

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 "레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 개발"에 관한 연구의 최종
보고서로 제출합니다.

2011. 12. 28.

주관연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원

주관연구책임자 : 우 영 제

연 구 원 : 이 봉 춘

" : 최 영 철

" : 문 규 돈

" : 조 영 근

" : 김 주 형

" : 손 영 정

공동연구기관명 : 대운계기산업(주)

공동연구책임자 : 서 인 호

보고서 요약서

과제고유번호		해 당 단 계 연 구 기 간	2009. 12. 29 ~ 2011. 12. 28	단 계 구 분	2 / 2
연 구 사 업 명	중 사 업 명	건설기술혁신사업			
	세부사업명				
연 구 과 제 명	대 과 제 명	레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 개발			
	세부과제명				
연 구 책 임 자	우 영 제	해당단계 참 여 연구원수	총 : 16명 내부 : 15명 외부 : 1명	해당단계 연 구 비	정부 : 314,000천원 기업 : 105,000천원 계 : 419,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 16명 내부 : 15명 외부 : 1명	총연구비	정부 : 629,000천원 기업 : 210,000천원 계 : 839,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국건설생활환경시험 연구원/선행기술팀		참여기업명	대윤계기산업(주)	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
				보고서면수	
○ 레미콘은 국가기반시설물의 인프라 구축을 위해 중요한 역할을 담당하는 재료로서 2010년도 레미콘 출하실적이 6조4천억원에 달하는 거대한 시장규모를 가지고 있으나, 불량레미콘 납품과 같은 지속적인 문제점은 국민의 안전과 직결됨으로 사회적 이슈화 되고 있음. ○ 발생한 불량 레미콘은 생산성 저하뿐만 아니라, 최근 이슈화되고 있는 저탄소 녹색성장 정책에도 역행하는 결과를 초래함. 보통강도의 레미콘 1m³ 생산시 일반적으로 0.3t 정도의 시멘트를 사용하게 되는데, 이로 인해 0.27t의 이산화탄소가 발생하며, 531,152m³의 불량레미콘 발생시 143,411t의 이산화탄소가 불필요하게 발생하는 문제점을 야기함.(한국의 숲이 1년간 흡수하는 이산화탄소량인 3,330만t의 0.55% 발생) ○ 불량레미콘 납품으로 인해 발생하는 문제점에 대한 수차례 방지대책을 수립하였으나 아직도 안전 및 부실사고가 계속되고 있는 점을 인식하고 최근 국가적 차원에서 불량레미콘 납품 근절을 위해 2009년 3월 국무총리실이 주관					

하고 관계부처 및 전문가로 구성된 주요 국책사업 건설공사 안전관리 개선 T/F를 조직하여 운영하고 있을 뿐만 아니라, 지식경제부 기술표준원과 국토해양부에서는 레미콘의 품질관리 강화에 초점을 맞춰 KS F 4009, 레미콘/아스콘 관리지침을 개정 중에 있음.

○ 상기와 같이 국가적 차원에서의 품질관리 강화에 초점을 맞추어 추진하고 있으나, 아직 국내 품질관리 관련 장비는 이를 뒷받침 해주지 못하고 있으며 관련 장비들이 모두 외산으로 고가의 장비 구입이 불가피한 관계로 국내 레미콘 업체들이 장비 구축에 어려움이 존재하는 것이 현실임.

○ 이에 레미콘의 저탄소 녹색성장의 시대적 역할에 부응하고, 국가적으로 교토의정서에 대응할 수 있으며 향후 탄소 배출권 시장에서도 활용할 수 있는 효율적이고 정량적인 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템의 개발이 절실한 실정임.

○ 본 연구에서는 레미콘 생산의 품질관리시 가장 중요시 되는 잔골재 표면수율 측정, 회수수 고형분 측정 및 레미콘 단위수량 측정을 위한 시스템 개발과 더불어 이를 현장에 적용하여 현장 적용성 평가를 실시한 후 문제점을 피드백하여 최종적으로 본 연구의 최종 목표인 레미콘 생산 통합 품질관리 자동화 시스템을 개발하고자 함.

색 인 어 (각 5개 이상)	한글	레미콘	품질관리	자동화	고형분	표면수
	영어	Ready-Mixed-Concrete	Quality Control	Automatic System	Solidity	Surface Moisture

요 약 문

I. 제 목

레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

레미콘은 국가기반시설물의 인프라 구축을 위해 중요한 역할을 담당하는 재료로서 불량레미콘 납품과 같은 지속적인 문제점은 국민의 안전과 직결됨으로 사회적 이슈화 되고 있다. 발생된 불량 레미콘은 생산성 저하뿐만 아니라, 최근 이슈화되고 있는 저탄소 녹색성장 정책에도 역행하는 결과를 초래함. 보통강도의 레미콘 1m³ 생산시 일반적으로 0.3t 정도의 시멘트를 사용하게 되는데, 이로 인해 0.27t의 이산화탄소가 발생하며, 531,152m³의 불량레미콘 발생시 143,411t의 이산화탄소가 불필요하게 발생하는 문제점을 야기한다.(한국의 숲이 1년간 흡수하는 이산화 탄소량인 3,330만t의 0.55% 발생)

불량레미콘 납품으로 인해 발생하는 문제점에 대한 수차례 방지대책을 수립하였으나 아직도 안전 및 부실사고가 계속되고 있는 점을 인식하고 최근 국가적 차원에서 불량레미콘 납품 근절을 위해 2009년 3월 국무총리실이 주관하고 관계부처 및 전문가로 구성된 주요 국책사업 건설공사 안전관리 개선 T/F를 조직하여 운영하고 있을 뿐만 아니라, 지식경제부 기술표준원과 국토해양부에서는 레미콘의 품질관리 강화에 초점을 맞춰 KS F 4009, 레미콘/아스콘 관리지침을 개정 중에 있다.

상기와 같이 국가적 차원에서의 품질관리 강화에 초점을 맞추어 추진하고 있으나, 아직 국내 품질관리 관련 장비는 이를 뒷받침 해주지 못하고 있으며 관련 장비들이 모두 외산으로 고가의 장비 구입이 불가피한 관계로 국내 레미콘 업체들이 장비 구축에 어려움이 존재하는 것이 현실이다.

이에 레미콘의 저탄소 녹색성장의 시대적 역할에 부응하고, 국가적으로 교토의 정서에 대응할 수 있으며 향후 탄소 배출권 시장에서도 활용할 수 있는 효율적이고 정량적인 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템의 개발이 절실한 실정으로 본 연구에서는 레미콘 생산의 품질관리시 가장 중요시 되는 잔골재 표면수율 측정, 회수수 고형분 측정 및 레미콘 단위수량 측정을 위한 시스템 개발과 더불어 이를 현장에 적용하여 현장 적용성 평가를 실시한 후 문제점을 피디백하여 최종적으로 본 연구의 최종 목표인 레미콘 생산 통합 품질관리 자동화 시스템을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 관련 자료 조사

- 가. 국내외 회수수 관련 문헌 조사
- 나. 국내외 단위수량 관련 문헌 조사
- 다. 국내외 표면수 관련 문헌 조사

2. 회수수 고품분 측정 자동화 시스템 개발

- 가. 회수수 고품분 측정
- 나. 초음파 펄스 감쇄율과 회수수 농도와의 관계식
- 다. 관계식에 따른 고품분을 추정식 도출
- 라. 세정기 동작점검 및 농도 단계별 출력 개발
- 마. 초음파 발진 및 온도에 따른 보정
- 바. 세정기의 농도 단계별 출력신호 검토
- 사. 센서 설치구조에 따른 세정방식과 이에 따른 세정효과
- 아. 기존 제품의 문제점을 보완한 침적형 방식의 기구적 설계
- 자. 농도변화에 따른 측정주파수 변경영역 평가
- 차. 배합조건에 따른 고품분을 변동성 평가
- 카. 측정 정확도 및 재현성 평가
- 파. 관련 데이터 분석

3. 레미콘 단위수량 측정 시스템 개발

- 가. 골재로 인한 측정오차를 감소 위한 고주파와 저주파 합성기술 개발
- 나. 측정시료(콘크리트)내의 수량과 정전용량과의 관계식
- 다. 관계식에 따른 단위수량 추정식 도출
- 라. 고조파(고주파+저주파) 발생 장치 개발
- 마. 센서 모듈 및 제어부 설계
- 바. 배합조건에 따른 단위수량 변동성 평가
- 사. 측정 정확도 및 재현성 평가
- 아. 관련 데이터 분석

4. 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발

- 가. 마이크로파의 전기적 신호값과 수분의 관계식 도출
- 나. 관계식에 의한 표면수율 추정식 도출
- 다. 설치 방식에 따른 기구적 설계 검토
- 라. 송수신 제어부 설계, 기구적 고안
- 마. 잔골재의 표면수율 변동성 및 표면수율 변화에 따른 측정영역 평가
- 바. 실내 Mock-up 성능평가에 의한 현장적용성 평가
- 사. 현장 적용성 평가
- 아. 관련 데이터 분석

IV. 연구개발결과

연구내용	연구개발 결과
1. 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 관련자료 조사	■ 국내의 레미콘 품질관리 현황 및 문제점을 파악 - 대부분 회수수 처리설비는 갖추고 있으나 활용이 미흡한 실정임. - 표면수율의 자동측정은 몇몇 업체를 제외하고 이루어지지 않고 있는 실정이며, 생산을 위한 적용에는 활용되고 있지 않음. - 콘크리트의 단위수량 측정에 대한 관심은 증대하고 있으나, 장비의 소요 비용 및 불편함 등으로 인해 활용이 저조한 실정임.
2. 회수수 고품분 측정 자동화 시스템 개발	■ 국내외 회수수 기술개발 현황 - 회수수 품질 및 적용기준 등에 대한 중요자료를 획득하였으며, 회수수 측정방법에 따른 특성을 분석하였음. ■ 회수수 고품분 측정 자동화 시스템을 개발 - 초음파 감쇄율/유도 인덕턴스와 회수수 농도와의 관계식을 통해 고품분을 추정식을 도출하였음. - 측정부의 이물질 고착 저감을 위한 세정장치의 효과 분석을 통하여 회수수 자동화 시스템에 고압 air 세정부를 적용하였음. - 회수수 샘플링 방식별 농도 측정 특성을 평가하여 침적형 방식, 수중 펌프 방식 및 Main 배관 유도 방식 등 회수수 최적 샘플링 시스템 기술을 개발하고 최종적으로 시스템 설계에 적용하였음. - 실내 실험을 통해 유도 인덕턴스 측정 시스템과 건조법을 비교한 결과 5~40% 농도 영역대에서 안정적으로 측정 가능한 것으로 나타남. 이러한 결과를 바탕으로 레미콘 현장에 적용 가능할 것으로 판단됨. - 개발된 유도 인덕턴스 농도 측정 방식, Main 배관 유도 샘플링 방식을 적용한 회수수 농도 측정 시스템에 대한 레미콘 현장 성능평가(2011년 10월~12월) 결과 $\pm 5\%$ F.S(F.S=30%) 이내로 나타남. 향후 개발된 회수수 농도 측정 시스템이 현장에 적용될 경우 최적의 청수/회수수 투입이 가능하여 레미콘 품질 향상에 이바지 할 것으로 판단됨.

3. 레미콘 단위수량 측정 시스템 개발	■ 국내외 단위수량 측정 기술개발 현황 - 국내외 기술 현황 자료를 획득하였으며, 측정 방법별 특성을 분석한 결과 정전용량법과 에어미터법이 현장적용에 가장 적합한 것으로 분석됨. ■ 단위수량 측정 시스템 개발 - 단위수량과 정전용량과의 관계식을 통해 단위수량 추정식을 도출하여 정전용량법의 단위수량 측정시스템을 개발하였으며, 단위수량 변동성 및 측정 정확도를 평가한 결과 동등이상의 결과를 나타내었다. - 정전용량법의 단점을 고려한 단위수량 측정시스템을 개발[에어미터법] 하여 공기량과 단위수량을 동시에 측정할 수 있는 품질관리 시스템을 확보하였다. - 에어미터법에 의한 단위수량 측정 시스템의 성능 평가결과 정전용량법과 유사한 단위수량 추정 오차를 갖는 것으로 나타났으며, 개발제품의 변동오차에 따른 시뮬레이션 결과 공기량과, 골재의 밀도 및 단위수량의 측정오차가 가장 큰 변동요인임을 확인하였다. - 개발 시제품에 대한 현장 평가 결과 추정오차는 -1.4~3.4%의 범위를 나타내고 있으며, 단위수량 추정값은 +10% F.S의 정밀도를 갖는 것으로 나타났다.
4. 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발	■ 국내외 표면수율 측정 자동화 시스템 개발 - 표면수율 측정시스템에 대한 국내외 기술 현황 자료의 획득과 측정방법에 따른 시스템의 특성을 분석하였음. ■ 골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발 - 마이크로파의 출력 및 신호방식을 결정을 통한 전기적 신호값과 수분의 관계식을 평가하여 표면수율 추정식을 도출하였음. 센서 모듈 및 제어부 설계를 통한 시스템을 개발하였으며 설치 방식에 따른 기구적 설계를 검토하였음. - 잔골재 표면수율 변동성에 따른 검량선 분석을 통해 개발된 자동화 시스템과 현재 해외에서 적용되고 있는 시스템과의 비교평가를 통해 동등이상의 성능을 확보하였음. - 실내 Mock-up 성능평가를 실시하였으며, 그 결과 상당히 우수한 성능을 보였음. - 2개의 레미콘 현장에 현장 적용성 평가를 시행하였으며, 한달동안의 측정결과와 분석을 통해 잔골재 표면수율 자동화시스템은 레미콘 품질관리에 큰 기여를 할 것으로 판단됨.

V. 연구개발결과의 활용계획

- 본 연구에서 개발된 레미콘 생산 품질 자동화 시스템 개발은 불량 레미콘의 억제와 레미콘의 품질관리 향상과 회수수 처리의 선진화를 위한 기반기술로 활용
- 레미콘 품질에 대한 수요자의 불신과 회수수의 적정 활용을 유도할 수 있는 건설 친환경 기반기술로서 활용
- 레미콘 품질향상을 위한 규정 및 지침 제정 근거의 토대를 마련하는 데 활용
- 현장 보급을 통한 기술보완 및 시공/품질관리 시스템 매뉴얼 작성에 활용

S U M M A R Y

I . Title

Development of Automatic System for Quality Control in Ready Mixed Concrete Manufacturing

II. Objectives and Necessities of This Research

Ready-mixed concrete (REMICON) has been a major construction material for infrastructures so that REMICON with poor quality is reported to be social issue since it directly threatens user's safety and convenience. REMICON with poor quality causes not only efficient product of concrete but also recession of government initiative of GREEN GROWTH. Usually, REMICON with normal grade consumes 0.3 ton of unit cement content and this leads 0.27ton of CO₂ emission. In the case of 531,152m³ product of poor REMICON, 143,411ton of CO₂ emission is released, which amounts to 0.55% of total CO₂ consumption from all the forest in Korea (33.3Mton).

For the problems due to poor REMICON, several counter measures are proposed, however the repeated problems are still reported. For the reason, T/F of construction safety improvement supported by the Prime Minister, related departments and experts is founded in March, 2009. Furthermore, guidelines for REMICON/ASCON quality control (KS F 4009) is being revised by Korean Agency for Technology and Standards in Ministry of Knowledge Economy and Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. Previously explained, policies and counter measures are focused on enhancement of quality control of REMICON but domestic companies still have difficulties in the setup of equipments due to expensive imported equipment. It is the time to develop a quantitative, efficient, and automatic system for quality control of REMICON product which agrees with the policy of GREEN GROWTH and Kyoto Protocol, available CO₂ emission market.

