센서를 통해 입력받은 저항값을 메인 드라이버로 송신, 메인 드라이버를 거쳐 원격 컨트롤러에 각도센서의 수치를 전송한다. 이를 통하여 장비 조작자가 최종적으로 절삭 그라인더의 높낮이를 알 있도록 구성된다.

또한 구성된 모터 드라이브 시스템이 모터 및 실린더를 정확하게 제어하기 위해서는 모터드라이브에 입력되는 신호 및 출력 신호에 대한 신호의 변화량에 대한 실험을 통해 제어신호의 정확성에 대한 검증하여야 한다.

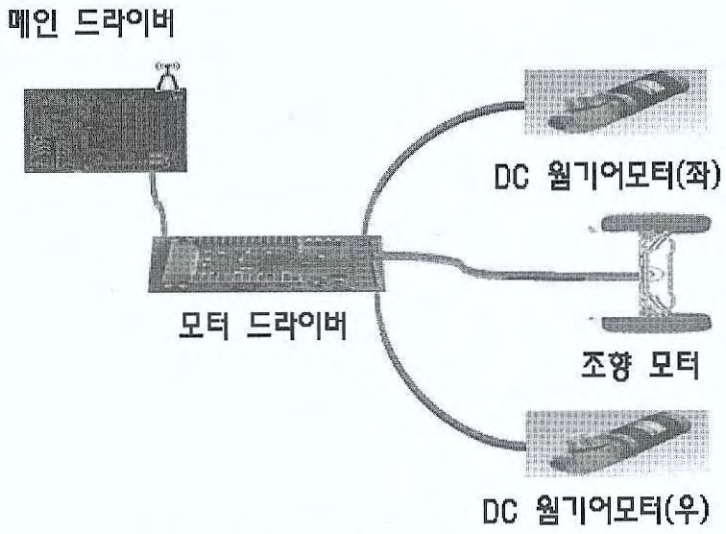


그림 3-46. 모터 드라이브 시스템 구성

(1) 모터 드라이브의 구성

아래 그림은 본 장치에서 사용된 주 모터제어회로이다. 제어기의 간편성 및 제어장치의 유연성을 고려하여 원칩 마이크로프로세서(PIC18F452)를 사용하였다. 또한 엔코더를 첨부하여 정밀제어를 하였고 또한 감속기를 추가로 첨부하였다.

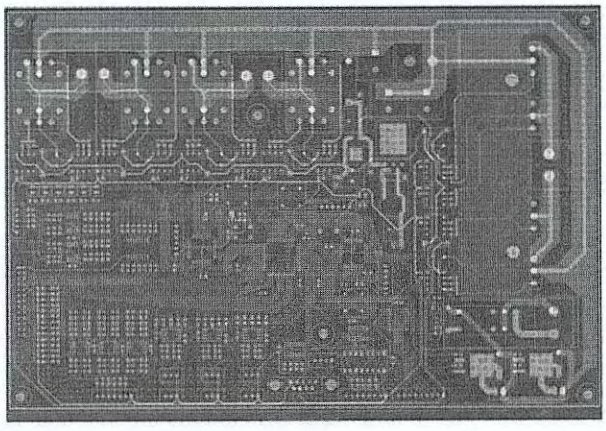


그림 3-47 모터드라이브 art work

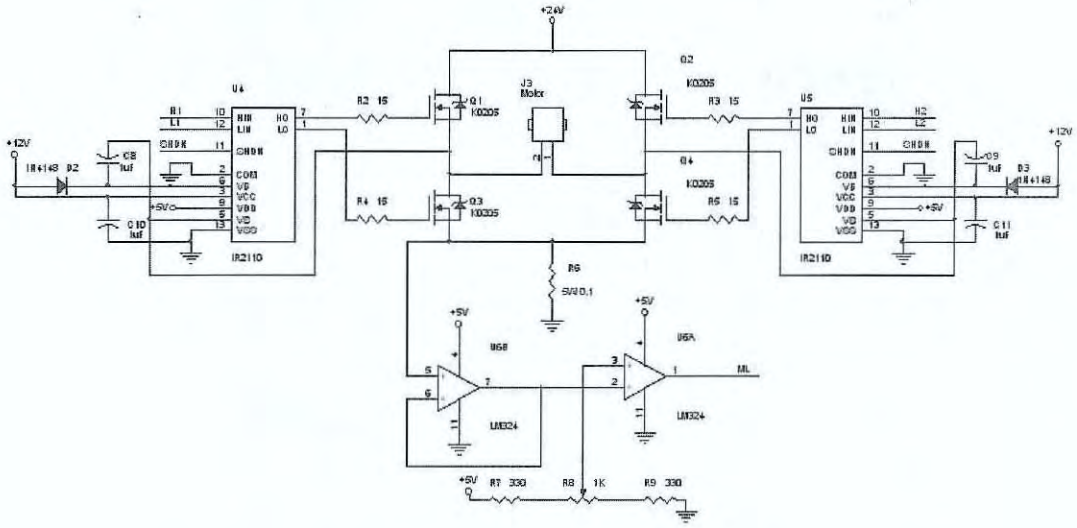


그림 3-48. 모터 드라이브 회로도

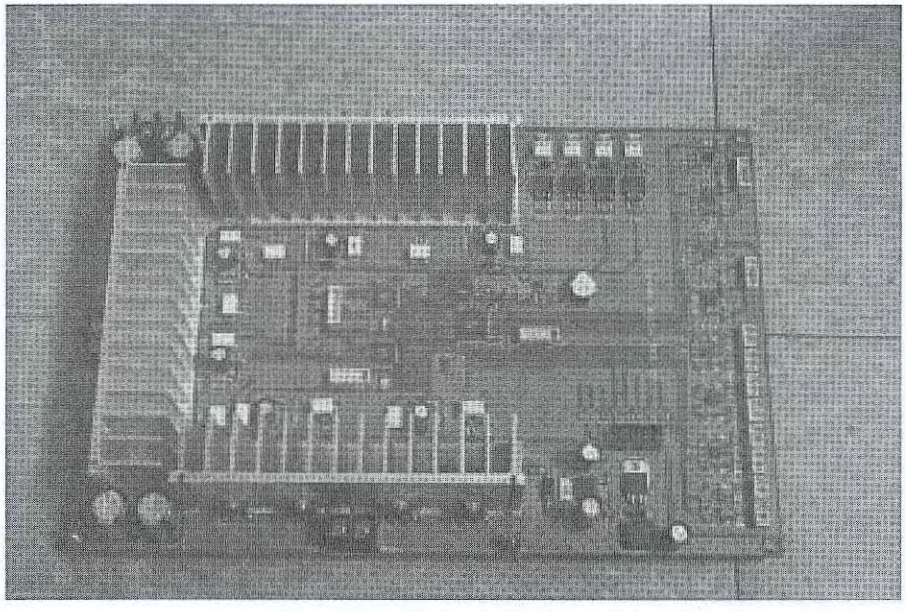


그림 3-49 완성된 모터 드라이브

표 3-24. Motor Drive 최종 사양

용도	모터 제어
전원전압	24V 200A
소비전력	Max 300A
시스템 동작온도	-20 ~ 70℃
통신방식	RS232
통신 속도	9600BPS
모터 제어방식	PWM(Pulse With Modulation)
입력	Analog 8ch, digital 8ch
출력	Motor 3ch(24V 100A)
PC 통신	RS 232
mi-com	Atmega 256

(2) 모터 드라이브의 신호 변화량 실험

모터 드라이브를 통해 출력되는 Motor 3ch 신호를 사용하여 모터 및 실린더를 제어하기에는 출력되는 신호의 전압이 미약하므로 충분히 증폭하여야하며, 증폭에 따른 잡음, 온도드리프트 등의 변화에 의해 장치의 오동작을 막아야한다. 다음 그림은 본 장치에 사용된 증폭회로 부분이다.

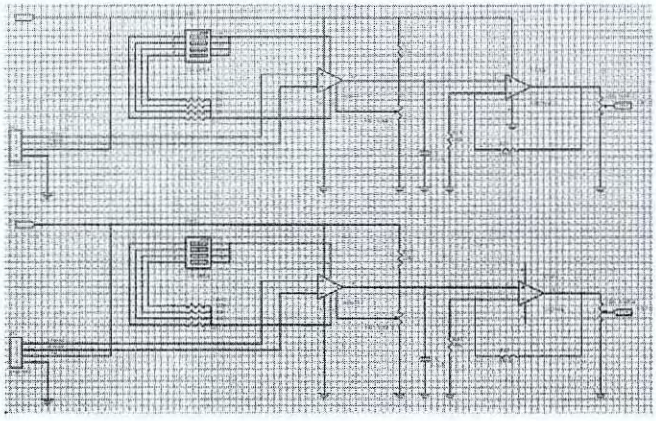


그림 3-50. 증폭부

아래 그림 3-51은 조이스틱 원격 컨트롤러에서 보낸 신호를 모터 제어기 신호 증폭에서 측정한 정지 상태에서 점차 속도를 증가 하였을 때 신호의 변화량이다.

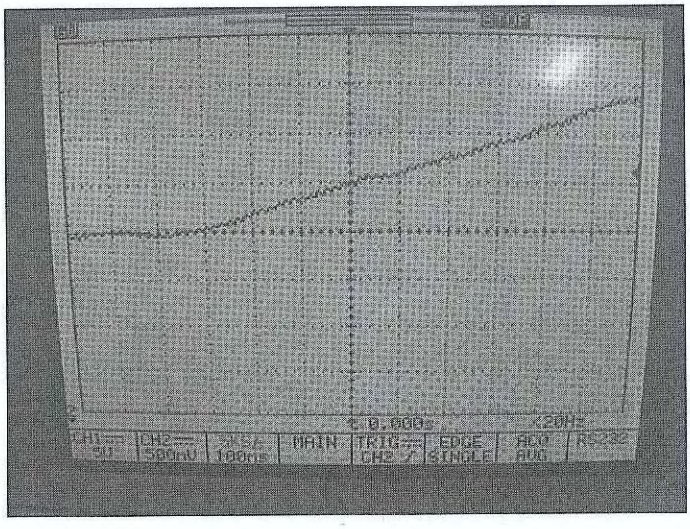


그림 3-51. 정지 후 점차 가속 상태

아래 그림 3-52는 조이스틱 원격 컨트롤러에서 보낸 신호를 제어기 신호 증폭에서 측정한 등속도 운동을 하다가 점차 속도를 감소하였을 때 신호의 변화량이다.

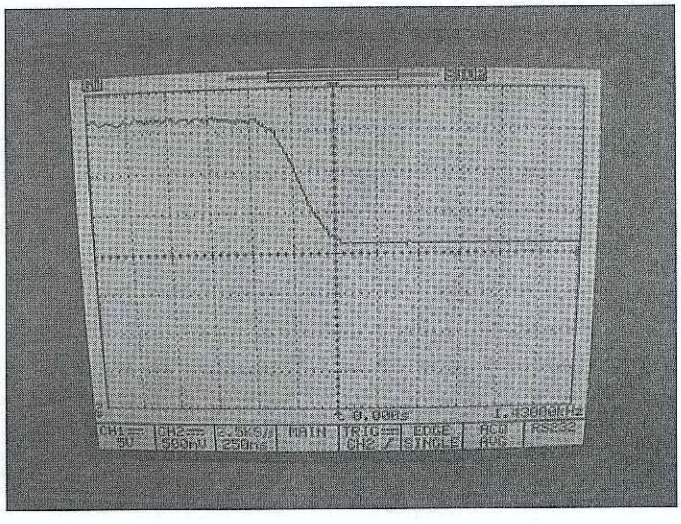


그림 3-52. 등속도 후 점차 감속 상태

아래 그림 3-53은 조이스틱 원격 컨트롤러에서 보낸 신호를 모터 제어기 신호 증

폭에서 측정한 정지 상태에서 점차 속도를 증가 하여 등속도 운동을 하고나서 서서히 감소 할 때 신호의 변화량이다.

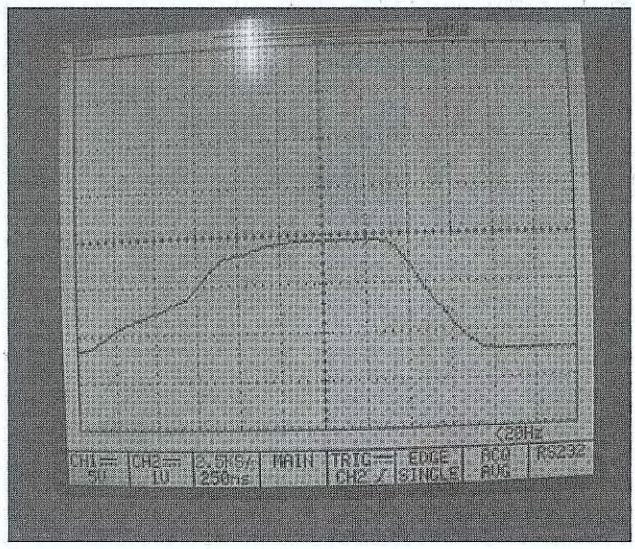


그림 3-53. 출발 후 정지까지의 변화량

(3) 연구 결과 및 고찰

본 연구에서는 단일 홀 센서로 자기장의 회전을 감지하는 원리를 이용하여 비접촉식 전자조이스틱의 기구 및 전자제어부를 개발하였다. 조이스틱 봉의 실제 회전과 센서 출력사이의 비선형관계를 이론적으로 모델링 하여 최소자승근사법에 근거하여 실험과 시뮬레이션 사이의 일치성을 증명하였다. 또한, 기존의 최소자승근사법을 이용하는 대신에 제안한 universal joint의 메커니즘으로부터 비선형 보정 방정식에 기초한 새로운 보상방법을 제시하였다. 개발된 조이스틱의 전자제어부는 CAN, RS232, D/A변환과 같은 다양한 인터페이스로 모듈화하여 여러 응용환경에 적용 가능하도록 개발하였다. 조이스틱 봉의 회전 범위에서 1%이내의 비 선형오차 특성을 확보할 수 있었다.

이 전자조이스틱을 사용하여 RF를 이용하여 모터 드라이브를 구현하였다. 본 개발에서 측정환경에서 오는 잡음으로 인하여 이론방정식의 파라미터 값에 대한 오차가 존재하였으나, 측정 장치의 개선을 통하여 정밀한 선형동작을 하는 조이스틱의 구현이 가능할 것으로 판단된다.

라. 무선 통신 규약(프로토콜)

아래 그림의 원격조종 시스템 구성에 보인 바와 같이 원격 컨트롤러와 메인 드라이버는 무선 데이터 송수신을 하게 되며 이러한 무선 데이터 전송을 원활하게 하기 위해서는 데이터 통신의 통신규칙과 방법에 대한 약속 즉, 통신의 규약(프로토콜)이 정해져야 한다. 원격 컨트롤러와 메인 드라이버는 원거리 통신을 하게 되므로 정보를 전송하기 위해서는 정보를 전기적인 신호의 형태로 변환하고 그 변환된 신호가 통신망을 통해 흐르게 하나 통신망에는 정상적인 신호의 흐름을 훼방하는 여러 가지 현상이 존재하게 된다. 이러한 현상은 정확한 정보의 전송을 방해하여 도중에 오류가 발생되는 원인이 된다. 통신 규약(프로토콜)에는 이러한 오류제어, 동기, 흐름제어, 코드변환, 전송속도 등에 대한 약속(프로토콜)이 설정되어야 한다. 원격 컨트롤러와 메인 드라이버에 설정된 무선 통신 규약은 콘트롤 센터와 원격 컨트롤러 사이의 통신 규약에도 적용하여 사용할 수 있다.

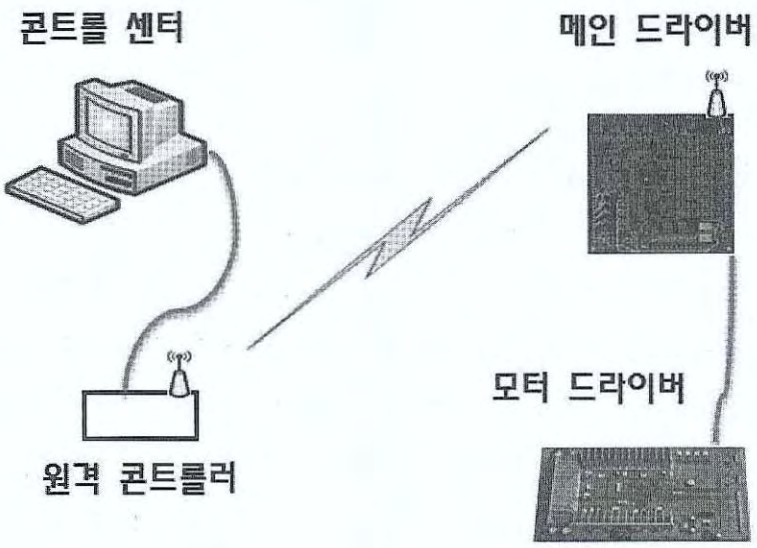


그림 3-54 원격조종 시스템 구성도

(1) 송신 프로토콜

원격 컨트롤러에서는 장비의 전·후진 및 그라인더의 상하 조절 및 조향 명령을 메인 드라이버로 전송하게 된다.

STX	CMD	GFE	GRD2	GRD1	GRD0	GMD1	GMD0	CHS1	CHS0	ETX

- STX : 전송시작을 알리는 코드 (0x02)
- CMD : 정지, 전진, 후진 명령 (S / F / B)
  ex) 'S'- 정지, 'F'-전진, 'B'-후진
- GFE : 그라인더 상하 조절 명령 (Y / N)
  ex) 'Y'-그라인더 상승, 'N'-그라인더 하강
- GRD<2:0> : 조향각도(000 - 359)
  ex) - 010 : 시계방향으로 10°회전
  - 180 : 180°회전
  - 350 : 시계반대방향으로 10°회전
- GMD<1:0> : 주행속도(00 - 99)
- CHS<1:0> : 전송명령 CheckSum 코드
- ETX : 전송종료를 알리는 코드 (0x03)

(2) 수신 프로토콜

메인 컨트롤러에서는 원격 컨트롤러에서 송신되는 신호뿐만 아니라 메인 컨트롤러에 케이블을 통해 직접 연결되어 있는 각도센서 및 초음파센서의 신호도 같이 수신하게 되므로 각도센서 및 초음파센서의 신호도 수신 프로토콜에 포함되게 된다.

STX	MSC	D12	D11	D10	D22	D21	D20	D32	D31	D30	D42	D41	D40	CHS1	CHS0	ETX

- STX : 전송시작을 알리는 코드 (0x02)
- MSC : 현재 절삭기 차량의 상태 코드

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	DDSAB	0	0	GFEF	0	IFSF	IFST

- DDSAB : 수신된 데이터의 유효성(1-유효데이터, 0-비 유효데이터)

- GFEF : 그라인더 상태 (1 - 하강, 0 - 상승)
- IFSF : 절삭기 전방의 장애물 유무
- IFST : 절삭기 후방의 장애물 유무

- CHS<1:0> : 전송명령 CheckSum 코드
- ETX : 전송종료를 알리는 코드 (0x03)

(3) 프로토콜 유효성 검사

전송되는 데이터의 유효성은 프로토콜 내에 포함되어 있는 CheckSum 코드를 확인하여 송·수신 프로토콜의 유효성 검사를 실시한다. CheckSum 코드를 통한 유효성 검사방법은 전송시작과 전송종료 코드를 제외한 유효 바이트 코드의 총합을 산출하고 0 값에서 산출된 값의 차가 0일 경우 정상적인 데이터로 간주한다.

ex) 다음과 같은 명령코드 시

	STX	CMD	GFE	GRD2	GRD1	GRD0	GMD1	GMD0	CHS1	CHS0	ETX
ASCII	STX	R	N	0	0	0	2	0	6	E	ETX
HEX	0x02	0x52	0x4e	0x30	0x30	0x30	0x32	0x30	0x36	0x45	0x03

유효성 = 0 - (0x52+0x4e+0x30+0x30+0x30+0x32+0x30) = 0

상기와 같은 명령이 전송 될 경우 전송되는 명령은 유효한 신호로 볼 수 있다.

(4) 통신환경

원격 컨트롤러와 메인 드라이버간의 데이터 전송을 통신 환경은 Baud[1] 38400으로 설정하였다.

---

1) 전신이나 전화 통신로 또는 컴퓨터에서 신호의 변조속도를 나타내는 단위를 말하며, 프랑스 과학자 보드(Baudot, J.M.E.)의 이름에서 유래하였다. 처음에는 연속하여 전송할 수 있는 모스부호의 초당 도트 수의 2배를 뜻하였으나, 지금은 반송파가 떠맡는 부호 단위의 변조 속도를 의미하게 되었다. 일반적으로 모뎀 속도를 의미하며, 이진 신호인 경우에는 전송되는 초당 비트 수(bits per second:bps)와 같은 수치로 나타나지만 한 신호가 2비트나 4비트를 나타내는 전송방식도 있으므로 bps와 같은 개념은 아니다. [두산세계대백과]

4. 그래픽 MMI 시스템

최적 경로계획은 작업구간이 중복되지 않도록 선형적으로 생성되므로 장비가 계획된 경로를 이탈할 경우 표면절삭 작업이 이루어지지 않거나 중복 작업으로 인한 콘크리트면 과다 절삭되는 구간이 발생하게 되므로 장비 조종자는 장비가 계획 경로를 따라서 작업이 수행되고 있는지 모니터링하며 원격조종을 수행하는 것은 매우 중요하다. 이를 위해 그래픽 콘트롤 시스템은 장비의 현재 위치와 방향, 속도, 계획된 경로와의 오차정보 그리고 작업의 진척도 등을 산출하여 표시하고 작업 품질에 대한 정보도 함께 제공해야 한다. 따라서 그래픽 콘트롤 시스템의 하드웨어 구성은 MMI(Man-Machin Interface) Unit과 정확한 위치 정보 제공을 위한 GPS 시스템으로 구성된다. MMI Unit은 산업용 컴퓨터와 그래픽 모니터로 구성되며, 원격조종을 위한 컨트롤센터 형식으로 개발한다.

또한 장비 조종자는 원거리에서 장비를 조종하게 되므로 절삭품질에 대한 정보를 육안으로 확인이 불가능 하다. 따라서 머신비젼(Machine-vision) 시스템을 도입하여 절삭이 불완전하게 이루어진 상황에서 작업자의 재작업 판단을 대신할 수 있도록 한다. [Masahiko et al, 1994] [Makoto et al, 2004]

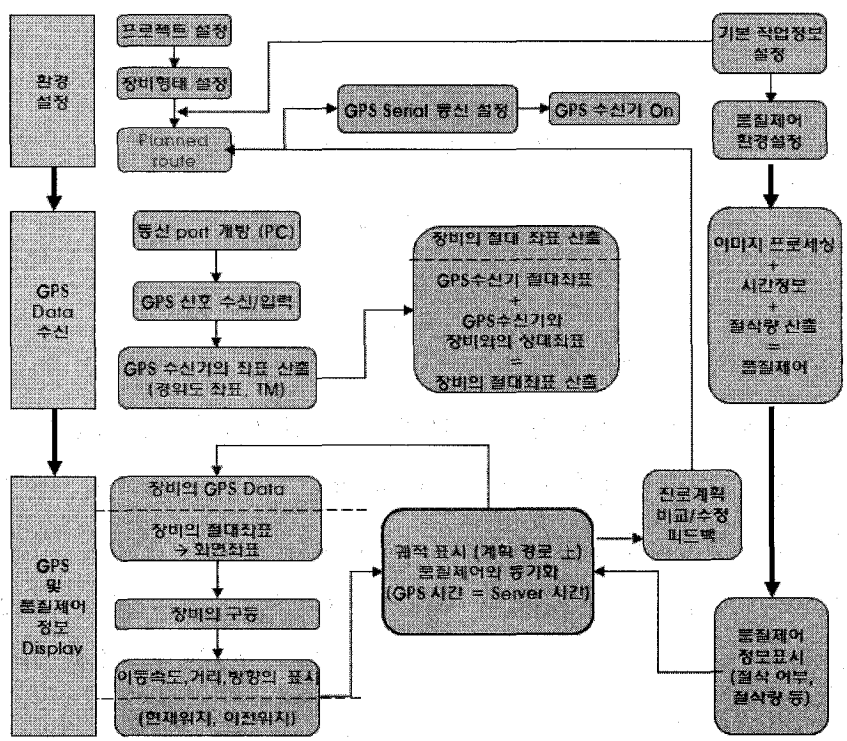


그림 3-55. 그래픽 MMI 시스템 개발요소

GPS 시스템은 장비의 실시간 위치를 그래픽 모델로 표현하기 위한 데이터 산정에 필요하며, 콘크리트 표면절삭 작업의 특성상 소요의 정확도를 요구하게 된다. 따라서 장비에 설치되는 GPS 수신기의 정확도를 높이기 위해 필요한 RTK(Real-Time Kinematic) Base Unit 및 부대 통신 장비로 이루어진다.

그래픽 MMI 시스템이 구현되는 산업용 컴퓨터는 GPS로부터 수신되는 장비의 이동좌표 정보와 경로계획의 매칭과 디스플레이 및 품질제어로부터 절삭여부와 이진화 이미지의 디스플레이와 원격 컨트롤러로의 경로보정 데이터를 송신하기 위하여 제어장치를 필수적인 요소이다. 장비의 이동성과 소요의 데이터 처리 능력을 갖추기 위하여 산업용 컴퓨터가 요구되어진다. 품질관리 시스템 및 통합 소프트웨어 등을 위한 산업용 컴퓨터는 표 3-25와 같은 사양을 갖추고 있다.

표 3-25. 산업용 컴퓨터 사양

구분	규격	비고
CPU	Pentium 4 3.0	
MEMORY	512MB*2 (DDR2)	
VGA	Radeon X1600	
HDD	370GB	
무선 랜카드	Proxim PCI wireless card 802.11/a/b/g	수신 영역 100m 이내
모니터	15" LCD	본체 일체형

가. 건설 기계를 위한 그래픽 MMI

그림 3-56에서 나타내는 바와 같이 그래픽 조종 인터페이스를 사용한 장비의 조종 시스템에서는 장비 및 작업환경에 대한 그래픽 형상 모델이 센서 데이터에 의해 실시간으로 업데이트 되며, 조종자는 이 그래픽 정보와 더불어 작업 환경 및 장비의 위치 및 상태에 대해서 시각 혹은 청각 등에 의해 직접적으로 감지된 다른 가용한 정보에 근거하여 장비를 조종하게 된다. 이 때 그래픽 환경은 장비의 조종을 매우 효율적으로 만들어 줄 수 있는데 이는 작업 환경과 떨어진 공간에서 그래픽 뷰를 이용하여 조종자에게 보다 나은 공간감각을 제공하여 주기 때문이다. 그리고 시공하고자 하는 시

설물의 설계에 대한 CAD 데이터를 장비와 작업환경과 함께 그래픽 환경에서 묘사를 해줌으로써 조종자로 하여금 수행하여야 할 작업에 대한 정보를 제공해 줄 수 있는데, 이러한 기능을 통하여 시공과정에서 요구되는 측량작업 및 사전작업을 제거하거나 혹은 대폭 줄여 줌으로써 시공자동화에 크게 기여할 수 있게 된다. 예를 들어 콘크리트 표면절삭 작업에서도 원격조종 장비의 그래픽 조종인터페이스에 콘크리트 교량과 장비에 대한 형상모델과 더불어 성취하고자 하는 절삭면에 대한 CAD 데이터를 같이 포함하면 조종자는 어느 부분을 어느 정도 절삭해야할 지를 그래픽 정보에 준하여 알 수 있게 되므로 시공측량말뚝의 도움 없이 작업을 수행할 수 있게 된다.

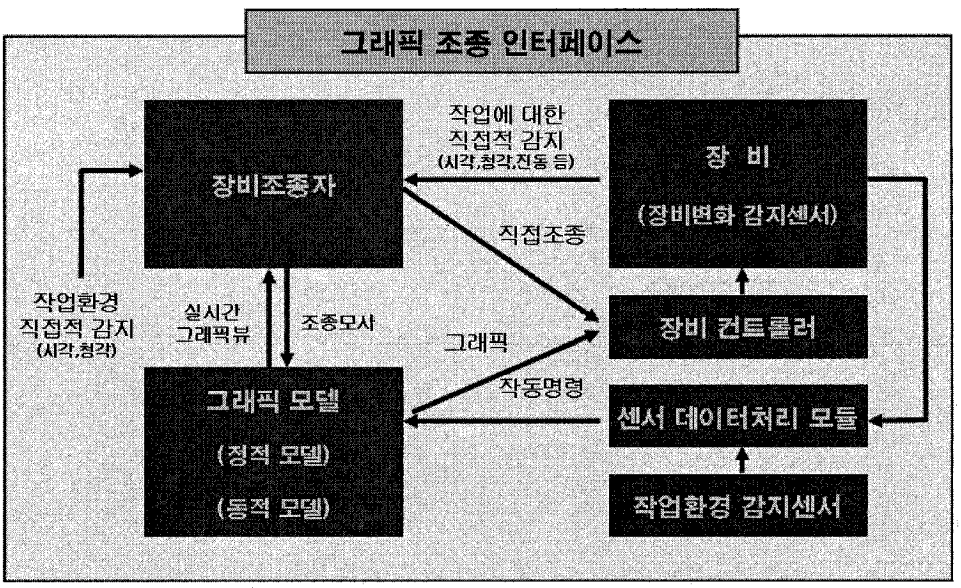


그림 3-56. 그래픽 조종인터페이스를 이용한 장비의 조종

또한, 교량 포장 공사와 같은 작업의 환경은 공장에서의 제조 작업과는 달리 조절하기가 힘들며 시시각각으로 변화하게 된다. 이에 대한 실시간 형상 모델링이 적절히 이루어져야만 그래픽조종 인터페이스를 장비의 조종에 사용할 수 있게 되는데, 변화하는 작업환경의 실시간 형상 모델링에는 많은 어려움이 따르게 된다. 이 이유로 인해서 건설 중장비에 있어서 그래픽조종 인터페이스의 적용은 제조업에 쓰이는 자동화 장비와 비교해 볼 때 쉽게 이루어지지 않았다. 그러나 RTK GPS와 CAD 데이터의 연계를 통해 작업환경에 대한 실시간 형상 모델링을 실현하여 작업자의 원격 조종에 용이하게 콘크리트 표면절삭 장비에의 적용이 가능하다고 판단된다.

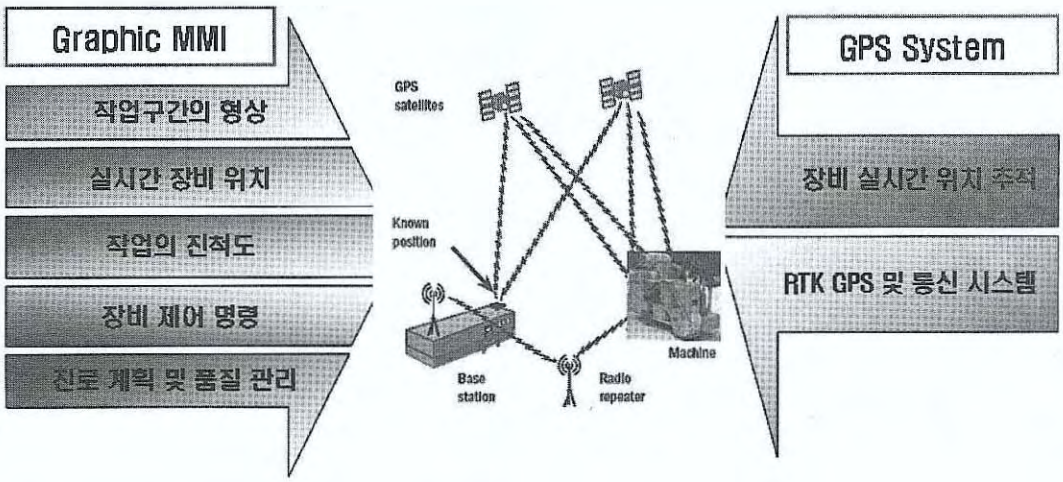


그림 3-57. 콘크리트 표면절삭 장비의 그래픽 MMI

나. 그래픽 MMI 구조 설계

일반적으로 그래픽 조종시스템의 구조는 능동적 시스템과 수동적 시스템으로 나눌 수 있다[Seo et al. 2000]. 여기서 능동적 시스템이라 함은 그림 3-58과 같이 조종자가 그래픽 모델을 이용하여 기대되는 로봇의 움직임을 모사 해 본 다음 그 과정이 조종자를 만족시킨다면 이를 로봇에게 작동명령으로서 보내게 되는 것이며, 작업수행 후에는 변화된 작업환경 및 장비에 대한 그래픽 모델이 업데이트 되는 시스템이다. 반면, 수동적 시스템의 경우는 그림 3-59과 같이 작업환경 및 장비에 대한 그래픽 모델이 장비의 조종이 진행됨에 따라 실시간으로 업데이트 되지만 작업계획을 그래픽 모델을 다룸으로써 행하는 기능은 없는 경우를 뜻한다[Sheridan 1992].

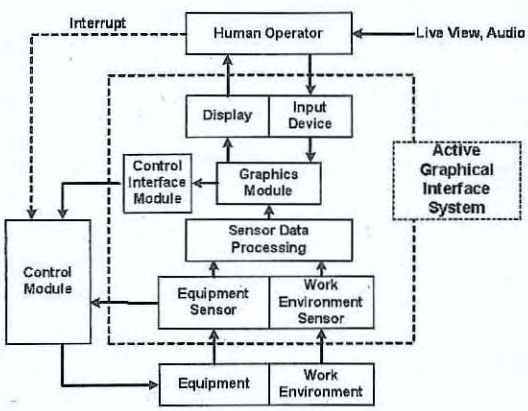


그림 3-58. 능동적 그래픽 조종 시스템

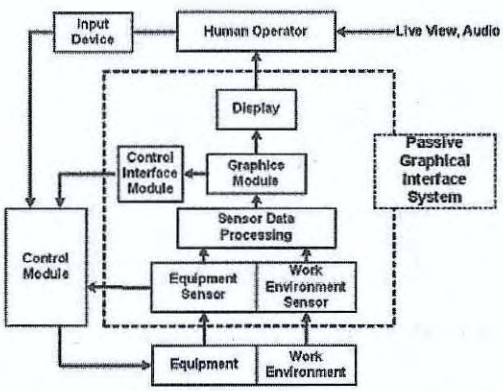


그림 3-59. 수동적 그래픽 조종 시스템

물론 능동적 시스템이 더 많은 기능을 보유하지만 능동적 시스템의 경우 그래픽 모델을 통한 작업계획 시 조종자가 작업환경에 대해서 시각 혹은 청각에 의해 직접적으로 감지된 정보를 조합하여 사용하는 것이 힘들기 때문에 작업환경 전반에 대한 정확한 그래픽 모델이 요구된다. 건설 시공과 같이 시시각각 변하는 환경에서는 이와 같은 그래픽 모델의 유지가 상당히 어렵다. 그러므로 능동적 시스템의 경우는 장비의 다중자유도와 같은 이유로 인하여 작업계획이 복잡할 때 그 가치가 있다 할 수 있다. 반면에 수동적 시스템의 경우는 장비의 조종자가 장비조종을 위하여 기존의 장비조종방식과 마찬가지로 작업환경 및 장비에 대한 시각적, 청각적 감지에 의존하되 그래픽모델을 통하여 향상된 공간감각과 수행해야 할 작업에 대한 안내를 받게 되므로 그래픽 모델이 작업환경의 모든 사물을 포함하지 않더라도 그 이용이 가능하다.

콘크리트 면 상에서의 주행을 위한 전·후진, 방향 전환과 절삭을 위한 콘크리트 절삭 날의 상하 조절만을 담당하는 콘크리트 표면절삭 장비의 작업계획의 경우는 다양한 명령 조합이 발생하지 않으므로 프리프로그래밍을 통하여 상위 명령 단계의 구현이 가능할 것으로 판단되고, 최적 경로계획과의 연계를 통하여 경로 이탈시 실시간으로 경로 보정 명령을 송출한다면 더욱 효과적이라 사료됨으로 수동적 시스템을 기반으로 프리프로그래밍을 활용한 그래픽 MMI 구조를 설계하였다. [Seo et al, 1999]

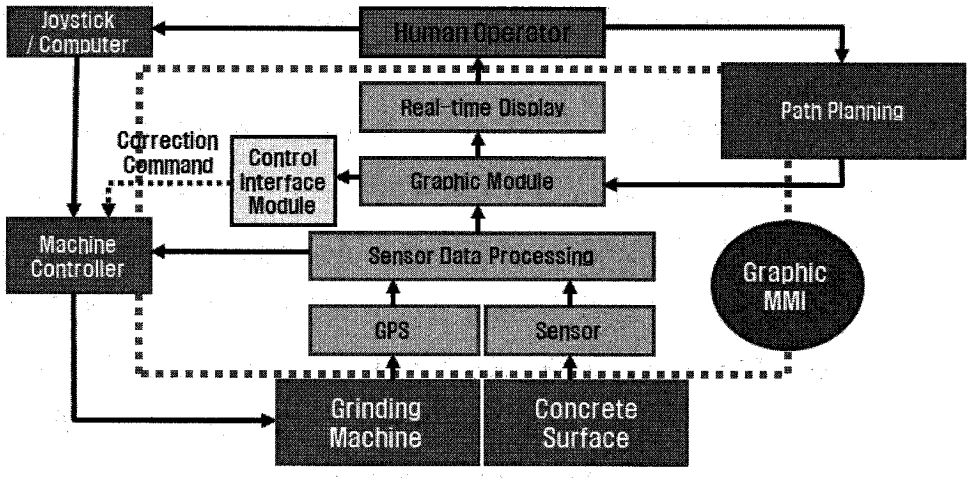


그림 3-60. 그래픽 MMI의 설계

이러한 MMI 구조를 설계시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 작업 수행자는 그래픽 MMI를 통하여 모든 작업이 수행 가능하도록 한다. 즉, 경로계획, 품질관리, 장비제어와 관련된 모든 작업정보가 한 화면에 표현되어야 한다.

(2) 모든 프로세스는 실시간 디스플레이 (Real-Time Display)로 이루어진다.

(3) 초음파 센서나 각도 센서와 같은 센싱 데이터의 통합이 가능해야 한다.

(4) 작업자의 편의성과 효율성을 고려한 사용자 인터페이스를 개발한다.

(5) 프리프로그래밍은 조종자의 의사결정을 지원해야 한다.

나. GPS 시스템

GPS(Global Positioning System)은 세 개의 위성으로부터 정확한 시간에 위치정보를 얻음으로써 현재의 위치를 정확히 알 수 있는 항법체계이다. 경도, 위도, 고도뿐만 아니라 3차원 속도까지 알 수 있다. 본 연구에서는 GPS 시스템을 적용하여 장비의 현재 위치와 속도를 그래픽 MMI 시스템에 표현함으로써 작업자의 편의성을 위한 시각화(Visualization)를 도모하였다.

(1) GPS 측위 방식

GPS는 측위 방식에 따라 종류를 구분한다. 여러 방식이 존재하나 대표적으로 단독측위, Differential GPS(DGPS), RTK(Real Time Kinematic) GPS의 3 종의 GPS로 구분한다.

단독 측위는 절대 위치측정법이라고도 하며, 1대의 GPS 수신기로 위성들의 데이터를 분석하여 실시간으로 지구상의 절대위치를 나타내는 측정법이다. 단독측위에서는 일반적인 사용자가 접근할 수 있는 표준측위서비스(Standard Positioning Service : SPS) 그리고 허가 받은 사용자가 접근할 수 있는 정밀측위서비스(Precise Positioning Service : PPS)를 이용한다. 표준측위서비스의 경우 수평 위치의 정확도의 한계는 100m 이고 수직 정확도는 95%의 확률 수준에서 156m 이다. 정밀측위서비스는 95% 확률 수준에서 수평 정확도는 16m내에 들고 수직 정확도는 23m 내에 든다.

DGPS(Differential GPS)는 두 수신기 또는 그 이상의 사용에 기초하는데 기지점에 위치한 기지국 수신기 또는 참조하는 고정 수신기 그리고 원격 수신기의 위치에 의해 결정된다. 적어도 4개의 공통의 위성이 반드시 양쪽 장소에서 동시에 추적되어야 한

다. 참조 수신기의 알고 있는 위치는 GPS에서 나온 위치 또는 관측된 의사거리(pseudoranges)를 보정하기 위한 계산에 사용되어진다.

즉 좌표를 알고 있는 기지점에 GPS 수신기를 설치하고, 위성들을 모니터 하여 개별 위성의 거리 오차 보정치를 정밀하게 계산한 후 이를 작업 현장의 이동국용 수신기의 오차보정에 이용하는 방식인데 이 방식은 다음 그림 3-61과 같다.

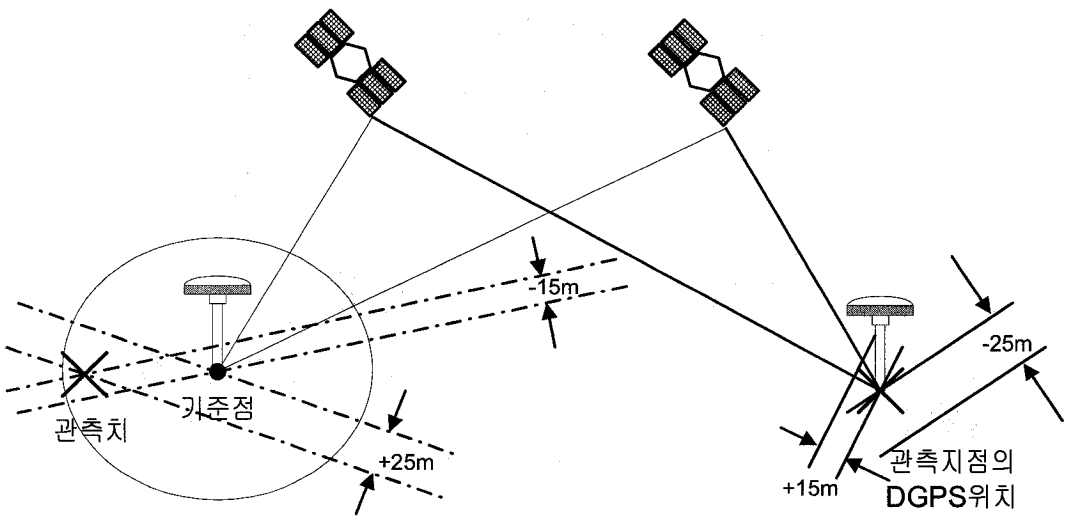


그림 3-61 DGPS

보정은 움직이는 수신기로부터 원격측정법(telemetry)을 통해 전달되고 단독측위 모드에 비해 더 정확하게 이동국의 위치를 계산한다.

두 보정 기법이 사용되는데 첫 번째는 기지점의 참조 수신기는 이동국의 수신기와 같은 위성을 사용하여 위치를 계산한다. 계산된 위치로부터 알려진 차이는 위치 보정을 산출한다. 이 값은 그런 다음 개선된 위치를 얻기 위해 이동국 수신기에 적용된다.

두 번째 방법은 참조 위치에서 관측된 의사거리(pseudoranges)와 계산된 거리 사이의 차이로부터 나온 의사거리(pseudoranges) 보정에 기초한다. 거리 보정에서 따로 거리 비율(range rate) 또한 참조 위치에서 계산되어진다. 이동국의 관측된 의사거리는 참조국의 의사거리 보정이 적용됨에 의해 보정 된다. 이 방법은 상당히 융통성이 있고 높은 정확도를 제공하고 일반적으로 사용되는 방법 중의 하나이다. 이의 단점은 알고리즘에 의해 요구되는 많은 계산 노력이다.

C/A-code를 사용하여 3~5m 수준의 정확도를 일상적으로 획득할 수 있다. 밀리미터 수준의 정확도를 얻기 위해서 반드시 phase smoothed code ranges 또는 high performance C/A-code 수신기를 사용해야 한다. 반송파 위상(carrier phases)을 사용하면 상당히 높은 수준과 대등한 정확도에 미칠 수 있다.

RTK GPS(Real Time Kinematic GPS)는 GPS를 이용하여 두 점간의 거리, 방위, 고도차를 실시간으로 측량할 수 있는 측량방식이다. 기준점에 설치된 측량용 GPS 수신기가 수신한 GPS 위성의 코드 및 위상 데이터를 측점상의 GPS 수신기로 송신하여 GPS 수신기로 하여금 두 점간의 거리, 방위, 고도차를 계산, 실시간으로 표시토록 한다. 이때 데이터의 송수신은 UHF 무전기를 사용한다.

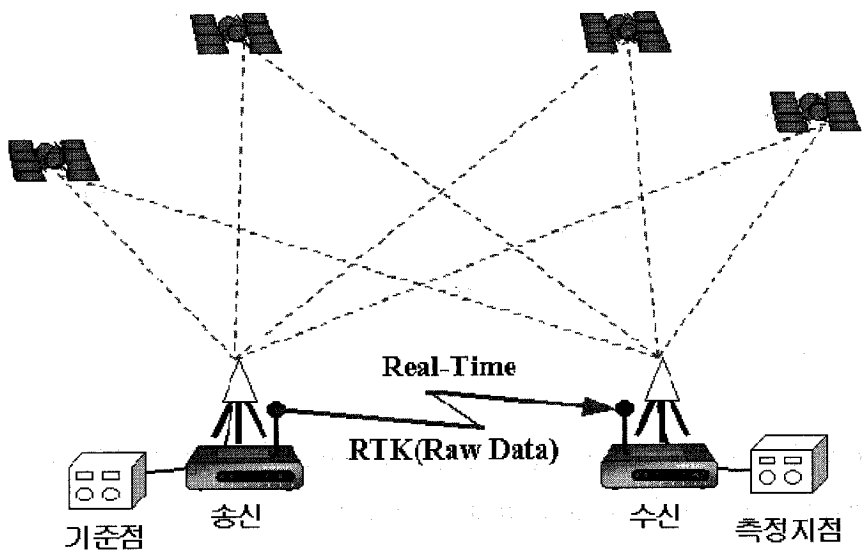


그림 3-62. RTK GPS

RTK 측량은 측량 실시전에 반드시 초기화(Initialization), 즉 모호 정수치를 해결하는 과정을 거쳐야만 측량이 가능한데 초기화 방식은 다음과 같이 대별된다.

(가) 기지점을 이용한 초기화 (Two known point initialization)

두 개의 기지점을 이용하면 두 점간의 거리를 알게 되므로, 이를 이용하여 모호 정수치를 해결할 수 있다. 따라서 측량 개시 전에 두 개의 기저점 상에서 관측을 실시하고 초기화를 행한 후 측량 작업을 개시할 수 있게 된다. 이와 같은 원리를 이용한

초기화 용구(RTK initializer)를 사용하여 측량 개시시 초기화를 실시하는 방법도 있다. 측량 도중에 초기화 상태가 깨어지면, 즉 위성이 장애물에 일시적으로 가려지는 경우나 안테나를 비스듬히 이동하여 일부 위성에 대한 추적이 일시 중단되면, 마지막으로 측량한 지점이나 좌표를 알고 있는 가까운 지점으로 다시 돌아가서 다시 초기화를 실시한 후 측량을 속개하여야 한다.

따라서 초기화 소요시간은 RTK 측량시 작업 효율과 직접적으로 관계된다.

(나) 자동초기화(Automatic Initialization)

2주파 수신기의 경우에는 기지점이 없더라도 위성 추적 개시 후 1분 이상 정지 상태로 기다리면 자동으로 초기화가 된다. 관측 도중에 초기화 상태가 깨어지더라도 다시 정지 상태에서 기다리면 초기화가 되므로, 도심 지역이나 장애물이 많은 지역에서 RTK 측량시 실용적이다.

정지 상태에서 자동초기화가 가능한 2주파 수신기의 경우에는 이동 중에도 자동으로 초기화가 가능하도록 설계할 수 있는데 이와 같은 기능을 OTF(On-The-Fly)라고 한다. 도심지역이나 장애물이 많은 지역에서 RTK시에 OTF 기능을 이용하여 측량을 실시하면 작업 효율을 더욱 증가시킬 수 있다. 측정에서의 위성관측은 1초~수초 정도 걸린다. 정밀도는 1~3cm이다. UHF 라디오 모뎀을 이용한 RTK 시스템 구성은 기준국(Base)은 기준국용 GPS 수신기, 기준국용 라디오 모뎀, 이동국(Rover)은 이동국용 GPS수신기, 이동국용 라디오 모뎀, 데이터 로거로 구성되어 있다. 사용가능 거리는 육상은 약2km~5km이고, 해상은 약 10km 전후이다. 인터넷을 이용한 RTK 시스템 기준국(Base)은 GPS 수신기와 GPS Base Software를 이용해서 고정 IP를 확보하여 연결하고 이동국(Rover)은 이동국용 GPS수신기, 휴대전화, 데이터 로거로 구성되어 있다. 사용가능 거리는 기준국으로 부터 25km전후 이다.

(2) GPS의 위치결정 원리

GPS의 위치결정 원리를 간단하게 설명하면 추적된 궤도에 의해서 정확한 위치를 알고 있는 위성에서 발신하는 전파를 수신하여 위성에서 관측점까지의 전파 도달시간을 측정함으로써 공간적 위치를 구하는 것이다. 따라서 위성과의 거리를 결정하는 가장 중요한 요소는 시간이며, GPS 위성에는 지극히 안정도가 높은 원자시계를 탑재하고 있다. 위성에 탑재된 시계와 수신기의 시계가 정확히 일치한다면, 3개의 위성과

의 거리만으로도 3차원적인 위치를 결정할 수 있다. 그러나 위성에 탑재된 원자시계는 매우 고가이므로 일반인이 사용하기에는 부적합하여 수신기에는 저가의 비교적 정도가 낮은 시계를 사용하고 있다.

GPS의 측위원리는 최소 4개 이상의 위성을 기준점으로 삼각측량을 실시하는 것을 말하며 측점의 위치를 결정하기 위해서는 위치 미지수 3개(X ,Y ,Z)와, 위성과 수신기의 시계오차 미지수 1개(δt), 총 4개의 미지량을 결정해야 하며 이를 위해서는 최소한 4개 이상의 위성을 확보하여야 한다.

Satellite message를 통해 지구중심으로부터 위성까지의 벡터(Ui)와, 위성 신호로부터 지상의 수신기가 받은 수신기에서 위성까지의 거리벡터(γ_1)로 지구중심에서 측점까지의 위치벡터(Rp)를 계산할 수 있다.

$$r_i = | U_i - R_p | + V \cdot \delta t$$

$$= \sqrt{(X_i - X_p) + (Y_i - Y_p) + (Z_i - Z_p)} + V \cdot \delta t$$

$$r_1 = \sqrt{(X_1 - X_p) + (Y_1 - Y_p) + (Z_1 - Z_p)} + V \cdot \delta t$$

$$r_2 = \sqrt{(X_2 - X_p) + (Y_2 - Y_p) + (Z_2 - Z_p)} + V \cdot \delta t$$

$$r_3 = \sqrt{(X_3 - X_p) + (Y_3 - Y_p) + (Z_3 - Z_p)} + V \cdot \delta t$$

$$r_4 = \sqrt{(X_4 - X_p) + (Y_4 - Y_p) + (Z_4 - Z_p)} + V \cdot \delta t$$

(여기서,

γ_1 : 위성과 측점까지의 거리

$\gamma_i = V \times \Delta t_i$ (V:전파속도, Δti:전파도달시간)

Xi, Yi, Zi : 위성의 3차원 위치

Xp, Yp, Zp : 구하고자하는 측점의 위치

δt : 위성과 수신기의 시계오차)

이것으로부터 측점 P의 좌표(X ,Y ,Z)를 계산할 수 있다. 해상과 같이 고도를 알고 있거나, 2차원적인 위치 결정을 위해서 적어도 3개의 위성에서 전파를 수신할 수 있어야 하며, 3차원적인 위치를 결정하기 위해서는 적어도 4개의 위성에서 전파를 수신할 수 있어야 한다.

(3) GPS 적용시 고려사항

콘크리트 표면절삭 작업은 일반적으로 수 cm단위의 정확한 작업 단위가 요구되므로 본 개발 장비에서 사용되는 GPS 시스템은 RTK GPS이다. 또한 본 개발 장비에서는 장비의 정확한 장비의 위치뿐만 아니라 장비가 계획된 경로를 따라 정확한 방향으로 이동하는지 모니터링하기 위해 장비의 경로방향이 필요하므로 2개의 GPS 안테나를 사용하여, GPS 안테나간의 위치차를 이용해 장비의 경로방향을 나타낼 수 있도록 한다[Trimble 2003].

실시간 측량의 이점은 실시간으로 지역 좌표계의 결과를 제공하면서 매우 빠르고 효과적인 데이터 취득을 포함한다. 실시간 키네매틱 측량에 이용되는 2개의 GPS 수신기는 다음의 사항을 만족해야 한다.

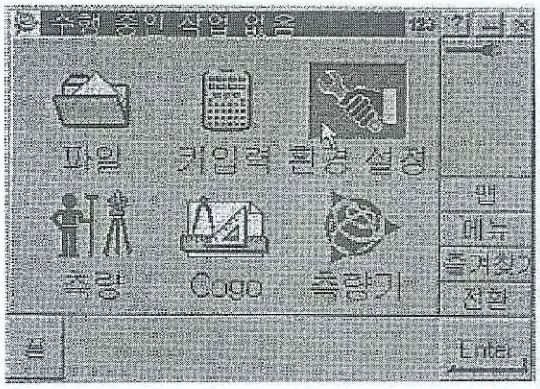
(가) 반송파 위상 측정 및 추적
(나) 공통 시간 및 시점에서 데이터 기록
(다) 각 위치에서 4개의 공통 위성 추적
(라) 위성의 배치 상태(DOP)가 좋은 상태에서 측정

(4) GPS 기준국 설정

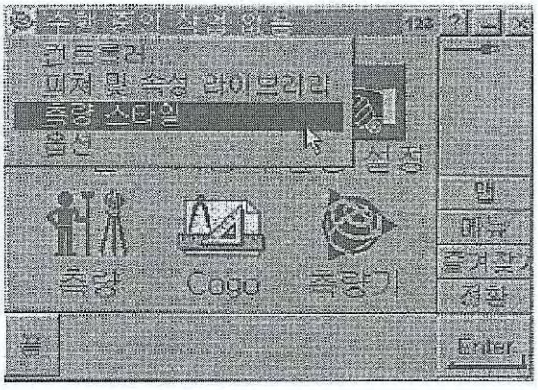
본 연구에서 사용하는 RTK GPS는 오차보정신호를 위하여 기준국을 필요로 한다. 기준국은 현장 적용시에는 반드시 초기화 및 환경설정을 해야만 RTK GPS가 원활히 작동하게 된다. RTK GPS 기준국의 설정을 위해서는 기준국 설정 전용 소프트웨어에서 GPS 환경 설정, GPS 작업 구성, 기준국 하드웨어 제어 등의 조건 설정이 필요하다.

(가) 환경 설정

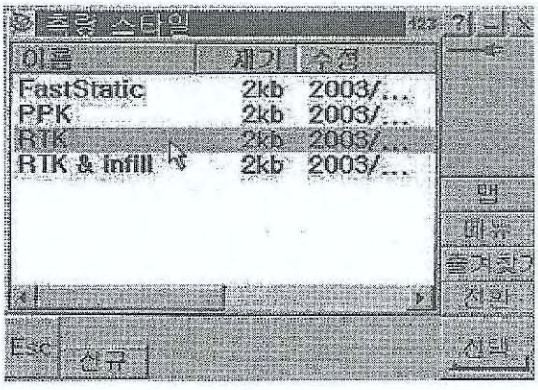
측량을 시작하기 전에 측량 장비에 적합한 스타일을 편집 및 확인해야 한다. Trimble 社에서 제공한 Trimble Survey Controller를 이용하여 RTK GPS의 기준점 환경설정을 한다. 기준국 설정 소프트웨어는 사용할 안테나의 종류와 정밀한 고도측정을 위한 지면으로부터의 안테나의 거리 설정 및 라디오 모델 선택 등을 포함한 환경 설정 기능을 포함하며. 다음 그림 3-63은 환경설정을 하는 과정을 나타낸다.



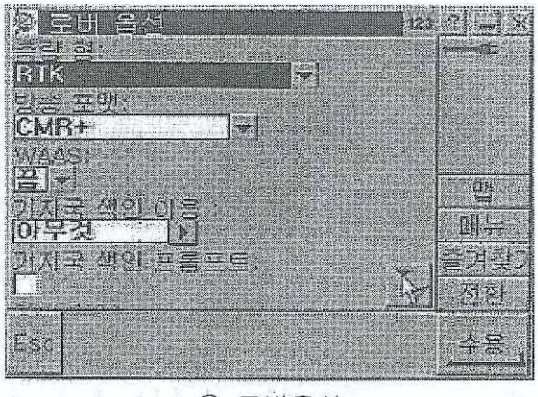
① 환경설정



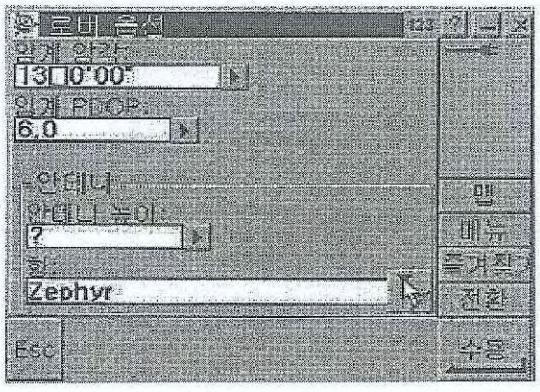
② 측량 스타일



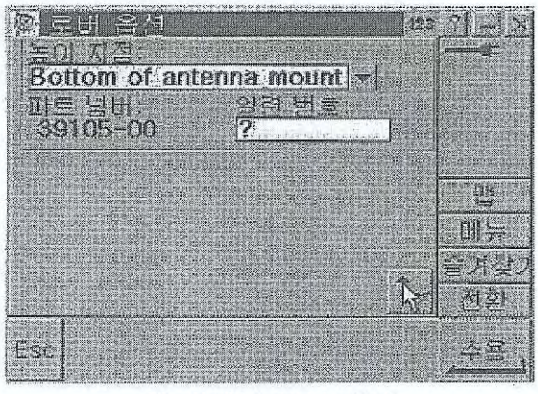
③ RTK



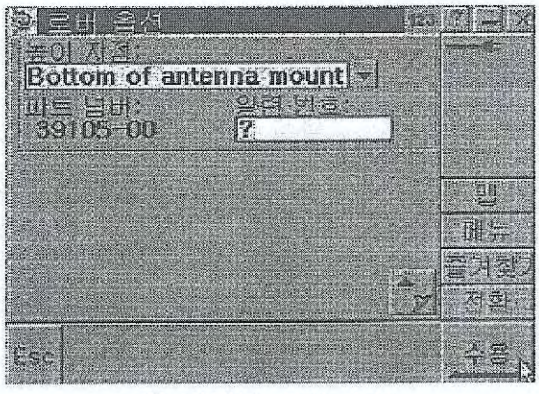
④ 로버옵션



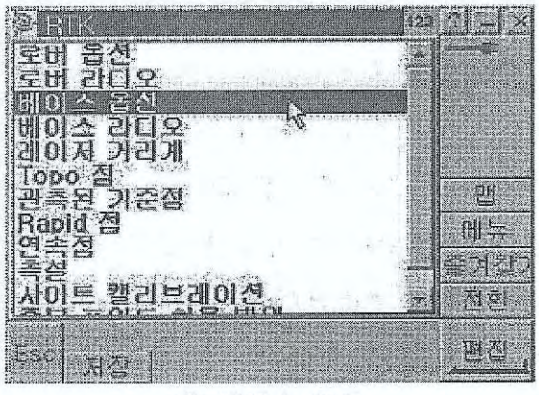
⑤ 로버옵션



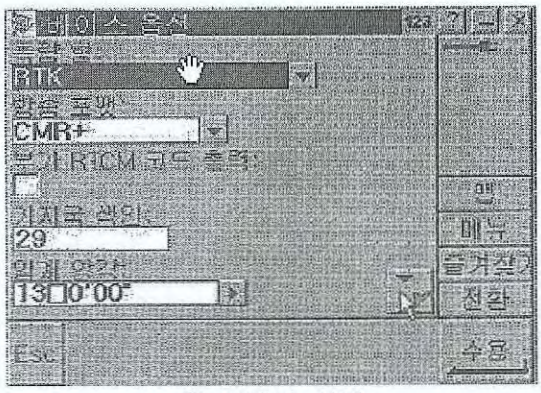
⑥ 안테나 종류 설정



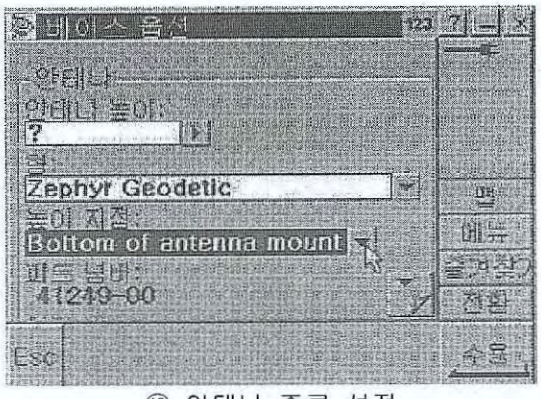
⑦ 안테나 설정 수용



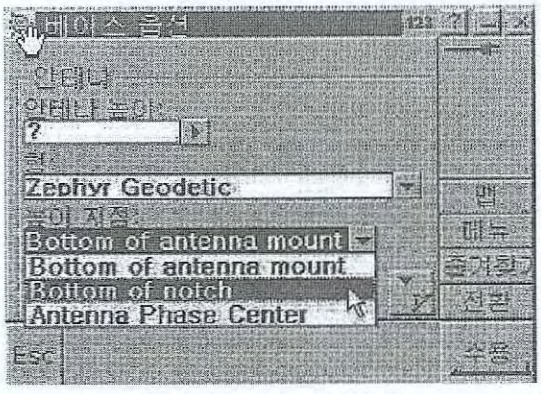
⑧ 베이스 옵션



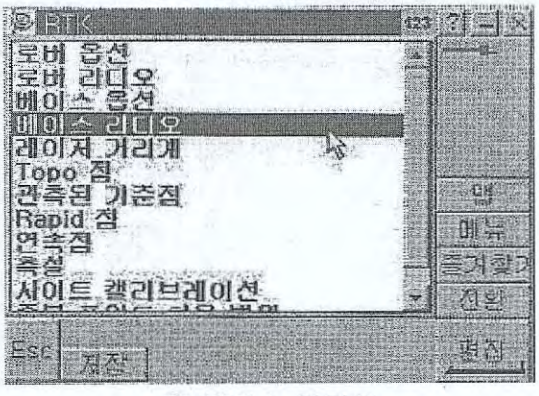
⑨ 안테나 설정



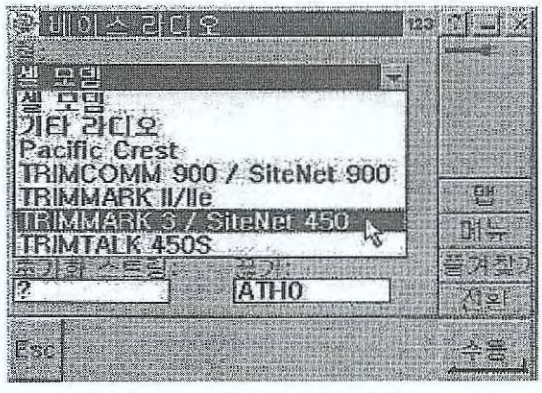
⑩ 안테나 종류 설정



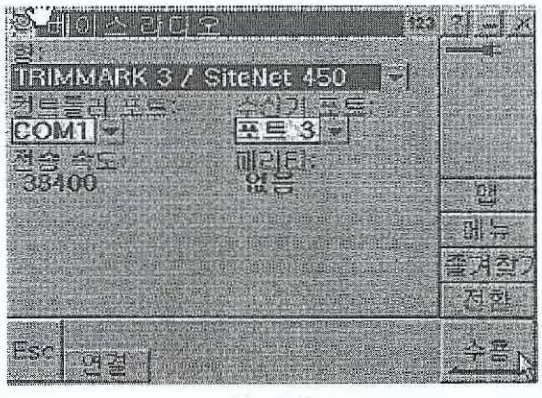
⑪ 안테나 높이 설정



⑫ 베이스 라디오



⑬ 라디오 모델 선택

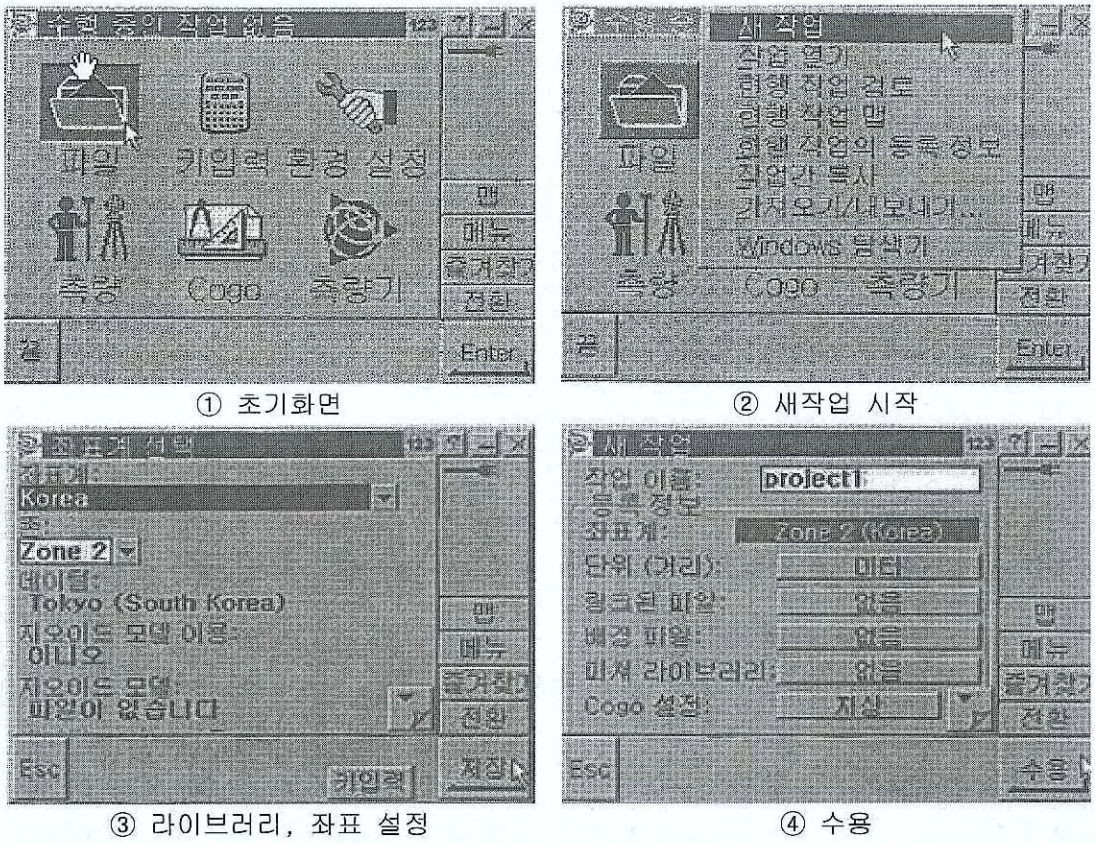


⑭ 수용

그림 3-63. 환경설정

(나) 작업 구성

GPS 기준국 운용을 위해서는 작업을 진행하기 위한 워크스페이스 생성이 필요하다. 기준국 설정 소프트웨어는 그림 3-64의 ①~④에서와 같이 좌표계 설정과 라이브러리 설정 및 타원체 설정을 통해 워크스페이스를 구성하는 기능을 포함한다.



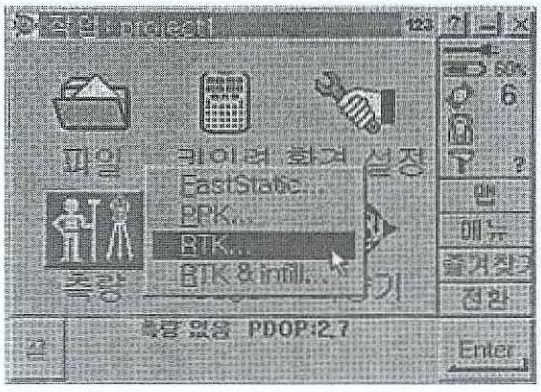
① 초기화면 ② 새작업 시작

③ 라이브러리, 좌표 설정 ④ 수용

그림 3-64. 작업 구성

(다) 기준국 시작하기

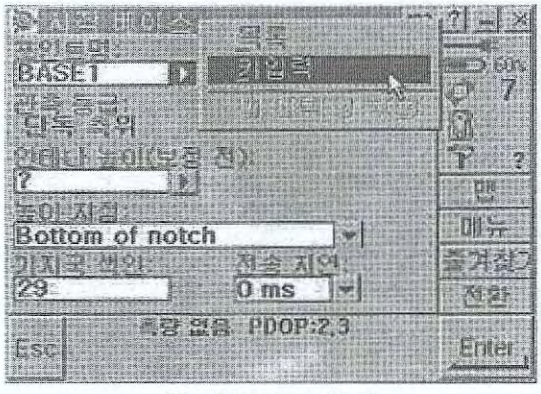
기준국 장비가 모두 연결되어 있는 경우 RTK GPS 기준국을 사용할 수 있다. 기준국의 3차원 좌표를 입력하여 기준국 설정을 마치게 된다. 그림 3-65의 ①~⑧은 기준국 시작 단계를 나타낸다.



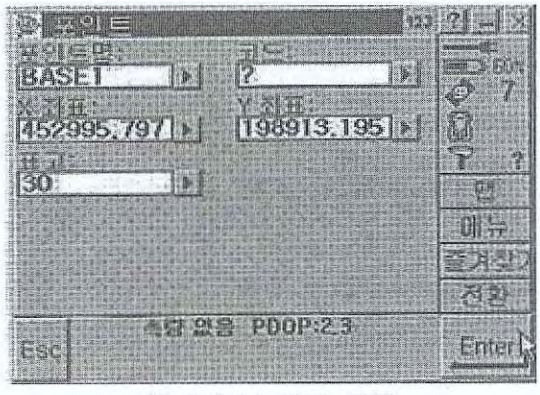
① RTK 측량



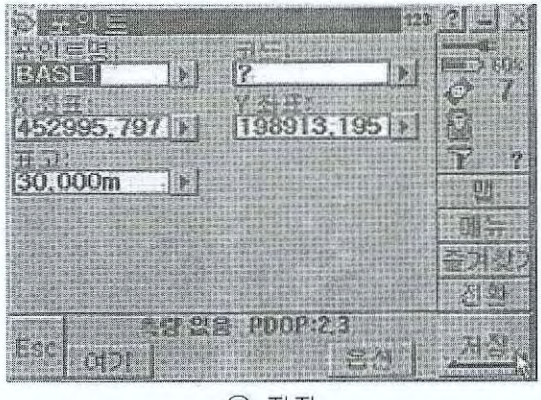
② 베이스 수신기 시작



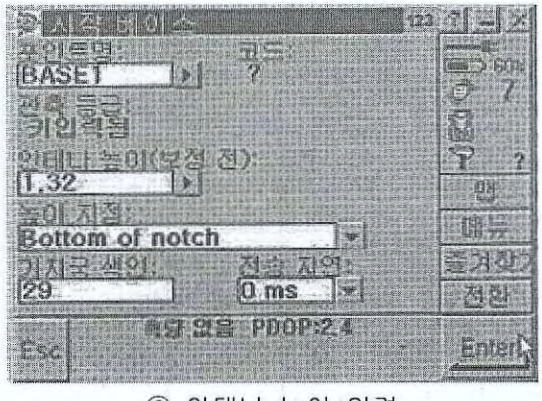
③ 기준국명 입력



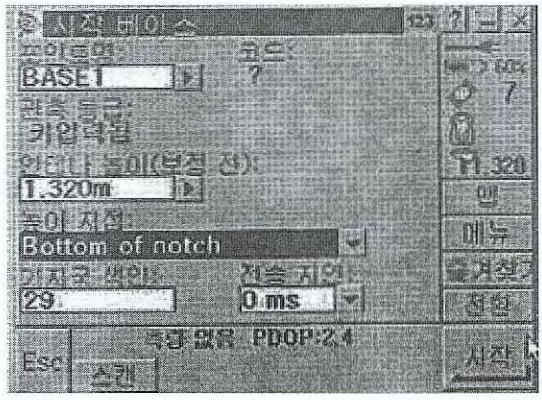
④ 기준국 좌표 입력



⑤ 저장



⑥ 안테나 높이 입력



⑦ 시작

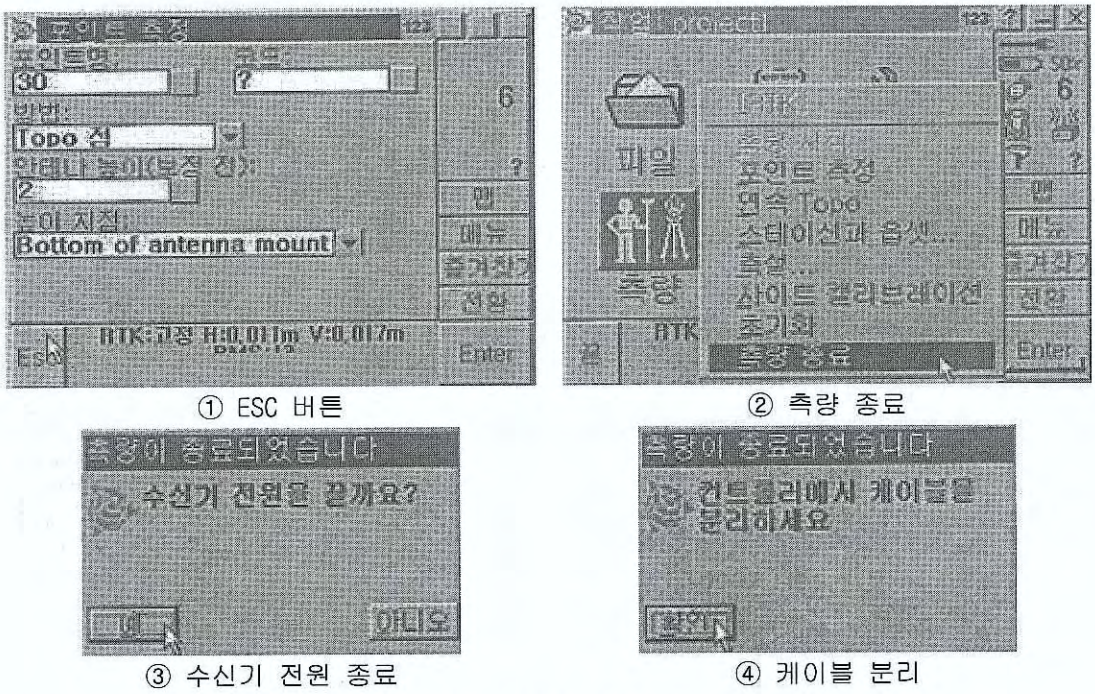


⑧ 케이블 분리, 데이터 송출 확인

그림 3-65. 기준점 시작하기

(라) 측량 종료

모든 작업이 완료되면 그림 3-66의 ①~④의 과정을 거쳐 측량을 종료시킨다.