In this research, measurement systems for surface water content in sand, sludge in recycled water from REMICON, and unit content of water are developed and these systems are applied to domestic REMICON company for verification. Finally through the feedback of problems and difficulties, this research on Development of Automatic System for Quality Control in REMICON Manufacturing is carried out.

III. Contents and Scopes of this research

1. Survey on automation of quality control of REMICON

- Ga. Literature survey on sludge of recycled water
- Na. Literature survey on unit content of water
- Da. Literature survey on surface water content in sand

2. Automatic measurement of sludge in recycled water

- Ga. Measurement of sludge in recycled water
- Na. Relationship between ultrasonic pulse attenuation and sludge concentration
- Da. Prediction of sludge concentration
- Ra. Washer running check and output in stage
- Ma. Oscillator of ultra sonic pulse and temperature calibration
- A. Improved design of apparatus of sedimentation type
- Ja. Evaluation of frequency range due to concentration change
- Cha. Evaluation of variation in sludge ratio with mix proportions
- Ka. Accuracy and repeatability assessment
- Pa. Analysis data

3. Measuring system of unit water content in REMICON

- Ga. Integration technique of high and low frequency for high resolution to aggregate
- Na. Relationship between water content in concrete and electric capacity
- Da. Obtaining of unit water content through the proposed relationship
- Ra. Oscillator of harmonic frequency
- Ma. Design of Sensor module and control box
- Ba. Evaluation of variation in water content with mix proportion
- Sa. Measurement accuracy and repeatability assessment
- A. Related data analysis

4. Measuring system of surface water content in sand

Ga. Generating capacity of microwave and signal type determination

Na. Relationship between microwave signal and surface water

Da. Prediction of surface water ratio through relationship

Ra. Angle of air washer, location, and washing effect evaluation

Ma. Performance evaluation with installation type

Ba. Performance evaluation with frequency range (accuracy and repeatability)

Sa. Design of control box of emission and receiving, prototype

A. Variation evaluation of surface water with sand type

Ja. Evaluation of measuring range for change in surface water

A. Related data analysis

IV. Research results

Sub items	Results
1. Survey on automation of quality control of REMICON	■ Understanding of condition and problems of domestic REMICON product - Conventional installation of recycled water but limited operation. - Use of non-automatic measurement of surface water content but few companies - Use of non-automatic measurement for manufacturing - Few cases of automatic measurement due to expansive installation and difficulties in spite of their interest in water content measurement
2. Automatic measurement of sludge in recycled water	■ Current domestic state of development of water recycling - Obtaining of quality and standards for recycled water and analysis of measuring technique of recycled water ■ Development of automatic measuring system of sludge in recycled water - Obtaining of prediction of sludge through pulse attenuation and concentration of sludge - Application of air washer to automatic system of recycled water through washer location effect and check of concentration-dependent signal - Design of sedimentation type system considering variation of sludge ratio through evaluation of change of frequency range with concentration of sludge, oscillation of microwave, and temperature calibration. - Digitalization of sedimentation type system - Remeasurement of sludge concentration through digitalized sedimentation type system with improved results

3. Measuring system of unit water content in REMICON	■ Current domestic state of measuring technique for water content - Obtaining of current domestic data for measurement of unit water amount - Efficient techniques are air meter and electric capacity measurement ■ Development of measuring of unit water content - Development of integration technique of high and low frequency and related device - Derivation of water content prediction through relationship between water amount and electric capacity - Improved accuracy of variation in water through design of sensor module and control box - Integrated measuring system for air and unit water amount considering field application of electric capacity method - Relevant application of air meter compared for electric capacity method for measuring water content
---	--

4. Measuring system of surface water content in sand	■ Development of domestic measurement for surface water ratio in sand - Obtaining of current domestic measuring system for surface water in sand - Analysis of system characteristics ■ Automation of measuring system for surface water in sand - Derivation of surface water prediction in sand through electric signal and water amount based on determination of signal type and microwave generating - Development of sensor module and control box and double check of apparatus design - Verification of the proposed device with foreign conventional system through qualification analysis of variation of surface water content - Achievement of better or equal performance for conventional device
---	---

V. Utilization of this research and development

- Core technology for advanced quality control and treatment of recycled water and avoidance of poor REMICON manufacturing
- Eco-friendly technology to remove distrust of REMICON quality and promote the recycled water from REMICON
- Solid foundation for policies and guidelines for REMICON quality promotion
- User manual for construction/quality control system through field application

목 차

제 1장 연구개발과제의 개요	1
제 1절 연구개발의 필요성	1
1. 연구개발 개요	1
2. 연구개발의 중요성	3
제 2절 연구의 내용 및 범위	7
제 2장 국내외 기술개발 현황	9
제 1절 국내외 관련 기술 및 산업 동향	9
1. 국내 기술 및 산업 동향	9
2. 국외 기술 및 산업 동향	16
3. 특허 동향	21
4. 정부지원정책 현황	24
5. 종합 결론	28
제 3장 연구개발수행 내용 및 결과	30
제 1절 국내 레미콘 자동화시스템 관련 현장조사	30
1. 회수수 관리 현황	30
2. 표면수율 관리 현황	31
제 2절 회수수 품질관리 자동화 시스템	32
1. 국내외 기술개발 현황	32
2. 회수수 고품분 측정 자동화 시스템 개발	44
3. 회수수 고품분 측정 시스템의 현장 성능평가	55
제 3절 단위수량 측정 시스템 개발	69
1. 단위수량 측정 필요성	69
2. 국내외 기술개발 현황	73
3. 단위수량 측정방법의 적용 및 개선점 도출	100
4. Air meter법에 의한 단위수량 측정시스템 개발	114
5. 단위수량 측정장비의 성능 평가	122
6. 단위수량 측정장비의 현장 적용성 분석	132
7. 단위수량 측정장비의 시제품 제작 및 품질기준[안]	136

제 4절 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발	145
1. 개 요	145
2. 골재 수분 측정 센서 개요	145
3. 골재 표면수율 측정 센서 개발	149
4. 콘크리트용 잔골재 표면수율 측정	153
5. 골재의 표면수율 측정 센서의 Mock-up 및 현장적용	161
제 5절 통합품질 자동화 시스템 개발	177
1. 개 요	177
2. 레미콘 통합품질 자동화 시스템	178
제 6절 연구개발결과	182
 제 4장 목표달성도 및 관련분야의 기여도	184
제 1절 연구목표 및 달성 여부	184
제 2절 관련분야의 기여도	186
1. 회수수 고품분 측정 자동화 시스템 개발	186
2. 레미콘 단위수량 측정 시스템 개발	186
3. 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템	187
 제 5장 연구개발결과의 활용계획	188
 제 6장 참고문헌	193
 [부록]	201

표 목 차

표 1.1.1 불량레미콘 예상 발생량 및 발생금액	1
표 1.1.2 일평균 레미콘 세척폐수 발생량	3
표 1.1.3 단위수량과 관련한 국내현황 및 문제점	5
표 2.1.1 레미콘 수급 실적 및 출하 전망	9
표 2.1.2 국내 시장 규모(국내건설수주액)	9
표 2.1.3 2012년 건설수주 전망(상세)	10
표 2.1.4 전국 레미콘 업체 총괄 현황	11
표 2.1.5 국내 주요 관련 업체	12
표 2.1.6 국내 주요 관련 업체(서울기준)	12
표 2.1.7 국내 전문가 및 연구기관 현황	13
표 2.1.8 선진국 대비 인프라 수준	14
표 2.1.9 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 관련 논문	15
표 2.1.10 굳지 않은 콘크리트의 골재 표면수율 측정방법	16
표 2.1.11 레미콘 단위수량 측정방법 사용 현황(국외)	16
표 2.1.12 굳지 않은 콘크리트의 각종 단위수량 측정방법	17
표 2.1.13 일반 수질관리 농도 측정기 현황	18
표 2.1.14 유럽 및 각국의 레미콘 업체 현황(2010년)	19
표 2.1.15 레미콘 단위수량 측정관련 국내 특허 보유 현황	21
표 2.1.16 주요 공공기관의 2009년 투자계획	25
표 2.1.17 녹색뉴딜 정책 중 건설 사업과 관련된 투자계획	26
표 3.2.1 회수수 관련 용어 및 정의	33
표 3.2.2 일본 콘크리트공업협회 회수수 사용기준	38
표 3.2.3 JIS A 5308 회수수 품질기준	38
표 3.2.4 KS F 4009 회수수 품질	39
표 3.2.5 측정방법에 따른 분류	40
표 3.2.6 슬러지 농도계 측정 방법별 비교	40
표 3.2.7 출력값과 슬러지수 농도 실험 결과	49
표 3.2.8 슬러지수 농도별 측정 결과	50
표 3.2.9 침적형 측정 시스템 시제품의 실내 실험 결과	51

표 3.2.10 수중 펌프형 측정 시스템 시제품의 실내 실험 결과	52
표 3.2.11 수중펌프 방식의 샘플링을 통한 슬러지 농도 측정 결과	56
표 3.2.12 현장 실험 결과 - 슬러지 농도	57
표 3.3.1 단위수량과 관련한 국내현황 및 문제점	70
표 3.3.2 굳지 않은 콘크리트의 각종 단위수량 측정방법	77
표 3.3.3 단위수량 추정 방법과 각종 오차 요인의 관계	84
표 3.3.4 웨트 스크리닝 방법	88
표 3.3.5 웨트 스크리닝 방법의 차이가 단위수량의 측정치에 미치는 영향	88
표 3.3.6 샘플링에 관련된 불규칙한 분포 및 편중	88
표 3.3.7 배합표	89
표 3.3.8 재료 물성	89
표 3.3.9 단위수량에 큰 영향을 미치는 재료 물성	89
표 3.3.10 재료 물성의 변동에 의한 각 단위수량 추정 방법의 오차	90
표 3.3.11 재료 물성의 변동에 의한 각 단위수량 추정 방법의 오차(1% 변동당)	91
표 3.3.12 레미콘 단위수량 측정방법 사용 현황(국외)	94
표 3.3.13 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(일본 국토교통성)	95
표 3.3.14 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(동일본여객철도주식회사) ...	96
표 3.3.15 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(오사카시 주택국)	96
표 3.3.16 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(후쿠오카 기타큐슈 고속철도공사) ...	97
표 3.3.17 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(다케나카공무점)	97
표 3.3.18 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(다이세이 건설)	98
표 3.3.19 결합수보정계수	106
표 3.3.20 웨이트스크리닝 보정계수	106
표 3.3.21 실험요인 및 수준	106
표 3.3.22 시멘트의 물리·화학적 성질	107
표 3.3.23 골재의 물리적 성질	107
표 3.3.24 배 합 표	107
표 3.3.25 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 측정 결과	109
표 3.3.26 단위수량 추정 결과	110
표 3.3.27 단위수량 측정 범위[수분율]	112
표 3.3.28 단위수량 측정 정도	113
표 3.3.29 실험요인 및 수준	118
표 3.3.30 배 합 표	119
표 3.3.31 단위수량 추정 결과	119

표 3.3.32 시멘트의 물리·화학적 성질	122
표 3.3.33 골재의 물리적 성질	123
표 3.3.34 콘크리트 배합	123
표 3.3.35 물결합재비 및 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성	124
표 3.3.36 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과	125
표 3.3.37 콘크리트 배합표	129
표 3.3.38 사용재료	129
표 3.3.39 콘크리트 배합	129
표 3.3.40 오차요인 및 설정오차량	130
표 3.3.41 품질 변동 결과	130
표 3.3.42 사용재료별 밀도	132
표 3.3.43 콘크리트 배합	132
표 3.3.44 단위수량 추정 결과	133
표 3.3.45 콘크리트 배합	134
표 3.3.46 평균 단위수량 추정 결과	134
표 3.4.1 추정식 시료의 수분 함수율	154
표 3.4.2 잔골재 표면수율 정확도·재현성 평가결과	159
표 3.4.3 사일로 Neck 부위 설치 예	161
표 3.4.4 사일로 Wall 부위 설치 예	161
표 3.4.5 사일로 하단 부위 설치 예	162
표 3.4.6 컨베이어 벨트 설치 예	162

그 림 목 차

그림 1.1.1 불량레미콘 관련 언론보도	2
그림 1.1.2 단위수량 관련 규정(기준)	5
그림 1.1.3 레미콘 플랜트별 잔골재 표면수율 측정결과(8시간)	6
그림 2.1.1 세계건설시장 전망	19
그림 2.1.2 건설산업 선진화 전략 체계도	27
그림 2.1.3 지하형 레미콘공장의 개념도	27
그림 3.1.1 레미콘 공장의 회수수 처리 시설	30
그림 3.1.2 표면수율 센서 설치 모습 및 배치 플랜트 종류	31
그림 3.2.1 회수수 개념도	32
그림 3.2.2 레미콘 공장 발생 배수의 구성	33
그림 3.2.3 슬러지 함유율 변화에 따른 슬럼프	34
그림 3.2.4 슬러지 함유율 변화에 따른 공기량	35
그림 3.2.5 슬러지 함유율 변화에 따른 압축강도비	36
그림 3.2.6 상징수, 슬러지 함유율 변화에 따른 압축강도비	36
그림 3.2.7 슬러지 함유율 변화에 따른 건조수축률	37
그림 3.2.8 슬러지수 관리방법 - BATCH 농도 조절방법 예시	38
그림 3.2.9 슬러지수 관리방법 - 연속농도 측정방법 예시	39
그림 3.2.10 Electromagnetic waves	40
그림 3.2.11 정현파 $Y=ESin(\omega t+\Theta)$	41
그림 3.2.12 Micro파 농도계-LQ510(TOSHIBA)	42
그림 3.2.13 Micro파 농도계-LQ510(TOSHIBA) 측정원리	42
그림 3.2.14 초음파 농도계-ENV-200(WESS)	43
그림 3.2.15 EAM((Envelope Energy Average Method)	43
그림 3.2.16 단일송신다중수신 (STMR)	44
그림 3.2.17 측정원리	45
그림 3.2.18 센서부 Test를 위한 지그제작	46
그림 3.2.19 지그제작용 Holder-1	46
그림 3.2.20 지그제작용 Holder-2	46
그림 3.2.21 센서 고정 Bracket-1	46

그림 3.2.22	센서 고정 Bracket-2	46
그림 3.2.23	Main Display 적용 회로	47
그림 3.2.24	Main Board 개발 회로	47
그림 3.2.25	Main Output 적용 회로	47
그림 3.2.26	Main Power 적용 회로	47
그림 3.2.27	Sensor부 Power 적용 회로	47
그림 3.2.28	Sensor I/O 적용 회로	48
그림 3.2.29	Controller의 Trend 기능	48
그림 3.2.30	상태정보/이상여부표시 기능	48
그림 3.2.31	Controller 표시부 Test	49
그림 3.2.32	Water(청수) Test	49
그림 3.2.33	슬러지수 Test	49
그림 3.2.34	현장적용형 센서부 Test	49
그림 3.2.35	측정값과 슬러지수 농도의 관계식	50
그림 3.2.36	시료 농도별 측정결과	51
그림 3.2.37	침적형 측정 시스템 시제품	51
그림 3.2.38	수중 펌프형 측정 시스템 시제품	52
그림 3.2.39	인덕턴스 방식 측정 시스템 실내 평가	54
그림 3.2.40	건조법에 의한 농도 측정값과 인덕턴스 방식 측정 시스템 측정값의 관계	54
그림 3.2.41	1차 현장 실험 현장	55
그림 3.2.42	현장 실험 중 수중펌프 상태	56
그림 3.2.43	Main 배관을 통한 샘플링 방식	57
그림 3.2.44	현장 슬러지 농도 측정 - 최대/최소/일평균	58
그림 3.2.45	슬러지 농도 현장 실험 결과	67
그림 3.2.46	슬러지 농도 측정 현장실험 오차	68
그림 3.2.47	2차 현장 실험 개요	68
그림 3.3.1	수량 증감에 따른 내구성 저하	69
그림 3.3.2	단위수량과 관련된 국내현황	71
그림 3.3.3	불량 레미콘에 관한 언론 매체 보도사례	71
그림 3.3.4	단위수량 관련 규정(기준)	72
그림 3.3.5	단위수량의 변동에 영향을 미치는 요인	72
그림 3.3.6	단위수량 측정방법 관련 발표 논문수 (일본)	75
그림 3.3.7	단위수량 측정방법의 건설현장 도입 효과 (일본)	76
그림 3.3.8	단위수량 측정기법의 적용 실적	78