① ESC 버튼 ② 측량 종료

③ 수신기 전원 종료 ④ 케이블 분리

그림 3-66. 측량 종료하기

(4) GPS 하드웨어의 구성

RTK 시스템은 GPS 기준국, GPS 이동국, 기준국과 이동국 사이의 통신 연결로 물리적 구성요소를 갖춘다. 장비에 부착되는 GPS 이동국은 2개의 안테나, GPS 리시버, 수신 Radio Modem 및 컴퓨터에 위치데이터를 보내는 무선통신장비 등으로 구성된다. GPS 리시버는 안테나를 통하여 GPS 위성신호를 수신하고 기준국 Radio Modem에서 보내진 기준국 위치 데이터와의 보정을 통해 오차를 낮추어 장비의 위치 및 방향을 최종적으로 계산하며, GPS 리시버로부터 보내진 위치정보는 그래픽 MMI를 통하여 그래픽 정보로 전환되어 이를 통해 조종자가 콘크리트 표면절삭 작업을 모니터링 할 수 있도록 한다.

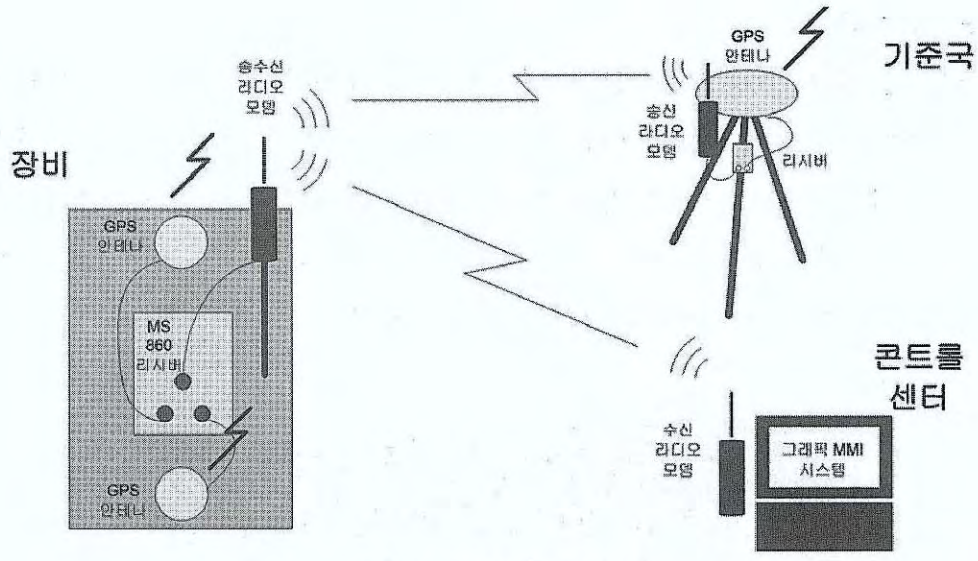


그림 3-67. GPS 흐름도

(가) RTK 기준국

기준국은 기지점에 설치하며 실시간으로 기선을 계산하는데 돕기 위해 기준국의 위치와 측정값을 전송한다. 전형적으로 RTK 기준국은 Trimble 5700 수신기, 통신 연결을 위한 전송 구성요소(라디오 모뎀), 안정된 측정 위치(삼각대 및 정준대), 전원 공급 장치(내장 배터리 및 외장 배터리), 기준국 구성요소에 연결할 케이블로 이루어진다.



그림 3-68. GPS 기준국

(나) RTK 이동국

이동국은 기준국에 상대적인 위치를 측량하기 위해 이용된다. 기준국 1개의 방송 신호는 무제한 수의 이동국에서 이용될 수 있다. 이동국은 Trimble GPS 수신기 및 GPS 안테나(5700), (나) 통신 연결을 위한 수신 구성요소(라디오 모뎀 및 외장 이더넷 모뎀), Trimble Survey Controller 프로그램이 작동되는 컨트롤러, 전원 공급 장치(외장 배터리), 이동국 구성요소에 연결할 케이블로 이루어진다.

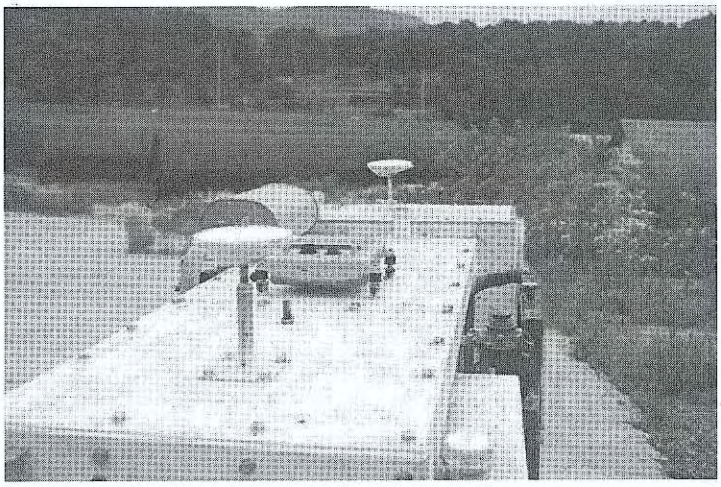


그림 3-69. GPS 안테나 2EA

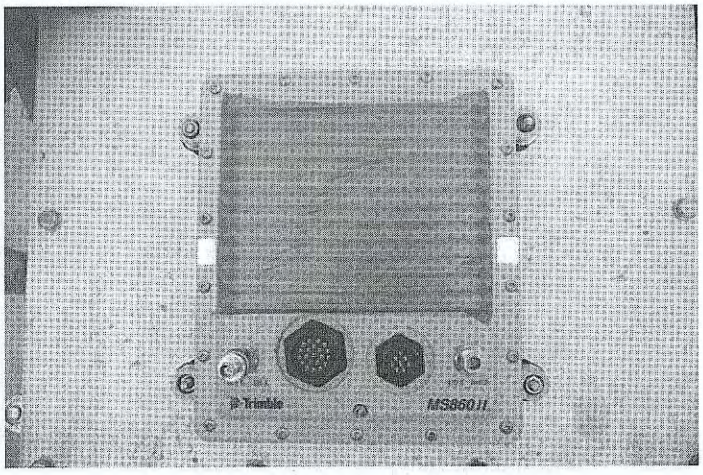


그림 3-70. GPS 수신기(MS860)

(5) GPS 소프트웨어의 구성

기반 소프트웨어는 MFC(Microsoft Foundation Class)를 이용하여 개발한 응용 프

로그램으로 크게 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 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 최소화할 수 있도록 개발된 Component이다.

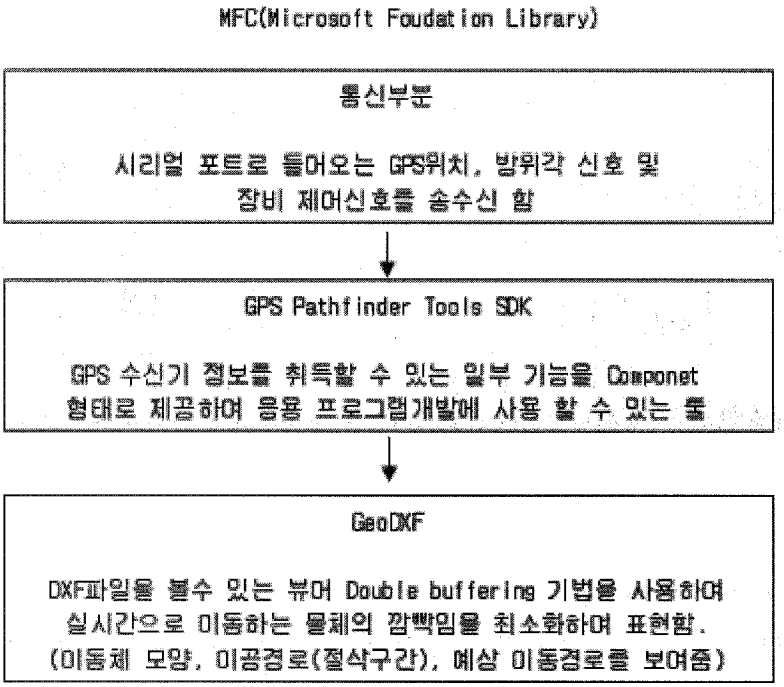


그림 3-71. GPS 소프트웨어 모듈

5. 품질관리 시스템

원격조종 콘크리트 표면절삭 장비의 경우 장비 운전자가 원거리에서 장비를 제어하기 때문에 절삭된 작업의 품질을 측정할 수 없으므로 원거리에서 작업된 절삭품질을 평가할 수 있는 품질관리 시스템이 요구된다. 원거리에서 절삭면에 대한 품질을 측정하기 위해서는 그림 3-72와 같이 첫째, 절삭 작업 중 그라인더의 절삭작업 상태를 분석할 수 있는 절삭작업 상태분석 Unit가 필요하며, 둘째 작업 후의 절삭품질을 측정할 수 있는 절삭품질 측정 Unit가 필요하며, 마지막으로 품질측정 결과를 RTK-GPS와 연계하여 그래픽 MMI에 표현할 수 있어야 한다.

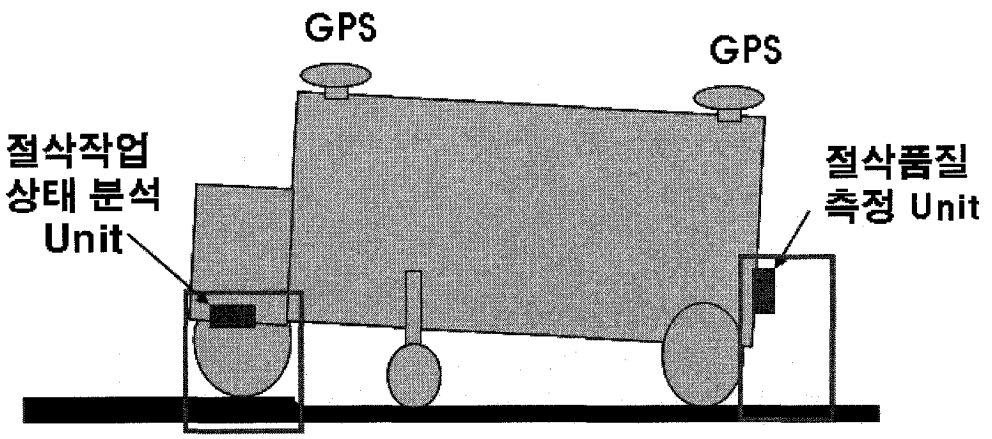


그림 3-72. 품질관리 시스템 구성

가. 품질관리 시스템 선정

본 연구에서는 품질관리 시스템을 구성하기 위한 방식으로 1차 년도에 제시한 Smart Camera를 사용한 입체영상 시스템 이외에 2가지 시스템을 추가로 선정하여 각 방식의 장·단점을 비교 검토하여 최종적인 품질관리 방식을 선정하였다.

표 3-26 품질관리 시스템 방식

구분	절삭작업 상태 분석	절삭품질 측정
입체영상 시스템	3D Camera	3D Camera
	Laser Scanner	Laser Scanner
이미지 프로세싱	거리(각도) 센서	카메라

표 3-27 품질관리 시스템 방식별 장·단점

구분	장점	단점
입체영상 시스템 (3D Camera)	▪ 선행 사례 있음 (도로 소성변형 측정)	▪ 진동으로 인해 내구성에 문제 ▪ 야외 사용시 측정이 어려울 수 있음 ▪ 진동에 영향
입체영상 시스템 (Laser Scanner)	▪ 선행 사례 있음 (도로 소성변형 측정)	▪ 스캐닝 시간 소요 ▪ 절삭면이 사선으로 측정 ▪ 진동에 영향
이미지 프로세싱 시스템 (센서 + 카메라)	▪ 시스템 구현용이 ▪ 실외적용 유리 ▪ 진동에 영향이 적음	▪ 타 방식에 비해 정밀도 저하 ▪ 별도의 알고리즘 구축이 필요

각 방식별 장·단점 및 실내 성능실험 분석 결과 입체영상 시스템을 사용하는 것이 가장 뛰어난 성능을 발휘하였으나 현재 상용화되어 있는 입체영상 시스템은 도로 소성변형 측정을 위해 실외 사용에 적용한 선행 개발 사례는 있으나 주로 실내에서 완제품들의 품질검사를 위한 용도로 이용되고 있어 실외에서의 사용에는 직사광선을 차단할 수 있는 차양막 등의 별도의 추가적인 조치가 필요하다. 또한 3D Camera와 Laser Scanner를 사용한 입체영상 시스템의 레이저 광원은 진동에 내구성이 상당히 취약하므로 진동이 심한 본 개발 장비의 적용에는 별도의 진동제어를 위한 장치의 개발이 요구되어 진다.

입체영상 시스템은 40~200㎛의 고 분해능을 이용한 완제품 표면의 불량을 측정하는데 사용되어지는 장비로 콘크리트 표면의 1~2 곳의 불량구간을 파악하기에는 매우 유리하지만 절삭면의 전체적인 절삭여부를 판단을 위해서는 어려움이 있다. 이에 반해 센서와 카메라를 이용한 이미지 프로세싱은 실외적용에 별다른 제약은 없으며, 장비에서 발생하는 진동으로 인한 문제점은 크지 않은 것으로 나타났으며, 이미지 프로세싱에 사용되는 머신비전 또는 네트워크 카메라는 일정한 크기의 콘크리트 절삭면 영상을 취득하고, 취득된 영상범위 내의 절삭여부를 일괄적으로 판단할 수 있으므로 본 장비의 품질관리 시스템으로 사용하기에 매우 적합한 것으로 판단되었다.



그림 3-73. Laser Scanner를 이용한 타이어 표면 테스트

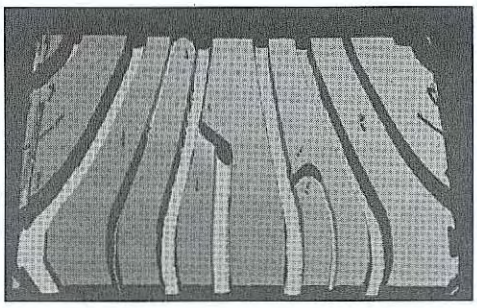


그림 3-74. 3D Camera를 이용한 타이어 표면 테스트

나. 품질관리 시스템 구성

원격조종 콘크리트 절삭장비는 원격조종을 기반으로 구동되기 때문에 원거리에서 작업자가 절삭면의 품질 관리 시스템에는 그림 3-75와 같은 구성이 필요하다. 이를 위해서는 첫째, 절삭 작업 중 그라인더와 콘크리트 표면과의 접촉여부는 물론 그라인더의 절삭 깊이까지 측정할 수 있도록 절삭작업의 상태를 분석할 수 있어야 하며, 둘째 작업 후의 절삭면 품질 기준 만족여부를 측정할 수 있도록 절삭면에 대한 영상 획득 및 콘트롤 센터로 영상 데이터를 송신하여 획득된 영상에 대한 영상처리를 할 수 있어야 한다. 마지막으로 절삭구간에 대한 품질 측정결과를 관리할 수 있도록 그래픽 MMI 시스템과 연계할 수 있도록 해야 한다.

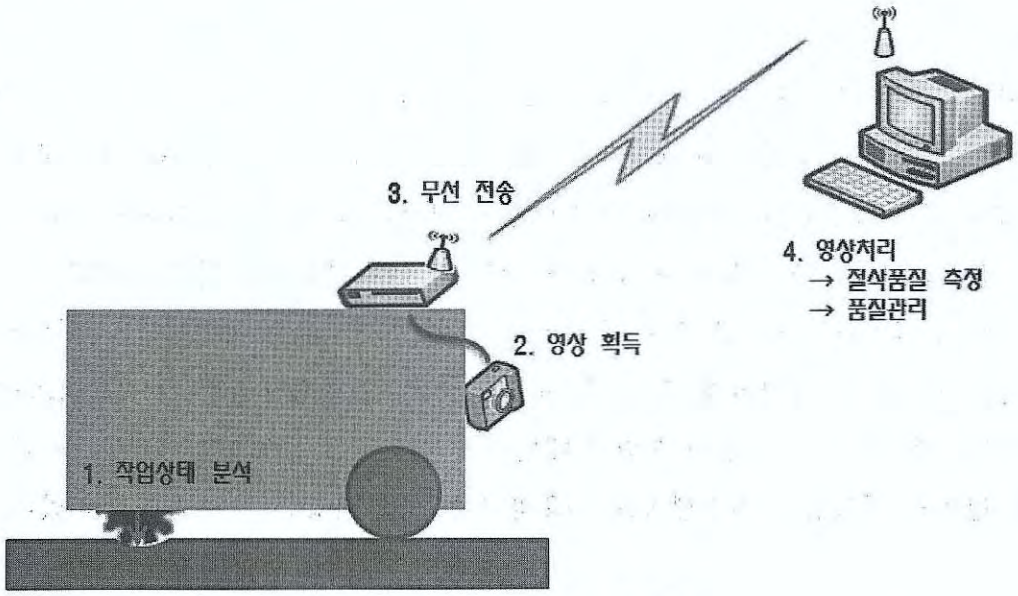


그림 3-75. 품질관리 시스템 구성

(1) 작업 상태 분석

원격에서 콘크리트 절삭장비를 구동해야 하기 때문에 장비 조종자는 현재의 절삭 작업에 대한 상황을 인식할 수 있어야 한다. 표면절삭 작업은 장비의 그라인더와 콘크리트 표면의 접촉하여 그라인더가 표면과 마찰하여 콘크리트를 파쇄하는 방식이기 때문에 그라인더의 현재 높이를 알 수 있게 된다면 표면절삭 장비의 절삭 여부 및 절삭량(깊이)을 파악할 수 있다. 본 연구과제에서는 그라인더의 위치를 알 수 있는 방안으로 각도 센서를 사용하는 것으로 하였다. 각도센서를 사용하여 그라인더의 위치를 파악하기 위한 시스템 구성은 그림 3-76과 같다.

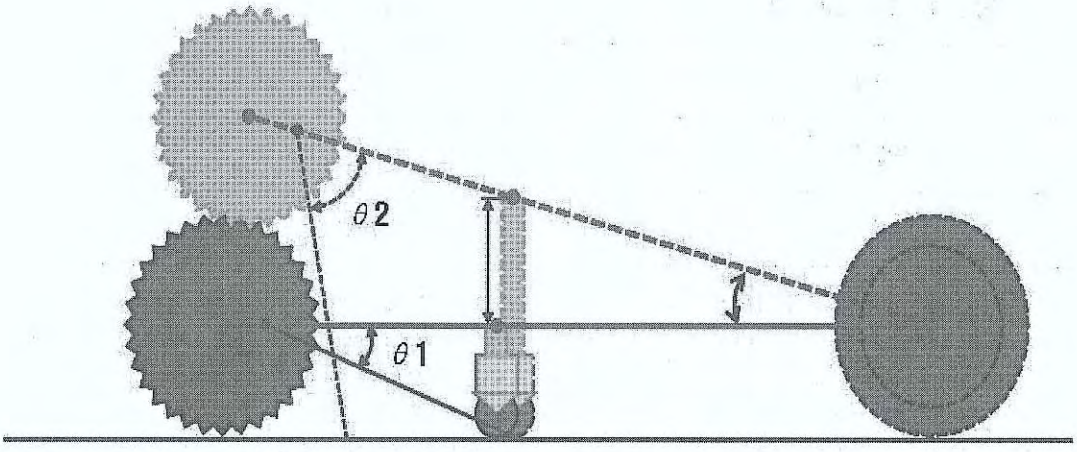


그림 3-76. 작업 상태 파악 시스템 구성

그림 3-76에서 보이는 바와 같이 그라인더와 후륜을 연결하는 축에 각도센서를 부착하였으며 유압실린더 제어를 통해 장비의 높낮이를 조절하게 되면 각도센서에 입력되는 측정값은 θ1 ~ θ2의 범위에서 변화하게 된다. 그라인더의 위치를 파악하기 위해 사용된 각도센서는 사항은 아래의 표와 같다.

표 3-28. 각도센서 사양

구 분	사 양
USEFUL ELECTRICAL STROKE	340° ± 4°
INDEPENDENT LINEARITY	± 1…….± 0.05%
RESOLUTION	Infinite
TOTAL RESISTANCE(±20%)	1/4.7/10kΩ
OPERATING TEMPERATURE	-55…….+100℃
STORAGE TEMPERATURE	-50…….+125℃
SPEED	≤600 giri/min
TORQUE	≤ 0.20 Ncm
LIFE	>100×10^6 cycles
TRANSDUCER BODY MATERIAL	Dialiphthalate
SHAFT MATERIAL	Stainless steelAISI 303
ELECTRICAL CONNECTIONS	Terminations to be welded
PROTECTION LEVEL	IP40
MECHANICS AND INSTALLATION	Assembly of servo(flange)
DIMENSIONS	External diameter 22.25mm Shaft diameter 3.175mm
MAIN APPLICATIONS	Transfer machines, Textile machines, Injection presses

(2) 절삭 제어

원거리에 있는 장비 조종자가 각도센서를 통해 얻어진 그라인더의 위치 값을 통하여 콘크리트 표면을 원하는 절삭량(깊이)에 맞춰 절삭을 제어하기 위해서는 그라인더의 높이에 따른 각도센서의 측정값의 범위에 대한 파악이 선행되어야 한다. 그라인더의 위치를 변화시키며 각도센서의 변화량을 측정한 결과는 표 3-29와 같다.

표 3-29. 그라인더 높이에 따른 센서의 저항값

그라인더 높이 (지면 기준)	센서의 저항 값(Ω)
50 ~ 80 mm	110Ω
40 ~ 50 mm	111 ~ 112Ω
30 ~ 40 mm	113 ~ 114Ω
20 ~ 30 mm	115 ~ 116Ω
10 ~ 20 mm	117 ~ 118Ω
0 ~ 10 mm	111 ~ 120Ω
0 ~ -5 mm	121 ~ 122Ω

각도센서는 그라인더 높이가 50mm를 넘을 경우 콘크리트 표면과 접촉하지 않고 떨어지게 되어 센서의 저항 값 변화는 나타나지 않으나 개발 장비의 그라인더의 높이 값은 콘크리트 표면과 접하였을 때와 일정 깊이를 절삭할 경우에만 센서 저항 값이 의미를 가지게 되므로 센서의 저항 값을 이용하여 그라인더의 높이를 제어하는데 문제가 없다. 또한 센서의 저항 값을 이용하여 그라인더를 제어하기 위해서는 메인 드라이버에서 모터 드라이버로 출력되는 신호를 각도 센서의 저항 값과 장비의 높낮이 제어를 담당하는 실린더의 밸브 개폐시간과 연계하여 메인 드라이버 및 모터 드라이버를 프로그래밍 함과 동시에 각도센서의 저항 값을 입력 받을 수 있도록 모터 드라이버를 교체해야한다. 그림 3-77은 각도 센서를 사용함으로써 수정된 모터 드라이버 시스템 구성도이다.

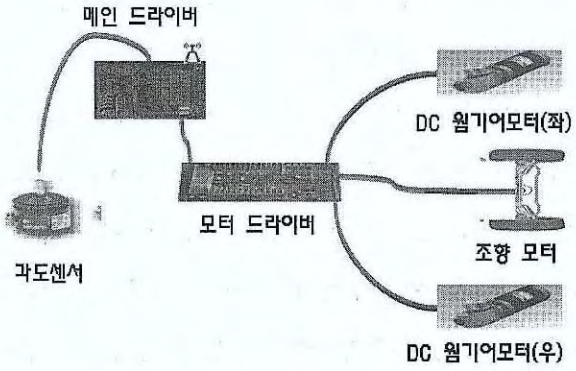


그림 3-77. 수정된 모터드라이버 시스템

(3) 이미지 프로세싱

원격 컨트롤러를 통해 콘크리트 표면을 절삭한 후에는 장비 조종자가 콘크리트 표면절삭여부 및 품질을 확인할 수 있어야 한다. 이를 위해 본 연구과제에서는 이미지 프로세싱 방안을 사용하였으며, 사용된 이미지 프로세싱 과정은 크게 2단계로 구분된다. 첫 번째 단계는 절삭면의 품질측정을 위한 영상 획득 단계이며, 두 번째 단계는 획득한 영상을 처리하여 절삭면의 품질을 측정할 수 있는 영상처리 단계로 이루어지며 이를 위해 카메라에서 획득된 영상을 콘트롤센터로 송신하기 위한 무선 통신시스템 구축이 선행되어야 한다. 이미지 프로세싱을 위한 구성은 그림 3-78과 같다.

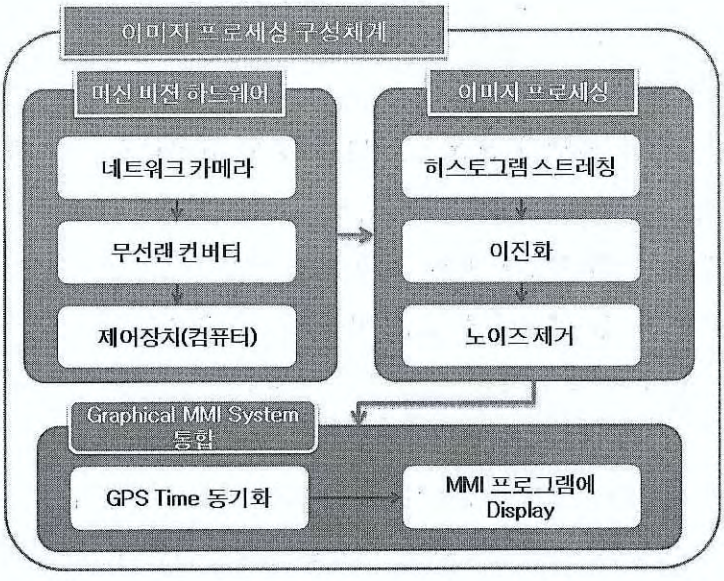
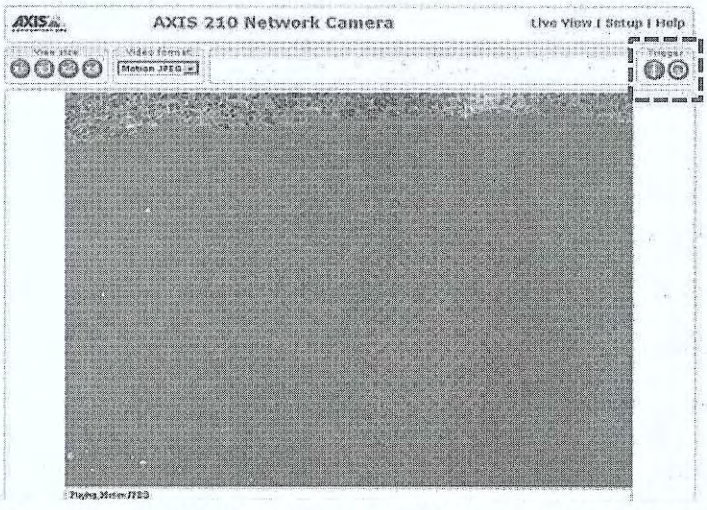


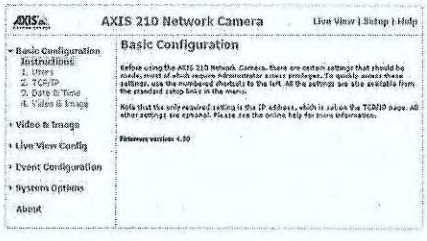
그림 3-78. 이미지 프로세싱 구성 체계

영상 획득 단계에서는 영상 획득을 위해서 장비 후면에 카메라를 탑재하여 장비 이동 속도를 고려한 FPM(Frame Per Minute)을 결정한 후, 취득된 영상을 무선랜 컨버터를 통하여 콘트롤 센터로 무선송신 된다. 이를 위한 하드웨어는 절삭 상태를 영상정보로 추출하기 위한 카메라와 영상을 제어장치로 송신하기 위한 무선랜 컨버터, 제어장치에서의 무선랜카드가 필요하게 된다. 본 연구에서는 CPU가 내장되어 있고, 고유의 IP를 가지고 있어 Ethernet으로 데이터를 송출이 가능한 네트워크 카메라(AXIS 210)를 사용하였다. 촬영된 영상을 카메라 내에서 JPEG로 압축하여 전송한다. 일반 RAW 이미지에 비하여 JPEG은 압축된 형태이므로 전송할 데이터의 양이 줄어 전송

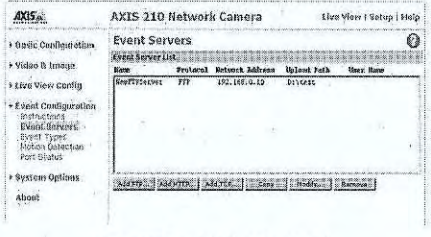
시간을 단축할 수 있다. 영상은 FTP 서버를 통해 제어장치로 송신된다. 그림 3-79는 AXIS 社에서 제공하는 소프트웨어이며, 트리거(Trigger)버튼 및 기본적 설정이 가능하다. 영상정보를 GPS 시간과 동기화한 후 실시간 영상처리를 수행하며 품질관리를 진행한다.



① AXIS 네트워크 카메라 소프트웨어 툴킷(상단 우측 영상전송 버튼)



② 영상 기본 설정



③ FTP 서버 IP 설정

그림 3-79. AXIS 소프트웨어

영상처리 단계에서는 MFC(Microsoft Foundation Class Library)기반으로 히스토그램 변환, 이진화 및 노이즈 제거 알고리즘을 구축하여 최종적으로 절삭면에 대한 품질결과를 TXT 파일과 JPEG 파일로 출력한다. 출력된 품질결과는 그래픽 MMI와 연계되어 표면절삭 원격조종 장비가 작업한 위치에 품질 결과를 표시하게 된다. 그림 3-80은 개발된 이미지 프로세싱 프로그램이며, 이미지 프로세싱 대상이 되는 영상의 경로 설정과 결과 TXT 및 영상이 저장되는 하위 디렉토리를 설정할 수 있도록 하였다. 우측에는 장비 작업 중 현재 품질 측정 구간의 영상을 실시간으로 디스플레이 한다.

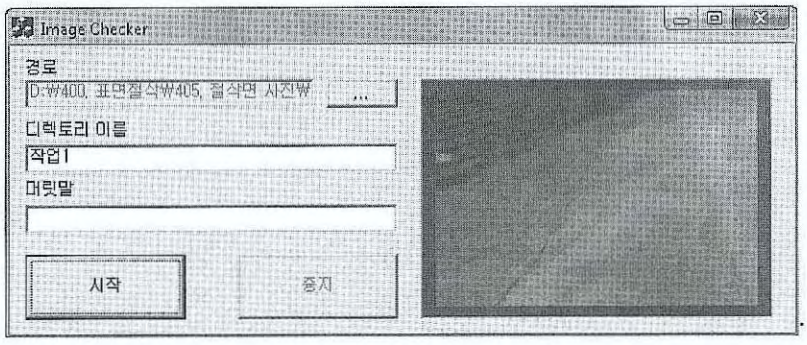


그림 3-80. 이미지 프로세싱 프로그램 인터페이스

다. 이미지 프로세싱 하드웨어 구축

(1) 네트워크 카메라

콘크리트 절삭면의 품질 제어를 위한 영상정보 수집은 장비의 원격제어 특성반영 및 품질관리를 위하여 실시간으로 무선 송수신이 가능한 구성 체계를 지녀야 한다. 기존의 무선 송수신 방식인 영상촬영 후 아날로그 데이터를 프레임 그래버(Frame Grabber)를 거쳐 디지털화 하는 방식을 취하는 방법은 구성체계가 다소 복잡하고 별도의 장비를 필요로 한다. 그러나 본 연구에서는 별도의 프레임 그래버 장치를 도입하지 않고 자체적으로 제어장치가 내장된 네트워크 카메라(AXIS 210)를 이용하여, 영상정보를 바로 JPEG 형태로 저장 및 장비 자체적으로 지원하는 무선 이더넷(Ethernet)을 이용한 MMI 시스템으로의 무선 송출이 가능토록 구성하였다. 이미지 센서로는 프로그레시브 방식을 이용하는 카메라를 채택하여, NTSC 방식의 이미지 센서에 비하여 선명한 영상취득을 용이하도록 하였다. 전원은 12V 배터리를 이용하였다.

표 3-30. 네트워크 카메라 사양

구 분	사 양
models	Axis 210
Image sensor	1/4" Sony Wfine Progressive scan RGB CCD
Lens	4.0mm, F1.2 fixed iris
video compression	Motion JPEG, MPEG-4
Resolution	16 resolutions from 640*480
frame rate	up to 30 frames per second in all resolutions
shutter time	2 sec to 1/12500 sec
Processors	CPU : ETRAX 100LX 32 bit Video Processing and compression : ARTPEC-2 RAM : 16MB Flash : 4MB
Power	7-20 V DC max 5 W
operation conditions	5-45℃
dimensions	38 × 88 × 157mm 305g

(2) 무선랜 컨버터

네트워크 카메라로부터 영상정보가 송출되기 위하여 무선네트워크를 구성해야 한다. 네트워크 카메라와 컴퓨터와의 1:1 무선 ad-hoc 모드를 구성하였다. 이를 위하여 무선랜 컨버터를 장비에 장착하였으며, 표 3-31의 세부사양을 갖추고 있다.