그림 3.3.9 단위수량 측정 담당자	80
그림 3.3.10 단위수량 합부 판정자	80
그림 3.3.11 콘크리트 타설량에 따른 단위수량 측정 빈도	81
그림 3.3.12 콘크리트 공사 일정에 따른 단위수량 측정 빈도	82
그림 3.3.13 건설현장의 단위수량 품질관리 기준	82
그림 3.3.14 단위수량 품질 미확보시의 대응책	83
그림 3.3.15 샘플링에 관련된 오차	85
그림 3.3.16 선진 외국의 레미콘 단위수량 신속측정방법	95
그림 3.3.17 선진 외국의 레미콘 단위수량 신속측정방법 단위수량 관련 미국의 관리지침	98
그림 3.3.18 시료 및 시험용기	101
그림 3.3.19 주파수 변조	101
그림 3.3.20 단위수량 측정회로(50MHz Driver Circuit Diagram)	102
그림 3.3.21 발신단자와 검출단자의 구성	103
그림 3.3.22 정전용량의 측정의 측정개념도	104
그림 3.3.23 개발 제품	108
그림 3.3.24 일본 K사 제품	108
그림 3.3.25 정전용량법 측정 및 측정방법	108
그림 3.3.26 단위수량 변화에 따른 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 변화	109
그림 3.3.27 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과	111
그림 3.3.28 단위수량 측정대상별 평균 추정 단위수량과 추정 오차	111
그림 3.3.29 단위수량 측정범위	112
그림 3.3.30 Air Meter 조립도 및 분해도	116
그림 3.3.31 공기량 측정오차에 따른 단위수량	117
그림 3.3.32 밀도 변동량에 따른 단위수량	117
그림 3.3.33 Air Meter법 단위수량 측정기	118
그림 3.3.34 알고리즘 적용 프로그램 및 BALANCE-1	118
그림 3.3.35 알고리즘 적용 프로그램 및 BALANCE-2	119
그림 3.3.36 측정 방법별 단위수량 측정 결과	120
그림 3.3.37 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과	121
그림 3.3.38 단위수량 측정대상별 평균 추정 단위수량과 추정 오차	121
그림 3.3.39 단위수량 측정대상별 물결합재비와 혼화제 사용량	124
그림 3.3.40 단위수량 측정대상별 물결합재비와 슬럼프	124
그림 3.3.41 단위수량 추정 결과[가열건조법]	126
그림 3.3.42 단위수량 추정 결과[정전용량법]	126

그림 3.3.43 단위수량 추정 결과[에어메타법]	127
그림 3.3.44 측정방법별 단위수량 추정 결과	127
그림 3.3.45 측정방법별 단위수량 추정 오차	128
그림 3.3.46 측정방법별 단위수량 추정 오차	131
그림 3.3.47 단위수량의 계획치와 추정치와의 관계	133
그림 3.3.48 단위수량의 계획치와 추정치와의 관계	135
그림 3.3.49 단위수량 측정 시스템 개요	136
그림 3.3.50 단위수량 측정 장비	137
그림 3.4.1 수분측정을 위한 센서	146
그림 3.4.2 수분에 의한 송신파의 유전특성 변화(주파수 이동 및 진폭 감쇄)	146
그림 3.4.3 골재의 수분량 측정	147
그림 3.4.4 디지털 마이크로파식 센서의 교정	147
그림 3.4.5 골재의 수분측정 검량선의 예	148
그림 3.4.6 검량선 작성에 따른 오차	148
그림 3.4.7 마이크로 송수신파의 형태	149
그림 3.4.8 마이크로 송수신파의 형태	150
그림 3.4.9 다중 위상차 마이크로파	150
그림 3.4.10 골재의 수분량 측정장치의 구성	151
그림 3.4.11 골재 수분량 측정센서 및 악세사리	152
그림 3.4.12 골재 수분량 측정센서 controller	153
그림 3.4.13 골재 수분량 측정시료	153
그림 3.4.14 개발된 센서를 이용한 잔골재의 수분량 측정	154
그림 3.4.15 개발된 센서의 검량선	155
그림 3.4.16 온도에 의한 영향	155
그림 3.4.17 일정 가압장비	156
그림 3.4.18 다짐정도에 따른 골재의 함수측정 결과비교	157
그림 3.4.19 영국 Hydronix 측정센서	158
그림 3.4.20 Hydronix 센서를 이용한 골재의 수분 측정	158
그림 3.4.21 성능평가 비교분석	158
그림 3.4.22 표면수율 측정센서의 정확성 및 재현성 평가	160
그림 3.4.23 표면수율 측정센서의 정확성 및 재현성 평가	160
그림 3.4.24 잔골재 표면수율 실내 Mock-up 성능장치	163
그림 3.4.25 실제 레미콘 잔골재 이송과정을 묘사한 컨베이어벨트	163
그림 3.4.26 잔골재 표면수율 측정센서의 호퍼설치	164

그림 3.4.27 잔골재 표면수율 Mock-up 성능평가	164
그림 3.4.28 측정센서 설치 위치	165
그림 3.4.29 측정센서 설치 사진	165
그림 3.4.30 잔골재 표면수율 측정패널	166
그림 3.4.31 11월 2일 잔골재 표면수율 측정결과	166
그림 3.4.32 11월 3일 잔골재 표면수율 측정결과	167
그림 3.4.33 11월 7일 잔골재 표면수율 측정결과	167
그림 3.4.34 11월 8일 잔골재 표면수율 측정결과	168
그림 3.4.35 11월 9일 잔골재 표면수율 측정결과	168
그림 3.4.36 11월 10일 잔골재 표면수율 측정결과	169
그림 3.4.37 11월 14일 잔골재 표면수율 측정결과	169
그림 3.4.38 11월 15일 잔골재 표면수율 측정결과	170
그림 3.4.39 11월 16일 잔골재 표면수율 측정결과	170
그림 3.4.40 11월 17일 잔골재 표면수율 측정결과	171
그림 3.4.41 11월 18일 잔골재 표면수율 측정결과	171
그림 3.4.42 11월 22일 잔골재 표면수율 측정결과	172
그림 3.4.43 11월 25일 잔골재 표면수율 측정결과	172
그림 3.4.44 11월 29일 잔골재 표면수율 측정결과	173
그림 3.4.45 잔골재 표면수율 측정결과와 대기온도와의 관계	174
그림 3.4.46 현장적용 잔골재 표면수율 측정결과 정확성	175
그림 3.4.47 B사 송도 레미콘 공장전경	176
그림 3.4.48 표면수율 측정센서 설치 호퍼	176
그림 3.4.49 잔골재 표면수율 측정 패널	176
그림 3.5.1 통합품질 자동화시스템 개략도	177
그림 3.5.2 회수수 품질 관련 입력 및 출력 정보	179
그림 3.5.3 통합품질 시스템 알고리즘	180
그림 3.5.4 측정신호 송신부	181
그림 3.5.5 측정신호 수신부	181
그림 3.5.6 통합제어시스템	181

제 1장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구개발의 필요성

1. 연구개발 개요

레미콘은 국가기반시설물의 인프라 구축을 위해 중요한 역할을 담당하는 재료로서 표 1.1.1에 나타난 바와 같이 2010년도 레미콘 출하실적이 6조4천억 원에 달하는 거대한 시장규모를 가지고 있으나, 그림 1.1.1과 같이 불량레미콘 납품으로 인한 지속적인 문제점이 국민의 안전성과 직결됨에 따라 사회적 문제로까지 확대되고 있는 실정이다.

표 1.1.1 불량레미콘 예상 발생량 및 발생금액

지역	레미콘출하실적		불량레미콘 예상발생량 및 발생 금액		구성비 (%)
	출하량 (m ³)	출하금액 (억원)	예상발생량 (m ³)	예상발생금액 (억원)	
서울경인	41,060,581	24,636	205,303	123	38.6
강원	5,043,987	3,026	25,220	15	4.7
충북	5,480,921	3,289	27,405	16	5.2
대전충남	13,072,137	7,843	65,361	39	12.3
전북	5,633,855	3,380	28,169	17	5.3
광주전남	10,771,886	6,463	53,859	32	10.1
경북	9,532,573	5,720	47,663	29	9.0
대구	2,121,502	1,273	10,608	6	2.0
경남	4,009,556	2,406	20,048	12	3.8
울산	2,909,160	1,745	14,546	9	2.7
부산	4,918,092	2,951	24,590	15	4.6
제주	1,676,126	1,006	8,381	5	1.6
전국총계	106,230,376	63,738	531,152	319	100

※ 출처 : 한국레미콘공업협회/2010년 통계/지역별, 월별, 수요별 레미콘 출하실적 (<http://www.krmcia.or.kr/data/>)

※ 산출근거 : - 레미콘 출하금액 = 레미콘출하량 × 60,000원/m³

- 불량레미콘 예상발생량 = 레미콘 출하실적 × 0.5%(불량레미콘 예상발생률)

- 불량레미콘 예상발생금액 = 불량레미콘 예상발생량 × 60,000원/m³

- 불량레미콘 예상발생률은 「콘크리트학회지 제14권4호 2002.7」 “레미콘플랜트 설비와 콘크리트 품질(회수수를 사용한 레미콘의 품질 및 설비관리)”, 한천구, p41, 표2 발생 기준(반품 레미콘 발생량, 생산량의 0.5%) 참조

현장 적용성 평가를 실시한 후 문제점을 피디백하여 최종적으로 본 연구의 최종 목표인 레미콘 생산 통합 품질관리 자동화 시스템을 개발하고자 한다.

2. 연구개발의 중요성

가. 회수수 고형분 측정 자동화 시스템 개발의 중요성

레미콘 생산현장의 경우 대량의 콘크리트를 제조, 운반 작업이 종료된 후에는 후속 콘크리트 제조시 배합비의 정밀을 기하거나, 장비의 보존을 위하여 레미콘 트럭의 드럼 내·외부 및 배치플랜트의 믹서·호퍼 등을 세척하게 되고 이에 따라 레미콘 세척 폐수가 발생하게 된다. 폐수는 레미콘 일일 생산량 $500\text{m}^3/\text{day}$, 레미콘 차량대수 20대를 기준으로 하였을 경우, 안전율을 고려한 실제발생량이 76.8m^3 가 되고 이를 레미콘 1m^3 당으로 환산하면 $153.6\ell/\text{m}^3$, 즉 레미콘 1차당 921.6ℓ 의 막대한 양의 레미콘 세척 폐수가 발생한다.

발생한 레미콘의 세척 폐수는 수질 및 토양오염 등 환경오염을 유발함에 따라 환경보전 차원에서 또한 수질환경보전법 시행규칙을 만족시키기 위해 레미콘 제조시 혼합수 및 세척용수로서 100% 전량 활용하도록 법제화 되어 있다. 국내 세척폐수 관련 규정은 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트)의 부속서 2에서는 고형분을 3% 이하로 규정하고 있다.

그러나 고형분율을 측정하기 위해서는 일정량(500ml)을 채취하여 항량이 될 때까지 $105\sim 110^\circ\text{C}$ 의 건조기에 넣고 건조 전후의 중량변화를 통해 계산하게 되어 있기 때문에 회수수를 사용하여 레미콘을 제조하는 시기는 현재이지만 고형분율 측정이 끝나는 시간은 최소 6시간~최대 24시간이 걸려 사용시간과 측정시간과의 시간차가 발생하는 모순점이 존재하여 레미콘 품질관리에 어려움이 발생하고 있다.

표 1.1.2 일평균 레미콘 세척폐수 발생량

배수발생원	산출근거	배수발생량	
		$500\text{m}^3/\text{day}$ 기준	콘크리트 m^3 당
		m^3/day	ℓ/m^3
1. 트럭내부 세척수	$1.5\text{m}^3/\text{회} \times 20\text{대}/\text{day}$	30.0	60.0
2. 트럭외부 세척수	$0.04\text{m}^3/\text{회} \times 5\text{회}/\text{대} \times 20\text{대}/\text{day}$	4.0	8.0
3. B/P 내부 세척수	$2.5\text{m}^3/\text{회} \times 4\text{회}/\text{기} \times 1\text{기}/\text{day}$	10.0	20.0
4. 반품레미콘 처리수	$500\text{m}^3/\text{회} \times 0.005 \times 4\text{m}^3/\text{m}^3$	10.0	20.0
5. 잡용수, 부지바닥 청소 처리수	$0.5\text{m}^3/\text{회} \times 1\text{회}/\text{대} \times 20\text{대}/\text{day}$	10.0	20.0
총 발생 배수량(m^3/day)	$1+2+3+4+5$	64.0	128.0
실제 발생량(m^3/day)	총 발생 배수량 $\times 1.2$ (20%안전율)	76.8	153.6

※ 출처 : 레미콘 플랜트 설비와 콘크리트 품질, 한국콘크리트학회, KCI SP 1 p.74

또한 상기한 바와 같이 레미콘 플랜트에서 실시간으로 회수수 고형분율의 품질관리가 곤란함에 따라 매일 고형분율을 측정하지 못하고 있을 뿐만 아니라 육안관찰만으로 고형분율을 추정하여 관리자의 직감에 따라 수돗물(정수)를 추가하는 정도의 품질관리가 이루어지고 있는 실정이다.

특히 KS F 4009 표시인증 심사기준에서는 사용수에 대한 규정이 “세척폐수(세척폐수)에 대하여는 품질의 변동 및 배합설계에 차질이 없도록 관리주기를 정하여 관리하고 있어야 한다”로 구체적이지 않아 레미콘 업체에서는 1년에 한번 관리하는 업체도 있다.

레미콘 세척폐수의 사용으로 수돗물(정수)의 사용이 대체 가능하므로 세척폐수의 사용으로 절약되는 금액은 연간 약 64억원이며, 특히 폐수 대체로 인한 이산화탄소 감축량이 5,385t에 달하는 등 환경부하 저감뿐만 아니라 경제성 확보 등 이중효과를 기대할 수 있다.

이에 환경보존에 일조하고 레미콘 품질관리의 신뢰성을 구조적으로 향상시키고 건설 생산현장에서의 합리적, 효율적, 정량적인 콘크리트 품질 관리 시스템의 기반을 구축하기 위해 레미콘 품질을 실시간으로 관리할 수 있는 회수수 고형분 측정 자동화 시스템 개발의 필요성이 절실한 실정이다.

※ 산출근거 :

- 2010년도 레미콘 출하실적 106,230,376m³[(※ 출처 : 한국레미콘공업협회/2010년 통계/지역별, 월별, 수요별 레미콘 출하실적(<http://www.krmcia.or.kr/data/>)]
- 레미콘 1m³ 생산시 154L(153.6L)의 세척폐수 발생(※ 출처 : 레미콘 플랜트 설비 와 콘크리트 품질, 한국콘크리트학회, KCI SP 1 p.74)
- 2010년도 레미콘 세척 폐수 발생량 = 106,230,376m³ × 154L = 16,316,986 m³
- 수돗물 단가(원) : 394원/m³ (수도법 제38조 [공급규정] 중 요금단가)
- 수돗물 절약(원) = 16,316,986 m³ × 394원 = 6,428,892,387 원
- 수돗물 1m³ 생산하는데 0.33kg의 이산화탄소가 발생(※출처: 청와대 홈페이지/국정과제 /정책자료
- 이산화탄소 저감량 = 16,316,986 m³ × 0.33kg = 5,384,605 kg

나. 레미콘 단위수량 측정 시스템 개발의 중요성

레미콘 제조에 사용되는 물은 콘크리트 경화를 위한 수화반응과 용이한 운반, 타설, 다짐 등을 위해서 콘크리트 제조에 필수불가결한 재료이다. 그러나 필요 이상의 물이 가수되면 건조수축과 내부 공극율을 증대시켜 콘크리트의 강도 및 내구성에 심각한 저해요인이 됨에 따라 콘크리트 제조시 각별한 주의가 요구된다.

국내 KS F 4009, 콘크리트표준시방서, 건축공사표준시방서에서도 수량의 중요성을 인식하고 단위수량을 작업이 가능한 범위 내에서 최소한으로 사용하도록 규정하고 있음. 특히 건축공사표준시방서에서는 보통콘크리트 범위(내구성을 확보하기 위한 재료 및 배합에 관한 규정)에서 단위수량을 185kg/m³ 이하, 고내구성콘크리트 범위에서 175kg/m³ 이하가 되도록 규정하고 있다.

그러나 국내현황은 표 1.3과 같이 공급자(레미콘)의 설비 부족 및 미숙한 품질관리, 사용자(시공자)의 레미콘 공급계약과 상이한 품질의 콘크리트 요구, 관리자(감독관)의 정량적 품질관리시스템 미비 등과 같은 문제점 도출로 단위수량의 관리가 이루어지지 않고 있어 불량 레미콘 관련 언론보도가 지속적으로 보도되고 있는 실정이다.

특히 2009년 불량레미콘 납품 사건과 관련하여 지식경제부 기술표준원과 국토해양부에서는 레미콘의 품질관리에 초점을 맞춰 KS F 4009, 레미콘/아스콘 관리지침을 개정 중에 있으나, 아직 레미콘의 품질관리에 있어서 내구성을 확인할 수 있는 시험방법이 없는 관계로 향후 개정에서는 레미콘의 단위수량 측정을 통한 품질관리를 적극적으로 검토할 예정이다.

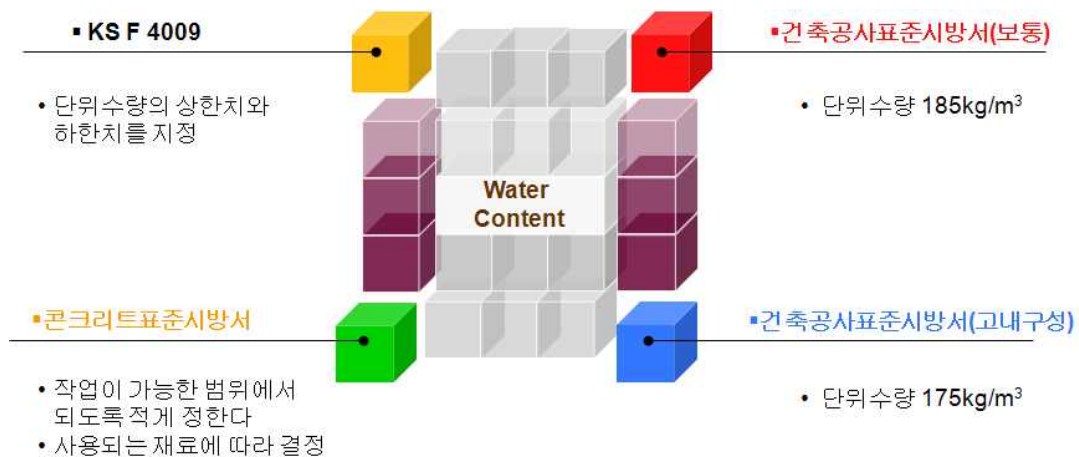


그림 1.1.2 단위수량 관련 규정(기준)

이에 콘크리트 구조물의 고품질화 및 레미콘 품질관리의 신뢰성을 구조적으로 향상시키고 국내 건설현장의 레미콘 품질관리에 실용적으로 적용할 수 있는 레미콘 단위수량 측정기기 개발의 필요성이 증대되고 있다.

표 1.1.3 단위수량과 관련한 국내현황 및 문제점

구 분	현황 및 문제점
공급자 (레미콘)	-골재 입수시마다 밀도, 흡수율, 조립율 등의 기초물성 시험 곤란 -B.P(배치플랜트)에 골재 표면수율을 실시간으로 측정할 수 있는 센서가 없거나 고장난 상태 -레미콘 에지테이터 배차시 잔수처리를 하지 않아 새로 수급되는 레미콘에 가수효과 발생 -B.P에서 레미콘에지테이터에 콘크리트 수급 후 호퍼에 묻은 콘크리트를 물로 세척하는 과정에서 내부로 물이 유입되어 가수됨
사용자 (시공자)	-레미콘 공급계약과 상이한 품질의 콘크리트를 요구(계약은 슬럼프 8cm로 하고 납품은 15cm 또는 18cm로 요구)함에 따라 공급자측에서 단가를 고려한 저품질의 콘크리트 납품 유도
관리자 (감독관)	-현재 레미콘 품질을 확인하는 항목은 공기량, 슬럼프, 압축강도, 염화물함유량 4개 항목이 전부이며, 이러한 항목만으로는 주문 발주한 레미콘의 배합물량이 정확하게 지켜지는가에 대한 정량적인 품질관리가 불가능한 상태

다. 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발의 중요성

잔골재의 표면수는 시방배합을 현장배합으로 변경하는 과정 중 레미콘의 품질변동에 지대한 영향을 미치는 단위수량과 밀접한 관계가 있으며, 저장되는 상태에 따라 그림 1.1.3과 같이 표면수율의 변동폭이 2~9%에 달함에 따라 레미콘 제조시 잔골재의 표면수율을 매번 측정하여 배합비를 보정한 후 레미콘을 제조하여야 하나, 현장에서는 수동으로 측정하여야 함에 따라 인력 부족 및 작업의 번거로움으로 매번 측정이 곤란한 것이 현실이다.

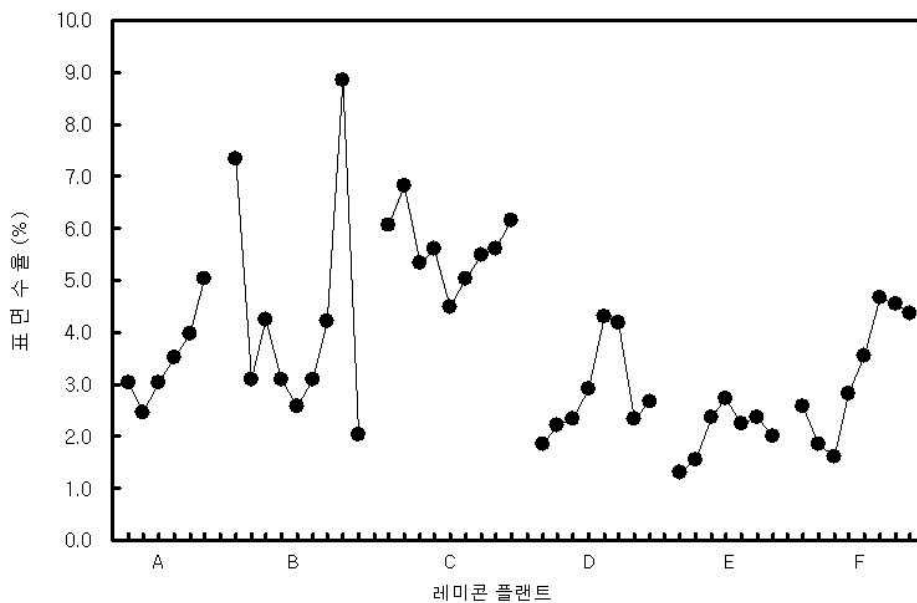


그림 1.1.3 레미콘 플랜트별 잔골재 표면수율 측정결과(8시간)

따라서 오퍼레이터는 모터에 작용하는 부하량과 경험치를 통해 레미콘의 유동성을 조절함으로서 요구되는 성능을 만족시킬 수 있도록 설계된 배합비의 레미콘을 제조하기 어려운 실정이다. 최근 들어 이러한 문제점을 인식한 메이저 레미콘 업체에서 외산의 골재 표면수율 측정장치를 수입하여 설치하고 있으나, 수천만원에서 1억원 상당의 고가 장비로 보급에는 한계가 있다.

이에 레미콘 품질관리의 신뢰성을 구조적으로 향상시키고 건설생산현장에서의 합리적, 효율적, 정량적인 콘크리트 품질 관리 시스템 기반을 구축하기 위한 골재 표면수율 자동화 측정시스템 개발이 요구된다.

제 2절 연구의 내용 및 범위

1. 회수수 고품분 측정 자동화 시스템 개발

- 가. 관계식에 따른 고품분을 추정식 도출
- 나. 세정기의 농도 단계별 출력신호 검토
- 다. 센서 설치구조에 따른 세정방식과 이에 따른 세정효과
- 라. 배합조건(슬러지수 농도)에 따른 고품분을 변동성 평가
- 마. 현장 적용성 평가

2. 레미콘 단위수량 측정 시스템 개발

- 가. 골재로 인한 측정오차를 줄이기 위한 고주파와 저주파 합성기술 개발
- 나. 측정시료(콘크리트)내의 수량과 정전용량과의 관계식
- 다. 관계식에 따른 단위수량 추정식 도출
- 라. 배합조건에 따른 단위수량 변동성 평가
- 마. 측정 정확도 및 재현성 평가
- 바. 현장 적용성 평가
- 사. 관련 데이터 분석

3. 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발

- 가. 마이크로파의 전기적 신호값과 수분의 관계식 도출
- 나. 관계식에 의한 표면수율 추정식 도출
- 다. 설치 방식에 따른 기구적 설계 검토
- 라. 표면수율 측정센서의 영역별 성능(정확성, 재현성)평가
- 마. 잔골재의 표면수율 변동성 및 표면수율 변화에 따른 측정영역 평가
- 바. 실내 Mock-up 성능평가에 의한 현장적용성 평가
- 사. 현장 적용성 평가
- 아. 관련 데이터 분석

4. 통합 품질관리 자동화 시스템 개발

- 가. 회수수 고품분율, 잔골재 표면수율, 단위수량 측정결과의 종합적인 통보
- 나. 회수수 고품분율 3% 이상 초과시 자동 청수 투입 및 고품분을 실시간 재측정
- 다. 잔골재 표면수율에 따른 단위수량 및 잔골재량 등 배합비 보정
- 라. 단위수량 측정결과에 따른 단위수량 배합비 보정

5. 개발제품의 시작품 제작 및 파일럿 테스트

가. 레미콘 현장 적용을 위한 시작품 제작

나. 레미콘 배치플랜트 설치 및 모니터링

다. 레미콘 생산 환경, 주변 여건 및 최적 조건 고려

라. 개발제품 설치 전·후의 레미콘 품질 특성 분석

제 2장 국내외 기술개발 현황

제 1절 국내외 관련 기술 및 산업 동향

1. 국내 기술 및 산업 동향

가. 국내 시장 현황 및 예측

레미콘 수급실적으로 2011년도 레미콘 출하는 전년대비 추정치 반영에 따라 2010년 114,672천m³ 대비 9.3% 감소한 103,955천m³를 출하한 것으로 추정되며, 이와 같은 출하감소는 주거용 건축투자의 극심한 침체로 인한 주택건설경기 하락과 비주거형 건축투자가 초고층빌딩의 공사와 행복도시, 혁신도시의 청사 건축 물량이 올해 일부 마무리 되면서 신규 발주 물량이 급감한데 따른 것이다. 2012년도에도 건설사들이 PF 부실 등 재무구조 개선을 위하여 자체적인 구조조정을 지속하면서 신규사업에 나설 여력이 크게 떨어질 것으로 보이며, 또한 LH공사 및 지자체 등 정부의 조기 균형재정달성으로 재무건전성 확보가 중요시 되면서 이들 공공기관의 도로, 철도, 등 일부 SOC를 제외한 신규사업도 줄어들 것으로 예상되어 공공건설도 감소세를 보일 것으로 예상된다.

표 2.1.1 레미콘 수급 실적 및 출하 전망

(단위 : 천m³)

구 분	상 반 기			하 반 기			합 계		
	'10년	'11년	'12년	'10년	'11년	'12년	'10년	'11년	'12년
수도권	20,314	18,188	17,763	20,976	18,972	18,859	41,290	37,159	36,620
지 방	36,715	33,165	30,897	36,667	33,639	32,520	73,382	66,800	63,407
합 계	57,029	51,352	48,656	57,643	52,608	51,378	114,672	103,955	100,023

※ 자료: 대한건설협회, 2012년 건설경기 및 건설자재 전망, 2011년 12월)

표 2.1.2 국내 시장 규모(국내건설수주액)

	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년
시장 규모 (억원)	1,073,184	1,279,118	1,200,851	1,187,142	1,032,298
성장률 (%)	8.0	19.2	-6.1	-1.1	-13.0

※ 자료: 대한건설협회 2011년 3/4분기

표 2.1.3 2012년 건설수주 전망(상세)

구 분	2008	2009			2010			2011(e)			2012(e)
	연간	상반기	하반기	연간	상반기	하반기	연간	상반기	하반기	연간	연간
건설수주액 (조원)											
공공	41.8	31.8	26.7	58.5	20.0	18.2	38.2	14.5	15.1	29.6	28.6
민간	78.2	19.0	41.2	60.2	30.7	34.3	65.0	35.5	38.4	73.9	74.4
토목	41.3	27.8	26.4	54.1	19.5	21.9	41.4	17.7	18.2	35.9	33.8
건축	78.8	23.0	41.6	64.6	31.2	30.7	61.8	32.3	35.3	67.6	69.2
주거	44.7	12.0	27.1	39.1	15.6	16.0	31.6	15.0	18.1	33.1	34.7
비주거	34.2	11.0	14.5	25.5	15.6	14.7	30.2	17.3	17.2	34.5	34.5
계	120.1	50.8	67.9	118.7	50.7	52.6	103.2	50.0	53.5	103.5	103.0

※ 2011년 하반기 및 2012년은 한국건설산업연구원 전망치(자료 : 대한건설협회, 2011년)

국내 레미콘 공장과 건설 현장 관련 현황은 전국 레미콘 업체 총괄 현황을 2010년 12월을 기준으로 하였을 경우, 전국 레미콘 공장수가 907개로 나타났다. 각 레미콘 공장당 레미콘 생산 품질관리시스템(잔골재 표면수율 자동화 측정 시스템(10,000천원), 회수수 품질관리 자동화 시스템(10,000천원), 레미콘 단위수량 측정시스템(10,000천원) 및 통합 관리 자동화 연동 시스템(15,000천원))을 1set씩 보급될 것으로 산정하였을 경우, 총 국내 시장 규모는 약 408억원으로 예상되며, 시설물 및 프로그램에 대한 유지관리 비용을 연간 5%로 예상 시 약 20억원이 매년 발생 예상된다.

레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템의 상용화를 2012년으로 예상하였을 경우, 자동화 시스템의 시장 점유율이 점차 상승할 수 있을 것으로 예상하고, 2015년 이후 유지관리비용 및 신규 설비 구축비용 등으로 시장이 형성될 것으로 보인다.