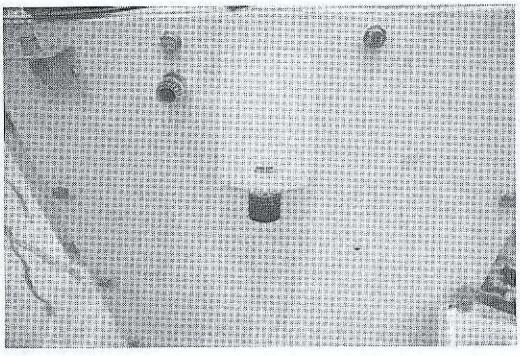
표 3-31. 무선랜 컨버터 사양

구 분	사 양
Model	buffalo Wireless-G (WLI-TX4-G54HP)
Standard Compliance	IEEE802.11.b/g
Frequency Rate(MHz)	2,412 - 2,462
Data Transfer Rates	10/100Mbps
antenna	차량용 7dBi 2.4Ghz
antenna cable	low loss cable

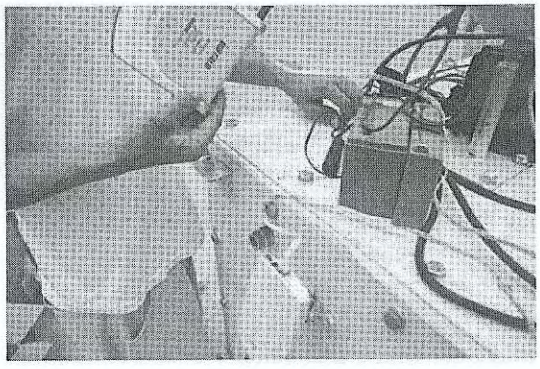
절삭 장비는 이동시 회전이 잦으므로, 장비후면에 비지향성 안테나를 설치하여 360도 반경으로 송신함으로써 활용성을 높였다. 반경 100m 이내에서 수신이 용이하며, 2.4GHz의 대역폭을 가지고 있어 원활한 송수신이 가능하다. 수신측인 제어장치에는 지향성 안테나를 설치, 지향성 안테나에서 지원하는 수신각도(30도 내외)안에 장비가 위치하면 수신이 가능하다. 전원은 7.5V 배터리를 사용하였다.

(3) 하드웨어 설치

장비 후면에 네트워크 카메라(AXIS 210)를 설치하고 무선랜 컨버터 장비와 LAN 선으로 연결한다. 12V 배터리와 7.5V 배터리를 각각 카메라와 무선랜 컨버터에 연결한 후 컨버터와 차량용 비지향성 안테나와 연결하여 영상통신환경을 만든다.



① 카메라 설치



② 무선랜 컨버터 및 배터리 연결

그림 3-81. 영상 및 통신 모듈 설치

(4) 조명 장치

이미지 프로세싱 중에 주광에 의한 그림자 발생 시 품질관리 오차에 적지 않은 영향을 미치게 된다. 그림자에 대한 오차는 지역적 이진화로 오차를 줄일 수 있으나, 주광이 강한 경우 명부와 암부의 대조차이가 심하여 高대조(High-Contrast) 영상에 의한 암부에서의 절삭면과 비절삭면의 구분이 불명확하게 되는 현상이 발생한다. 이런 현상을 억제하기 위하여 그림 3-82와 같이 장비 후면에 150W 할로겐전구 두 개를 설치하였다. 명부와 암부의 대조 차이를 줄임으로써 低대조(Low-Contrast) 영상 취득환경을 만들어, CCD가 빛을 명확히 받아들일 수 있도록 하였다.

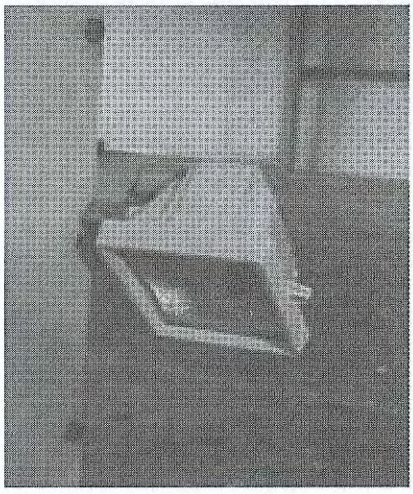


그림 3-82. 조명장치

또한, 조명이 야간작업을 가능토록 하므로 콘크리트 절삭장비의 생산성 증가에도 일조를 한다.

라. 영상처리(Image Processing) 알고리즘 개발

본 연구에서는 머신비전 시스템을 도입하여 영상 및 통신 모듈을 통한 영상 전송과 제어장치에서의 이미지 프로세싱을 거쳐 콘크리트 절삭면의 품질을 관리하는 시스템을 개발하였다.[James G et al, 2006] [S.W. Lee., et al, 2005] [Russ, 2002]

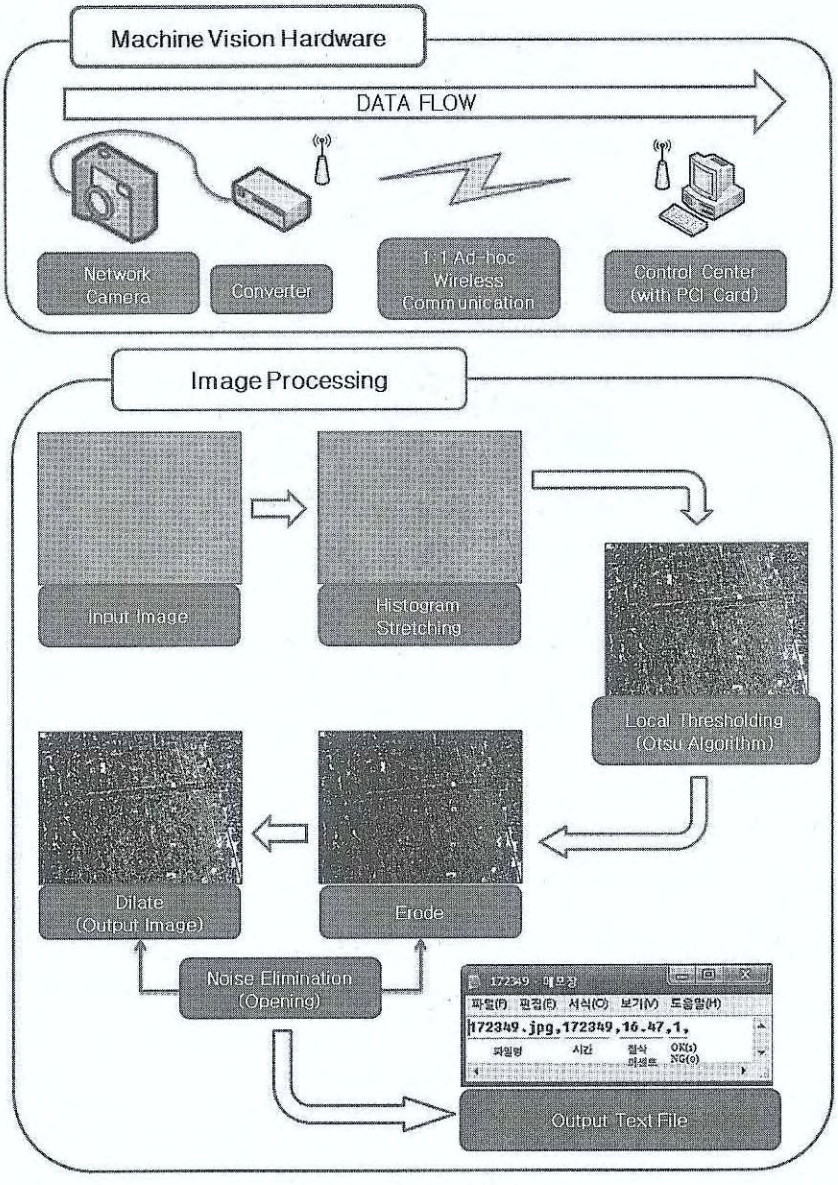
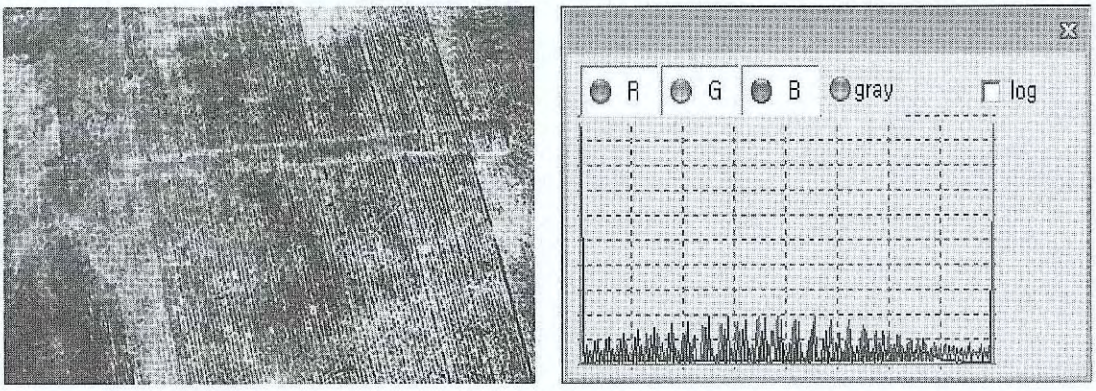


그림 3-83. 품질관리 계획

(1) 히스토그램 변환

히스토그램 변환이란 영상이 어둡거나 밝은 경우, 또는 명암대비가 낮아 선명하지 않은 경우에 히스토그램을 넓은 영역에 골고루 퍼트려 명암대비를 높임으로써 영상을 보다 선명하게 만드는 알고리즘이며, 영상처리에서 중요한 전처리 과정 중 하나이다. 본 연구에서는 절삭면과 비절삭면의 명도 차이를 넓혀 이진화에서 사용되는 기준값이 조금 더 유효하도록 하는 의미로써 품질관리 시스템에 히스토그램 스트레칭 알고리즘을 포함하도록 하였다.

히스토그램 변환에는 크게 히스토그램 평활화와 히스토그램 스트레칭으로 나눌 수 있는데, 히스토그램 평활화는 빈도수의 모든 픽셀의 누적 값을 이용하여 각 픽셀을 정규화된 새로운 픽셀로 대체하는 단계로 이루어진다. 히스토그램 평활화 알고리즘은 빈약한 히스토그램을 가진 영상에 쓰여 명암대비를 극대화 시키는 효과가 있으나, 본 연구에서는 명암대비를 극대화 할 경우, 그림 3-84 에서 보는 바와 같이 절삭면의 형태가 온전히 보존되지 못하는 경우가 발생하므로 적합하지 않다.



① 히스토그램 평활화 영상 ② 평활화 적용시 히스토그램

그림 3-84. 히스토그램 평활화

따라서 히스토그램 스트레칭 알고리즘을 적용하였다. 히스토그램 스트레칭 알고리즘은 히스토그램으로부터 P(x, y)를 x, y 좌표의 픽셀값, 영상의 픽셀값의 최소값과 최대값을 구하여 다음과 같은 연산과정을 거친다.

$$P(x,y) = \frac{P(x,y) - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \times 255$$

이 연산을 통하여 명도 0부터 최소 명도 값과 최대 명도 값부터 명도 255까지의 명도 값을 영상에서 삭제하여, 최소 명도 값과 최대 명도 값을 각각 명도 0과 명도 255로 변환한 다음 나머지 값들을 골고루 퍼트리게 된다. 히스토그램 스트레칭 전후 사진을 비교하면 그림3-85 ②와 같이 뚜렷해진 영상을 구할 수 있다.

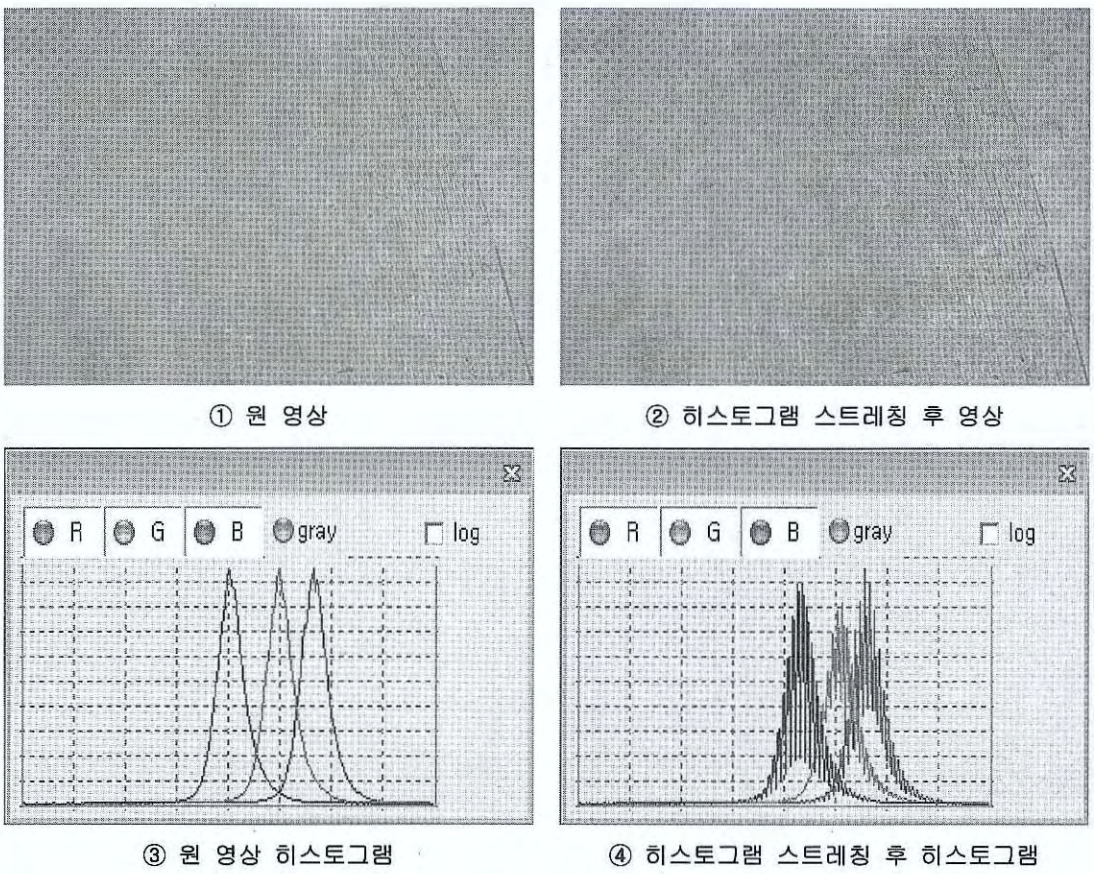


그림 3-85. 히스토그램 스트레칭

히스토그램 변환으로 인하여 본 연구에서와 같이 히스토그램이 특정 구간에 몰려 있는 경우, 절삭면과 비절삭면의 명도차이가 커져 후속 이진화 과정에서 쓰이는 이진화 값이 더욱 유효하게 된다.

(2) 이진화

본 연구에서 사용된 네트워크 카메라는 별도의 프레임 그래버(Frame grabber)를 추가할 필요 없이 CCD(charge-coupled device)에서 취득된 영상을 내장된 CPU를 통해 바로 JPEG 파일형식으로 압축저장 하게 된다. 영상은 640*480의 해상도를 가지고, 각각의 픽셀에는 3원색(Red, Green, Blue)에 대한 정보가 0부터 255 사이의 정수 값으로 표현되어 저장되어 있다. 영상분석의 기초단계로써, 절삭면의 절삭상태를 파악하기 위하여 이진화(Binary, Thresholding) 알고리즘이 가장 효과적이다. 이진화는 특정 명도 값을 기준하여 영상에 존재하는 모든 픽셀들을 명도값 0(흑) 또는 255(백)

으로만 표현하는 알고리즘이다.[IEEE Trans, 1979] 수식으로 표현하면,

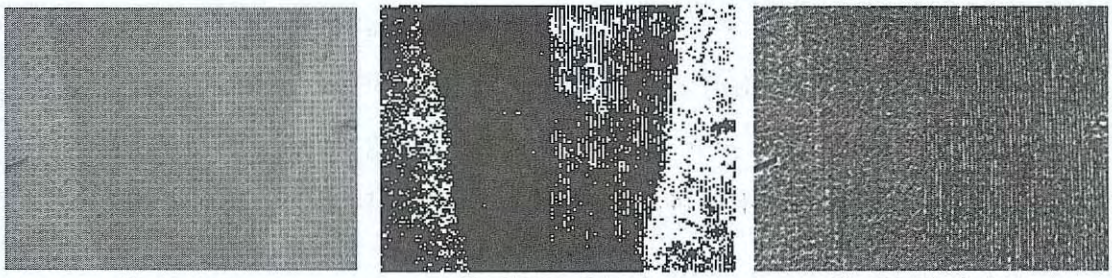
$$P(x,y)=\begin{cases}255 & P(x,y)\geq Thresholding\\ 0 & P(x,y)< Thresholding\end{cases}$$

$$P(x,y)=\text{영상의}\ x,y\ \text{좌표에서의 명도값}$$

$$Thresholding=\text{이진화 기준값}$$

본 연구에서는 조종자가 절삭 작업시 정보활용능력을 극대화하기 위하여 취득영상을 실시간으로 수 있도록 하였다. 또한 조종자의 시각적인 편의를 위하여 RGB 값을 가지는 컬러 이미지를 전송하도록 하였으므로, 이진화를 위하여 흑백영상(Gray-scale image)으로 변환해야 한다. 흑백 영상 변환에 사용된 공식은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 우리나라 표준 방식인 NTSC방식을 적용하여, Y(명도)= 0.299R+0.587G+0.114B 의 변환 공식을 사용하였다.

이진화에는 크게 두 가지 방식이 존재하는데, 하나는 전역적 이진화(global thresholding)와, 지역적 이진화(local thresholding)로 나눈다. 전역적 이진화는 영상의 전 영역에 단일 이진화 기준 값을 적용하여 변환하는 방법이다. 전역적 이진화는 단일 경계값 만을 필요로 하기 때문에 연산속도가 빠르다는 장점이 있으나, 영상에 균일하지 않은 명도의 변화가 존재하거나, 조명, 그림자와 같은 큰 영역을 차지하는 명도차가 존재하는 경우, 이진화가 원활히 이루어 지지 않아 그림 3-86과 같은 큰 오차를 발생하게 된다.



① 원 영상 ② 전역적 이진화 ③ 지역적 이진화

그림 3-86. 이진화 방식 비교

본 연구에서는 CCD 카메라가 담당하고 있는 영상의 범위는 길이방향 25 cm 이고, 장비의 절삭시 진행속도는 초당 5~6cm 이므로 4초당 1 프레임, 즉 15 FPM(Frame per Minute)의 영상취득속도를 가지면 전 절삭영역에 대한 영상 취득이 가능하므로 분당 프레임수를 15로 설정하였다. 1 프레임을 처리하는데 4초의 처리시간을 가진다. 이 수치는 지역적 이진화 프로세싱을 수행하기에 충분한 시간이다. 또한 장비의 작업 특성상 실외작업이 대부분을 차지하며 주광상태에서 발생하는 영상의 그림자부분에 대한 원활한 영상처리가 이루어져야 하므로 단일 기준 값을 적용하는 전역적 이진화를 적용할 수 없다. 따라서 지역적 이진화 알고리즘을 도입하여 이러한 문제들을 해결하고자 하였다. [Acharya and Ray, 2005]

지역적 이진화 알고리즘이란, 이진화에 필요한 경계값을 영역에 따라 다르게 적용하는 알고리즘이다. 특정 크기의 마스크, 즉, 픽셀을 적정 크기로 그룹핑(Grouping)을 하여 영상을 분할하고 분할된 영역 내 에서의 이진화를 수행한다. 이진화 알고리즘은 현재 60~70가지가 있으며, 콘크리트 절삭영상을 현재 범용적으로 사용되는 알고리즘(평균, 최빈값, OTSU, 보간법 등)을 적용하여 최적의 이진화 알고리즘을 찾아보았다. [Juteak oh, 2003] [Roman D. et al, 2006] [Gonzalez. et al, 2002]

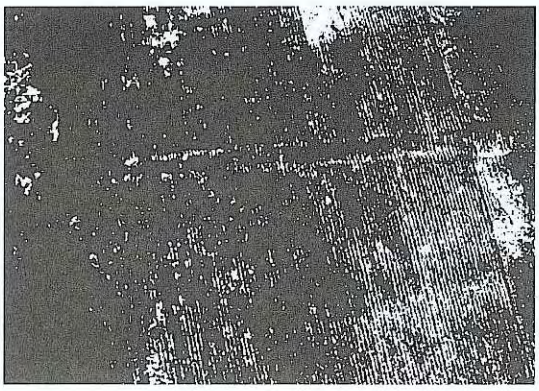
1) p-tile : 영상 중에 대상물이 차지하고 있는 면적 비율을 알고 있는 경우에 명도 히스토그램에서 그 면적 비율 P%점을 이진화 기준 값으로 하는 방법이다. 콘크리트의 절삭된 표면과 같이 대상물의 면적 비율을 사전에 알고 있는 경우가 거의 없으므로, 도면이나 문서 영상에서 문자 부분이 점유하고 있는 면적 비율을 어느 정도 추정할 수 있을 때 이 방법을 이용할 수 있다.

2) Mean : 히스토그램 최빈 명도 값을 기준 값으로 하는 방법이다.

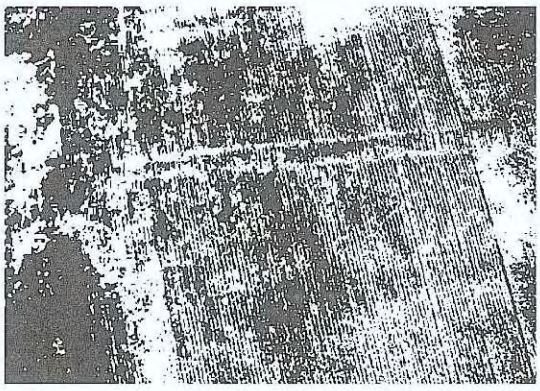
3) Average : 히스토그램 평균 명도 값을 기준 값으로 하는 방법이다.

4) 보간법 : 처음 추정치를 선정하여 영상을 2개의 영역으로 분할한다. 각 영역별 평균 명도 값을 다시 평균을 내어 두 번째 추정치로 결정한다. 이 작업을 반복하면서 영역별 평균 명도 값이 더 이상 변하지 않을 때의 추정치를 기준 값으로 하는 방법이다.

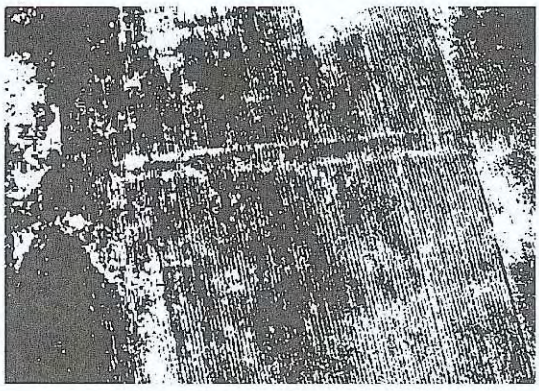
5) Otsu : 대상영역이 2개의 밝기 값의 차이를 갖는 영역으로 분류된다고 가정하고 밝은 영역과 어두운 영역의 분산이 최대가 되는 이진화 기준 값을 찾는다.



① p-tile



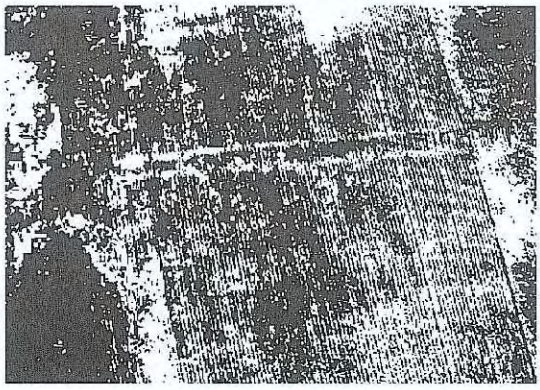
② Mean



③Average



④ 보간법 이진화



⑤ Otsu

그림 3-87. 이진화 알고리즘 적용

본 연구에서는 지역적 이진화를 위하여 크기 16×16 마스크를 생성하였다. 본 연구에서 사용하는 네트워크 카메라는 640×480의 해상도로 촬영하므로 한 프레임에 40×30, 즉 1200개의 마스크를 생성하게 된다. 영상의 모든 픽셀을 스캔하며 각각의 마스크에 속하는 픽셀정보를 이용하여 OTSU 알고리즘을 적용하였다.[Otsu, 1966]

OTSU 알고리즘은 $\sigma_b^2(t)$을 최대로 하는 t를 기준 값으로 하는 알고리즘 이다.

$\sigma_b^2(t) = q_1(t)[1-q_1(t)][\mu_1(t)-\mu_2(t)]^2$ 의 연산과정은 다음의 수식과 같다.

$$P(m) = \frac{h(m)}{I \times J}$$

$$q_1(t) = \sum_{m=1}^{t} P(m), q_1(t+1) = q_1(t) + p(t+1)$$

$$\mu = \sum_{m=1}^{M} mP(m)$$

$$\mu_1(t) = \frac{q_1(t-1)\mu_1(t-1) + tP(t)}{q_1(t)}$$

$$\mu_2(t) = \frac{\mu - q_1(t)\mu_1(t)}{1 - q_1(t)}$$

주로 히스토그램이 특정 명도를 기준으로 두 개의 히스토그램 분포를 가지는 영상에서 최대 분산치를 가지는 명도를 계산하여 두 히스토그램 사이의 경계값을 구하는데 쓰인다. 절삭면은 다이아몬드 커터의 특성상, 절삭면과 비절삭면으로 나뉘게 된다. 두 면의 명도차이에서 발생하는 히스토그램의 분포가 두 가지로 분류되므로 OTSU 알고리즘을 적용하기에 적합한 영상특성을 가진다.

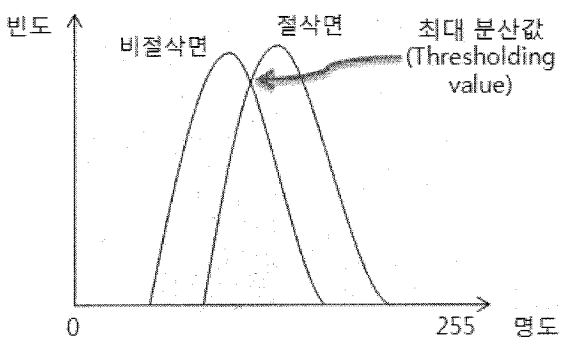
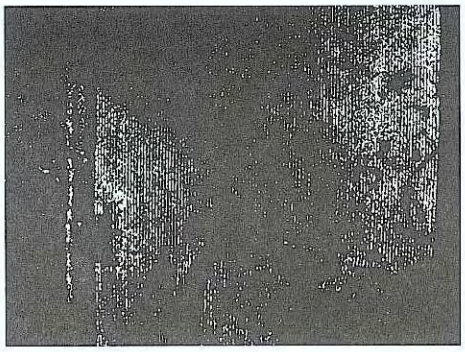


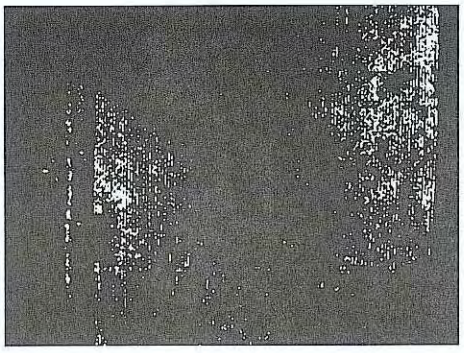
그림 3-88. Otsu 알고리즘 이진화 값

(3) 노이즈 제거

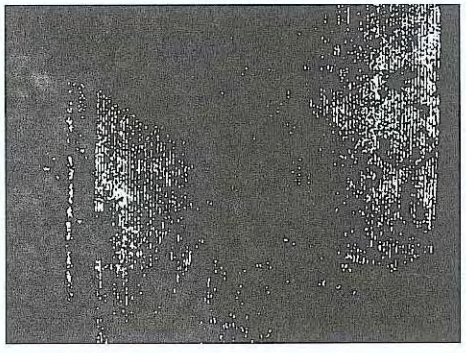
이진화가 이루어진 영상은 콘크리트의 골재, 그림자, 잔여분진, 바퀴자국(Skid marks), 낮은 대조 영상(low-contrast image) 등에 의한 노이즈가 발생하며 노이즈의 적절한 제거가 요구되어 진다. 노이즈 제거 방법은 Gaussian, Soften, Blur, Erode 등이 있다. 최적의 노이즈 제거 방법을 위하여 본 연구에서의 절삭 영상을 적용하여 보았다.



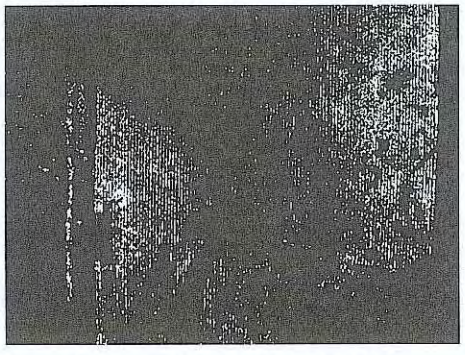
① 원본



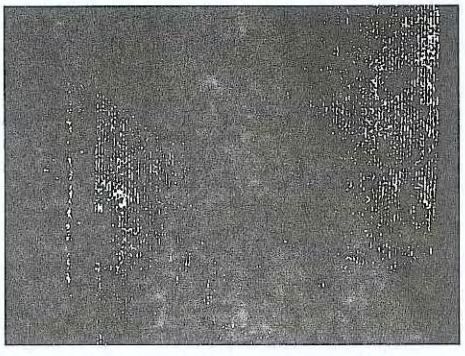
② Blur



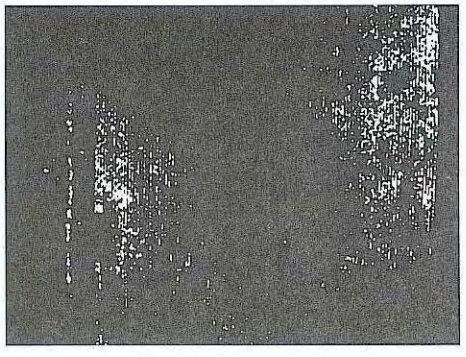
③ Soften



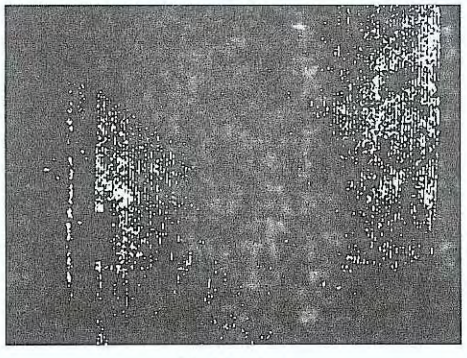
④ Gaussian 3*3 mask 적용



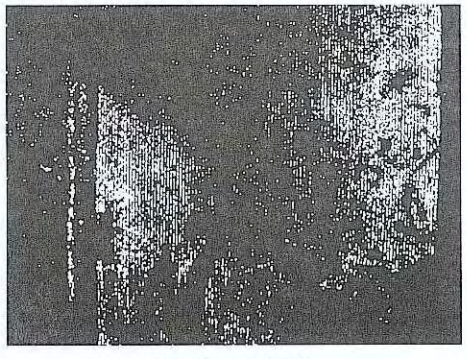
⑤ Gaussian 5*5 mask 적용



⑥ Erode (침식)



⑦ Median



⑧Dilate(확장)

그림 3-89. 노이즈 제거 알고리즘 적용 결과

일반적으로 쓰이는 Blur, Soften 등의 알고리즘은 노이즈 제거 적용 결과에서 알 수 있듯이, 주로 물체를 흐릿하게 만드는 연산을 수행하므로, Erode(침식)에 비하여 분진 등으로 인한 입자가 작은 노이즈를 효과적으로 제거하는 알고리즘이라 판단되지 않는다. 콘크리트 절삭면의 특성을 제대로 반영하여 효과적인 노이즈 제거를 수행하는 알고리즘은 Erode(침식) 후 Dilate(확장)를 적용한 열림연산(Opening) 이라 판단된다.

본 연구에서는 처리과정이 단순하고 빠른 3*3 마스크를 생성하여 침식연산을 진행하였다. 침식연산이란 마스크내의 명도 0인 픽셀이 존재하는 마스크는 중앙 픽셀을 0으로 변환하고, 반대로 마스크내의 명도가 모두 255인 경우에는 중앙 픽셀을 255로 변환하는 알고리즘이며 도식화하면 그림 3-90과 같다.

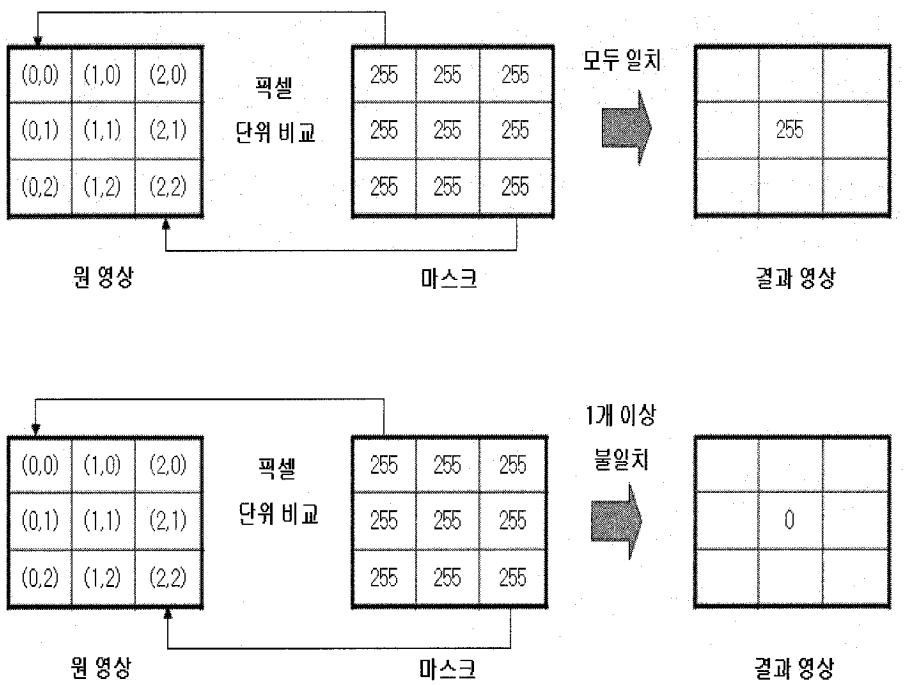


그림 3-90. 침식연산

이 알고리즘은 물체의 최외각 픽셀을 배경과 동화 시키는 연산이므로 분진등과 같은 크기가 작은 노이즈는 배경에 사라지게 된다. 작은 입자들과 같이 절삭면 또한 같이 수축하게 되어 오차를 발생하게 된다. 이에 대한 오차를 보정하기 위한 확장연산을 수행하게 된다. 확장연산이란 침식연산과는 반대의 개념으로써, 물체의 픽셀을 배경의 픽셀에 확장함으로써 물체가 면적이 확장하게 된다. 마스크 내의 픽셀이 모두 0

인 경우 중앙 픽셀을 0으로 변환하고 그 이외의 경우는 255로 변환한다. 도식화하면

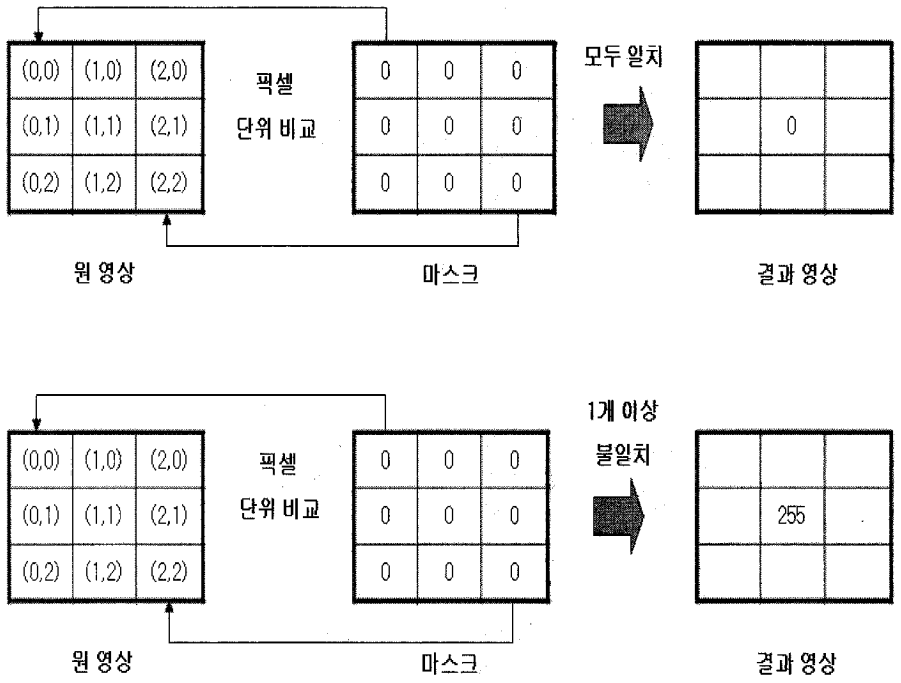
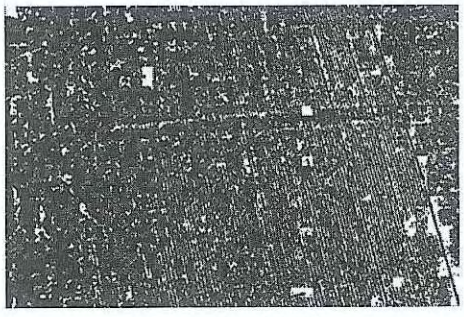


그림 3-91. 확장연산

영상에서 노이즈는 소멸되어 사라진 상태에서 줄어든 절삭면을 다시 확장하여 원 영상의 절삭면과 같은 면적을 가지는 영상으로 변환하게 된다. 이로써 절삭면은 온전히 보전하면서 노이즈는 제거하게 된다.