표 2.1.4 전국 레미콘 업체 총괄 현황

지 역	업 체 수	공 장 수	배치플랜트			레미콘 믹서 트럭 보유수 (대)	시멘트 사이로 (Ton)
			기 수	레미콘 생산능력			
				m ³ /hr	천m ³ /년		
서울경인	106	182	337	72,130	144,260	8,117	232,040
강원	96	104	114	20,040	40,080	971	49,730
충북	51	54	67	12,990	25,980	870	10,850
대전충남	82	104	134	25,250	50,500	2,103	108,010
전북	60	61	74	14,330	28,660	943	50,740
광주전남	98	101	130	28,940	57,880	1,731	85,130
경북	119	122	159	29,160	58,320	1,693	83,766
대구	25	26	43	8,520	17,040	764	54,320
경남	84	87	126	24,810	49,620	1,537	82,646
울산	13	15	27	5,280	10,560	394	13,730
부산	21	29	51	10,530	21,060	830	37,380
제주	22	22	25	4,620	9,240	337	20,250
전국 총 계	730	907	1,287	256,600	513,200	20,290	828,592

※출처 : 한국레미콘공업협회/전국 레미콘 업체 총괄 현황(2010년 12월)

산출 내역	골재 표면수율 자동화 측정 시스템 : 10,000천원 회수수 품질관리 자동화 시스템 : 10,000천원 레미콘 단위수량 측정시스템 : 10,000천원 통합 관리 자동화 연동 시스템 : 15,000천원 합계 = 45,000천원 - 레미콘 공장수 907개× 45,000천원(1set) =40,815,000천원 - 유지관리비용: 40,815,000천원× 5%=2,040,750천원
비 고	- 전국 레미콘 공장수 : 907개 - 2012년 상용화를 예상하였을 경우, 자동화 시스템 관련 시장점유율이 점차 상승할 것으로 예상

나. 국내 주요 관련 업체

본 연구개발과 관련된 레미콘 품질관리 자동화 시스템 개발 업체는 표 2.1.5와 같다.

표 2.1.5 국내 주요 관련 업체

업체명	업체별 능력	비 고
(주)대운계기산업	- 레미콘의 초기 품질측정화 기술 - 수질의 농도 측정화 기술 - 시료의 수분량 측정 기술 - 광학센서 개발기술 - 수질의 유기물량 측정기술 - 잔류염소량 측정기술 - 특허등록 12건, 특허출원 14건 - 수질 및 건설품질관리 원천기술확보	건설관련장비 수질관련장비

본 연구개발과 관련된 수요업체는 전국의 레미콘 제조·생산업체(업체 수: 730개, 공장 수: 907개)가 해당되며, 이 중 주요 업체(서울기준)는 표 2.1.6에 나타난 바와 같다.

표 2.1.6 국내 주요 관련 업체(서울기준)

업체명	업체별 능력	비 고
유진기업 (주)	레미콘 생산능력(570m ³ /hr)	주력상품 : 레미콘
(주)삼표	레미콘 생산능력(970m ³ /hr)	주력상품 : 레미콘
렉스콘	레미콘 생산능력(420m ³ /hr)	주력상품 : 레미콘
한일시멘트(주)	레미콘 생산능력(570m ³ /hr)	주력상품 : 레미콘
천마콘크리트공업(주)	레미콘 생산능력(570m ³ /hr)	주력상품 : 레미콘
아주산업(주)	레미콘 생산능력(630m ³ /hr)	주력상품 : 레미콘

다. 국내 전문가 및 연구기관 현황

본 연구와 관련하여 국내 전문가는 레미콘의 생산·품질관리·평가기술 및 콘크리트 공학 분야 전문가와 레미콘 관련 품질관리 자동화 장비 개발 관련 전문가가 있으며 대표적인 전문가는 표 2.1.7에 나타난 바와 같음.

표 2.1.7 국내 전문가 및 연구기관 현황

항 목	전문가	소속기관	기술개발현황	수준 (국외대비)
레미콘의 생산· 품질관리 및 평가기술 의 선진화	우영제	한국 건설생활 환경시험 연구원	- 각종 레미콘의 배합 및 공학적 특성 - 레미콘의 정량적 품질평가 기술 - 레미콘 생산기술의 선진화 - 센서의 전기신호에 따른 검량선 추정기술 - 시료의 수분량 측정기술	90%
레미콘 관련 품질관리 자동화시 스템	서인호	대운 계기산업	- 레미콘의 초기 품질측정화 기술 - 수질의 농도 측정화 기술 - 시료의 수분량 측정 기술 - 광학센서 개발기술 - 수질의 유기물량 측정기술 - 잔류염소량 측정기술	90%

라. 국내 연구 인프라 수준

국내 레미콘의 품질관리는 국토해양부의 건설기술관리법(레미콘·아스콘품질관리지침, 레미콘 현장배치플랜트 설치 및 관리에 관한 지침), 지식경제부의 KS F 4009, 환경부의 수질환경보전법 시행규칙 등을 국가적 차원에서 규정함으로서 레미콘 품질관리 확보를 위한 친환경적 품질관리의 선진화에 박차를 가하고 있음.

그러나 상기와 같이 레미콘 품질관리를 위해 표준화된 시험방법 및 품질관리 방안 등이 지침 및 KS 규정(소프트웨어)을 통해 시행되고 있지만, 품질관리 자동화 시스템에 대한 기반시설(하드웨어)에 관한 기술개발 연구 및 인프라가 전혀 구축되지 못한 상황에서 비균형적인 인프라 수준에 머물고 있음.

레미콘 품질을 위한 규제(소프트웨어)인프라만 있고 품질관리 자동화 시스템(하드웨어) 인프라의 지원 없이 국가 정책적으로 밀어붙이기식 품질관리의 요구로 최근의 레미콘 사태의 레미콘 기록지의 이중관리, 혼화재료의 무분별한 사용, 적절치 못한 품질관리 실태 등 다시 한 번 한국레미콘산업의 현 상황을 되돌아보아야 할 시점으로 소프트웨어(정책, 지침 및 규정)적으로 하드웨어(품질관리장비)적으로 균형적인 인프라 구축으로 레미콘업체에서 충분히 품질관리를 할 수 있는 여건의 조성이 절실함.

분야별 특성에 따라 국내 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 기술의 인프라 수준을 분석하면 다음 표 2.1.8과 같은 전반적으로 선진국 대비 열악한 수준을 보임.

표 2.1.8 선진국 대비 인프라 수준

분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템	1) 산업기술인력양성	○				
	2) 구성제품 생산 기반시설	○				
	3) 고품질 제품 제조 핵심기술	○				
	4) 평가기반시설 구축	○				
	5) 산학연공동연구기반구축		○			
	6) 신뢰성 평가기반	○				
	7) 표준화 기반		○			
	8) 국제기술협력기반	○				

마. 국내 기술개발 수준

국가적 차원에서 불량레미콘 납품 근절하고 품질관리 효율 증대를 위해 2009년 3월 국무총리실이 주관하고 관계부처 및 전문가로 구성된 주요 국정사업 건설공사 안전관리 개선 T/F를 조직하여 운영하고 있을 뿐만 아니라, 지식경제부 기술표준원과 국토해양부에서는 레미콘의 품질관리 강화에 초점을 맞춰 KS F 4009, 레미콘/아스콘 관리지침을 개정하는 등 레미콘의 고품질화를 위한 품질관리에 중점을 두고 정책적으로 움직이고 있음.

그러나 아직까지 레미콘 생산 품질관리 자동화를 위한 국내 품질관리 관련 장비가 개발되어있지 못하고 관련 기술조차도 연구되어지지 않은 상황에서, 장비들이 모두 외산으로 1억원 상당의 예산이 필요한 관계로 국내 레미콘 업체들이 장비 구축에 어려움이 존재.

표 2.1.9 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 관련 논문

논문명	저자	저널명	년도
콘크리트 내 수량증감에 의한 내구 품질 변동에 관한 연구	우영제, 류화성, 정상화, 권기준	한국방재학회	2007
규정 이상의 회수수를 사용한 콘크리트의 내구성 및 강도 특성	양은익, 박진호, 김강래, 조규재	한국콘크리트학회	2006
레미콘 회수수의 재활용을 위한 지연형 안정화제의 특성	이문환, 이세현, 박영신, 박재명	한국콘크리트학회	2005
굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 기술 개발 및 활용 현황	김용로, 장양희, 최일호, 김효락, 이도범	한국콘크리트학회	2005
고주파 가열건조법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정에 관한 연구	한천구, 전충근, 김광서, 김영득	대한건축학회	2004
레미콘 회수수의 이용현황 및 안정화 재활용 방안	이문화, 송태협, 이세현	한국레미콘공업협회	2004
단위수량 변화에 따른 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구	김기정, 양경석, 심영태, 정용희, 한천구	한국콘크리트학회	2003
잔골재의 표면수율 보정오차에 따른 고강도콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구	강석표, 장종, 박용묵, 이승훈, 유재, 김무한	한국콘크리트학회	2000
레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 실험적 연구	김기철, 이상육, 윤기원, 한천구, 반호용	대한건축학회 학술발표대회	1993
Remicon 공장 회수수의 재활용	노재호, 이한봉	한국레미콘공업협회	1990
레미콘 회수수이용에 대한 고찰	송철영	한국레미콘공업협회	1987

본 과제와 관련한 논문조사에서도 장비와 관련한 논문은 “고주파 가열건조법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정에 관한 연구, 대한건축학회, 한천구 외 3인”의 1편만이 존재하며, 이 또한 장비의 개발이 아닌 기존 장비(전자레인지, 마이크로웨이브)를 이용하여 단위수량을 측정하는 시험방법에 대하여 평가하고 있음.

기타 조사된 다른 논문들도 단위수량 변동에 따른 콘크리트의 내구성능의 변화, 회수수 고품분율에 따른 콘크리트의 성능 평가, 지연형 안정제를 이용한 회수수의 재활용, 잔골재 표면수율 보정오차에 따른 콘크리트의 역학적 특성 평가 등 품질관리 장비와는 상관없는 콘크리트의 물리적, 내구적 특성에 초점을 맞추어 연구한 논문임.

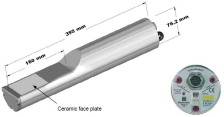
2. 국외 기술 및 산업 동향

가. 국내 시장 현황 및 예측

레미콘 공장에서 사용되는 기술 중 대표적으로 잔골재의 표면수율 측정기기, 단위수량 측정기기, 회수수 설비는 아직까지 일본, 미국 및 유럽에서 수입 하고 있는 실정임.

외국의 경우 레미콘의 굳지 않은 콘크리트의 품질 확보를 위한 잔골재의 표면수율 측정시 영국 Hydronix사의 Hydro-Com, 독일 Liebherr사의 Litronic-FMS II를 주로 사용하여 정량화된 품질관리를 하고 있음.

표 2.1.10 굳지 않은 콘크리트의 골재 표면수율 측정방법

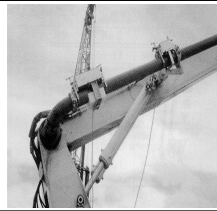
시 험 방 법	측 정 원 리	측 정 장 비	개발자	시료	시료량
조정밀 마이크로웨이브 디지털방식	마이크로웨이브식 센서를 사용하여 각 배치의 수분치를 측정		Hydronix (영국)	잔골재	제한 없음
Dielectric 고주파 방식	고주파를 이용한 콘크리트 내 수분 자동 측정		LIEBHERR (독일)	잔골재	제한 없음

레미콘 단위수량 측정의 경우 현재 활용도가 높은 측정방법은 에어메타법, 정전용량법 등이 현장 사용성이 용이하고, 측정시간이 짧으며, 정밀도가 다른 측정기기에 비해 높아 선호됨. 고주파가열법의 경우에는 측정시간이 최소 25분이 소요됨에 따라 현장 적용성이 떨어지며, 중성자법의 경우에는 실시간으로 레미콘의 단위수량의 측정이 가능하나 수억원대의 장비로 특수한 경우를 제외하고는 사용하지 않고 있는 실정임.

표 2.1.11 레미콘 단위수량 측정방법 사용 현황(국외)

구 분		레미콘 단위수량 측정방법			
		에어메타법	정전용량법	고주파가열법	중성자법
미국	ASTM WK2423			○	
	AASHTO			○	
	FHWA				○
일본	국토교통성	○	○	○	
	동일본여객철도		○		
	오사카시주택국	○			
	다케나카공무점			○	
	다이세이건설	○			
	후쿠오카고속철도	○			

표 2.1.12 굳지 않은 콘크리트의 각종 단위수량 측정방법

시 험 방 법		측 정 원 리	측 정 장 비	개발자	시료	시료량
가 열 건조 법	건조로법	전용 건조로에 의해 콘크리트를 가열 건조하고, 증발량으로부터 단위수량을 추정		豊福 / 土木 研究所 등	콘크 리트	2 kg
	감압 건조로법	단위수량 추정원리는 건조로법과 동일하지만, 물은 감압건조 시 약 50℃에서 증발하는 원리를 이용하여 저온에서 콘크리트 시료 건조		大林組	모르 타르	400g
	고주파 가열법	건조로법과 원리는 동일하며, 전자레인지를 이용하여 콘크리트를 가열 건조시킴		竹中工 務店/ 全生連 등	모르 타르	400g
단위 용적 질량 법	에 어 메터법 (간이법)	단위수량이 증가하면 콘크리트의 단위용적질량이 감소한다는 성질을 이용하여 단위용적질량의 차이에 의해 단위수량을 추정		土木 研究所	콘크 리트	7 ℓ
	에 어 메터법 (정밀법)	간이법과 원리는 동일하지만, 전용기계를 사용하여 공기량 및 질량 측정의 정밀도를 높임		MARUI	콘크 리트	6 ℓ
	수 중 질량법	콘크리트의 기중질량과 수중질량 및 재료의 밀도로부터 콘크리트 용적을 구하고 단위수량을 측정함		大成 建設	콘크 리트	2kg
R I 법 (Radioisotope)		콘크리트 내 수소원자와 중성자의 충돌에 의해 감쇄하는 중성자의 비율로부터 단위수량을 추정		竹中 工務店 등	콘크 리트	제한 없음

정전용량법	물질의 유전율이 수분량에 따라 변화하는 것을 응용하여, 모르타르 중의 정전용량과 수분율의 관계식에 의해 단위수량 추정		KETT 科學	모르타르	330 cc
염분농도차법	균지 않은 콘크리트에 식염수를 첨가·혼합하여 식염수 첨가전과 후의 염분농도를 측정함으로써 단위수량 추정		中研 건설 턴트	콘크리트	2ℓ
마이크로파법	균지 않은 콘크리트에 마이크로파를 투과시킨 후, 물 분자에 의해 흡수되어 마이크로파가 감쇄되는 원리를 이용하여 단위수량을 추정		가와 사키 機工	콘크리트	7ℓ

초음파 측정 센서 자동 세척시스템을 갖추고 실시간으로 회수수의 고형분율을 정량적으로 측정하는 회수수 품질관리 자동화 시스템은 아직까지 외국에서도 생산되고 있지 않은 장비임. 다만 국외의 경우에는 회수수 전용 센서가 아닌 일반 수질의 농도측정기를 사용하여 품질관리 하고 있는 실정임.

일반 수질의 농도측정기는 근적외선식, 가압소포식, 초음파식으로 유체관로에 직접 설치하여 적외선 및 고주파를 인가하여 시료의 농도(% , mg/L)를 측정하는 장비로 미국과 일본의 제품이 주로 사용되고 있으며 현황은 다음과 같음.

표 2.1.13 일반 수질관리 농도 측정기 현황

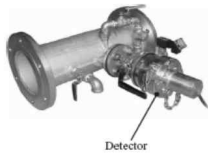
시험방법	측정 원리	측정 장비	제작사	설치 유형
근적외선식	관로에 별도의 이중관로를 설치하고 유체가 이동할 때 근접하여 설치된 적외선에 의한 측정법(적외선파장:880nm)		JFE TECH (미국)	유체관로형
가압소포식	흐르는 유체를 일정량 채취하여 10~20bar의 압력을 가하여 시료에 포함된 기포와 물을 50% 제거한 후 고주파를 인가하여 시료의 농도를 측정		MARADA (일본)	유체관로형
초음파식	관로에 수신, 발신의 초음파 센서를 설치하여 흐르는 유체에 초음파를 방사한다. 유체에 포함된 부유물의 함유량에 따라 수신부에 도달하는 초음파의 세기를 농도값으로 환산 측정		MOBREY (영국)	유체관로형

표 2.1.14 유럽 및 각국의 레미콘 업체 현황(2010년)

국가명	플랜트(개)	국가명	플랜트(개)	국가명	플랜트(개)
오스트리아	221	그리스	45	포르투갈	198
벨기에	135	아일랜드	150	슬로바키아	93
체코	290	이탈리아	734	스페인	1,642
덴마크	80	네덜란드	112	스웨덴	158
핀란드	130	폴란드	209	영국	870
프랑스	1,331	스위스	371	이스라엘	104
독일	1,261	터키	343	노르웨이	164
러시아	120	미국	4,000	일본	2,906

※ 자료: ERMCO(European Ready Mixed Concrete Organization)

세계건설시장에서 해외건설 수주실적은 매년 최고 수준을 기록하고 있으며 이중 토목/건설시장의 수주비중은 435억불(2008년 10월, ENR)이지만, 시공기술력은 선진국 대비 81%수준으로(국토해양부) 현장에서 레미콘 및 품질관리 시스템을 위한 통합 관리 자동화 연동 시스템 개발로 세계 건설 시장에서 레미콘 품질 기술 및 설비 매출이 발생할 것으로 예상됨.

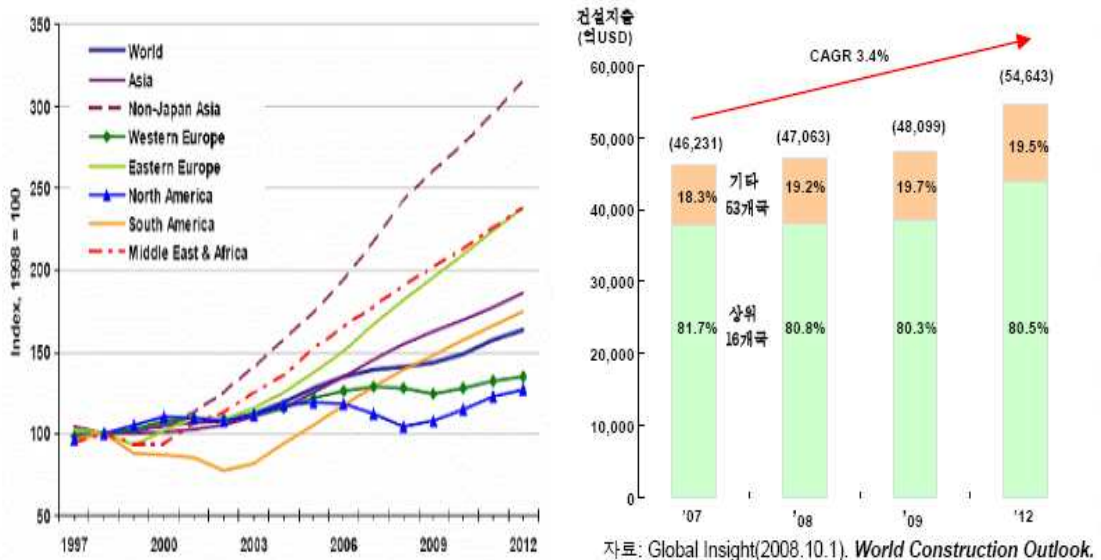


그림 2.1.1 세계건설시장 전망

현재 레미콘 수량을 관리하는 시스템이 활성화되어 있는 시장은 미국과 일본을 들 수 있으며, 최근 들어 홍콩과 말레이시아에서도 일본에 레미콘 단위수량 측정장치에 대한 견적 의뢰 등 관련 장비에 대한 관심을 보이고 있는 실정이며, 레미콘 단위수량 측정장치와 관련된 국외 시장 규모를 국내시장 규모의 17배 이상인 7,050억에 달할 것으로 추정됨.

산출 내역	골재 표면수율 자동화 측정 시스템	:	10,000천원
	회수수 품질관리 자동화 시스템	:	10,000천원
	레미콘 단위수량 측정 시스템	:	10,000천원
	통합 관리 자동화 연동 시스템	:	15,000천원
	합계	=	45,000천원
비고	-레미콘 공장수 15,667개×45,000천원(1set) = 705,015,000천원		
	-유지관리비용: 705,015,000천원×5%=35,250,750천원		
비고	-한국을 제외한 세계 레미콘 공장수가 15,667개로 한국 레미콘 배치플랜트수(907개)의 약 17배에 달함.		

나. 개발된 기술의 해외 시장 진출 방안

우리나라보다 상대적으로 기술력이 낮고, 건설 시장이 급속히 증가될 것으로, 예상되는 중국, 베트남, 러시아 등의 신흥시장으로 제품의 직접 판매 또는 업무제휴, 기술이전 등의 방법을 통해 해외 시장을 개척하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 국내보다 기술적으로 발전된 일본, 유럽, 북미 등의 진출을 위해서는 장기간에 걸쳐 저비용, 고품질 등의 전략적 방안을 마련하여 진출 기회 확대.

특히 시방배합의 현장배합으로 변경 시, 요구되는 잔골재 표면수율, 회수수 고형분, 단위수량의 측정결과 등을 종합적으로 통보함으로서 고형분을 자동조절, 표면수에 따른 배합비 보정, 단위수량에 따른 배합비 보정 등 측정결과를 통합적으로 관리하는 통합 품질관리 자동화시스템의 경우 아직까지 해외 선진국에서도 보급화 되어 있지 않은 기술로 현지 시장의 환경 분석 및 품질관리 기준에 부합하는 기술 개발을 통해 기술제휴 및 현지생산방식 등의 재산권 수입을 통해 수혜 확대가 기대됨.

3. 특허 동향

레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템과 관련된 특허는 표 2.15와 같이 총 6개의 특허가 존재하며, 그 중 3개의 특허(특허 10-0868032, 특허 10-0872168, 특허 10-0909706)를 본 과제의 연구제안 기관인 한국건설생활환경시험연구원과 대윤계기산업이 보유하고 있음.

특허 10-0646394, 특허 10-0486460의 경우에는 회수수 슬러지를 cake화를 통한 안정화 및 재이용 기술로 본 과제와는 차별화된 기술임.

특허 10-0866855는 골재 및 물의 질량을 정확히 계측할 수 있는 콘크리트 재료 계량장치 기술로 본 과제와는 차별화된 기술임.

레미콘 생산 통합형 품질관리 자동화 시스템 개발에 필요한 잔골재의 표면수율 측정, 레미콘 회수수 관리, 레미콘 단위수량 측정 관련 국내 특허 보유 현황은 아래 표 2.1.15와 같음.

표 2.1.15 레미콘 단위수량 측정관련 국내 특허 보유 현황

특허 등록 번호	발명의 명칭	출원인	발명 상태
10-0868032	시료의 수분량 측정 장치	한국건설생활환경 시험연구원	등록
10-0866855	콘크리트 재료 계량 장치	가부시키키가이샤 오바야시	등록
10-0872168	정전용량 방식을 이용한 휴대용 단위수량측정기	한국건설생활환경 시험연구원	등록
10-0909706	콘크리트 단위수량 측정기 및 측정방법	대윤계기산업(주)	등록
10-0646394	설탕에 의한 레미콘 회수수의 안정화 처리방법	한천구	등록
10-0486460	회수수 안정화 및 재이용 시스템과 그 방법	한라콘크리트(주)	등록

가. 주관기관 및 공동기관 주요 특허출원 및 등록 실적

(1) 주관기관

- 정전용량 방식을 이용한 휴대용 단위수량 측정기, 10-0872168-0000 (2008.11.28) 등록
- 시료의 수분량 측정장치, 10-0868032-0000 (2008.11.13) 등록
- 분쇄시료 채취장치, 10-2007-0040949 (2007.04.26) 출원
- 콘크리트 응결시간 자동측정장치, 10-2007-0078500 (2007.08.06) 출원
- 콘크리트 시편의 진공포화장치, 10-2008-0066498 (2008.07.09) 출원
- 콘크리트응결시간 자동측정장치 제어시스템, 10-0885801-0000 (2009.02.19) 등록
- 염도계, 10-0928040-0000 (2009.11.16) 등록

(2) 공동기관

- 수소이온 선택성 전극막 및 그 제조 방법, 10-2005-0005061 (2005.01.19) 등록
- 콘크리트 공기량 측정장치 및 그 방법, 10-2005-0069555 (2005.07.29) 등록
- 전기화학적 바이오센서를 이용한 과일 또는 과일음료의 당도측정시스템, 10-2006-0014340 (2006.02.14) 등록
- 실시간 pH 연속측정시스템 및 그 방법, 10-2006-0029173 (2006.03.30) 등록
- 검출기 30-2006-0018288 (2006.05.17) 심사 중
- 온라인 부유물질 농도 측정센서장치, 10-2006-0044317 (2006.05.17) 등록
- 온라인 탁도 측정시스템, 10-2006-0047640 (2006.05.26) 등록
- 통합형 수질측정기 및 그 측정방법, 10-2006-0105721 (2006.10.30) 등록
- 콘크리트 공기량측정기, 10-2006-0110094 (2006.11.08) 등록
- 초음파 농도계, 10-2006-0112336 (2006.11.14) 등록
- 침적형 용존센서 측정계의 센서세정기, 10-2006-0116669 (2006.11.24) 등록
- 샘플링 방식의 잔류 염소량 측정기, 10-2006-0116670 (2006.11.24) 등록
- 염분측정기, 10-2007-0074737 (2007.07.25) 출원
- 콘크리트 단위수량 측정기 및 측정방법, 10-2007-0074742 (2007.07.25) 출원
- 유통형 방식의 잔류염소량 측정기, 10-2007-0077852 (2007.08.02) 등록
- 온라인 탁도 측정기, 10-2007-0096718 (2007.09.21) 출원
- 온라인 부유물질 측정기, 10-2008-0025425 (2008.03.19) 출원
- 정전용량 방식을 이용한 휴대용 단위수량 측정기, 10-2008-0006306 (2008.01.21) 출원
- 이동성 및 방진성이 향상된 탁상용 진동 다짐기, 10-2008-0025422 (2008.03.19) 출원
- 친환경 연료 활성화 장치, 10-2008-0057399 (2008.06.18) 출원
- 콘크리트 단위수량계 및 그 수분 건조방법, 10-2008-0089351 (2008.09.10) 출원
- 염도계, 10-2008-101739 (2008.10.16) 출원
- 콘크리트 회수수에 사용되는 슬러지수 농도 측정기, 10-2008-101741 (2008.10.16) 출원

- 부유물질 농도계, 10-2008-101744 (2008.10.16) 출원
- 단위수량 측정장치 및 측정방법, 10-2008-109503 (2008.11.05) 출원
- 수소이온 선택성 전극막 및 그 제조 방법, 10-2005-0005061 (2005.01.19) 등록
- 염도계, 10-2009-0051117 (2009.06.09) 출원
- 포켓용 짠맛센서, 10-2009-0066472 (2009.07.01) 출원
- 디지털온습도계, 10-2009-072018 (2009.08.05) 출원
- 시료의 수분량 측정장치, 10-2007-0039349 (2007.04.23) 등록
- 카드형 염도계, 10-2010-0005272 (2010.01.20) 출원
- 발전용수 수질측정의 제어 및 감시용 컨트롤러를 이용한 통합형 수질측정 시스템, 10-2010-0005276 (2010.01.20) 출원
- 카드형 멀티측정기, 10-2010-0023341 (2010.03.16) 등록
- 다목적 멀티 수질측정 시스템, 10-2010-0098195 (2010.10.08) 등록
- 이온선택성전극을 이용한 염화이온 측정시스템 및 측정장치, 10-2010-0126170 (2010.12.10) 출원
- 마이크로파를 이용한 수분측정시스템, 10-2011-0003622 (2011.01.13) 출원

4. 정부지원정책 현황

가. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

레미콘과 관련된 법령으로는 국토해양부의 건설기술관리법, 지식경제부의 KS F 4009, 환경부의 수질환경보전법 시행규칙 등을 대표적으로 들 수 있으며, 관련 부처로는 국토해양부 기술정책과, 건설기재과, 지식경제부의 요업과, 국립기술표준원의 전자재료표준과, 환경부의 수질정책과 등을 들 수 있음.

건설기술관리법에서는 “레미콘·아스콘품질관리지침”을 제정하여 현장 반입전 품질관리 사항과 현장 반입후 품질관리 사항, 그리고 불량레미콘의 처리 등에 관하여 규정함과 동시에 「건설기술관리법」 제24조의2에 따라 건설공사에 사용되는 레디믹스트 콘크리트(이하 “레미콘”이라 한다)를 적기에 생산·공급할 수 있도록 현장배치플랜트를 설치 및 관리하는데 있어 건설공사를 수행하는 건설업자(이하 “시공자”라 한다) 및 레미콘전문제조업자가 준수하여야 할 사항을 “레미콘 현장배치플랜트 설치 및 관리에 관한 지침”을 통해 규정하고 있음.

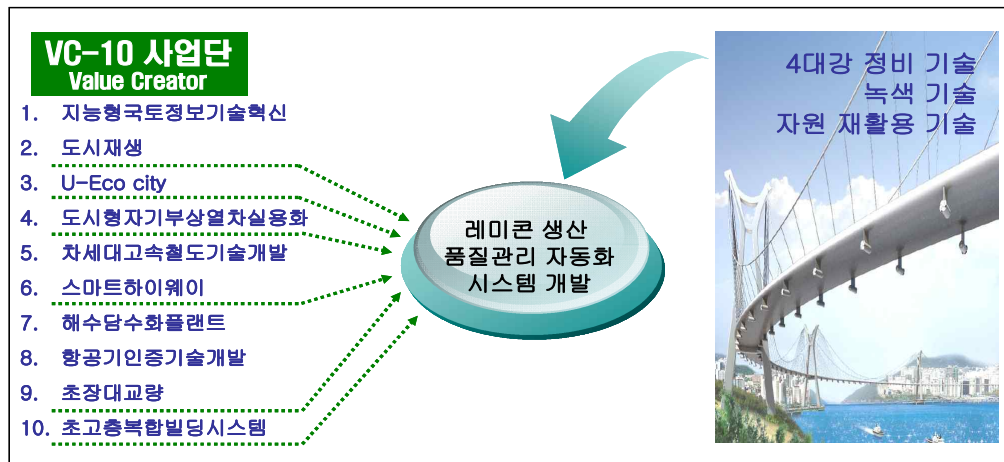
레디믹스트 콘크리트 한국산업표준인 “KS F 4009”에서는 레미콘의 생산규격과 원재료 관리, 시험방법 등에 대하여 폭넓은 기준을 마련하고 있음.

환경부에서는 국토의 수질오염 방지를 위해 수질환경보전법 시행규칙을 제정, 공포함으로써 레미콘 공장에서 발생하는 세척 폐수는 레미콘 제조 시 혼합수 및 세척용수로서 100% 전량 활용하도록 법제화 되어 있다.

가. 정부지원 정책사업 종류와 현황

미래가치 창출이 가능한 10대 과제(VC-10)중 초고층복합빌딩시스템, 초장대교량, 스마트하이웨이, 도시형자기부상열차실용화, 도시재생, U-Eco city 등의 사업에 적용되고, 4대강 정비사업, 녹색성장 및 자원 재활용 기술 등을 융합에 필요한 신뢰성과 내구성을 확보한 고성능 레미콘의 성능평가형 품질관리를 “레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 개발”을 통해 실현 가능함.

국가기반 사업 및 인프라 구축을 위한 중추적 역할을 수행하는 레미콘의 친환경, 저탄소, 녹색성장의 시대적 역할에 부응하고, 환경부하를 저감시키는 안정적 레미콘 생산 품질관리 시스템 구축이 절실함.