① 이진화 후



② Erode (침식)



③ Dilate (확장)

그림 3-92. 노이즈 제거 알고리즘 적용

(4) 품질측정 결과 산출

이미지 프로세싱이 완료가 되면 결과 영상의 전체 픽셀 중 절삭면을 나타내는 명도 255의 픽셀들의 퍼센트를 산출하게 된다. 결과는 TXT 파일 형태로 출력이 되며 시간 정보와 절삭 면적과 절삭 여부(OK, NG)의 내용들을 포함한다.

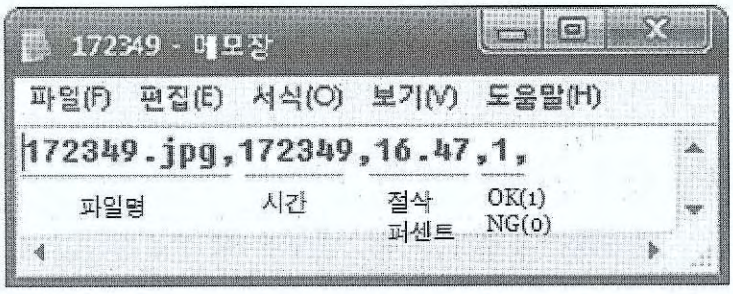


그림 3-93. 이미지 프로세싱 결과 TXT

본 연구에서는 영상 파일 각각에 대한 결과를 TXT 파일 하나에 담고 있어 절삭 과정 전체적인 결과를 한 번에 파악하기 힘든 점을 감안, 이미지 프로세싱 프로그램 정지 후 모든 정보를 포함토록 하는 report.txt 파일을 생성한다.

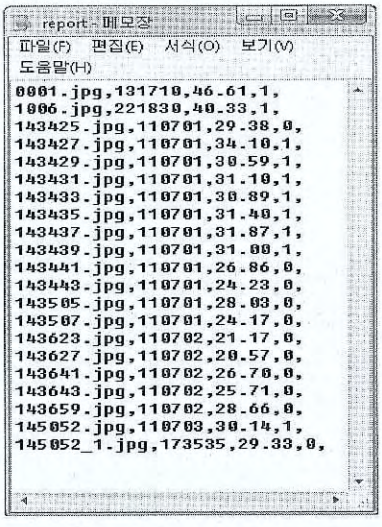


그림 3-94. 전체 결과 TXT

품질관리의 최종 결과를 위한 절삭여부 기준 퍼센트 산정을 위하여 본 연구에서 사용된 그라인더의 표면 형태와 절삭 패턴, 실험으로부터 나온 이미지 프로세싱 결과를 비교하여 최적의 기준을 산출하였다. 실험 영상은 절삭이 잘 진행되었다고 판단되는 경우(100% 절삭) 일반 주광 상태 20프레임, 그림자 상태 20프레임을 선정하여 평균을 계산 하였다.

표 3-32. 절삭 퍼센트 기준 값 산정

	주광	그림자
평균	16.71	16.21
표준 편차	4.07	2.24
기준 값(%)	16.46	

프레임 하나에 소요되는 프로세스 시간은 평균 1.50초이며, 이는 4초당 1프레임을 촬영하도록 구성한 CCD 카메라의 FPM보다 작은 수치이므로 프로세스 과정에서 딜레이는 발생하지 않는다.

(5) 동기화

앞서 언급했듯이, 통합 소프트웨어 프로그램은 작업자의 작업 편의성을 위하여 모든 정보를 제공하도록 개발되어 있다. 그림 3-95에서와 같이 품질관리에 대한 결과에 대한 정보 역시 통합 소프트웨어에서 디스플레이 된다.

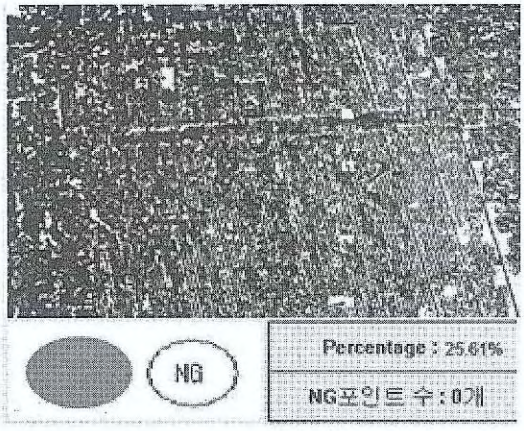


그림 3-95. 동기화

동기화 프로세스는 품질관리에서 생성하는 결과 TXT 파일을 이용하는데, GPS 시간 정보와 결과 영상의 시간정보를 표현하는 결과 파일명(네트워크 카메라와 컴퓨터와의 서버 시간)이 일치하면 결과 TXT 파일을 연다. 결과 TXT 파일을 열어 결과 TXT 파일에 해당하는 결과 영상 파일명을 스캔하고 이미지를 불러오는 함수를 호출한다. 절삭 퍼센트 및 절삭 여부에 대한 정보도 스캔하여 통합 소프트웨어에 디스플

레이 한다. 단위 작업이 모두 완료가 되면 GPS 신호로 다시 피드백 되어 작업을 반복한다

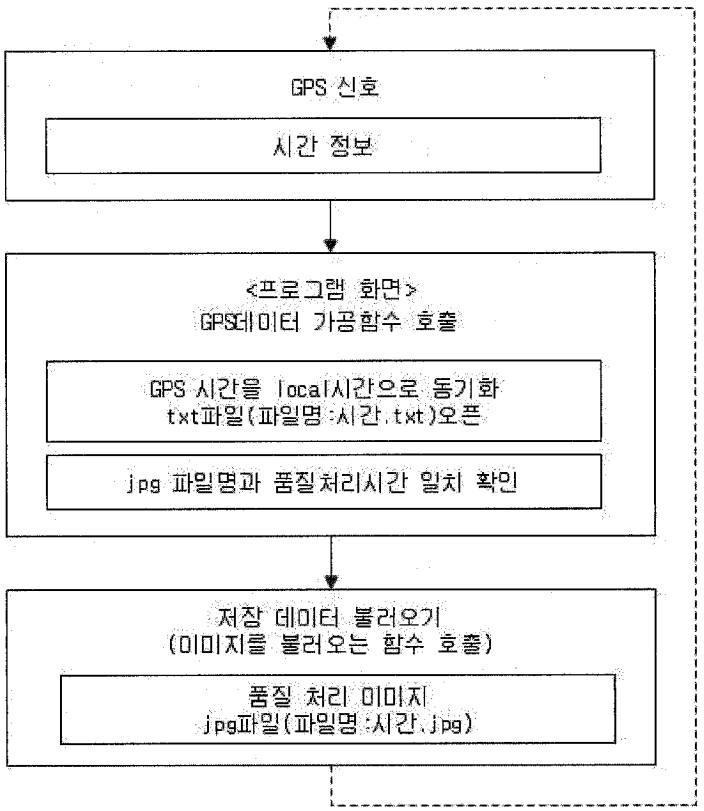


그림 3-96. 동기화 순서도

제 2 절 개발 시스템의 통합 및 운용

1. 시스템 통합

다음 그림 3-97은 각 시스템의 통합을 통하여 최종 개발된 콘크리트 표면절삭을 위한 원격조종 시스템의 구성도를 보여주고 있다.

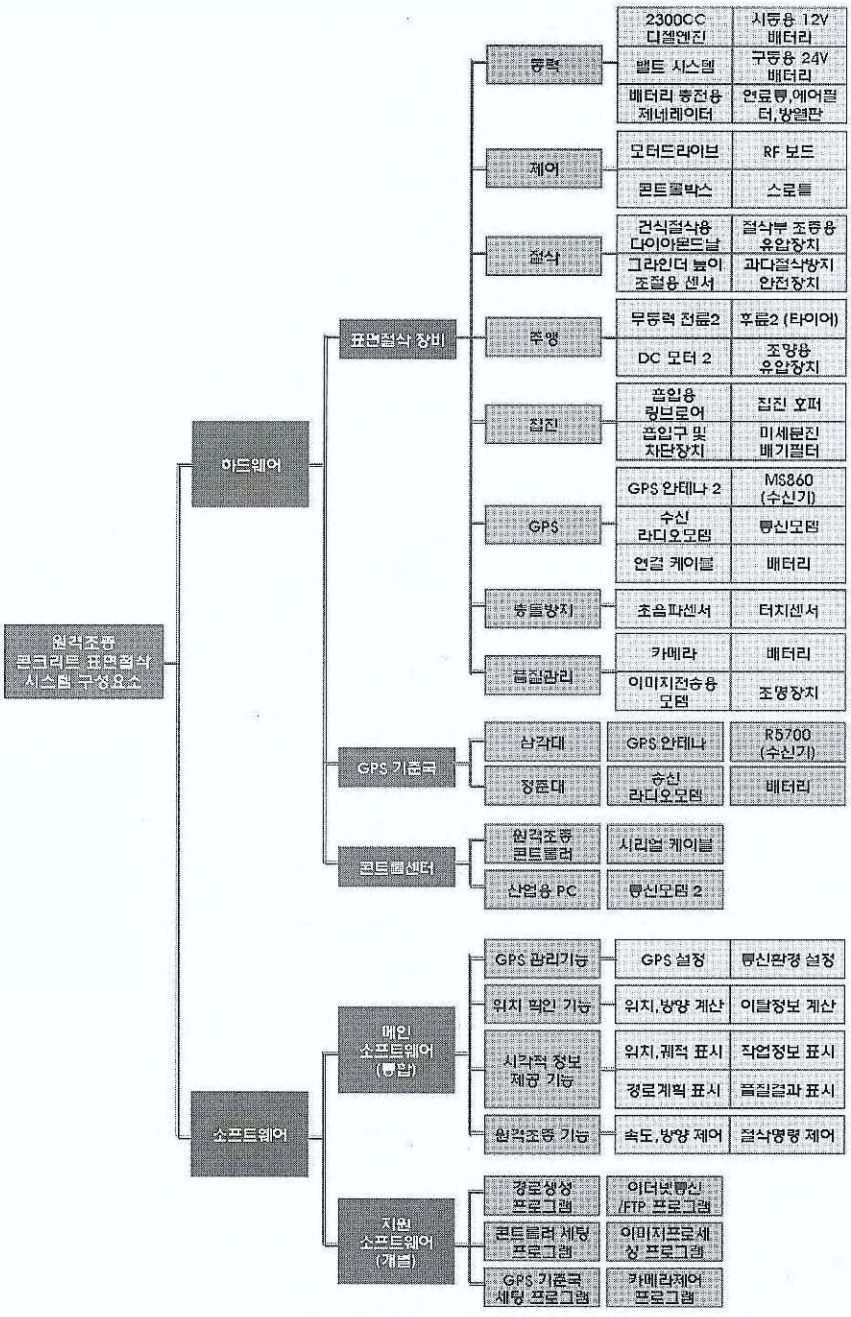


그림 3-97. 개발 시스템의 구성요소

콘크리트 표면절삭을 위한 원격조종 시스템은 그림 3-98과 같이 원격조종장비와 콘트롤센터, GPS 기준국으로 구성된다. 원격조종 장비는 표면절삭을 필요로 하는 콘크리트 바닥면에서 원격조종을 통해 운용되며, 장비 조종자는 안전한 환경에 설치된 콘트롤센터에서 별도로 마련된 GPS 기준국을 이용하여 정확한 위상 값을 계산한 GPS 데이터를 무선 라디오 모뎀을 통해 입력받아 그래픽 인터페이스를 통하여 장비

를 조종한다. 장비의 조종은 장비와 현장 정보를 반영하는 그래픽 유저 인터페이스의 지원을 받아 컴퓨터와 조이스틱을 이용하여 원격조종을 실시한다. 무선원격조종을 통해서 장비의 전·후진, 속도 조절을 통한 절삭량 조절, 상하 높이 조절, 장비의 회전 주행 등을 조종할 수 있으며 약 1km 밖에서도 조종이 가능하다.



그림 3-98. 통합시스템의 구성

2. 시스템 운용 계획

통합 시스템의 운용 계획은 그림 3-99와 같이 크게 계획 및 준비단계와 구동 및 제어단계로 구분할 수 있다. 계획 단계에서는 작업장 환경 정보를 AUTO-LISP 상에서 구축하고, 장비 일반사항을 입력함으로써 최적 경로를 생성하고, 기준점 등 주요 지점의 측량을 통하여 최적 경로와 GPS 데이터와 연계를 실시한다. 그리고 개발 소프트웨어를 실행하기에 앞서 통신 및 작업 환경을 설정하고 연계된 최적 경로를 로딩한다. 다음 제어 및 구동단계에서는 우선 시작 위치로 장비를 이동시킨 후 실시간 경로 보정 기능 하에서 전진하며 절삭 작업을 실시한다. 절삭 작업은 그라인더의 하강, 목표 절삭량에 따른 최적 속도로 절삭 실시, 그라인더 상승 순으로 진행된다. 전진 구간

이 종료되면 다음 절삭 시작위치로 후진하고 작업 경로계획에 따라 이를 반복한다. 이러한 절삭 작업이 진행되는 동안 카메라를 통한 바닥면의 품질을 이미지 데이터로 전송받아 작업결과를 경로 상에 표시하여 준다.

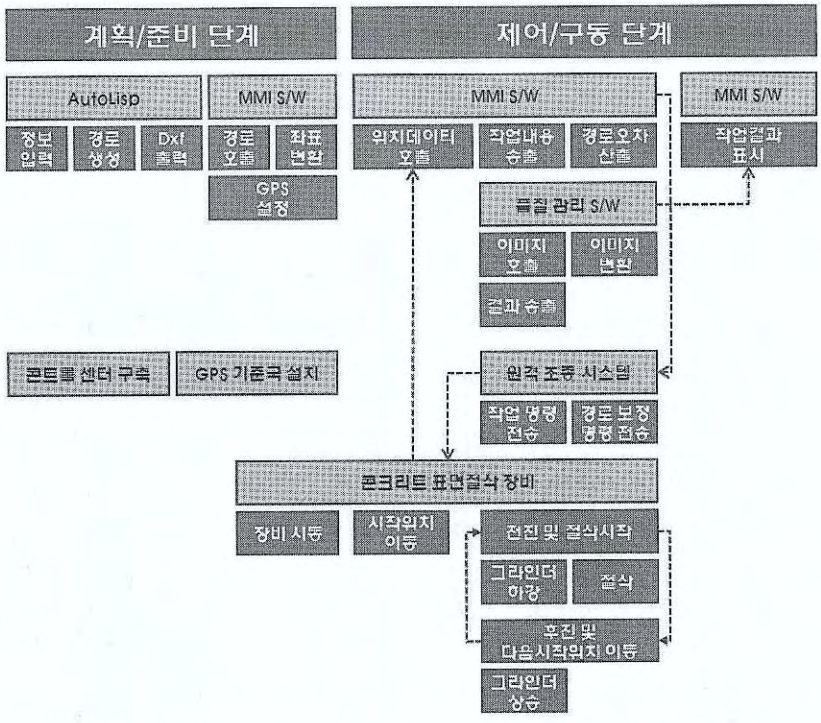


그림 3-99. 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 운용체계

3. 시스템 운용 절차 및 방법

개발된 콘크리트 표면절삭 원격조종 시스템을 효율적으로 운용하기 위해서는 다음과 같은 절차에 따른 시스템 운용이 요구된다.

가. 콘트롤센터 구축

산업용 컴퓨터와 원격조종용 컨트롤러로 구성되는 콘트롤센터는 원격조종장비와의 통신환경 및 전원 지원 등 시스템 운용환경을 고려하여 유해 환경 작업범위에서 벗어난 위치에 구축한다. GPS, 이미지 전송, 장비 제어 통신망을 구축하고 PC 상에서 통합 MMI 소프트웨어 및 지원 소프트웨어 실행을 통해서 그래픽 MMI를 이용한 원격조종을 준비한다.

나. GPS 기준국 설치

장비에 장착된 이동국의 위치보정에 사용되는 GPS 기준국을 설치한다. GPS 기준국은 주변 장애물의 영향이 없어 위성으로부터 위치좌표가 수신 양호한 지역에 설치한다. GPS 기준국 설치시에는 삼각대와 정준기를 정확히 설치하여 발생 가능한 오차를 최소화한다.

다. 원격조종 시스템 부속 장치의 전원 공급

원격조종 시스템을 지원하는 품질제어 시스템의 네트워크 카메라 및 무선랜 컨버터, RTK-GPS 이동국의 수신기(MS 860) 및 수신 라디오 모뎀의 전원(배터리) 및 콘트롤센터와 이동국의 데이터 통신을 위한 무선 통신장치의 전원을 연결한다.

라. 장비 작동

원격조종 표면절삭 시스템은 원격 시동 기능이 없으므로 작업 수행을 위해서는 장비 상에서 엔진 시동 후, 절삭 작업에 최적화된 엔진 회전수(RPM)로 RPM을 조절한다.

마. 소프트웨어 구동 (PC)

원격조종 시스템을 운용하여 표면절삭 작업을 수행하기 위한 통합 소트프웨어 및 지원 소프트웨어를 구동한다.

바. 초기 위치 이동

콘트롤센터에서 원격조종을 위하여 장비를 최적 경로의 시작 지점으로 이동한다. 사전에 계획된 시작지점에서 작업을 실시할 경우 최적 경로계획과 연계된 자율주행 모드와 병행하여 장비를 효과적으로 조종할 수 있다.

사. 장비 제어 및 절삭 수행

원격 컨트롤러 및 PC를 이용하여 시각적 정보를 바탕으로 장비 제어를 실시한다. 방향 및 속도 조절을 통한 주행 제어, 절삭을 위한 절삭날 깊이 제어, 최적 경로계획과의 연계를 통한 자율주행 제어 등을 실시한다. 절삭 수행을 위한 작업 경로는 전진시 절삭을 수행하고 다음 시작지점으로 후진 복귀하는 방식을 택한다. 이 때 품질관

리 시스템에서 제공하는 실시간 작업 결과 및 충돌방지 신호를 바탕으로 우회작업 및 재절삭 여부를 판단한다.

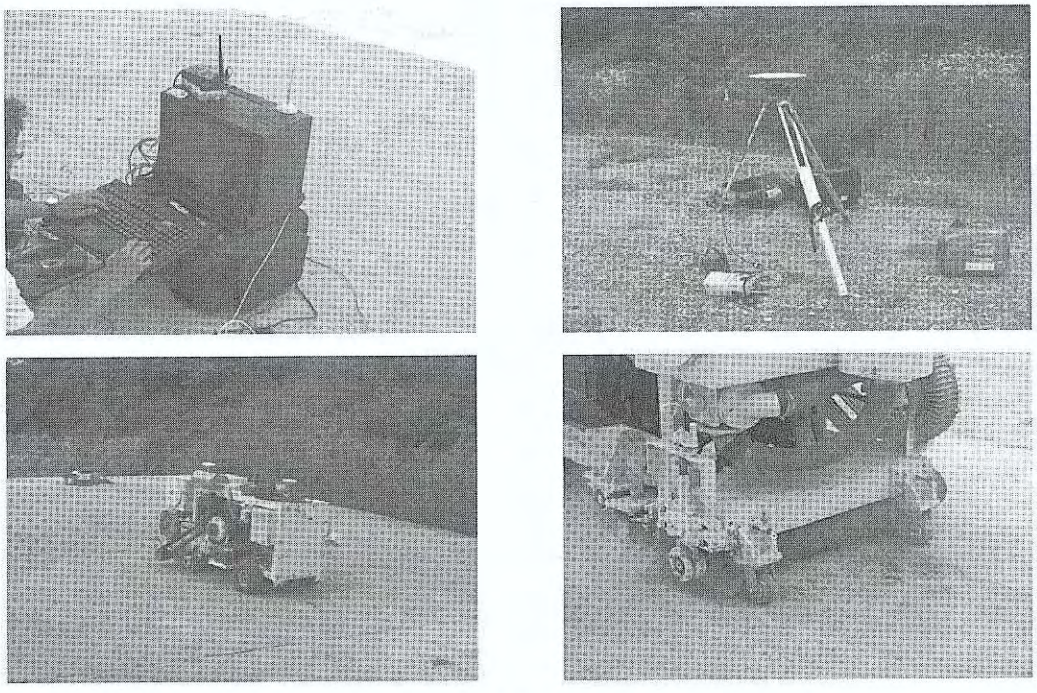


그림 3-100. 표면절삭 시스템 운용

4. 통합 소프트웨어 운용 방법

가. 이미지 프로세싱 운용절차

영상통신 모듈이 모두 설치가 된 상태에서, 콘트롤센터에서의 내부적인 환경설정이 필요하다. 그림 3-101에서 보는 바와 같이 AXIS 소프트웨어에서 네트워크 카메라로 IP 접속을 통해 영상통신 환경을 구축한 다음, 영상 전송 버튼(Trigger)을 누르면 제어장치의 FTP 서버를 통하여 JPEG으로 압축된 영상파일을 전송/저장 한다. 저장된 영상을 이미지 프로세싱 프로그램과 연계하여 최종 결과를 산출한다.

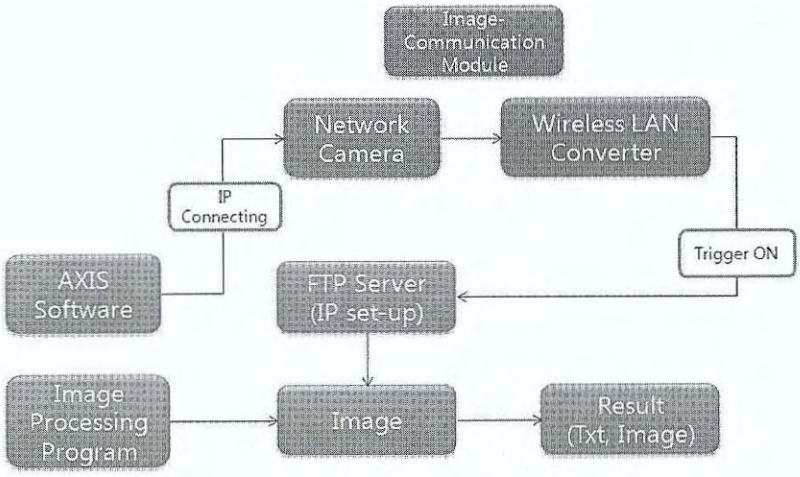


그림 3-101. 영상 데이터 통신 흐름

이러한 영상의 데이터 통신을 이루어지도록 하기 위하여 네트워크 카메라와 컨트롤센터와의 1:1 무선통신 환경을 구축한다. 그림 3-102와 같이 1)컴퓨터에서 FTP 서버를 실행하여 영상이 수신될 수 있는 서버환경을 만든다. 디렉토리 설정을 통해 영상이 저장되는 디렉토리를 설정 할 수 있다. 컴퓨터와 네트워크 카메라는 Ethernet으로 연결되어 있으므로 인터넷 통신을 이용한 IP 접속이 가능하다. 2)인터넷 환경에서 네트워크 카메라의 IP를 입력하여 접속하면 그림 3-103과 같은 AXIS社에서 제공하는 소트프웨어 툴킷 화면을 볼 수 있다.

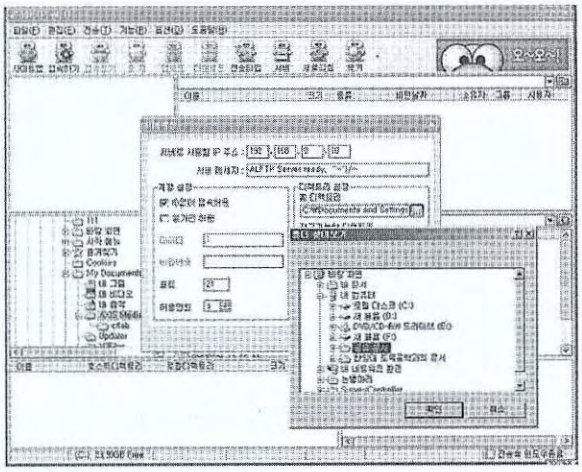


그림 3-102. FTP 서버 구축

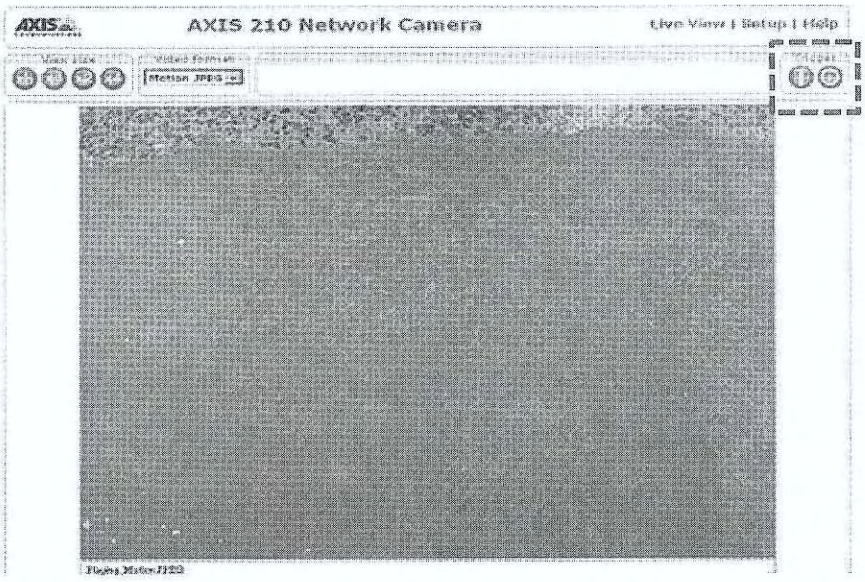


그림 3-103. AXIS 네트워크 카메라 소프트웨어 툴킷(상단 우측 영상전송 버튼)

3)우측 상단 [Set up]에서 시간/날짜, 영상 형식 변경, FPM(Frame per Minute), FTP 서버 IP 설정/영상전송 환경 설정 등이 가능하다. 4)시간/날짜 변경에서 서버 시간은 GPS 시간과 일치하도록 설정한다. 5)FTP 서버 IP는 컴퓨터의 FTP 서버의 IP를 입력한다.

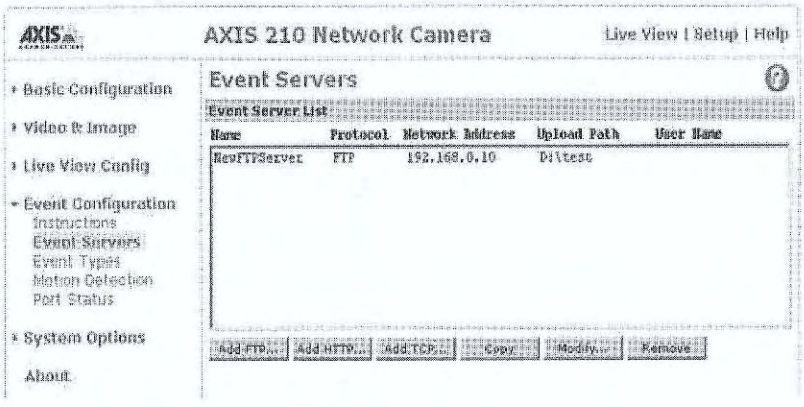


그림 3-104. FTP IP 설정

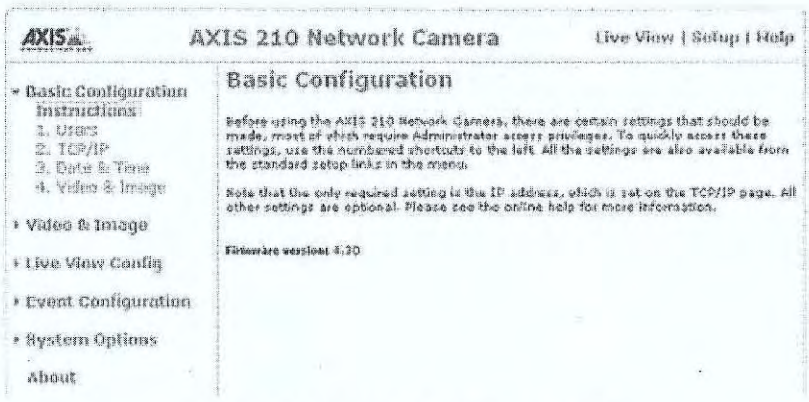


그림 3-105. 네트워크 카메라 기본 설정

6)이미지 프로세싱 프로그램을 실행하여 제어장치에서 설정한 FTP 서버의 디렉토리와 일치하는 디렉토리를 경로로 설정한 후 결과가 저장될 하위 디렉토리 이름을 정한다. 머리말은 공란으로 남겨놓는다. 다만 공종별 혹은 날짜별 작업 구분이 필요한 경우 머리말을 설정한다. 머리말은 결과 파일명에 서두로 붙는다. 7)AXIS 소프트웨어 툴킷에서 영상전송 버튼을 눌러 영상을 수신하면 8)이미지 프로세싱 프로그램의 시작버튼을 눌러 품질제어 시스템을 구동한다.

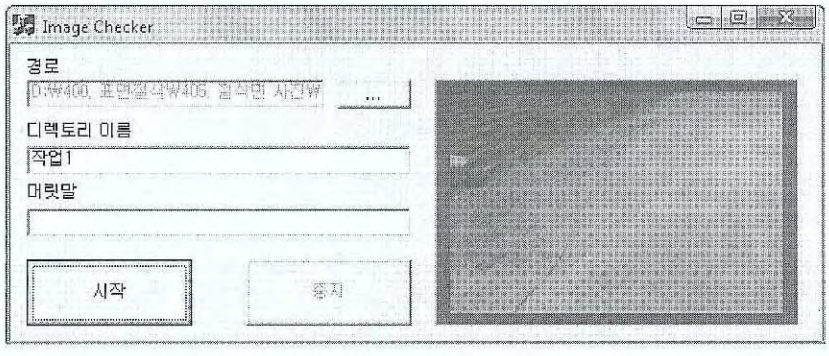


그림 3-106. 이미지 프로세싱 프로그램

나. MMI 시스템 운용절차

(1) 좌표체계

MMI 시스템을 상대좌표로 구동할 때, 3점의 측량결과를 통해서 획득한 이동량과 회전량을 프로그램에 입력한다. 상대좌표를 이용하는 경우와 절대좌표를 이용하는 경우에 시스템의 적용방안은 차이가 있다.

(가) 상대좌표로 이용할 경우

CAD를 사용해서 예상경로를 설정하고 Lisp파일을 생성하여 만들어진 예상 경로 파일은 0,0을 기준으로 일방향, 양방향, N형 등의 상대좌표로 생성된다. 예상경로가 상대좌표로 입력이 되어있으므로 장비를 상대좌표로 변환해주기 위한 매개변수(이동량과 회전량)를 프로그램에 입력해야 한다. 단, 장비를 상대좌표 상에서 구동할 경우 기타 여러 요인들에 의해서 오차가 누적될 수 있다는 점을 고려해야한다. 이를 방지하기 위해서 특히 회전각은 소수점 4자리까지 산출하여 매우 정밀하게 계산하여 프로그램에 입력 후 구동해야 한다. (정수로 입력할 경우 truncation 오차로 인하여 방향 오차가 발생할 수 있다.)

(나) 절대좌표로 이용할 경우

절대 좌표를 이용할 경우 생성한 예상경로(DXF 파일)를 반대로 절대좌표에 맞추어야 한다. 즉 생성한 예상 경로를 측량한 점1과 점2의 방위각만큼 회전시키고, 상대좌표의 시점(0,0)을 점 1로 이동시켜서 예상경로를 결정한다. 이 때, 점 1과 점 2의 거리는 장비의 최초 주행거리가 되므로 상대좌표 상에서 예상경로를 생성할 경우 이 거리를 고려하여 경로를 생성해야 한다. 절대좌표를 이용할 경우, 생성하는 좌표가 독립적이므로 (상대)좌표 변환에 따른 오차누적이 거의 없다. 그러나 예상경로를 절대좌표로 맞출 때, 잘못된 이동량과 회전량 또는 사용자의 과실로 인한 오차 등에 의해서 GPS좌표와 예상경로 사이에 오차가 발생할 수 있으므로 주의해야 한다.

(2) MMI 시스템 구성

원격조종을 위한 그래픽 MMI 통합 소프트웨어는 다음 표 3-33과 같이 메인 VIEW, 방향각 VIEW, 보조 VIEW, 품질 이미지 VIEW, 좌표 설정 화면 등으로 구성된다.

표 3-33. MMI 프로그램 인터페이스 항목별 기능

항목	기능
1 : 메인 VIEW	• DXF 파일, 장비 모양의 그림 등이 보여지고, 사용자는 GPS와의 통신을 통해 장비가 움직이는 상황을 모니터링 할 수 있음.
2 : 방향각 VIEW	• 장비의 절대 방향을 나침반으로 보이고, 장비가 예상경로로 회전해야할 각도를 나타냄. 이동속도는 명령된 속도 값을 나타냄
3 : 보조 VIEW	• 장비의 총 이동거리, 순간속도(GPS 계산에 따름), 설정해준 허용오차 그리고 장비가 예상경로에서 수직으로 벗어나 거리를 나타냄.
4 : 품질 이미지 VIEW	• 절삭된 부분의 품질 이미지를 보여주고, 품질이미지에 따른 상태를 Percentage와 OK, NG신호로 나타냄.
5 : 좌표 설정	• 프로젝트가 그려질 좌표를 설정함.(Korea Zone2값이 기본값) • 확인 후 [확인]을 클릭하시면 프로젝트가 시작함.

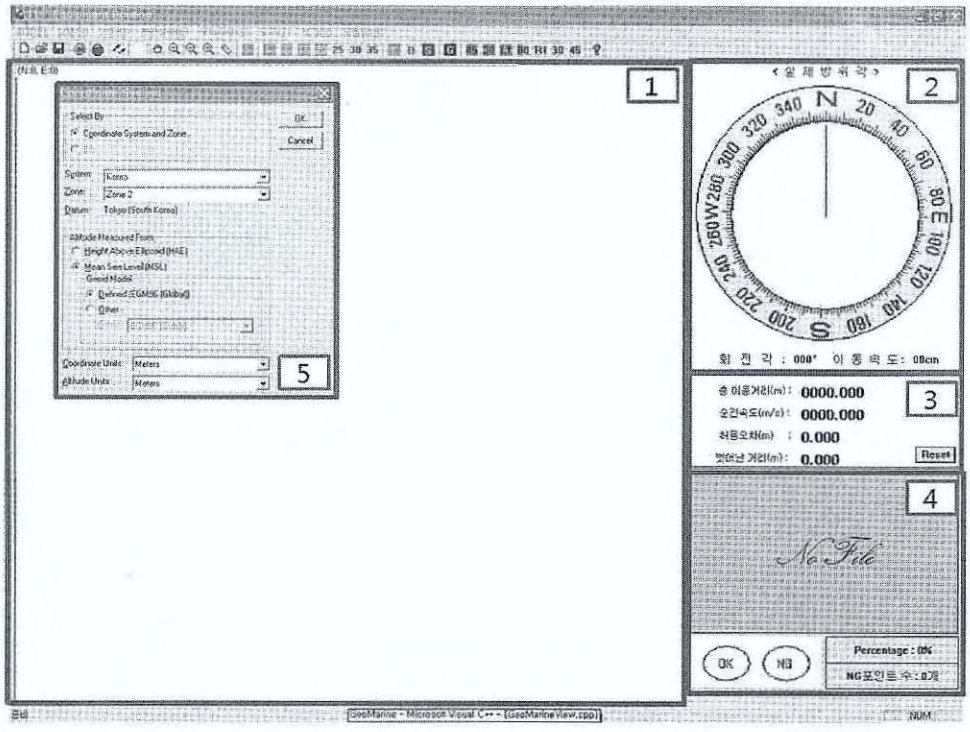


그림 3-107. 통합 소프트웨어 메인화면

그림 3-108에서 보는 바와 같이 메인 화면의 상단에 위치한 툴바는 조종자의 조종 편의성을 증대하기 위함이다.