그리고 레미콘은 반제품으로 분류되어 콘크리트 구조물이 완성된 후 건설하자가 발생되었을 경우 책임 구분으로 대부분의 경우 생산자 측의 책임으로 결정되는 경우가 대부분임. 따라서 레미콘 품질에 대한 사회적인 불신해소 및 품질관리 개선에 대한 정부정책에 기반을 둔 장기적인 대책 마련이 필요한 실정임.

표 2.1.16 주요 공공기관의 2009년 투자계획

	공공기관	총투자액(원)	주요 투자 사업
SOC 분야	한국수자원공사	1조 6,910억	경인운하 조기 착공
	대한주택공사	15조 8,112억	보금자리주택 12만 채 건설
	한국토지공사	12조 6,996억	250만㎡ 규모의 임대산업단지 공급
	코레일	1조 1,450억	전기차량 구입 및 환승시설 개량
	한국철도시설공단	6조 987억	경부고속철도 대전 및 대구 도심 구간 착공
	한국도로공사	2조 7,961억	대전-당진 94km 도로 내년 상반기 조기 개통
	인천국제공항공사	1,571억	자기부상열차 시범사업 실시
	소계	40.4조원(전년대비 6조원 증액)	

※ 자료: CERIK, 2009년 4월

국내 건설수주는 2009년 녹색뉴딜사업, 경인운하, 4대강 정비사업 등을 비롯한 정부 및 공공기관의 SOC 투자 급증과 행복/혁신도시와 뉴타운 공공 주택공급으로 116.8조 원(경상금액 기준)의 투자가 진행 중임.

표 2.1.17 녹색뉴딜 정책 중 건설 사업과 관련된 투자계획

사업명 (단위:억원)	투자 구분	투자 합계	2009년 투자	2010년 투자	2011년 투자	2012년 투자
녹색뉴딜사업 전체	국비	375,411	40,677	104,285	128,673	101,776
	지방비	52,724	8,402	16,400	17,257	10,665
	민자	72,357	13,360	21,671	21,471	15,855
	소계	500,492	62,439	142,356	167,401	128,296
건설관련	국비	292,393	28,220	84,804	104,369	75,000
	지방비	40,683	5,471	13,141	14,334	7,737
	민자	70,368	13,161	21,273	20,874	15,060
	소계	403,444	46,852	119,218	139,577	97,797
	4대강 살리기	국비	142,334	9,791	56,616	57,681
		지방비	21,140	2,253	7,814	8,322
		민자	16,443	-	7,721	7,722
		소계	179,917	12,044	72,151	73,725
	녹색 교통망 구축	국비	50,994	7,407	10,317	15,043
		지방비	6,519	1,508	1,729	1,846
		민자	53,925	13,161	13,552	13,152
		소계	111,438	22,076	25,598	30,041
	대체 수자원 확보 및 친환경 중소댐 건설	국비	8,557	2,169	2,513	2,672
		지방비	864	216	216	216
		민자	-	-	-	-
		소계	9,421	2,385	2,729	2,888
	자원 재활용 확대	국비	7,300	428	2,187	2,646
		지방비	7,300	428	2,187	2,646
		민자	-	-	-	-
		소계	14,600	856	4,374	5,292
	산림 바이오매스 이용 확대	국비	850	95	196	269
		지방비	-	-	-	-
		민자	-	-	-	-
		소계	850	95	196	269
	에너지 절약형 그린 홈 건설 공급	국비	80,580	8,020	12,520	25,520
		지방비	-	-	-	-
		민자	-	-	-	-
		소계	80,580	8,020	12,520	25,520
	쾌적한 녹색 생활공간 조성	국비	1,778	310	455	538
		지방비	4,860	1,066	1,195	1,304
		민자	-	-	-	-
		소계	6,638	1,376	1,650	1,842

※ 자료: 기획재정부, 2009년 4월

국토해양부에서는 국가경제 중추 산업으로 재도약 위해 건설 산업 전반에 대한 대대적 혁신의 필요성을 인식하고 건설 산업의 미래비전·목표를 제시하고, 이를 달성하기 위한 4개 분야 10대 핵심 추진과제를 도출하였으며, 10대 핵심추진과제 중 건설 기술개발(R&D) 투자확대, 중소건설업체 육성·지원 등의 2대 핵심 추진과제에서 고품질의 레미콘 품질관리 확보 및 레미콘 산업 전반의 경쟁력 강화를 기대.



그림 2.1.2 건설 산업 선진화 전략 체계도

현재 국가정책으로 시행되고 있지는 않으나, 국토해양부에서는 현행 KS제도가 레미콘 품질의 하향평준화를 가속화시킨다는 판단 아래, 레미콘 품질 향상 및 레미콘공장 설비의 고도화를 위하여 ‘레미콘 공장 등급제’, 레미콘의 품질확보 및 안정적인 공급을 기하면서 토지의 효율적인 이용을 도모하고, 공해나 경관 등에 따른 민원을 해소하기 위해서 도심 내에 지하형 레미콘 공장 허용 및 레미콘 믹서트럭의 버스전용차선내 운행건 등이 제안되어 검토하고 있음.

최근 환경문제 등으로 인하여 도심에 위치한 레미콘공장이 지속적으로 교외로 이전되고 있어 운반시간(delivery time)의 증가로 인한 레미콘의 품질 저하가 우려되고 있는 현상에 대응

운반시간 증가에 따른 부실 공사를 방지하기 위해서는 레미콘믹서트럭의 버스전용차선내 운행을 허용하는 것이 필요

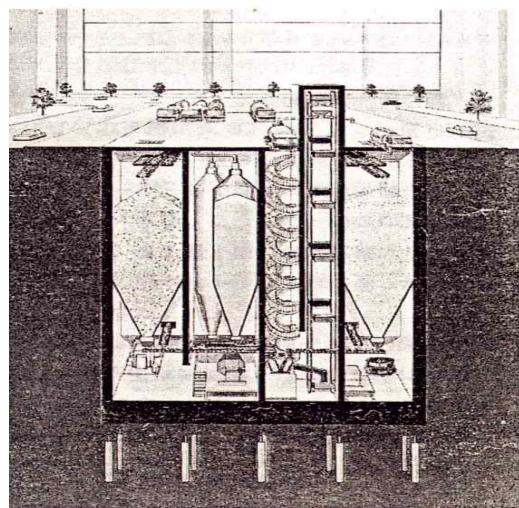


그림 2.1.3 지하형 레미콘공장의 개념도

5. 종합 결론

가. SWOT분석

강점	· 불량레미콘 저감을 통한 환경 부하 저감 (143,411t의 이산화탄소 저감효과) · 산업폐기물 재활용으로 환경성, 경제성 확보 · 고품질의 레미콘 제조기반 확립 · 자동화를 통한 시험 및 품질관리비 절감 · 건설 인프라의 수명 연장 · 319억원 규모의 생산성 향상 · 레미콘 생산 품질관리 자동화 시장 창출 (국내:408억원, 세계:7,050억원)	약점	· 선행 연구 자료의 미비 · 개발제품 적용에 따른 비용 발생 · 실질적 적용성 확대를 위한 정책 및 세제 지원 필요
기회요인	· 레미콘 품질관리에 대한 의식 증대 · 정부의 레미콘 관련 정책 강화 · 국가건설기술 정책상 고품질의 레미콘 요구 증가 · 기술의 검증 및 실용화 연구 미비 · 사회적/기술적 중요도에 따라 요구발생 · 개발 성공 시 해외 신흥시장 진출 가능	위협요인	· 장비구축을 위한 지원 정책의 미비 · 건설 산업 특성상 기존 관습 탈피 어려움 · 건설업 종사자의 지속적 품질관리 교육 인식 부족

나. 시사점 및 결론

2010년도 출하실적이 6조4천억원에 달하며 국가기반건설의 주축이 되는 레미콘의 품질관리가 그동안 합리적, 정량적, 효율적으로 관리되지 않으면서도 주택건설 및 SOC 건설에 사용되어진 점은 단순히 불량레미콘의 양상이라는 측면을 넘어 국민의 안전과도 직결되는 아주 중요한 문제임.

최근 레미콘 기록지의 이중관리, 혼화재료의 무분별한 사용, 적절치 못한 품질관리 실태 등이 결말 됨에 따라 다시 한 번 한국레미콘산업의 현 상황을 되돌아보아야 할 시점이라 할 수 있으며 소프트웨어(정책, 지침 및 규정)적으로 하드웨어(품질관리장비)적으로 레미콘업체에서 충분히 품질관리를 할 수 있는 여건의 조성이 절실함.

또한 레미콘 관련 규정 및 지침의 2중 관리(KS F 4009(지정부), 레미콘아스콘품질 관리지침(국토부))로 인한 업체의 혼돈방지를 위해 동일 기준의 적용이 필요함(동일하지 않은 기준 제시로 생산성 저하 및 혼란을 야기)

최근 국가적 차원에서 불량레미콘 납품 근절을 위해 2009년 3월 국무총리실이 주관하고 관계부처 및 전문가로 구성된 주요 국책사업 건설공사 안전관리 개선 T/F를 조직하여 운영하고 있을 뿐만 아니라, 지식경제부 기술표준원과 국토해양부에서는 레미

콘의 품질관리 강화에 초점을 맞춰 KS F 4009, 레미콘/아스콘 관리지침을 개정 중에 있는 등 소프트웨어적인 부분에 대해 강화하고 있는 반면, 레미콘 품질관리 관련 장비들이 모두 외산으로 하드웨어적으로 지원되지 못하고 있는 실정임.

이에 본 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템(회수수 고형분 측정 자동화 시스템, 단위수량 측정시스템, 잔골재 표면수율 측정 자동화) 개발을 통해 하드웨어적 지원을 강화하고 레미콘의 친환경, 저탄소, 녹색성장의 시대적 역할에 부응하며, 국가적으로 교토의정서에 대응함으로서 향후 탄소 배출권 시장에서도 활용할 수 있는 합리적, 효율적, 정량적, 환경부하저감형 레미콘 생산 기술의 진보가 예상된다.

제 3장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 국내 레미콘 자동화시스템 관련 현장조사

1. 회수수 관리 현황

국내 대형 레미콘 및 중소형 레미콘 업체를 방문하여 회수수의 관리 및 활용현황을 조사하였으며, 레미콘 업체의 규모에 따라 큰 차이를 나타내고 있으나 일반적인 사항은 다음과 같다.

- (1) 회수수의 고형분율 측정은 교반조의 상단부에서 측정하며 특정 배합(고 고형분율)이 아닐 경우 대부분 3% 이내로 사용하고 있음.
- (2) 레미콘 업계에서는 회수수 고형분율을 표기하지 않고, 청수와 혼합한 회수수 사용량(ex. 청수 70% + 회수수 30%)을 표기하고 있어 고형분율의 개념이 크게 자리 잡고 있지 않음.
- (3) 산업체에서는 회수수에 대한 1일 변동량 조사 이력이 없으며, 회수수의 필터페이스는 있으나 활용이 안됨.
- (4) 변동량은 현장의 생산량, 저장탱크 용량에 따라 다르며, 회수수 자동계측 시스템의 설치 시 공간 확보 및 비용 등으로 인해 설치에 어려움 발생.
- (5) 회수수 고형분율의 실시간 모니터링이 필요하며 KS 표준에서 회수수 고형분율을 표기하도록 명시되는 것이 필요함.

그림 3.1.1은 레미콘 공장의 회수수 처리시설로서 구조 및 처리사양이 업체마다 매우 상이하여 향후 처리 시스템의 표준화 및 관리 매뉴얼의 확보가 필요하다.



그림 3.1.1 레미콘 공장의 회수수 처리 시설

2. 표면수율 관리 현황

국내 대형 레미콘 및 중소형 레미콘 업체를 방문하여 표면수율의 관리 및 활용현황을 조사하였으며, 레미콘 업체의 규모에 따라 큰 차이를 나타내고 있으나 일반적인 사항은 다음과 같다.

- (1) 국내의 표면수율 측정시스템 제작의 원천기술 업체는 없으며, 선진국의 표준수율 측정장비를 수입하여 사용하는 수준임.
- (2) 표면수율 측정위한 인디케이터 설치하고 있으나 판넬과 호환이 안됨.
- (3) 표면수율 측정기 부착위치(골재 저장조) 및 문제점
- (4) 골재 호퍼 내의 센서 부착 위치에 따라 정확한 표면수율 산정이 어려움.
- (5) 골재 호퍼 내의 골재의 밀도 차이에 따라 표면수율의 변동이 발생
- (6) 국내의 경우 레미콘 출하량이 1,000m³/1일 이상으로 일본이나 유럽의 출하량(200~300m³/1일)에 비해 상당히 높아 골재가 다양한 산지에서 반입되므로 품질 관리에 어려움이 많음. 또한, 배치플랜트의 구조 및 골재 저장조 등이 업체별로 상이하여 표면수율의 센서 측정 위치에 따라 결과값이 상이.

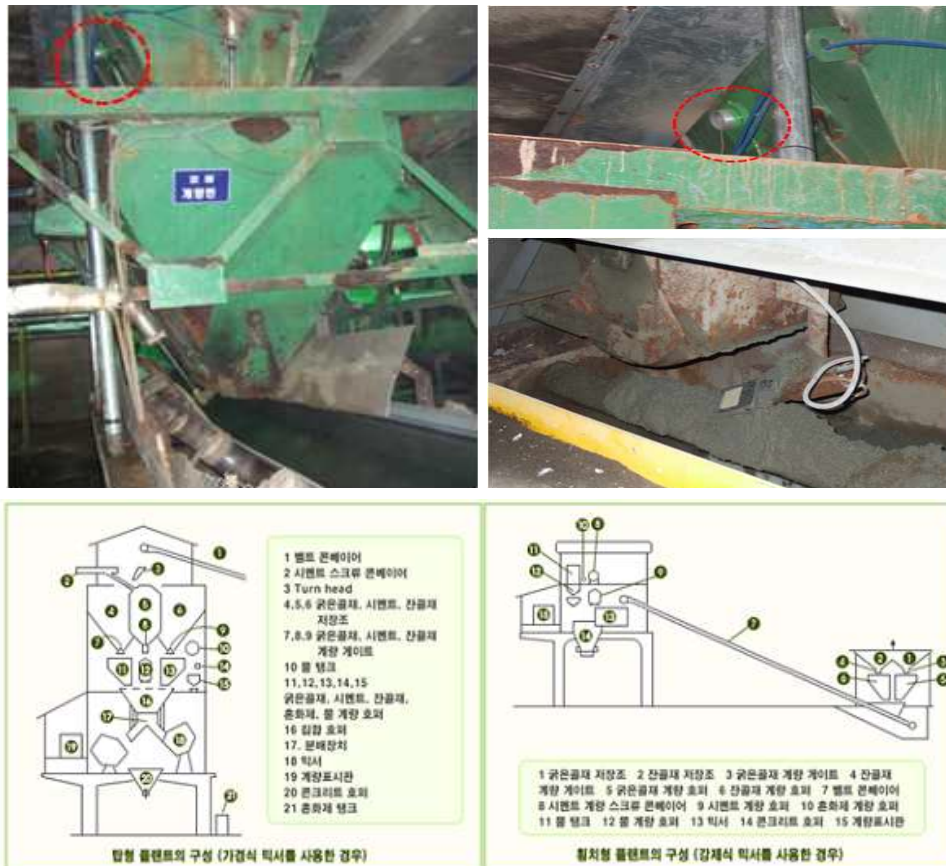


그림 3.1.2 표면수율 센서 설치 모습 및 배치 플랜트 종류

제 2절 회수수 품질관리 자동화 시스템

1. 국내외 기술개발 현황

가. 회수수 개요

(1) 정의

콘크리트는 시멘트의 수화반응으로 시간이 경과함에 따라 경화되는 재료이기 때문에 레미콘 생산 시 기기 및 장비 등에 부착된 콘크리트는 가수혼합 등으로 분해가 불가능하므로 콘크리트 제조 및 운반 작업이 종료된 후 즉시 세척해야 한다. 즉 레미콘 생산 현장에서와 같이 대량의 콘크리트를 제조할 경우 일단의 콘크리트가 생산 완료된 후 레미콘 트럭의 드럼 내·외부 및 배치플랜트의 믹서·호퍼 등의 세척은 후속 콘크리트 제조 시 배합비의 정밀을 기하거나, 장비의 보존을 위해 반드시 필요하게 되는데, 이때 발생하는 세척배수에서 골재를 제거한 것을 회수수라 한다.