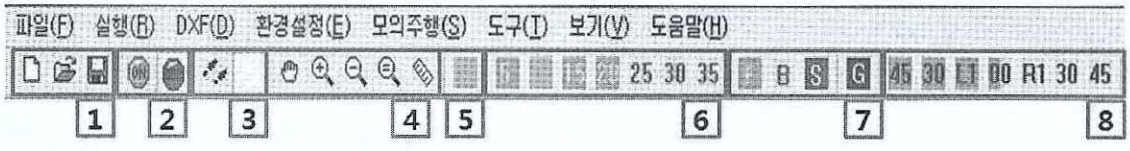


그림 3-108. 통합 소프트웨어 툴바

툴바는 총 30개의 버튼으로 구성되어 있으며 그림 3-108에 표시된 각 버튼의 명령은 다음의 표 3-34와 같다.

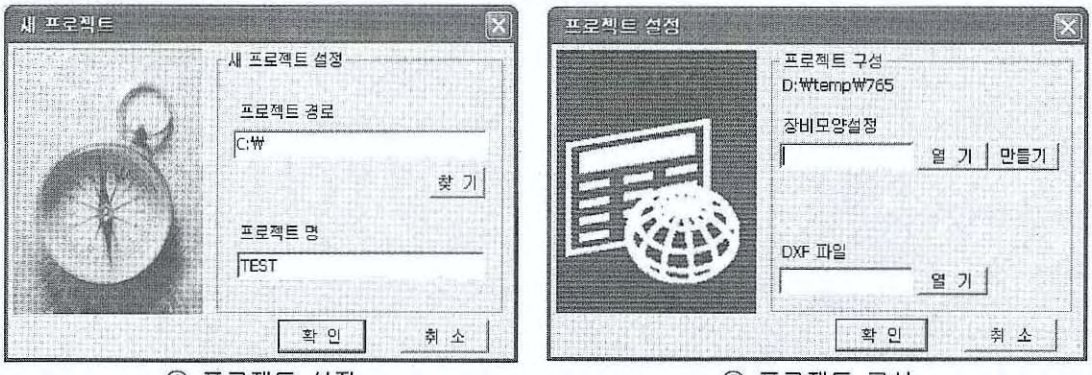
표 3-34. 툴바 버튼별 기능

위치	버튼	기능
1	불러오기	새 프로젝트를 설정한다.
	열기	저장된 프로젝트(.gpj)를 연다.
	저장하기	작업 중인 프로젝트를 저장한다.
2	ON	시리얼 포트를 통하여 GPS 데이터를 수신한다.
	OFF	GPS 데이터 수신을 종료한다.
3	장비이동경로 보기	장비 이동경로를 경로 상에 표시한다.
	장비이동경로 숨기기	장비 이동경로를 경로 상에 표시하지 않는다.
4	이동	화면을 이동한다.
	확대	화면을 확대한다.
	축소	화면을 축소한다.
	전체화면	모든 경로를 한 화면에 표시한다.
	거리측정	경로상의 임의의 점과 점 사이의 거리를 측정한다.
5	자율주행(A)	자율주행모드로 변경한다(버튼 회색일 경우 활성화)
6	속도	값이 클수록 속도 빠름(버튼 회색일 경우 활성화)
7	F	전진 명령
	B	후진 명령
	S	멈춤
	G	절삭 명령
8	각도	조향 장치의 회전 각도를 설정한다.

(3) 통합 소프트웨어 실행

불러오기를 실행하면 그림 3-109 ①과 같이 프로젝트 경로 설정 및 프로젝트 명을 설정하도록 되어있다. 프로젝트 경로는 반드시 품질제어의 결과가 저장되는 폴더와 같은 경로를 지정해야 품질제어와의 동기화가 이루어진다. 다음은 그림 3-109 ②와 같이 경로 상에 표시되는 장비의 모양을 설정하는 부분에서는 장비 모양을 담은 sed 파일을 불러오거나 사용자가 원하는 형태로 그릴 수 있다. 다음 DXF 파일을 불러오

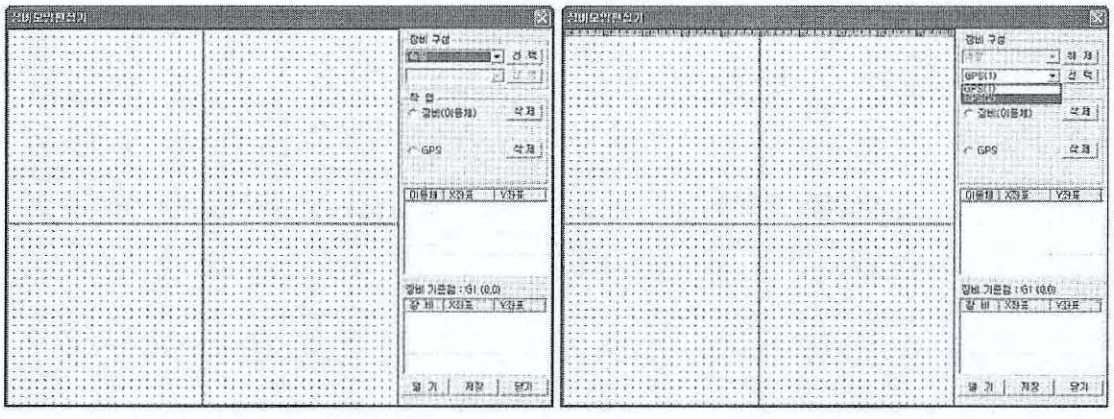
는 부분이 있다. 앞서 Auto-Lisp로부터 DXF 형태로 저장된 경로 파일을 불러온다.



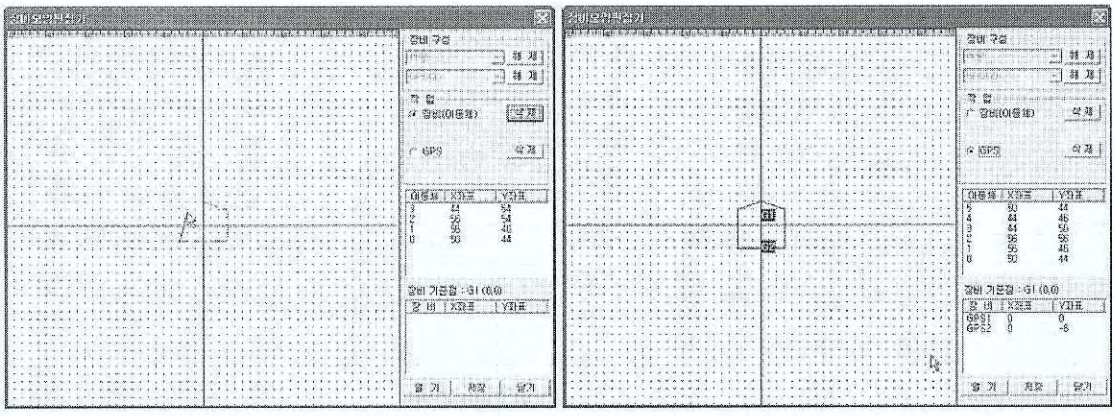
① 프로젝트 설정 ② 프로젝트 구성

그림 3-109. 프로그램 실행

사용자 임의대로 장비모양을 설정하는 과정은, ① 먼저 장비 구성에서 작업을 설정한다. ② 이후 작업에 해당하는 장비를 선택한 후 ③ 작업 항목에서 장비(이동체)를 이용하여 장비의 형태를 그릴 수 있다. 이 때 장비는 반드시 폐곡선 형태를 지녀야 한다. ④ 마지막으로 장비의 앞뒤에 장착되어 있는 GPS 장비의 위치를 나타내는 작업을 거친다.



① 장비구성 작업 선택 ② 해당 장비 선택



③ 장비 형태 도식화 ④ GPS 위치 설정

그림 3-110. 장비 형태 설정

다음으로 그림 3-111과 같이 통신할 시리얼 포트와 프로토콜을 설정한다. GPS1의 포트를 설정하고 속도는 9600, 프로토콜은 NMEA GGA로 설정한다. Protocol1은 원격 컨트롤러로의 명령 송출로써, 속도는 38400으로 설정해야한다.

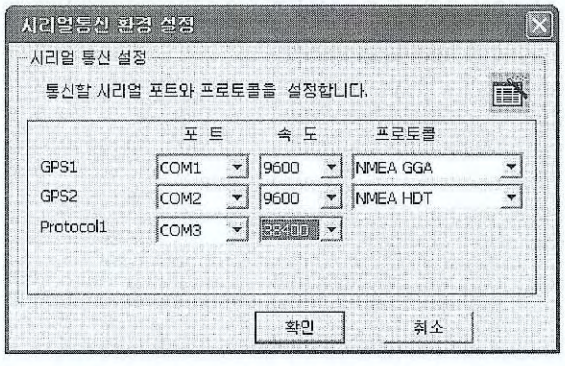


그림 3-111. 시리얼통신 환경 설정

초기화면이 나오면 설정된 파일들이 로드 되고, 작업을 시작할 수 있다. 작업을 시작하기 전에 기본적인 값을 설정해야 한다. 먼저 [환경설정]메뉴에서 [환경 설정]을 선택하고, 로깅 간격을 설정한다. 로깅 간격이란 장비가 이동하면서 메인 화면의 경로에 표시되는 간격을 의미한다. 로깅 간격은 1초 내외에서 적정한 값을 가진다.

로깅 간격 설정 후 절대 좌표를 상대좌표로 변환 시켜주기 위해서 [환경설정]메뉴에서 [좌표변환설정]을 선택한다. 그림 3-112와 같은 박스에 이동할 숫자 값을 입력한다(파일은 geo.ned 파일로 저장). 그리고 이 파일은 같은 위치에서 작업을 할 때,

따로 위의 과정을 거쳐서 생성하지 않고 프로젝트 폴더에 복사하여 사용 가능하다.

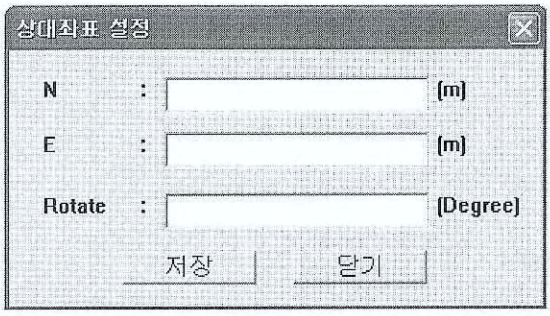


그림 3-112. 상대좌표 설정

다음 [DXF]메뉴에서 허용오차정하기를 선택한다. 그림 3-113과 같은 박스에 장비가 허용오차범위에서 예상경로를 벗어날 경우 허용오차를 입력하고, 장비 폭에는 실제 장비 그라인더 폭을 입력한다. 그리고 [DXF]메뉴에서 이동경로보기를 선택하면 장비의 이동경로와 절삭 상태를 알 수 있다.

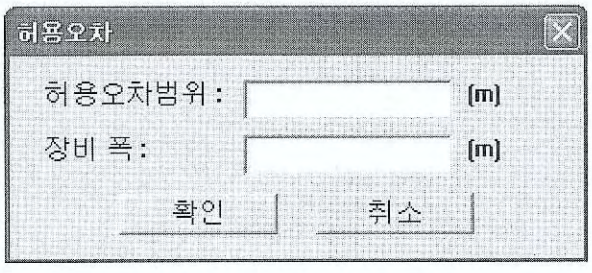


그림 3-113. 허용오차 설정

기본설정 종료 후 컴퓨터와 장비간의 시리얼 케이블이 연결 되었는가를 확인하고, [실행]메뉴의 [시작]을 선택하거나 툴바의 ON을 선택한다. 그 전에 GPS 데이터가 원활히 수신되고 있는지 확인이 필요하다면 하이퍼터미널로 들어오는 GPS 데이터 신호를 확인 후 진행하면 된다. 다음은 GPS의 신호에 따라 장비의 이동경로가 계획경로 상에 생성되는 화면이다.

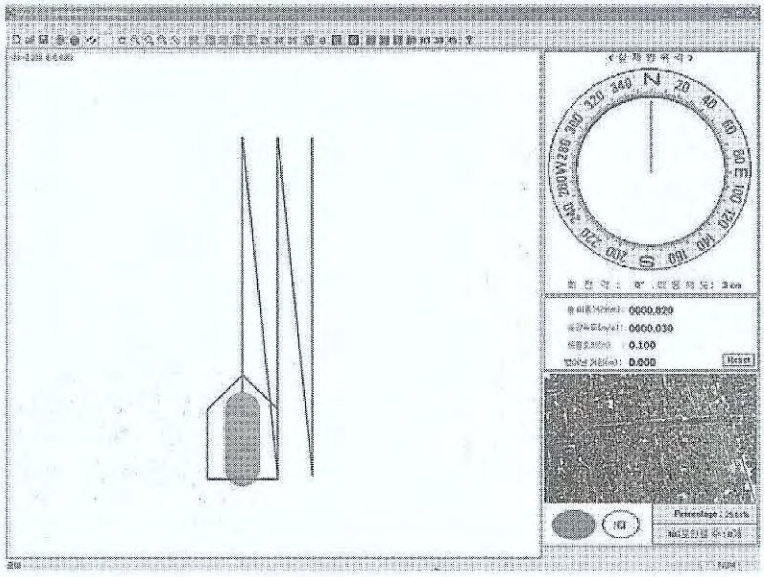


그림 3-114. 장비의 이동경로 생성

절삭 장비가 구동하면서 장비의 GPS값이 바뀌게 되는데 이는 앞서 설정한 로깅시간에 따라 경로 상에 그라인더의 설정 폭 크기의 원으로 표현된다. 품질관리 결과가 OK인 경우에 경로 상에 푸른색 원으로 표현이 되며, NG인 경우에는 붉은색 원으로 표현이 되어, 장비 조종자가 쉽게 경로상의 절삭면 NG 발생 구간을 발견할 수 있도록 구성되어있다. 전체 절삭면 NG 발생 구간의 개수는 우측 하단에 NG 포인트 수 항목에서 확인이 가능하다. 그림 3-115와 116은 실제 작업 진행시 메인View의 모습이다.

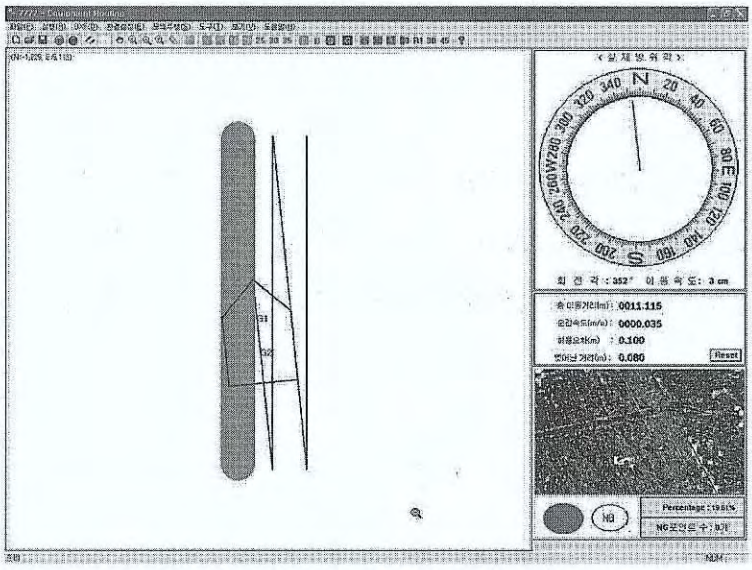


그림 3-115. 절삭장비 이동

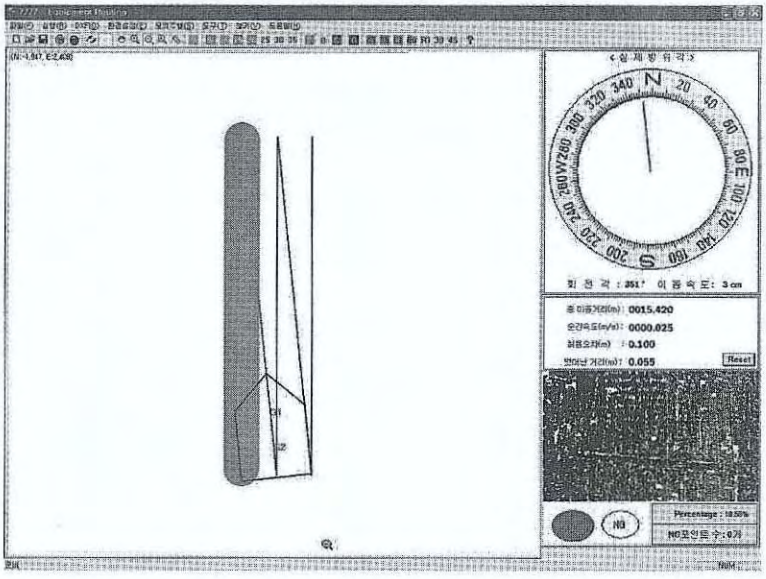


그림 3-116. 다음 포인트로 복귀

제 3 절 개발 장비의 성능실험 및 개선

원격조종 콘크리트 표면절삭 시스템 개발과정에서는 소요의 기능 구현을 위한 성능 실험을 통한 단계적인 성능 보완이 매우 중요하다. 본 절에서는 총 6회에 걸쳐 수행된 성능 실험 과정 및 결과, 그리고 그에 따른 후속 조치에 대한 내용을 포함한다.

1. 1차 성능실험

가. 성능실험내용

1차 성능실험은 1차 년도에 개발된 장비를 금년도에 개발한 무선원격제어 H/W의 제어 신호에 따른 장비 구동의 정확한 동작여부를 측정하고 이를 통해 무선원격제어 H/W에 적합하도록 장비의 개선사항을 도출하기 위해 수행하였다.

(1) 일시 : 2007. 1.

(2) 실험장소 : 곤지암 D 건설 실험장

(3) 주요 성능실험항목 :

- 원격제어 컨트롤러의 제어 신호에 의한 구동부 동작 측정

- 장비의 조향에 따른 회전 측정
- 절삭부 상하구동에 따른 콘크리트 표면절삭 작업능력 점검

나. 성능실험결과

성능실험결과, 장비의 가장 큰 문제점은 표면절삭작업 시 장비를 구동시키는 전진 신호가 입력되지 않아도 그라인더와 콘크리트 표면의 마찰에 의해 발생된 그라인더의 회전력으로 인해 장비가 전진하며, 전진하는 장비를 뒷바퀴가 제어하지 못하여 장비의 속도를 조작자가 원하는 속도로 제어할 수 없는 점으로 판단되었다. 이는 후륜 구동방식으로 선정된 AC 기어모터의 문제점으로 모터가 외부에서 주어지는 힘에 의해 저항하지 못하고 회전하기 때문으로 나타났다. 또한 작업을 실시하지 않은 상태에서의 장비의 이동을 뒷바퀴 양측의 바퀴 회전 차이에 의해 작동하도록 하였으나, 전륜이 고정되어 있지 않아 전륜의 움직임에 따라 장비의 움직임 달라져 장비의 방향전환이 원활히 이루어지지 않는 것으로 판단되었다.

다. 개선사항

1차 성능실험결과, 그라인더와 콘크리트 표면의 마찰에 의해 발생된 그라인더의 회전력으로 인한 장비의 구동을 방지하기 위해 후륜 구동 방식을 AC 기어모터에서 DC 웜기어모터로 교체할 것을 결정하였다. 이와 동시에 뒷바퀴와 콘크리트 표면과의 접지력 향상을 위해 뒷바퀴를 고무튜브 타이어로 교체할 것을 결정하였다. 전륜이 고정되어 있지 않아 발생하는 장비의 방향전환의 문제점을 해결하기 위해서는 뒷바퀴 회전차이에 의해서만 장비가 회전할 수 있도록 전륜을 1방향으로 고정하였다.



그림 3-117. 후륜 구동방식 개선 전

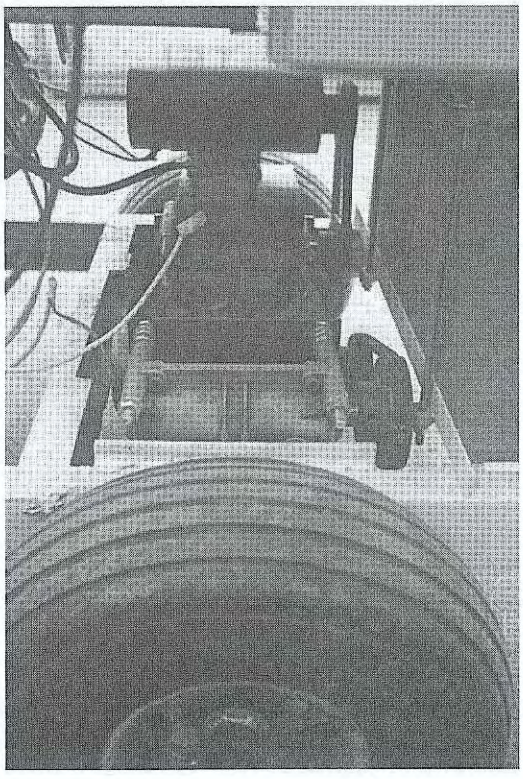


그림 3-118. 후륜 구동방식 개선 후

2. 2차 성능실험

가. 성능실험내용

2차 성능실험은 1차 성능실험의 장비 개선사항을 반영하여 표면절삭 장비의 보다 정밀한 주행 및 절삭제어를 위해 실시하였다.

(1) 일시 : 2007. 1.

(2) 실험장소 : 곤지암 D 건설 실험장

(3) 주요 성능실험항목 :

- 원격제어 컨트롤러의 제어 신호에 의한 구동부 동작 측정
- 장비의 조향에 따른 회전 측정
- 절삭부 상하구동에 따른 콘크리트 표면절삭 작업능력 점검

나. 성능실험결과

1차 성능실험의 개선사항을 반영하여 실시한 2차 성능실험결과 표면절삭작업 시

그라인더와 콘크리트 표면의 마찰에 의해 발생된 회전력으로 인한 장비 구동의 문제점은 발생하지 않았다. 그러나 개선될 것으로 판단되었던 작업을 하지 않은 상태에서 장비의 방향전환에는 조작자가 장비의 주행방향을 제어하는데 어려움이 있었다. 이는 장비의 양 바퀴측간 거리가 좁고, 장비의 무게중심이 전방으로 치우쳐 타이어와 콘크리트면과의 접지력이 충분히 발휘되지 못하여 발생하는 것으로 판단되었다.

다. 개선사항

장비의 방향전환을 위해서 뒷바퀴 양측의 회전차이를 이용하는데 무리가 있다고 판단되어 전륜에 조향장치를 추가하여 장비의 방향전환을 할 수 있도록 하였다.

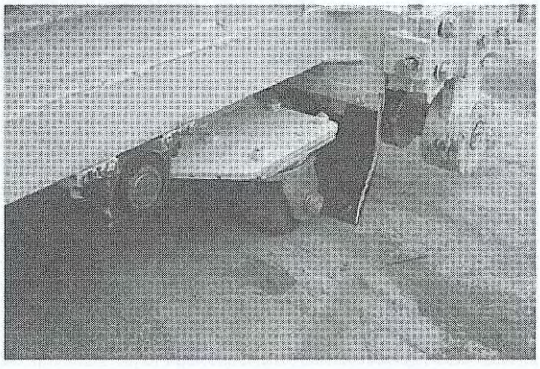


그림 3-119. 개선 전 전륜

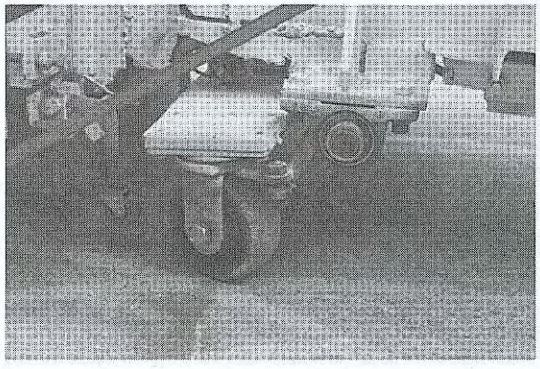


그림 3-120. 개선 후 전륜

3. 3차 성능실험

가. 성능실험내용

3차 성능실험은 개발 장비의 원격제어 주행시스템을 점검하고 이를 통해 장비 후방에 장착된 이미지 프로세싱을 통해 절삭품질을 측정하는 품질관리 시스템의 개선사항을 도출하기 위해 수행하였다.

(1) 일시 : 2007. 2.

(2) 실험장소 : 구리시 왕숙천변 콘크리트포장 폐부지

(3) 주요 성능실험항목 :

- 원격제어 주행시스템 점검
- 품질관리 시스템 개선사항 도출

나. 성능실험결과

콘크리트 실험장이 아닌 콘크리트포장 폐부지에서 실시한 원격제어 주행시스템 성능실험결과 일정한 속도로 절삭작업 수행명령을 입력한 경우에도 콘크리트포장의 강도가 약하여 그라인더가 과다 절삭되는 구간이 발생하였고 과다 절삭되는 구간의 경우 장비의 엔진이 콘크리트 표면절삭을 위한 충분한 토크를 발휘하지 못하여 엔진이 정지하는 경우가 발생하였다. 엔진이 정지한 경우 엔진과 연결된 제너레이터가 작동하지 못하고 전력을 생산하지 못하여 제너레이터에서 발생된 전력을 주 전원으로 하는 RF기판이 작동이 끊겨 조이스틱의 원격제어 신호가 장비에 전달되지 못하는 상황이 발생하였다. 품질관리 시스템 성능실험결과, 장비로 인해 발생된 그림자로 인해 이미지 프로세싱을 통한 절삭품질 측정에는 오류가 발생하는 것으로 나타났다.

다. 개선사항

콘크리트 표면이 과다 절삭되는 구간이 발생하지 않도록 그라인더가 일정한 깊이 이상으로 절삭하지 못하도록 장비의 전방에 과다절삭 방지를 위한 보조바퀴를 설치하였으며 엔진이 정지한 경우에도 원격제어를 수행하여야 하므로 RF기판의 전원을 제너레이터에서 발생한 전력을 이용하지 않고 후륜 구동용 DC 배터리 전원으로 교체하였다. 본 성능실험결과, 차후 장착될 집진장치 또한 제너레이터에서 발생한 전력을 이용한 방식에서 엔진의 출력을 이용하여 집진기를 구동하는 것으로 결정하였다.

그림자 발생으로 인한 이미지 프로세싱의 오류는 그림자의 영향을 고려하지 못하는 전역적 이진화를 사용하여 발생하는 것으로 그림자의 영향을 최소화할 수 있는 지역적 이진화를 사용한 이미지 프로세싱으로 변경하였다.



그림 3-121. 보조바퀴 장착 전

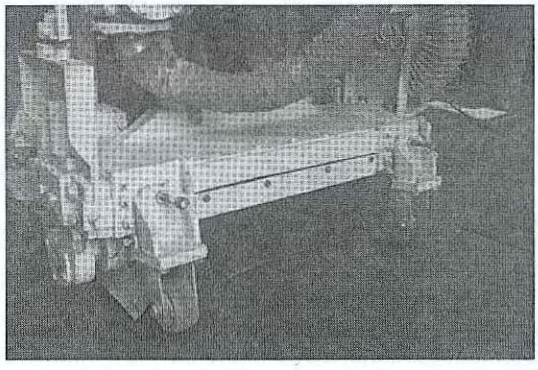


그림 3-122. 보조바퀴 장착후

4. 4차 성능실험

가. 성능실험내용

4차 성능실험은 3차 성능실험의 장비 개선사항을 반영하여 장비의 원활한 절삭작업 수행여부를 점검하고, 또한 추가적으로 장비에 장착된 집진장치의 성능 점검을 위해 수행하였다.

(1) 일시 : 2007. 3.

(2) 실험장소 : 구리시 왕숙천변 콘크리트포장 폐부지

(3) 주요 성능실험항목 :

- 절삭 성능 및 품질 점검
- 집진 장치의 콘크리트 분진 흡입성능 점검

나. 성능실험결과

성능실험결과, 장비 전방에 장착한 보조바퀴로 인해 콘크리트 표면이 과다하게 절삭되는 구간은 발생하지 않았으나 단동식 유압실린더의 밸브 개폐조절과 자중에 의해 그라인더의 높이를 조절하는 방식으로는 콘크리트 표면이 평탄하지 않을 경우 상황에 맞는 그라인더의 높낮이를 미세하게 조절할 수 없었다. 집진성능 평가 결과 절삭작업으로 인해 발생된 콘크리트 분진의 대부분이 집진기를 통해 흡인되었으나 일부의 콘크리트 분진이 콘크리트 절삭면에 쌓이는 것으로 나타났으며 이로 인해 절삭품질을 측정하는 이미지 프로세싱 결과에 영향을 미치는 것으로 판단되어 집진장치의 추가적인 보완이 필요한 것으로 판단되었다.

다. 개선사항

콘크리트 표면이 평탄하지 않은 경우 상황에 맞는 그라인더의 높낮이를 미세하게 조절해야하므로 유압실린더의 밸브개폐시간을 조절하여 미세한 높낮이를 조절할 수 있는 복동식 유압실린더로 장비를 개선하였다. 또한 콘크리트 절삭면에 남아 있는 콘크리트 분진을 제거하기 위해서는 장비 전면에 설치한 2개의 흡입구 이외의 장비 후면에 솔과 별도의 흡입구를 추가하였다.

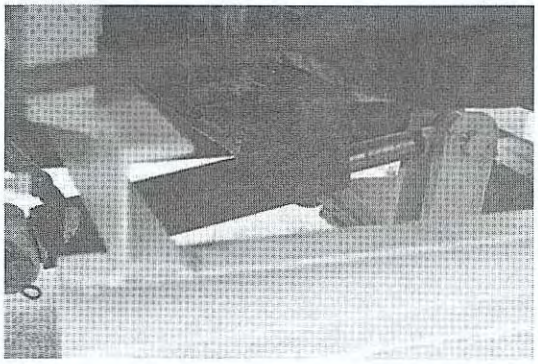


그림 3-123. 단동식 유압 실린더

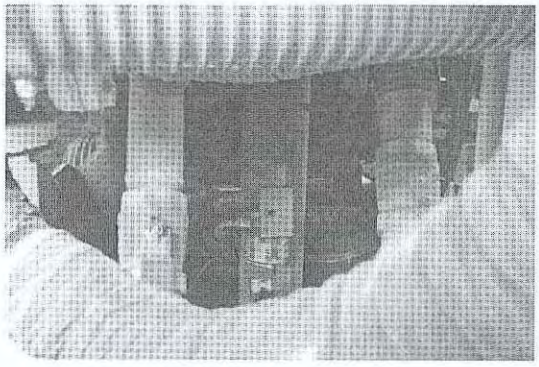


그림 3-124. 복동식 유압 실린더

5. 5차 성능실험

가. 성능실험내용

5차 성능실험은 전 성능실험의 개선사항을 반영하여 일정한 절삭 및 집진 성능을 측정하고 표면절삭 작업을 원격에서 조작할 수 있도록 하는 그래픽 콘트롤 인터페이스 시스템의 개선사항 도출하기 위해 수행하였다.

(1) 일시 : 2007. 4.

(2) 실험장소 : 구리시 왕숙천변 콘크리트포장 폐부지

(3) 주요 성능실험항목 :

- 절삭 성능 및 품질 점검
- 그래픽 콘트롤 인터페이스 시스템 개선사항 도출
- 집진 장치의 콘크리트 분진 흡입성능 점검

나. 성능실험결과

성능실험결과, 원거리에서 조작자가 개발 소프트웨어의 그래픽 콘트롤 인터페이스를 통해 사전에 그라인더의 절삭 여부를 판단할 수 없으며, 절삭작업 수행 후 이미지 프로세싱에 의해 측정된 절삭품질을 통해 절삭여부 알 수 있도록 되어 있어 원거리에서 그라인더의 절삭여부를 판단할 수 있는 정보의 제공이 필요한 것으로 나타났다. 장비 후방에 집진기의 흡입구 및 브러시를 추가하여 실시한 집진성능 성능실험결과 절삭면에 남아 있는 분진을 효과적으로 제거하지 못한 것으로 나타났다.

다. 개선사항

원거리에서 콘크리트 표면과 그라인더의 접지여부를 장비 조작자가 판단할 수 있도록 그라인더가 위치한 장비 전면에 각도 센서를 부착하고 센서에서 측정된 값을 장비와 조이스틱의 무선 프로토콜에 추가하여 각도 센서에서 측정된 값을 장비조작자가 알 수 있도록 하였으며, 그라인더의 높이조절을 각도센서 값과 연계하여 조작할 수 있도록 개선하였다.

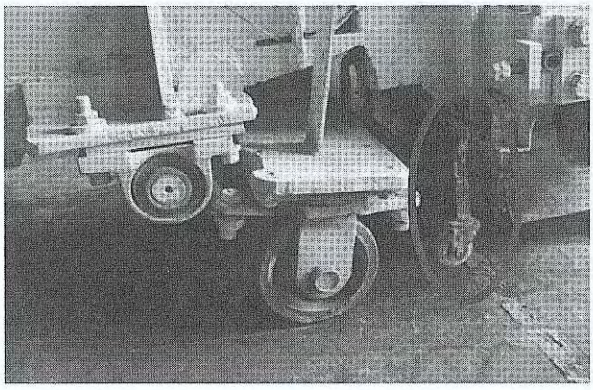


그림 3-125. 각도 센서

6. 6차 성능실험

가. 성능실험내용

6차 성능실험은 장비에 요구된 모든 개선사항을 반영하여 장비 H/W의 성능을 점검하고 개발 H/W 및 S/W 간의 시스템 통합을 위한 개선사항을 도출하기 위해 수행하였다.

(1) 일시 : 2007. 5.

(2) 실험장소 : 구리시 왕숙천변 수택 배수펌프장 공사현장

(3) 주요 성능실험항목 :

- 개발 H/W와 S/W 간 시스템 통합 점검

나. 성능실험결과

성능실험결과, 원격조종을 위한 장비의 구동 및 무선원격제어 H/W로 인한 개발 장비의 절삭작업에는 문제점이 나타나지 않았으나, 콘크리트 절삭면에 그림자가 발생

할 경우 그림자 때문에 영상이 전체적으로 대조(Contrast)가 커지게 되며 이로 인해 절삭면의 명도 히스토그램 분포가 넓게 나타나는 것으로 나타났다. 이로 인해 그림자부와 비그림자의 명부와 암부의 차는 확실하게 구분하게 되나 명도차가 좁게 분포한 그림자 내의 명부와 암부의 명도 차를 구별하지 못하게 되므로 그림자 내의 절삭여부를 측정하는데 곤란함을 보였다. 이미지 프로세싱을 통한 품질관리 시스템, AutoLisp을 이용한 작업구간의 최적경로 생성 시스템을 RTK-GPS 인터페이스를 이용한 소프트웨어에 통합하여 각 시스템 모듈간의 호환성을 점검한 결과 그래픽 MMI상의 장비 위치가 정지한 경우에도 장비가 회전하거나 품질관리 시스템의 품질측정 결과가 그래픽 MMI상에 최초 설정한 일정한 시간단위로 들어오지 않는 것과 같은 오류가 발생하였다.

다. 개선사항

그림자가 발생한 경우 그림자 내의 절삭부와 비절삭부의 명도차를 구분하기 위해 그림자 영역과 비 그림자 영역의 명도차를 작게 하여야하므로 머신비젼이 위치한 장비 후방에 150W 할로겐램프를 부착하여 절삭면에 그림자가 발생할 경우에도 지역적 이진화를 통한 콘크리트 절삭면의 품질측정을 원활히 할 수 있도록 개선하였다. 또한 장비 표면절삭 작업 중 집진기에 의해 흡인된 다량의 콘크리트 분진이 집진기 배출구를 통해 공기 중으로 배출되는 것을 방지하기 위해 배출구에 집진필터를 추가하였으며, 엔진의 구동시 발생되는 진동에 의해 장비 상단에 장착된 RTK-GPS 및 기타 부속 부품의 탈락방지 및 장비의 미관을 고려하여 방열판 보호대와 부속품 함을 제작하였다.

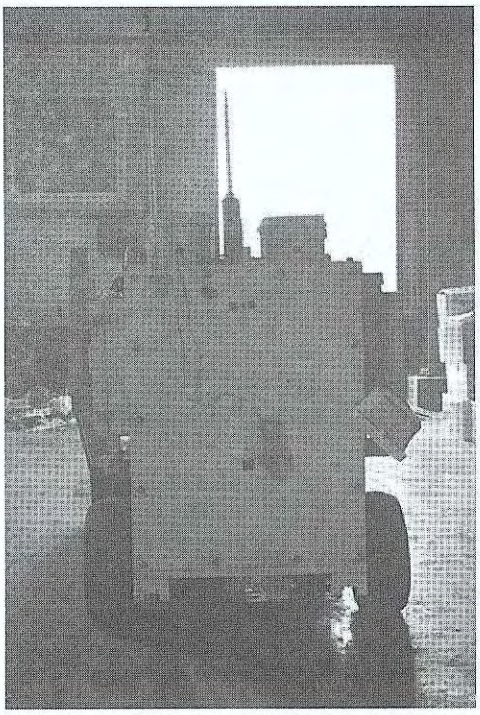


그림 3-126. 할로겐램프 부착



그림 3-127. 부속품 함 제작

7. 성능 실험 및 장비개선 소결

본 연구에서는 장비가 개발되는 단계에서 장비의 제어 및 구동 등에 관한 각종 기능실험 및 성능실험을 수행하였으며, 수행결과를 토대로 몇 차례의 수정·보완작업을 거쳐 최종적인 장비 개발 및 소트프웨어 통합을 실시하였다. 이러한 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 개발 장비의 원격제어와 관련하여 원격제어부의 제어신호에 따른 장비의 구동은 비교적 정확하고 안정적인 것으로 나타났으며, 폐 콘크리트포장 부지와 같이 표면상태가 고르지 않은 상황에서의 절삭작업에도 양호한 작업을 수행할 수 있었다. 그러나 장비의 회전반경이 비교적으로 커서 장비의 가로 및 세로방향으로 장비의 경로를 운영하기에 어려우며, 작업의 효율성도 떨어지는 것으로 나타나 장비 경로계획에 제한을 가져왔다.

둘째, 개발 장비의 H/W와 개발 장비에 적용되는 품질관리 시스템, 경로 보정 시스템, 충돌방지 시스템 등 S/W의 통합시 대체적으로 장비의 원격제어 및 장비 구동은 안정적이었으나 일부의 오류가 발생하였다.

제 4 절 개발시스템의 현장 실험

수차례에 걸친 성능실험 및 장비의 보완 및 수정 결과 장비의 구동 및 원격제어가 안정적인 것으로 평가됨에 따라 추후 장비가 사용되어질 LMC 콘크리트 포장 및 고속도로 콘크리트포장 구간에서의 현장실험을 실시하였다. 현장실험은 실제 활용될 방식의 작업 순서를 따르면서 콘크리트 표면절삭 작업을 수행한 것으로 종합적인 성격의 성능실험이라고 볼 수 있다.

1. 1차 현장 실험

가. 현장 실험 개요

(1) 실험일자 : 2007. 6

(2) 실험장소 : 충남 보령시 승화이엔씨 LMC 포장 실험장

(3) 주요내용 :

- 현장실험에 따른 개발 장비의 기술적 검토
- 개발 장비의 S/W 및 H/W 시스템 통합의 호환성 검토

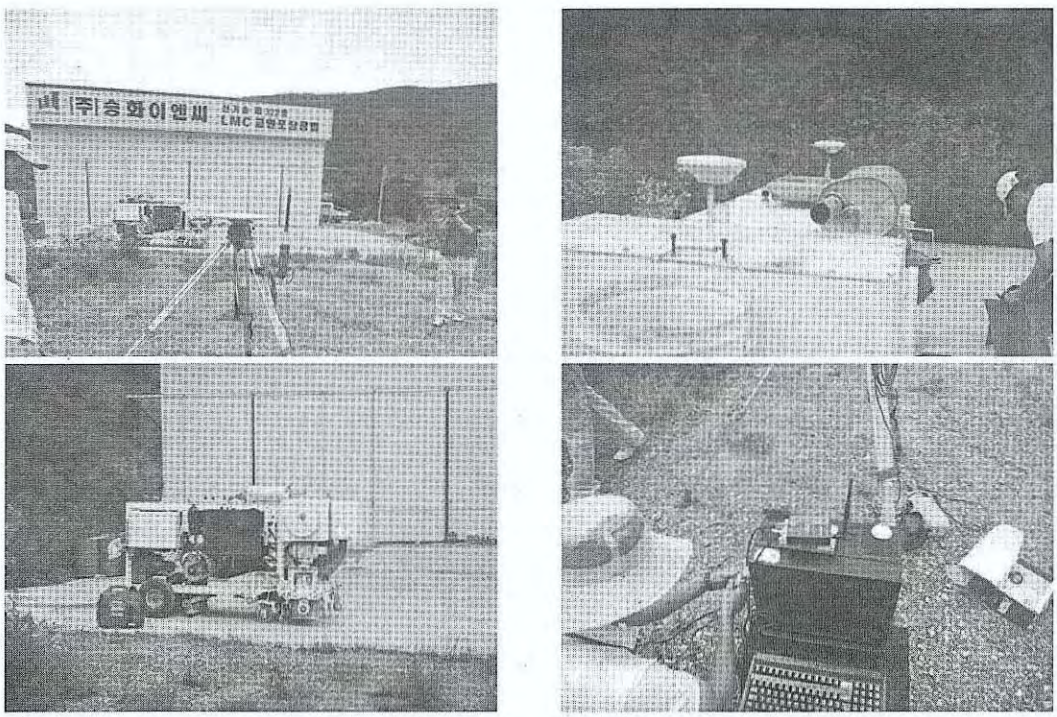


그림 3-128. 1차 현장실험 전경

나. 현장 실험 내용

1차 현장실험은 본 연구의 참여기업인 (주)승화이엔씨의 LMC 포장 실험장에서 실시하였다. 그림 3-129에서 보이는 바와 같이 폭 약 10m, 너비 15m의 콘크리트 포장 구간을 작업 대상범위로 설정하여 개발 장비 및 통합 소프트웨어를 이용한 표면절삭 실험을 수행하였다. 1차 현장실험에서 중점적으로 실험한 내용은 H/W 및 S/W의 시스템 통합 호환성으로 주요 실험내용을 정리하면 다음과 같다.

각 S/W 시스템 모듈간의 호환을 점검하는 S/W 호환성 실험방법으로 소프트웨어 통합의 토대인 그래픽 MMI 소프트웨어에 사전 AutoLisp을 사용해 생성한 최적 경로를 그래픽 유저 인터페이스(GUI)에 로드하고 GUI상에 표시되는 장비의 위치와 작업 경로를 이용하여 조작자가 장비의 작업을 제어할 수 있는지 점검하였으며, 작업 중 장비가 허용 오차범위를 벗어나 경로를 이탈하였을 경우 장비를 허용 오차 범위내의 작업 경로에 복귀시킬 수 있는 경로 보정 시스템을 점검하였다. 이와 동시에 장비 후면에 탑재된 네트워크 카메라를 통해 입력되는 장비 절삭면 취득영상을 이미지 프로세싱하여 절삭면의 품질을 측정하고 측정된 결과를 RTK-GPS의 시간정보와 동기화하여 영상이 취득한 시간의 절삭품질을 그래픽 유저 인터페이스에 표시되는 지 점검하였다. 실험결과 네트워크 카메라를 통해 취득된 영상의 취득시간과 RTK-GPS의 위치표시 시스템 시간의 오차로 인해 품질관리 결과가 그래픽 유저 인터페이스(GUI)에 표시되지 않는 문제가 발생하였다. 이는 네트워크 카메라에서 취득된 영상의 이미지 프로세싱 결과에 포함되는 데이터의 시간은 서버타임으로 기록되나 RTK-GPS의 위치표시 시스템에서 사용되는 시간은 위성으로부터 받은 위성시간으로서 두 시간의 오차로 인해 품질관리 시스템의 품질측정 결과가 통합소프트웨어와 동기화되지 않은 것으로 나타났다. 이는 로컬타임을 위성시간으로 변경함으로써 해결할 수 있는 것으로 판단되어 차후 실험 시에는 문제가 되지 않을 것으로 판단되었다. 또한 경로보정 시스템의 현장 실험결과 장비가 방향 전환하는데 입력되는 최소각보다 작은 각으로 경로를 이탈하는 경우 장비가 경로의 허용오차 범위를 벗어나거나 장비 경로방향각과 경로와의 오차 각이 충분히 커지기 이전까지는 경로 보정 시스템이 운용되지 않는 것으로 판단되었다.

2. 2차 현장 실험

가. 현장 실험 개요

(1) 실험일자 : 2007. 7

(2) 실험장소 : 영동고속도로 강릉방향 LMC 임시 야적장

(3) 주요내용 :

- 1차 현장실험시 나타난 문제점 개선 및 검증
- 경로계획과 RTK-GPS를 연계한 장비의 경로보정 시스템 점검

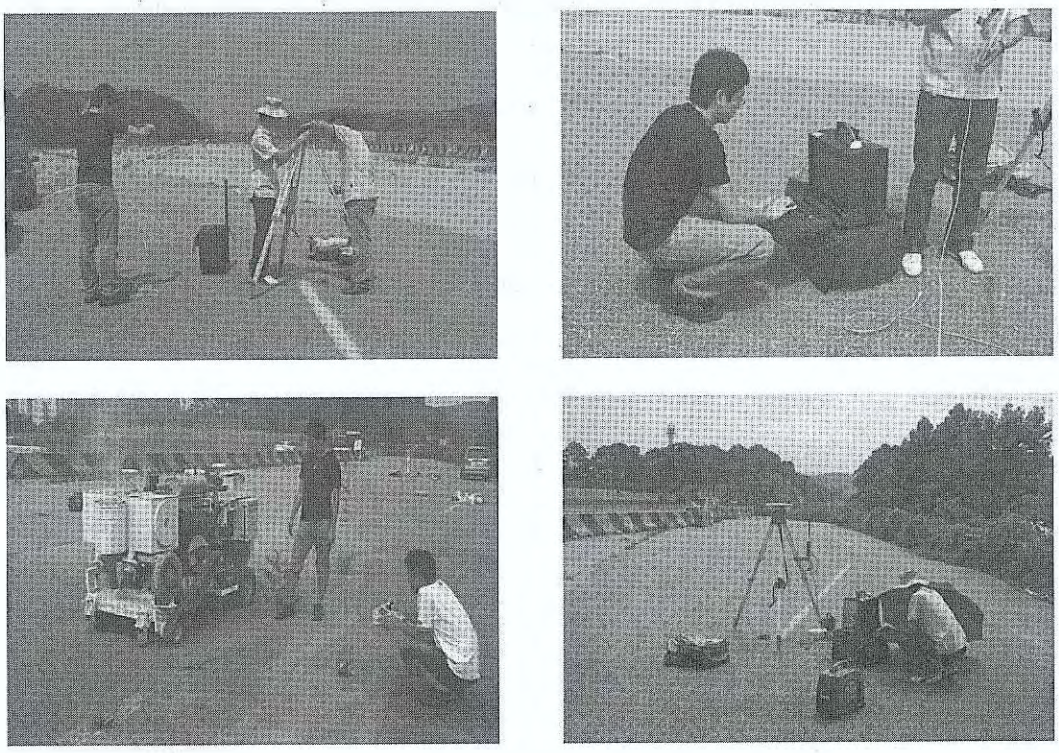


그림 3-129. 2차 현장실험 전경

나. 현장 실험 내용

2차 현장실험은 영동고속도로 강릉방향 LMC 임시 야적장에서 실시하였다. 본 실험장소의 경우 장소가 협소하였던 1차 실험장소와 달리 개발 장비의 충분한 절삭실험 및 제어실험을 공간을 확보할 수 있었다. 2차 현장실험은 추후 장비가 주로 사용되어질 고속도로 콘크리트포장 구간에서의 현장실험으로 실제 활용될 작업 방식의 순서를 따르면서 콘크리트 표면절삭 작업을 수행하여 개발된 표면절삭 원격조종 장

비의 생산성 및 품질, 안전성 등을 종합적으로 평가할 수 있었다.

다음은 폭 1.5m, 길이 10m의 범위를 작업영역으로 설정하여 절삭작업을 실시한 2차 현장실험의 작업순서를 설명한 것이다.

(1) 작업 대상영역 설정을 위한 실험장 GPS 좌표 취득
(2) 장비에 장착될 이동국 좌표 보정을 위한 기준국(Base) 좌표 취득
(3) 설정된 작업구간에 대한 장비 작업 경로 설정
(4) 실험장소로 장비 이동
(5) 개발 장비에 GPS 안테나 및 머신미전 등 H/W 연결
(6) 통합 소프트웨어 구동
(7) 표면절삭 작업 수행

2차 현장실험 결과, 1차 현장실험에서 문제점으로 나타났던 품질관리 시스템과 위치표시의 시스템의 시간 오차로 인해 품질측정 결과가 그래픽 유저 인터페이스에 표시되지 않던 점은 네트워크 카메라에서 설정한 분당 프레임으로 영상이 그래픽 유저 인터페이스에 표시됨을 확인함으로서 해결되었으며, 장비의 작업속도를 5cm/s 예상하여 결정한 네트워크 카메라의 분당 프레임(Frame per Minute)도 적절한 것으로 나타났다. 또한 1차 현장 실험결과를 반영하여 장비의 조향 각을 1° 단위로 조작할 수 있도록 수정하여 장비의 경로방향과 경로의 차이 각이 작게 발생하여도 경로 보정을 수행할 수 있도록 하여 장비가 경로를 보정하는데 문제가 없는 것을 확인하였다.

제 5 절 개발 장비의 성능 평가

건설자동화 장비 개발의 우수성을 입증하고 장비를 실용화하기 위해서는 개발 장비의 성능평가 및 분석을 실시하여 개발 장비를 사용함으로써 얻을 수 있는 기대효과를 제시하여야한다. 개발 장비의 성능을 평가할 때 중요한 평가항목으로는 생산성, 안전성, 품질 및 경제성 등 여러 가지가 있으나 개발 장비의 성능평가 항목은 장비의 개발목적에 따라 달라진다. 표면절삭 원격조종 장비의 주요 개발목적은 장비의 사용

으로 인한 안전성 및 노동활용성 향상을 위함이나 2차례의 현장실험을 통한 장비 안전성 및 노동활용성의 기술적 타당성 및 현장 적용성에 대한 검토만으로 개발 장비의 성공여부를 판단할 수 없으므로 개발의 성공여부를 판단하기 위해 개발 장비를 도입함으로써 얻을 수 있는 성능에 대한 다각적인 분석 및 평가가 수행되어야 한다.

1. 절삭품질

기존 콘크리트 표면절삭 작업은 장비 조작자가 장비의 속도를 수동으로 제어하기 때문에 장비 조작자의 숙련도에 따라 콘크리트 절삭 품질가 발생할 가능성이 높다. 그러나 콘크리트 표면절삭 원격조종 장비를 사용하여 절삭작업을 수행할 경우 조작자는 작업구간에 생성된 경로를 따라서 장비를 일정한 속도로 제어하므로 작업 경로를 따라 절삭하는 중에는 균일한 품질을 확보할 수 있을 것으로 판단할 수 있다. 따라서 장비가 동일한 경로 내에서 일정한 절삭 깊이를 유지하며 경로계획에 의해 장비가 주행하여 과다절삭 또는 비 절삭되는 구간이 생성되지 않도록 하는 것이 표면절삭 장비의 절삭품질을 좌우하므로 절삭품질을 측정하기 위한 지표로 장비의 주행 경로 오차를 사용하는 것이 적합하다. 1, 2차 현장실험을 통해 장비의 경로 이탈로 인하여 목표 구역외 절삭 정도를 확인하기 위하여 1m 절삭작업 수행 시 발생하는 장비의 경로 오차를 측정한 결과 평균 오차범위가 ±2.3cm 발생하는 것으로 측정되었다.

또한 품질관리 시스템의 이미지 프로세싱 결과로 얻어지는 절삭면의 품질측정 여부는 이미지 프로세싱의 절삭 판정(기준) 값을 중심으로 하여 절삭품질 양호(OK)와 절삭품질 불량(NG)으로 구분되며, 절삭품질 불량(NG)구간의 양호(OK)판정과 절삭품질 양호(OK)구간의 불량(NG)판정을 하게 되는 판정오류를 가진다. 콘크리트 표면절삭 작업은 추후 시공되는 콘크리트 포장 또는 LMC포장과의 부착성 향상을 위해 작업구간의 모든 면을 전체적으로 절삭하는 특성을 가지며 이러한 부착성 향상을 위해서는 재절삭으로 인해 과다하게 절삭되는 것보다 절삭이 이루어지지 않는 것이 절삭품질에 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 따라서 불량구간의 양호 판정이 양호구간의 불량 판정보다 좋지 않은 결과를 야기할 수 있으므로 이미지 프로세싱의 절삭 판정(기준) 값을 불량구간의 양호판정 오류의 허용 범위보다 양호 구간의 불량판정 오류의 허용범위를 크게 하는 것이 유리하다.

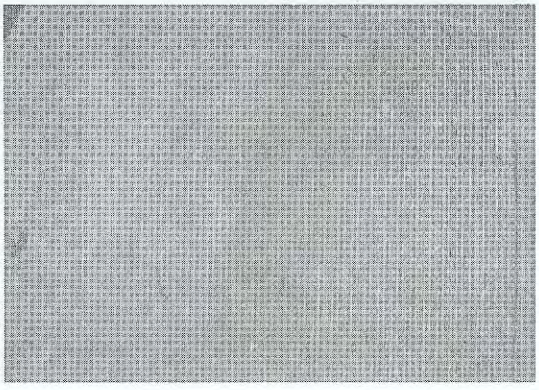


그림 3-130. 절삭 양호

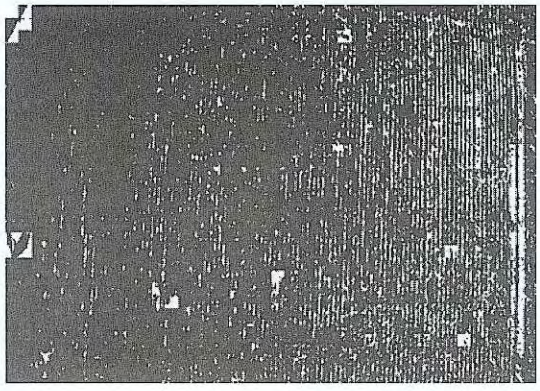


그림 3-131 양호구간의 불량 판정

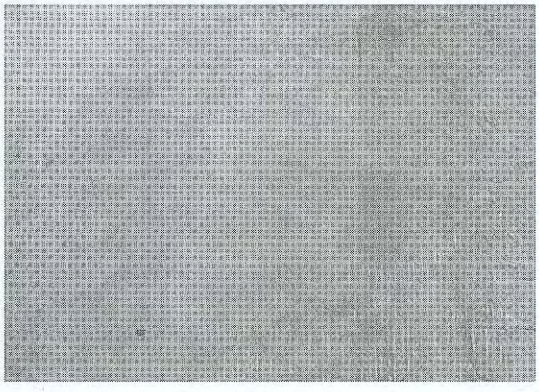


그림 3-132. 절삭 불량

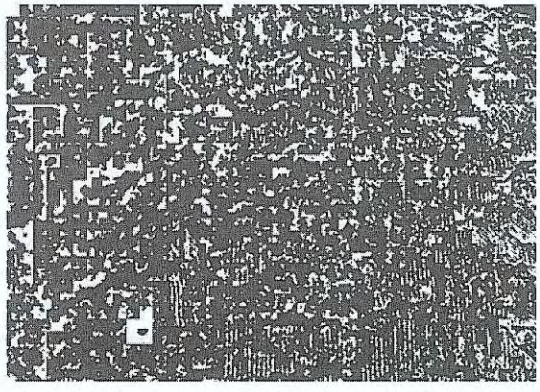


그림 3-133 불량구간의 양호판정

위의 그림과 같은 이미지 프로세싱의 판정오류는 절삭여부를 판단하는 명도분석 기준 값에 의해 달라지므로 명도분석 기준 값 산출을 위해 수차례의 성능실험 및 2차례의 현장실험 결과, 명도 분석 기준값이 16.5%일 때 불량구간이 양호판정을 받는 판정오차를 약 10% 이내가 되었으며, 이때의 양호구간 불량판정 오차는 약 5%로 나타났다. 명도 분석 기준 값을 높이게 되면 양호구간의 불량판정 오차가 커지게 되며, 기준 값을 낮추면 불량구간의 양호판정 오차가 커지게 된다.

표 3-35. 절삭 품질관리 성능

구분		장비 성능
절삭작업 시 평균 경로 이탈 정도(1m당)		± 2.3cm
품질관리 판정 오차 (기준값 16.5%)	불량구간 양호판정	약 10% 미만
	양호구간 불량판정	약 5% 미만

2. 집진성능

콘크리트 표면절삭작업 수행으로 인해 발생되는 콘크리트분진은 환경오염 및 인체에 영향을 미칠 수 있는 유해한 물질로 콘크리트분진의 배출을 방지하는 집진장치의 성능은 매우 중요한 평가항목이며, 개발 장비의 집진성능에 대한 구체적인 평가가 필요하다. 개발 장비의 집진성능에 대한 1차 및 2차 현장실험 결과 콘크리트 표면절삭작업으로 인해 발생되는 분진을 흡입하는 집진기의 집진성능을 정량적으로 산출하는 데는 여과필터를 거쳐 대기 중으로 배출되는 미세 분진량 산출하기가 현실적으로 곤란하여 성능을 측정하는데 어려움이 있다. 대기로 배출되는 미세 분진을 제외하고 호퍼에 저장되는 분진과 콘크리트 절삭면에 남아 있는 분진량을 비교하여 표면절삭 작업으로 인해 발생되는 분진의 집진 성능을 검토한 결과 전체 발생되는 콘크리트 분진의 약 75% 정도가 집진장치의 흡입구를 통해 집진되는 것으로 측정되었다. 이러한 집진 시스템의 한계는 집진을 위한 링블로어 출력 부족으로 인해 분진을 완벽히 흡입하지 못함에 원인이 있다고 판단된다. 또한 여과재(카트리지) 표면에 쌓이는 콘크리트 분진이 지나치게 두꺼워지면 압력손실이 커져 집진성능이 저하될 수 있으므로 장비를 일정시간 사용한 뒤에는 여과재에 쌓여있는 먼지를 털어주는 탈리(脫離)작업을 해주어야 집진 성능을 지속적으로 유지할 수 있었다. 약 8시간 정도의 절삭작업을 수행하였을 경우 집진기 내 호퍼의 용량이 가득 찰 것으로 나타나 호퍼내의 분진제거를 매 8시간 단위로 실시해야하는 불편함이 예상되었다. 차후 장비의 실용화를 위해서는 콘크리트 표면에 남아 있는 분진까지 흡입할 수 있도록 링블로어의 출력을 높여 집진장치의 성능을 향상시킴과 더불어 발생된 콘크리트 분진을 충분히 저장할 수 있도록 호퍼의 용량 증대가 요구된다.

표 3-36. 집진 성능

구분	장비 성능
집진 성능(총 발생량 중 흡입량, 미세분진 제외)	약 75% 내외
호퍼 용량(L)	약 35L



그림 3-134. 배출되는 미세분진

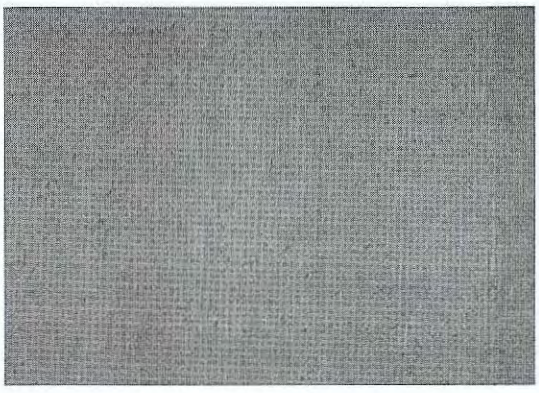


그림 3-135. 바닥면 잔류 분진

3. 주행성능

개발 장비의 주행은 설정된 최적경로를 따라 절삭작업을 실시하는 절삭구간 주행과 최적경로의 절삭 종료지점에서 절삭 시작지점으로 이동하기 위한 비절삭 구간 이동주행으로 구분된다. 개발 장비의 6차례의 성능실험 및 2차례의 현장실험 결과 개발 장비가 표면절삭 작업을 수행하며 이동하는 속도가 빠를 경우 그라인더의 절삭력에 비해 콘크리트의 절삭량이 많아지게 된다. 이에 따라 콘크리트 표면절삭을 위한 그라인더의 충분한 회전력이 발휘되지 못하고 엔진 출력이 저하되어 엔진이 정지하는 경우가 발생하였으며, 장비의 속도가 느릴 경우에는 표면절삭을 위한 그라인더의 회전력은 충분하지만 장비를 전진시키기 위한 후륜의 구동력이 장비에 충분히 전달되지 못하여 절삭작업을 수행하며 이동하는 장비의 주행속도가 일정하지 못하게 된다. 콘크리트 표면절삭 작업의 품질은 절삭을 하며 이동하는 장비의 속도에 많은 영향을 받게 되므로 장비의 속도를 일정하게 유지할 수 있는 지를 절삭구간의 장비 주행성능으로 판단할 수 있다. 또한 비절삭 구간 이동주행시의 주행성능은 장비에 장착된 조향장치 및 후륜 모터에 의해 좌우되므로 조향장치 및 후륜 모터의 성능을 측정함으로써 알 수 있다. 수차례의 실험결과 절삭작업을 수행 시 엔진에 무리가 가지 않으며 충분한 절삭력을 발휘하기 위한 절삭구간 주행속도는 절삭 깊이 3mm(각도센서의 저항값 122Ω)로 유지하며 약 5cm/s 정도의 절삭 진행 속도를 유지하는 것이 가장 적절한 것으로 측정되었다. 충분한 회전력을 제공하는 5cm/s 구현에 최적화된 후륜 모터 기어비에 따라 장비가 절삭작업을 수행하지 않고 이동할 경우 장비의 주행성능은 최대속도 13cm/s, 최저속도 2,5cm/s 및 회전반경 210cm으로 측정되었으며, 이동시 경로를

이탈하는 경로 오차는 절삭작업 시의 경로오차보다 크게 발생하는 것으로 측정되었다.

표 3-37. 주행 성능

구분	장비 성능
장비 절삭속도(cm/s)	약 5cm/s
장비 최대 이동속도(cm/s)	13cm/s
장비 최저 이동속도(cm/s)	2.5cm/s
장비 회전반경	210cm

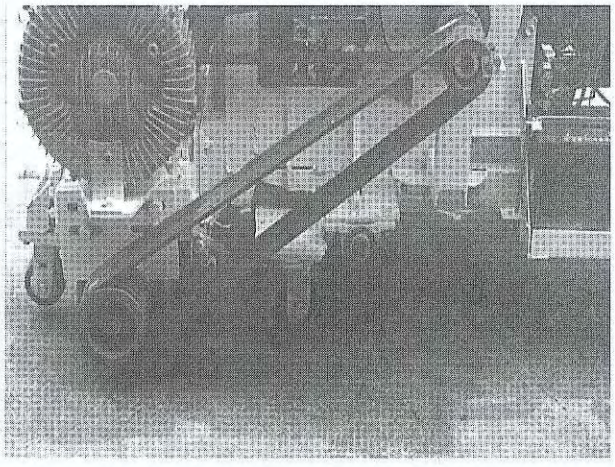


그림 3-136. 전륜 조향각(최대 45°)

4. 절삭 구동 성능

1, 2차 현장실험을 통해 분석된 개발 장비의 절삭 그라인더 성능은 기존 수동식 장비에 비해 개선점이 크지 않다고 분석되었다. 이는 기존 장비의 경우 습식 절삭으로 절삭작업과 동시에 그라인더에 살수작업을 병행하므로 콘크리트 표면과 그라인더의 마찰력 및 마찰열을 줄여주게 되어 있어 장비의 진동이 덜하고 연마식의 절삭이 되며, 장비 조작자가 엔진의 출력을 상황에 맞게 매순간 제어할 수 있으므로 그라인더의 지속적인 절삭작업을 수행할 수 있다. 그러나 본 개발 장비는 건식 절삭으로 파쇄형 절삭의 특성을 가지므로 상대적으로 높은 RPM이 요구되며 콘크리트 표면과 그라인더의 마찰열로 인해 다이아몬드 커터의 내구연한이 단축될 수 있으므로 절삭작업 중 커터의 마찰열을 냉각시켜 줘야하는 시간이 소요되고, 엔진에 집진장치의 블로어를 구동시키는 동력이 연결되어 있어 절삭 동력의 효율성이 상대적으로 떨어지는 것

으로 분석되었다. 차후 장비의 상용화단계에서는 집진장치의 성능향상 및 절삭 동력의 효율성 향상을 위해서 그라인더의 커터 마찰열을 냉각시켜줄 수 있는 냉각장치 설치가 요구되며, 더불어 출력 향상을 위하여 별도의 동력을 이용하여 집진장치의 블로어를 구동시킬 필요가 있는 것으로 판단되었다.

표 3-38. 절삭 성능

구분	장비 성능
최적 엔진 RPM (기존 장비 2300)	3000 (절삭시 2500으로 저하)



그림 3-137. 표면절삭 장비의 절삭 작업

5. 안전성

개발 시스템은 장비 조작자가 원거리에 그래픽 유저 인터페이스를 통해 장비를 조작하게 되므로 장비의 주변 장애물 및 작업자를 인식할 수 있는 충돌방지 시스템의 정상적인 작동이 요구되어지며 충돌방지 시스템의 정확한 작동여부가 장비의 안전성을 좌우하게 된다. 장비의 충돌 방지 시스템은 장비에 부착된 초음파 센서를 이용하여 위험범위 내에 장애물을 인식하며 초음파 센서를 통해 미처 인식하지 못한 장애물과 장비가 접촉하게 될 경우 터치센서를 통해 동작하게 된다. 장비의 안전성을 측정하는 방안으로 충돌방지 시스템의 오작동으로 인한 장비의 충돌 및 장비가 장애물을 인식하지 못하여 장비가 장애물과 충돌하는 횟수를 측정하였다. 장비의 충돌횟수에 대한 현장실험 결과 충돌 위험구간 내에 장애물이 없을 경우에 충돌 위험 신호가 발

생하는 오작동은 없었으며, 위험범위로 설정한 2m범위 내에 장비에 설치한 초음파 센서 간격보다 큰 장애물이 위치하였을 때 충돌방지 시스템이 작동하지 않은 경우도 없었다. 그러나 초음파 센서 간격보다 좁은 장애물이 위치하였을 경우 초음파 센서는 장애물을 인식하지 못하였다.

표 3-39. 장비의 안전성

구분	횟수
오작동 횟수(위험구간 내 장애물 인식 오류)	0
충돌 횟수(센서간격보다 큰 장애물)	0

제 6 절 제품경쟁력 분석 및 사업화 전략

원격조종 콘크리트 표면절삭 장비의 개발을 통하여 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

첫째, 콘크리트 표면절삭 특히 교면절삭은 인력위주의 작업이며, 자동화 시스템으로 대체함으로써 노무비 절감, 생산성 향상을 통한 원가절감 효과뿐만 아니라 장비조종자의 안전성 확보 측면도 기대할 수 있다.

둘째, 장비조작자의 숙련도에 의해 좌우되는 작업 품질을 실시간 품질관리 시스템 개발함으로써 균일한 최상의 품질 확보가 가능하고 대상 시설물의 내구성 및 안전성을 확보함으로써 유지관리비용의 절감을 꾀할 수 있다.

셋째, 그래픽 MMI를 이용한 무선 원격조종 시스템과 최적경로계획 시스템 등의 개발을 통하여 노무비 및 공기단축을 통한 초기비용 절감효과가 기대된다.

마지막으로, 신기술 및 공법 개발로 건설산업의 이미지 제고 및 건설자동화 기술 개발의 활성화 기반환경을 조성에 기여하고, 건설시장개방에 따른 대외 기술경쟁력을 확보하며 국내기술 도입으로 기술 사용료 절감 및 해외 기술 이전을 통한 부가가치 창출이 가능하다 판단된다.

다음은 장비사용자의 측면에서 개발장비 사용으로 인한 경제적 효과를 분석하였다.

1. 기존장비의 운행비용 분석

가. 일비

노무비(2인1조) : 77,000원(건설기계운전기사)+68,000원(건설기계운전보조) = 145,000원/day

재료비: 경유(표면절삭장비) 20L/day * 1200원/L + 휘발유(살수장비) 5L/day * 1600원/L = 32,000원/day

운반비(운반차량운행비, 유류비, 통행료 등 포함) : 100,000원/day

기타: 숙박료, 식대 등 100,000원/day

Total: 377,000원/day

나. 장비(표면절삭장비 및 살수장비)

장비구입: 5,500만 원, 내용연수 5년

유지관리: 블레이드(날 130장 1기) - 1,000만원, 내구수명 30작업일

기타 소모품 및 정비 (살수장비 포함) - 200만원/year

다. 연간 100일 작업, 5년 기준

일비: 380,000원 * 100day/year * 5year = 19,000만원

장비: 5,500만원 + 1,000만원/30day * 100day/year * 5year + 200만원/year * 5year = 23,200만원

Total: 42,200만원

2. 개발장비의 운행비용 분석

가. 일비

노무비(1인1조): 77,000원/day (건설기계운전기사)

재료비: 경유 30L/day * 1,200원/L = 36,000원/day

운반비(운반차량운행비, 유류비, 통행료 등 포함): 100,000원/day

기타: 숙박료, 식대 등 50,000원/day

Total: 263,000원/day

나. 장비

장비구입: 10,000만원, 내용연수 7년

유지관리: 블레이드(날 130장 1기) - 1,000만원, 내구수명 30작업일

기타 소모품 및 정비(배터리 6기 포함) - 100만원/year

다. 연간 100일 작업, 7년 기준

일비: 270,000원 * 100day/year * 7year = 18,900만원

장비: 10,000만원 + 1,000만원/30day * 100day/year * 7year + 100만원/year * 7year = 34,000만원

Total: 52,900만원

3. 기존장비와 개발 장비 비교 분석

가. 장비 운행비용 분석

위에서 계산한 바와 같이 기존 장비의 경우 5년간 4억 2천 여 만원, 개발 장비는 7년간 5억 3천 여 만원의 운행비용이 소요될 것으로 추정된다. 기존장비는 현재 콘크리트 표면절삭 작업을 행하는 작업자와의 인터뷰를 통하여 수집된 자료를 근거로 하였으며 노무비는 건설협회에서 제공하는 노임을 근거로 책정하였다. 기타 재료비 및 소모품은 소매가격을 기준으로 한다. 개발 장비는 기존 장비에 비하여 규격화된 공정으로 생산된다는 가정으로 내용연수를 7년으로 가정하였고, 분진흡입장치와 배터리 충전 분의 동력을 고려하여 경유 소모량을 추정하였다. 두 장비의 연간 운행비용을 계산하면 표 3-40와 같다.

표 3-40. 연간 장비 운행비용 비교 분석

구분	내용연수	일비 (만원/year)	초기비용 (만원)	유지관리비용 (만원/year)	연간 장비 운행비용 (만원/year)
기존장비	5년	3,800	5,500 1,100(/year)	3,600	8,500
개발 장비	7년	2,700	10,000 1,400(/year)	3,500	7,600

나. 장비를 통한 수익 분석

콘크리트 표면절삭 작업을 행하는 업체의 인터뷰를 통하여 현재 콘크리트 표면절삭 작업의 비용은 일일 120만원으로 파악되었다. 이를 기준으로 하여 해당 업체의 연간 수익과 향후 개발될 장비를 이용하였을 경우의 수익을 비교하면 표 3-41과 같다.

표 3-41. 연간 수익 비교

구분	내용연수	계약단가 (만원)	운행비용 (만원)	수익 (만원)	연간 수익 (만원/year)
기존장비	5년	60,000	42,200	17,800	3,560
개발 장비	7년	84,000	52,900	31,100	4,440

즉, 기존의 장비를 이용할 경우 연간 장비 1기당 3,560여만 원의 수익을 창출 할 수 있는 것으로 추정되며, 같은 조건으로 계산할 경우 개발된 장비를 사용한다면 1기당 4,440여만 원의 수익을 창출 할 것으로 기대할 수 있다. 다시 말해 개발될 장비로 교체할 경우 연간 900여만 원의 추가 이익을 창출 할 수 있을 것으로 기대됨으로 충분한 상품경쟁력을 갖추었다고 판단 할 수 있다.

4. 사업화 전략

원격조종 콘크리트 표면절삭 시스템은 연구개발 계획단계부터 다음 그림 3-138과 같이 총 6단계의 사업화 발전계획을 수립하여 진행하였다. 2005년 개발 착수 년부터 3년간 현장 적용 수준의 원격조종 시스템을 구축하고 생산성, 안전성, 품질 등의 다양한 평가지표를 만족시키기 위한 기술 개발을 실시한다. 현 단계는 시스템 구축 및 기술 개발 단계로서, 본 과제를 수행하며 개발된 원격조종 콘크리트 표면절삭 시스템의 프로토타입은 차 후 현장 투입을 통하여 시스템 개선을 위한 테스트 결과를 제공함으로써 상용화에 기여할 것으로 기대된다.

상용화 제품이 개발된 후 사업화 목표로는 지속적인 연구와 해외 전시회 소개 등을 통하여 국내 건설기계 시장보다 2배 이상의 규모를 형성하고 있는 중국을 비롯한 아시아 시장을 시작으로 유럽, 미주지역으로 수출 규모를 확장해 나갈 계획이다.

또한 본 연구를 통해서 개발된 통합 시스템뿐만 아니라 핵심 시스템인 그래픽

MMI를 이용한 원격조종 시스템, GPS 시스템, 작업 계획 및 품질관리 시스템 등의 개별적인 연구도 지속적으로 진행하여 건설 자동화에 기여하는 각 시스템 별 사업화도 도모할 계획이다.

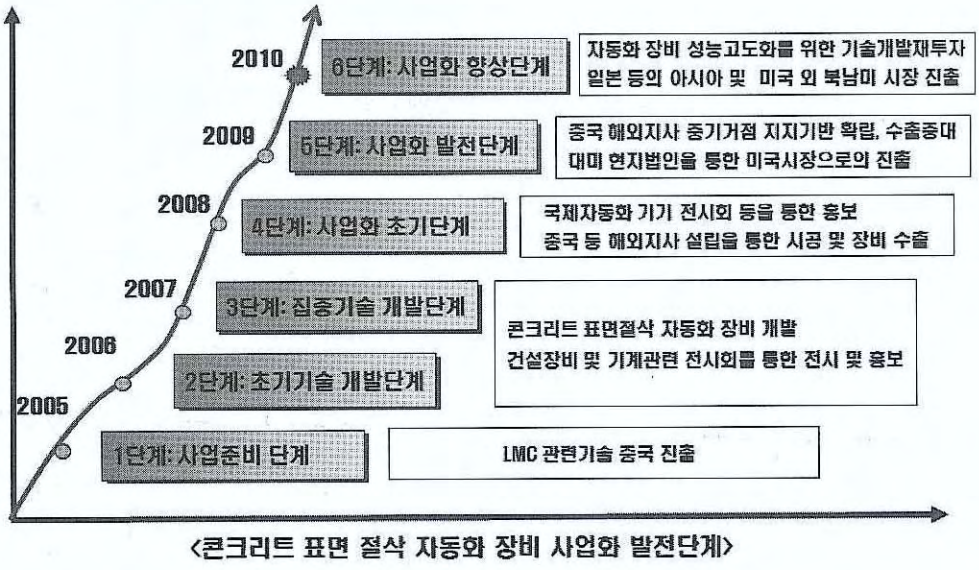


그림 3-138. 사업화 발전 계획

제 4 장 연구개발목표 달성도

표 4-1. 연구개발목표 달성도

목 표	달성도(%)	내 용
■원격조종을 위한 그래픽 콘트롤 시스템 제작	100	-그래픽 Man-Machine Interface를 위한 뷰잉(Viewing Scheme) 등 조종자의 상황인식 및 시공관련 정보제공을 위한 그래픽 프로그래밍 -GPS를 이용한 장비 위치파악 센싱을 위한 H/W 및 S/W 개발 -다중모드의 콘트롤 구조를 고려한 그래픽 콘트롤 MMI 시스템 제작 -현장 적용성 검토 및 개선사항 도출을 통한 실용화 방안 모색
■계측을 통한 Quality Control 시스템 개발	100	-영상처리관련 장비를 이용한 표면절삭 품질 콘트롤 시스템 H/W 개발 -표면절삭 처리 품질 영상 및 신호정보를 Frame Transfer로의 전환을 위한 품질 콘트롤 시스템 S/W 개발 -실험실 실험을 통한 성능 평가 -현장 적용성 검토 및 개선사항 도출을 통한 실용화 방안 모색
■무인 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 제작	100	-무선원격제어 시스템 제작 -장비구동을 위한 센싱 및 제어 H/W 개발 및 모체 장착 -개발 H/W와 S/W 간의 시스템 통합
■개발장비의 현장실험 및 개선사항 도출	100	-완성된 시스템의 현장실험을 통한 성능 분석 -교량 바닥판 콘크리트 표면절삭 현장에서의 실험추진 -전문가 의견 수렴 및 장·단점 분석을 통한 시스템의 개선사항 도출
■개발 장비의 상용화 전략 및 수익모델 개발	100	-개발 장비의 수요시장 분석 -예상 장비비의 산출을 통한 장비상용화를 위한 수익모델 개발 -콘크리트 표면절삭 자동화 기술의 활성화를 위한 민간기술이전 방안 제시 -개발 장비 및 주요기술의 향후 활용방안 제시

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 연구개발결과의 활용목표

본 과제를 통해 개발된 표면절삭 장비의 활용목표는 다음과 같다.

첫째, 콘크리트 표면절삭작업이 사용되는 모든 건설공사에 표면절삭 원격조종 장비를 확대 적용할 수 있도록 한다. 본 연구과제에서는 향후 교량건설 전망에 의해 교면포장 시공 및 기존 포장면의 교체를 위한 표면절삭만을 직접적인 연구대상으로 한정하여 개발기술의 사업화를 추진하였으나, 본 개발기술은 공항시설의 활주로 및 부두시설의 컨테이너 적재장 등의 콘크리트 바닥면 표면절삭과 같이 일반건설 공사의 표면절삭 작업에도 적용이 가능하므로 본 개발 장비를 이용한 응용분야는 상당히 광범위할 것으로 기대된다.

둘째, 본 연구 과제를 통하여 개발된 센서와 그래픽 MMI를 연계한 조종 인터페이스 시스템을 다양한 이동형 건설기계로 확대 적용시킬 수 있는 기술적 토대를 마련한다. RTK-GPS 및 각종 센서를 그래픽 MMI 시스템에 접목시킨 조종 인터페이스 시스템은 장비의 위치 및 작업현황에 대한 정확한 정보 제공 및 실시간 업데이트로 장비 조종자가 원격에서 무리 없이 장비를 운용할 수 있도록 개발되었다. 차후 토공작업현장, 지하굴착작업현장 및 해상 파일 항타 작업현장과 같이 보다 복잡한 작업환경을 인식할 수 있는 센싱 기술이 발전한다면 본 연구과제에서 개발한 조종 인터페이스 시스템을 확대하여 준설공사, 크레인 및 콘크리트 펌프 조종, 해상 파일 항타 작업의 반자동화에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

셋째, 본 장비에 적용된 장비와 무선 컨트롤러와의 무선통신 기술을 다양한 이동형 건설기계로 확대 적용시킬 수 있는 기술적 토대를 마련한다. 본 연구과제에서 적용한 표면절삭장비와 무선 컨트롤러와의 무선통신 기술은 원격에서 장비의 전·후진 및 그라인더의 높낮이 조절을 위한 비례 제어방식 유압 밸브 및 컨트롤러로 이루어져 있다. 향후 주위 사용 주파수 확인으로 현재 사용하지 않는 주파수 자동 선택 기능 및 수신부 출력 차단기능, 원격 시동 기능 및 장시간 사용이 가능한 배터리 등의 기술개발이 이루어질 경우, 조종 인터페이스 시스템과 마찬가지로 다양한 이동형 건설기계로 확대 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

넷째, 본 장비에 적용된 충돌방지 알고리즘 및 최적 경로계획 알고리즘을 다양한

이동형 건설기계로 확대 적용시킬 수 있는 기술적 토대를 마련한다. 본 연구과제에서는 표면절삭 작업 전 작업공간에 대한 최적의 경로를 생성하고, 생성된 최적경로와 RTK-GPS를 이용한 장비의 실제 위치와의 오차를 통해 장비의 경로보정을 실시하도록 개발되었다. 그러나 향후 장비의 경로보정을 통해 실시간으로 경로를 재생성할 수 있도록 개발한다면 다양한 이동형 건설기계로 확대 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구개발결과 활용 추진체계

그림 5-1과 같이 향후 표면절삭 장비의 사업화 성공 및 표면절삭 시스템 기술의 적용분야 확대를 위해 각 연구기관과의 긴밀한 협력체계를 지속적으로 유지할 것이며, 추가적인 응용연구를 통해 본 연구 과제를 통해 개발된 요소기술의 적용분야 확대를 도모할 예정이다. 또한 본 표면절삭 원격조종 시스템의 국제자동화 전시전 출품 등 마케팅 전략수립을 통한 개발 장비의 사업화 성공을 위해 지속적인 노력을 실시할 것이다.

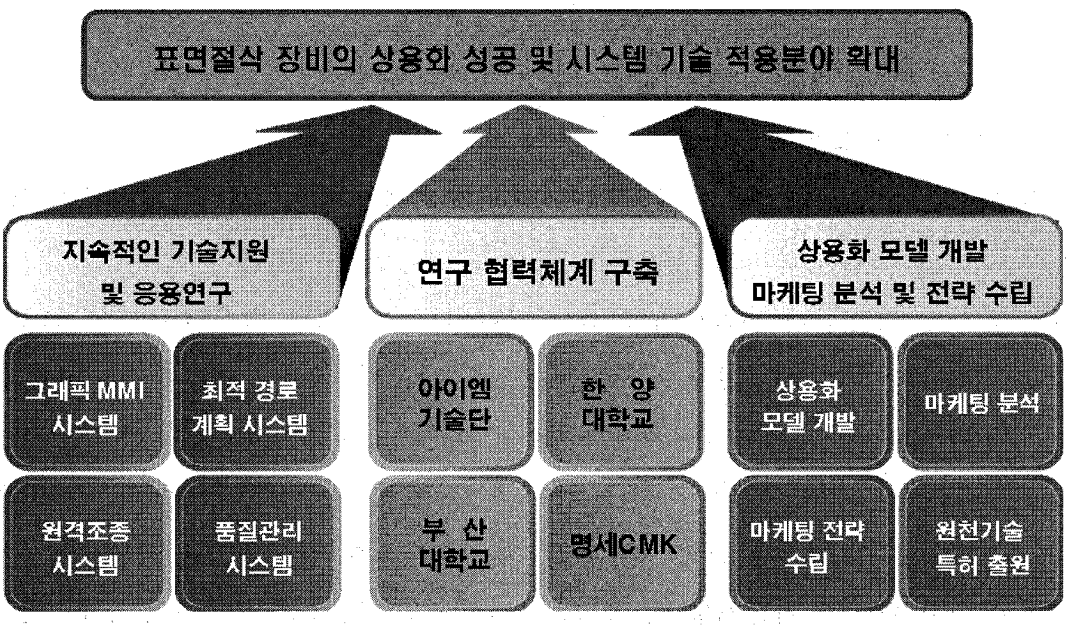


그림 5-1. 연구개발 결과활용 추진체계

3. 연구개발결과의 활용성과

원격조종에 적합한 콘크리트 표면절삭장비 모체와 이를 효과적으로 제어하기 위한 무선조종 시스템 및 그래픽 MMI 시스템, 건설현장 상황에 따른 최적의 경로계획 수립과 작업 중 실시간으로 이를 유지시켜주는 최적 경로계획 시스템, 작업 후 콘크리트 바닥면의 품질관리 영상처리 시스템의 주요 시스템을 유기적으로 연계하여 통합 소프트웨어를 구축하고, 이를 H/W와 연계하여 표면절삭 원격조종 시스템을 개발하였다. 또한 이러한 개발 과정과 동시에 통합 시스템의 운용 계획 및 방안을 수립하고 개발 결과를 바탕으로 최종 운영 절차를 구체화하였으며, 목표 성능을 발휘하기 위한 성능테스트를 지속적으로 실시함으로써 성능을 개선하고 완성도를 향상시켰다.

본 연구 과제의 시스템 개발과정에서 콘크리트 표면절삭 원격조종 시스템의 주요 시스템에 대한 요소기술 노하우를 습득하였으며, 완성된 콘크리트 표면절삭 원격조종 시스템의 성능평가 및 분석을 통해 개발 시스템을 사용함으로써 얻을 수 있는 기대효과를 제시하였다. 또한 개발 시스템의 사업화 성공을 위한 초석 마련을 위해 고속도로 콘크리트 포장의 표면절삭작업에 본 개발 시스템을 적용을 지속적으로 추진하고 있다.

4. 연구개발결과의 기대효과

가. 기술적 파급효과

콘크리트 표면절삭 작업은 주로 장비 조종자의 숙련도에 따라 표면절삭의 품질이 좌우되어 왔으나, 콘크리트 표면절삭 원격조종 시스템의 개발 특히, 콘크리트 표면 계측을 통한 품질관리 시스템의 도입에 따라 표면절삭의 소요품질을 장비 조종자의 숙련도에 의해 의지하지 않고도 우수한 품질의 확보가 가능할 것으로 기대되며, 표면절삭 작업이 위험, 유해한 환경에서 수행되고 있는 면을 고려하여 볼 때 장비조종자를 위험한 작업환경에서 격리하여 줄 수 있는 원격조종 표면절삭 자동화 시스템의 개발을 통해 안전사고로 인한 산업재해를 사전에 방지할 것으로 기대된다.

또한 건설 자동화 기술개발 및 실용화에 따라 부가적으로 첨단 시공기술력을 확보할 수 있으며 노무 인력 및 비용 절감을 통해 건설 산업의 채산성을 향상시킴은 물론 필요 핵심기술에 대한 해외 의존도를 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

나. 사회·경제적 파급효과

자동화 기술의 성공적 개발을 통한 신기술·신공법의 개발은 건설 산업의 이미지 제고 및 건설 분야에 있어 자동화 기술 기술개발개발의 활성화를 위한 기반환경을 조성뿐만 아니라 건설시장 개방에 따른 대외 기술경쟁력을 확보 및 국외 기술의 도입에 따른 기술 사용료의 절감 그리고 해외로의 기술이전 등을 가능하며 막대한 부가가치 창출을 가능하게 할 것으로 기대된다. 또한 건설자동화 기술개발을 통해 현재 그 심각성이 부각되고 있는 기능 인력의 고령화 문제 및 인력부족 현상을 해결함과 동시에 건설산업에 대한 젊은 기술 인력을 유도함으로써 기능 인력의 질적 수준을 높일 수 있는 기반을 구축할 수 있을 것이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 건설자동화 동향

현재의 건설 산업은 국내외 공히 다른 산업과 비교하여 고비용, 저생산성, 위험성, 불 균질한 품질 등의 특성을 보유하고 있다. 또한 건설산업의 생산성의 향상도는 타 산업과 비교하여 볼 때 현저히 낮은 수준이다. 이로 인하여 건설 자동화 및 정보화 기술 개발을 통하여 안전성, 생산성, 품질, 작업환경의 향상, 인력 부족 대체 등의 효과를 기대하며 건설 자동화에 대한 노력이 박차를 가하고 있다. 특히 건설로봇과 같은 인력대체 장비의 개발에 대해 현 노무인력의 직업을 빼앗을 수도 있다는 부정적인 시각에서, 개발 장비가 궁극적으로 인명피해를 줄일 수 있고 노무자의 열악한 작업환경 및 작업을 지원해 주는 인간과 로봇의 협업체제로 보는 긍정적인 시각으로 전환되고 있으며 관련 핵심기술의 급속한 진전 즉, 소형화기술(micro and nano-technology), 센싱기술(vision, microwave and ultrasonic sensor 등), 무선 통신기술(wireless communication, GIS, GPS, PDA 등)의 진보와 함께 실현이 구체화되고 있으며, 그 개발속도는 더욱 빨라지고 있는 실정이다.[Munuyoshi et al, 1994]

세계적으로 1980년대 초반부터 막대한 R&D 투자를 통하여 업체와 대학 연구소를 중심으로 건설 로봇 및 자동화 시스템 개발에 박차를 가하고 있으며 건설자동화 연구개발 대상은 크게 단일 작업용 장비와 다목적 장비의 개발로 구분할 수 있다. 일본은 미장용 로봇과 같은 개별 공정에 대한 로봇화, 무인화의 연구와 동시에 대형 건설회사에서 공장식 자동화시스템의 개발 및 적용을 통하여 도심에서의 전자동 고층 건축물 구축도 실시하여 건설자동화의 가능성을 보여 주었다. 미국은 우주개발 프로젝트와 같은 국가적 대형 프로젝트의 구성요소로서 건설용 로봇을 개발하는 등 꾸준한 연구·개발을 이루었다. 그리고 유럽에서도 조적, 굴착, 미장 등 개별 공종에 대한 로봇의 연구·개발이 진행되고 있다.

미국과 유럽 대학연구소 중심의 시공자동화 및 유지보수 로봇의 개발과 일본 대형 건설업체들을 중심으로 한 전자동 빌딩 구축 시스템 (시미즈 SMART System, 오바야시 ABCS, 다이세이 T-UP System, 다께나까 Lift-Up Method)의 개발은 이러한 연구 노력에 대한 좋은 예라고 할 수 있다. 또한 건설 자동화 및 로보틱스는 첨단 컴퓨터 및 전자통신기술(wireless sensors, micro and nano-technology)의 발달에 힘입

어 보다 개발 로봇은 정밀하고 소형화되는 추세이다. 미국에서는 우주항공국(NASA) 및 국립표준국(NIST) 등 국가 연구기관 및 일부 대학교에서 이러한 건설 자동화 연구를 주도하고 있는 실정이다.

1990년대 들어 전자동시스템에 의한 건축물 구축이 대형 건설회사로부터 성공적으로 시행되고 있다. 이를 통해 건설 작업환경의 개선 및 안전도를 향상시켜 왔으며 외부의 기후환경에 영향을 받지 않는 전천후 공사가 가능하게 되었다. 또한, 공장자동화(factory automation)의 개념을 도입하여 개별 자동화 로봇의 이동문제를 해결하게 되었으며 생산성 향상을 도모하게 되었고 건설자재의 낭비를 획기적으로 감소시키는 결과를 도출하였다. 유럽에서는 주택건축을 위한 조적로봇의 개발, 타워크레인의 자동화 등 단일 공종에 적합한 로봇의 개발을 제조업의 CIM 개념을 이해하면서 접목시키려는 노력을 경주하고 있다(Balaguer, 2000). 또한, 하수관 점검 및 유지보수, 마이크로 터널링과 같은 trenchless technologies에 많은 관심을 가지고 연구개발을 수행중에 있다.

2. 요소기술별 자동화 사례

최근의 건설 자동화 연구 사례에 대하여 살펴보면 센싱기술, 제어 및 교시기술, 통신 및 MMI 기술, 구동 기술 전반에 걸쳐 신기술 도입을 통한 건설 자동화에 대한 노력이 계속되고 있음을 확인할 수 있다.

센싱 장비의 발달로 설계정보와 측량의 정보 단절을 제거하기 위하여 새로운 3차원 CAD 디자인 툴과 레이저 장비를 이용한 3차원 측정 장비 방법을 설계단계에서 적용하는 연구가 유럽에서 진행되고 있으며, 미국에서는 진동수, 압력, 전진 속도 등을 센서로 감지하여 이 데이터를 통해 지반의 상태를 파악 및 피드백을 통한 기계의 움직임을 토질 상황에 알맞도록 최적화하여 다짐을 실시하는 연구도 진행 중이다. [Fujita, 2002] [Moore, T et al, 1998] [Kumiko et al, 2006] [Naohiro, 2006]

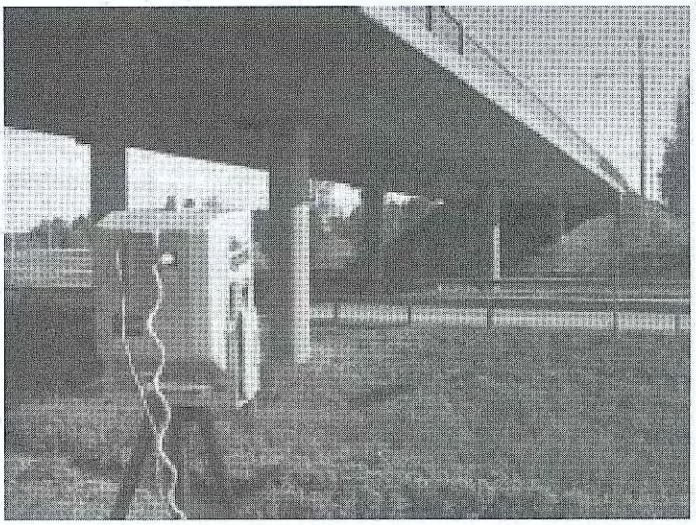


그림 6-1. 레이저장비를 이용한 3차원 센싱

제어 기술의 발달로 굴삭기의 버켓의 궤도를 임의대로 조작 가능하게 하며, 부드럽고 정확한 조작을 가능하게 하여 작업 효율을 향상 시켜주며, 응답시간을 줄여주어 빠른 조작을 가능케 연구 중이며, 일본에서는 그래픽 MMI를 이용하여 수중의 지형정보가 센서를 통하여 그래픽 시각 정보로 작업자에게 제공 되며, haptic touch sensor를 이용하여 백호 버킷과 굴착 토질과의 접촉 상태를 조종자가 느낄 수 있게 해주는 무선 조종 가능한 수중 작업용 원격조종 백호가 개발되어 지상에서의 테스트를 마쳤다. [Mitsuo et al, 2004]

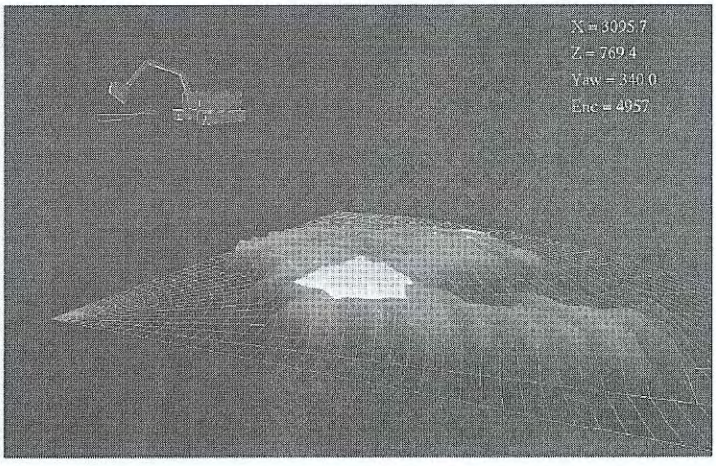


그림 6-2 . 수중작업용 백호를 위한 그래픽 MMI

또한 구동장치의 발달과 더불어 파이프의 유지와 보수를 위해 파이프 내부에 붙어 다니는 crawler방식으로 트래벗 형식의 파이프라인이나 곡관부에서도 사용 가능하도록 메커니즘 변화를 주었으며, 틸트 카메라, ultra sonic sensor를 통해 정보를 수집하는 장비도 개발되었다. [Kim Y. et al, 1997] [Rolf Berlin, 1994]

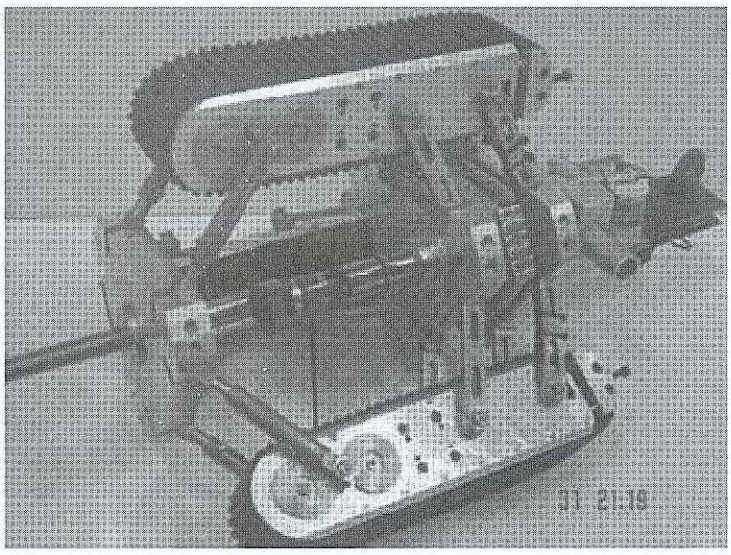


그림 6-3. 파이프 검사 로봇

3. 국제 건설기계 박람회 참관을 통한 자동화 현황 조사

표면절삭 원격조종 시스템의 시장성 조사를 위해 규모로는 세계 최대이며, 미국의 CONEXPO, 프랑스의 INTERMART와 함께 세계 3대 건설장비 박람회로 손꼽히는 뮌헨 BAUMA 국제건설기계 및 장비 박람회를 참관하여 건설 자동화 장비 출품작의 동향을 검토하여 본 결과 자재 인양 자동화 장비, 토공관련 자동화 장비 등 다양한 자동화 장비가 전시되었으나, 콘크리트 표면절삭과 관련된 자동화 장비는 출품되어 있지 않았다. 전시되어 있는 자동화 장비들을 검토하여 현재 시장추세를 살펴보면 아래의 사진에서 볼 수 있듯이 다수의 출품작들이 원격조종 기능을 구비해 가는 단계이며 토공기계의 경우 본 연구에서 개발한 표면절삭 장비와 같은 방식의 GPS 시스템을 사용하고 있으며, 각종 센서를 이용하여 시공 품질 및 생산성 향상을 이루어 낸 것을 알 수 있었다. 따라서 본 사업에서의 표면절삭 원격조종 장비의 시장성도 충분한 것으로 판단되었으며, 원격조종 및 자동품질제어 기능을 부각시킴으로써 상용화에 성공할 수 있을 것으로 사료되었다.

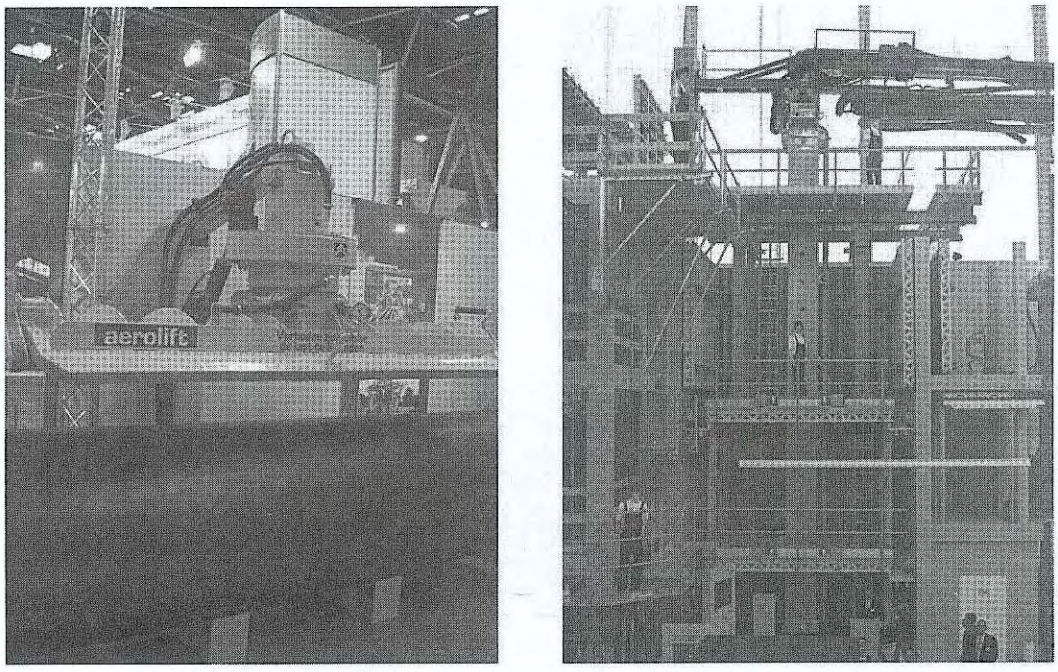


그림 6-4 뮌헨 BAUMA 출품작

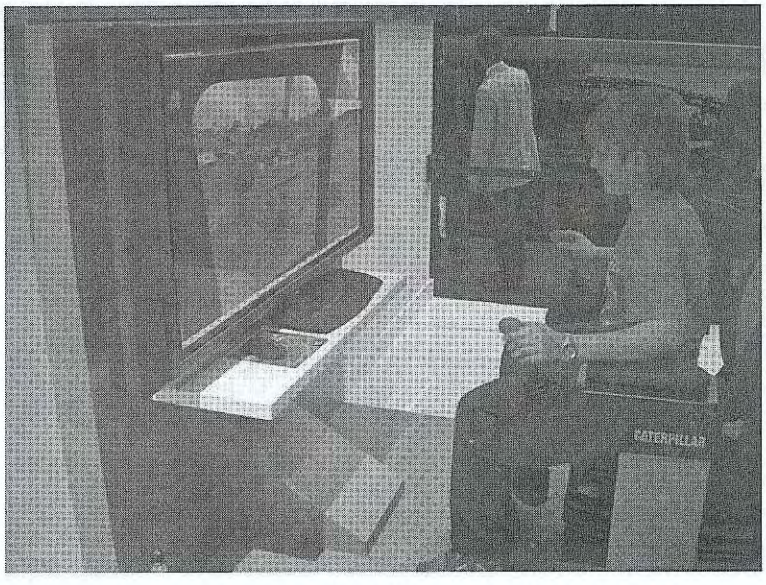


그림 6-5 GPS 시스템을 사용한 토공 원격조종 시스템

제 7 장 참고문헌

1. 건설교통부, 도로면 유지보수 자동화를 위한 원격조종 장비의 개발 연구보고서, 2004. 08
2. 건설교통부, 콘크리트 하수관 매설용 원격조종 장비개발, 2004. 04
3. 기술신용보증기금, 기술평가서, 2004. 11
4. 김문상, 이호길 외. "인공지능 및 지능로봇 기술", 국가과학기술위원회, pp. 28-34. 2002
5. 김영석, 김현철, 서정희, 오세욱. 국내 건설산업의 건설자동화 및 로보틱스 도입 방안에 관한 연구. 대한건축학회 논문집
6. 김재호, 김영섭, 박옥선, 김성희. "유비쿼터스 위치기반 서비스 및 위치인식 시스템 연구 동향." 정보통신 기술, 정책 및 산업 주간기술동향, Vol. 127, pp 1-15. 2003
7. 서종원, 시공 및 유지보수의 자동화를 위한 그래픽 조종 인터페이스, 대한토목학회, 2003
8. 설계/시공 통합 지식베이스 및 데이터베이스의 개발, 과학기술부 건설 프로젝트 관리기술 개발 용역 보고서, 1998
9. 원격조종 토공시스템을 위한 GPS 기반의 장비 경로계획법, 대한토목학회
10. 이준복, 건설 자동화시공 장비개발 및 성과평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2001
11. Acharya and Ray, Image Processing: Principles and Applications, Wiley-Interscience 2005
12. Fujita, Unmanned Construction(Tech. Brochure), Fujita Research, Encino, CA., 2002
13. Gonzalez, Rafael C. & Woods, Richard E. Thresholding. In Digital Image Processing, pp. 595 - 611. Pearson Education. 2002.
14. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. SMC-9, 62-66 1979.
15. James G. Haran "realtime Image Processing Algorithms for the Detection of Road and Environmental Conditions, ASCE 2006

16. Jongwon Seo, Carl Haas, S.V. Sreeniyasan, Graphical Control Interface For Construction And Maintenance Equipment, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 126 No.3 pp. 210-218
17. Jutaek Oh "Vehicle detection using Video image Processing System : Evaluation of PEEK VideoTrak" ASCE August 2003
18. Karl R. Schulz, " Imaging Ladar Camera for Washing Robots", Automation and Robotics in Construction 14, pp.73~77, 1994
19. Kim, Y. Man-Machine Balanced Control for Automation of Infrastructure Crack Sealing, Ph.D Dissertation, The University of Texas at Austin, 1997
20. Krishnamurthy, B. K., Tserng, H. P., Schmitt, R. L., Russell, J. S., Bahia, H. U., and Hanna, A. S. "AutoPave: towards an automated paving system for asphalt pavement compaction operations" Automation in Construction, Volume 8 (2), pp. 165-180.
21. Kumiko Tandano, "Massive Rock Handling by Breaker-Graspless Manipulation and Object Recognition", Tokyo Denki University, AIST, ISARC 2006
22. Makoto Utsumi, Hiroshi Sakai, Junichi Akizono, " THE DEVELOPMENT OF REMOTE-CONTROLLED GRAB SYSTEM FOR UNCLEAR ENVIRONMENT", Automation and Robotics in Construction 21, pp. 425~430, 2004
23. Masahiko Minamoto, Kiyoshi Nakayama, Hiramasa Aokage and Shinichi Sako, "Development of a Tele-earthwork System", Automation and Robotics in Construction XI, pp.269~pp.275, 1994
24. Mitsuo Fukukawa, Tatsuta Yamaguchi, " APPLICATION OF 3D-MC FOR ROAD CONSTRUCTION MACHINE", Automation and Robotics in Construction 21, pp. 59~64, 2004
25. Moon, S., Bernold, L., "Vision-based interactive path planning for robotic bridge paint removal." Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, New York, N.Y., Apr. 1997.
26. Moon, S., Bernold, L.,"Graphic-Based Human-Machine Interface for

Construction Manipulator Control."* Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, New York, N.Y., Aug. 1998.

27. Moore, T. "All Purpose Remote Transport System(ARTS) Active Range Clearance, Force Protection, and Remediation", The Third International Conference and Exposition on Robotics for Challenging Environment, ASCE, Albuquerque, New Mexico, April 26-30, 1998
28. Munuyoshi Matsuo, Syouich Morimoto, Yuzuru Sekihara, "Development and Application of FCF Construction", Automation and Robotics in Construction 14, pp. 329~336, 1994
29. N. Otsu, 'A threshold selection method from gray level histograms,' 1966
30. Rolf Berlin," Development of a Multi-Purpose Mobile Robot for Concrete Surface Processing", Automation and Robotics in Construction XI, pp.132~ pp.140, 1994
31. Roman D. Hryciw "Soil Image Processing - Single Grains to Particle Assemblies" ASCE 2006
32. Russ, The Image Processing Handbook: Fourth Edition, CRC 2002
33. Sangwook Lee et al "Digital image processing methods for assessing bridge painting rust defects and their limitations" ASCE 2005
34. Seo, J., Saidi, K., Haas, C., Sreenivasan, S., Traver, A., and Frank, R."A Tele-robotic System with Dynamic Graphical Interfacing for Electrical Power Plant Maintenance," Field and Service Robotics Conference, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, Aug. 29-31, 1999.
35. SICK, Industrial Vision Camera IVC-3D Smart Camera Manual
36. Trimble, Site Vision Automatic Grade Control System(Tech. Brochure). Trimble Navigation Limited. Sunnyvale. CA

주 의 사 항

1. 본 보고서는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업의 중간연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311

(주)아이엠기술단 TEL 02)2205-1105

한 양 대 학 교 TEL 02)2220-4481

부 산 대 학 교 TEL 051)510-1542

명세 CMK TEL 051)518-7135

R&D / 05건설핵심C15

콘크리트 표면절삭을 위한 원격조종 장비의 개발

■ 발행일 / 2007. 07. 28

■ 발행처 / (주)아이엠기술단

서울특별시 성동구 성수동 2가

278-20 이글타운 501호

TEL : 02-2205-1105

■ 인쇄처 / 삼창문화사