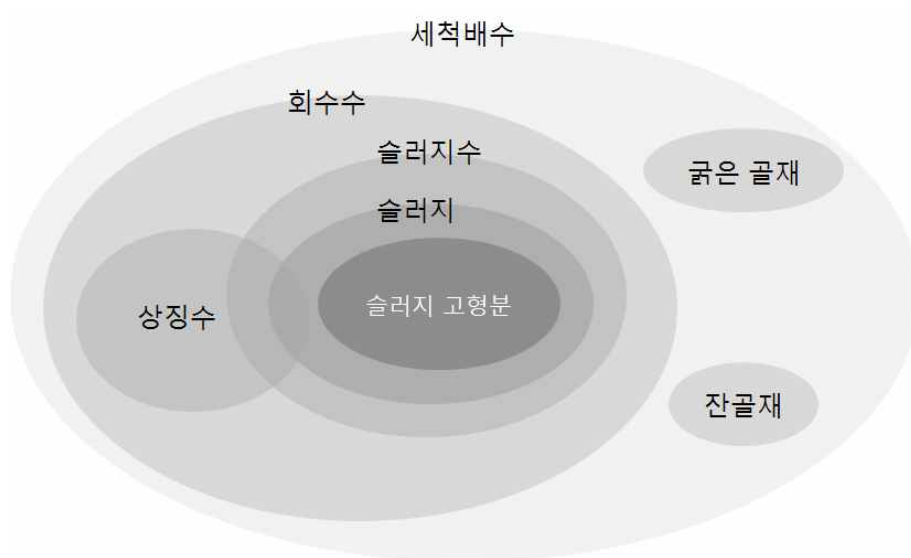


그림 3.2.1 회수수 개념도

표 3.2.1 회수수 관련 용어 및 정의

용어	정의
회수수	레디믹스트 콘크리트 공장에서 세척에 의해 발생하는 물로서 운반차, 플랜트의 믹서, 호퍼 등에 부착된 콘크리트 및 흘러내린 콘크리트의 세척 배수(이하 콘크리트의 세척 배수라 한다)를 정화하여 얻어지는 슬러지수 및 상징수의 총칭
슬러지수	콘크리트의 세척 배수에서 굵은 골재, 잔골재를 분리·회수하고 남은 현탁수
상징수	슬러지수에서 슬러지 고형분을 침강 또는 그 밖의 방법으로 제거한 물
슬러지	슬러지수가 농축되어 유동성을 잃어버린 상태의 것
슬러지 고형분	슬러지를 105~110℃에서 건조하여 얻어진 것
슬러지 고형분율	콘크리트의 배합에서 단위시멘트량에 대한 슬러지 고형분의 무게비율을 백분율로 표시한 것

(2) 회수수 발생량

레미콘 공장에서 발생하는 배수는 크게 공정배수와 비공정배수로 구분하고 있다. 공정배수는 배치 플랜트 세척수, 에지테이터 트럭 내부의 세척수, 트럭 외부의 세척수, 반폼레미콘 처리수 등의 콘크리트 제조공정 내에서 발생하는 배수를 말하고, 비공정배수는 보일러수 및 냉각수 등의 제조공정 시설에서 발생하는 배수를 의미한다. 기타 잡용수에 의한 배수로는 공장바닥 세척수 및 우기의 부지 내 유출수 등으로 분류되고 있다. 발생배수의 구성 비율은 레미콘 공장규모, 운영형태, 계절 등 다양한 조건에 따라 차이가 있지만 기존 연구의 설문조사 결과에 따른 평균 비율은 그림 3.2.2와 같다.

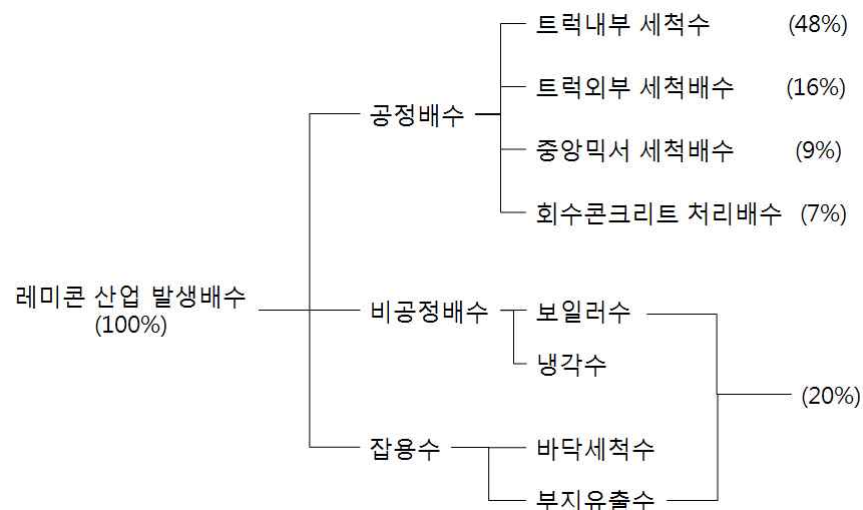


그림 3.2.2 레미콘 공장 발생 배수의 구성

(3) 회수수 성분

세척배수의 구성성분은 사용재료, 레미콘 품질, 씻기에 사용된 물의 양 등 다양한 요인에 의해 달라질 수 있다. 기존의 국내 연구결과를 살펴보면 세척배수의 구성은 물이 95%로 대부분을 차지하고, 잔골재 4%, 굵은 골재와 시멘트는 1% 전후를 보이고 있다. 세척배수의 pH는 발생량과 반비례 관계를 나타내는데 11~12 범위이다. 잔골재와 굵은 골재를 제거한 회수수의 고형분율도 세척배수 발생률과 반비례 관계를 갖는데 3% 전후의 분포를 나타낸다. 레미콘 회수수 중 상징수 내의 화학성분 중 용해 성분들은 주로 미수화시멘트 주변에 형성된 시멘트 겔의 파괴으로 수화작용이 30분에서 2시간 이상 지체되는 유도기(induction period) 과정에서 상징수 내로 용해되는 Ca^{2+} , Na, K^+ , SO_4^{2-} 성분이 주를 이루는데 Ca^{2+} 의 농도는 시간의 경과에 따라 증가된다. 슬러지의 경우 시멘트 성분과 미세한 잔골재 성분에 기인하여 CaO량이 가장 많고, SiO_2 , SO_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 순이며, 강열감량(LOI)도 25%를 차지하고 있다.

나. 슬러지 고형분율이 콘크리트 물성에 미치는 영향

(1) 굳지 않은 콘크리트의 성질

(가) 유동성

일반적으로 슬러지 고형분율이 증가하면 그림 3.2.3와 같이 슬럼프는 저하한다. 특히 된 비빔 배합, 작은 물-시멘트비, 회수수 발생기간이 많이 경과된 경우에는 저하가 크다. 단, 빈배합에서 미립자량이 부족하여 재료분리를 일으킨 경우에는 오히려 양호한 결과를 나타내고 있다.

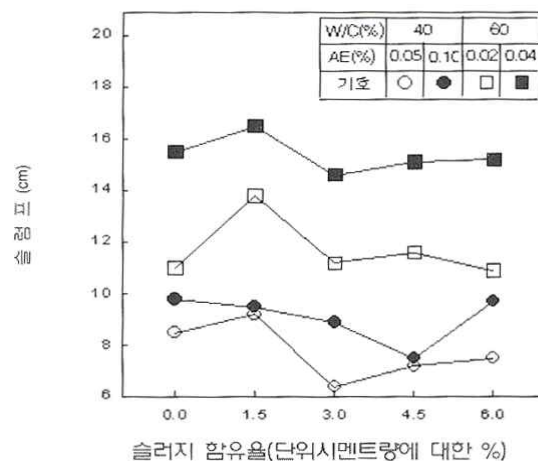


그림 3.2.3 슬러지 함유율 변화에 따른 슬럼프

따라서 레미콘 배합설계에서는 슬러지 고형분율이 증가할수록 단위수량을 증가시키거나, 감수제의 사용량을 증가시켜 저하된 유동성을 회복시키고, 또한 높아진 점성에

따라 잔골재율을 낮춰주는 배합보정이 필요하게 된다.

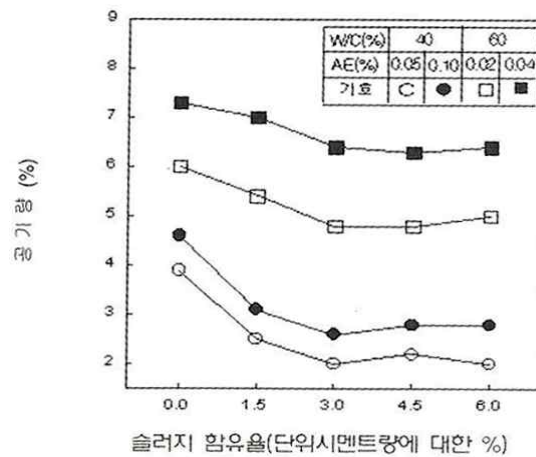


그림 3.2.4 슬러지 함유율 변화에 따른 공기량

(나) 공기량

슬러지 고형분율이 증가하면 그림 3.2.4와 같이 공기량은 감소한다. 이는 슬러지의 미립분이 콘크리트 조직 중 공극을 양호하게 충전하는 것에 기인한다. 특히 공기량은 물시멘트비가 작을수록, 온도가 높을수록, 회수수 발생시간이 많이 경과된 경우에서 저하가 크게 된다. 일반적으로 공기량의 감소치는 상수를 사용한 콘크리트에 비하여 고형분 첨가율 1%당 0~3% 정도 저하하는 것으로 알려지고 있다. 따라서 AE제 첨가량은 슬러지 고형분량이 1% 증가함에 따라 대략 8~12% 만큼 증가시킬 필요가 있다.

(다) 응결 및 블리딩

응결시간의 경우는 슬러지 고형분율이 증가할수록 초결 및 종결시간이 빨라지는데, 대략 고형분율을 3%일 때는 30분 정도의 단축으로서 실용상으로는 거의 문제시되지 않는다. 블리딩량은 고형분율이 증가할수록 감소한다. 그러나 응결시간과 마찬가지로 블리딩량의 감소치는 고형분량 3%에 대해서 대략 1~1.5% 정도로서 실용상에는 거의 문제가 없다. 따라서 슬러지 고형분율 증가는 블리딩을 적게 하고, 응결시간을 빠르게 하기 때문에 서중콘크리트 시공에서는 타설된 콘크리트의 마감시기를 놓치지 않도록 신중한 배려가 요구된다.

(2) 경화 콘크리트의 성질

(가) 압축강도

일반적으로 슬러지 고형분율이 증가하면 콘크리트의 압축강도는 그림 3.2.5와 같이 약간 증가하거나 큰 차이 없이 나타난다. 또한 물-시멘트비, 반죽질기 및 공기량을 상수를 이용한 콘크리트와 같게 하고, 여기에 슬러지 고형분을 시멘트에 대하여 3% 이하로 첨가한다면 여러 가지로 시험조건을 다르게 해도 그림 3.2.6과 같이 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다.

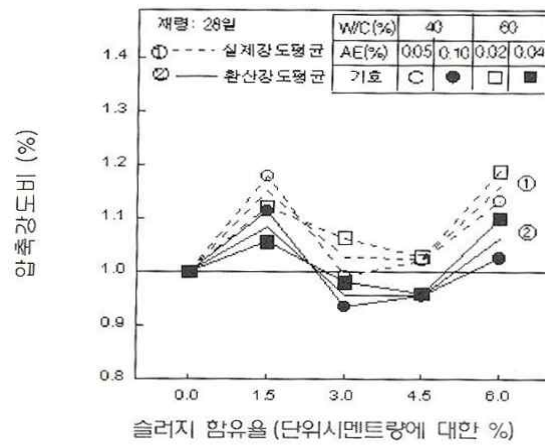


그림 3.2.5 슬러지 함유율 변화에 따른 압축강도비

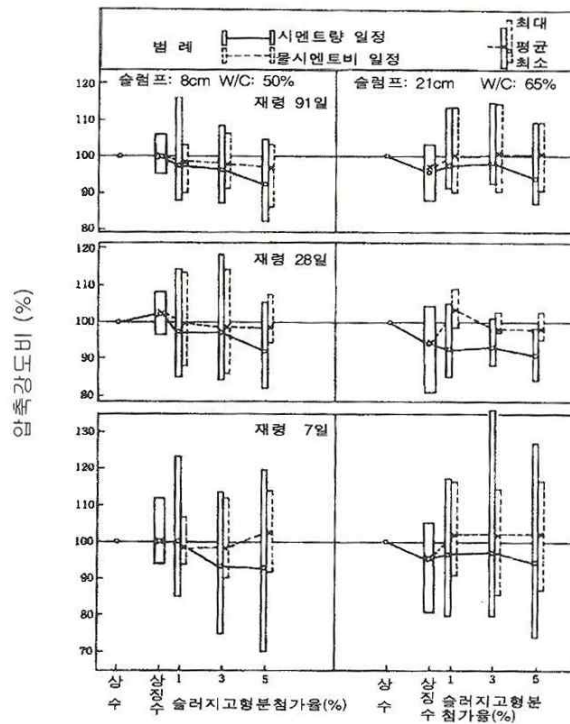


그림 3.2.6 상징수, 슬러지 함유율 변화에 따른 압축강도비

(나) 압축강도 이외의 역학적 성질

휨강도, 인장강도, 부착강도, 동탄성계수는 슬러지 고형분율이 증가함에 따라 압축강도의 경향과 유사하게 거의 변화 없는 것으로 나타난다. 즉 압축강도 이외의 역학적 성질은 슬러지 고형분율이 단위시멘트량에 대하여 3% 이하인 조건이라면 거의 동등하게 된다.

(다) 건조수축

콘크리트 조성 중 미립분이 증가하면 건조수축은 증가하는 것이 일반적이다. 그런데 그림 3.2.7는 슬러지 고형분을 변화에 따른 건조수축률을 나타낸 것으로, 전반적인 경향은 큰 변화가 없고, 경우에 따라 최밀 충전 조건에서는 오히려 작아지기도 나타나고 있다.

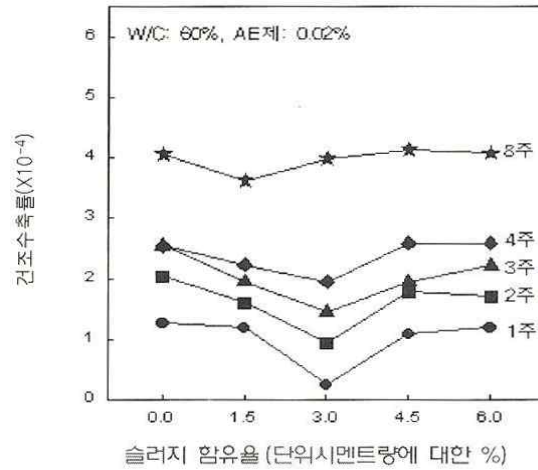


그림 3.2.7 슬러지 함유율 변화에 따른 건조수축률

결국 단위시멘트량에 3% 이내인 슬러지 고형분율인 경우, 콘크리트의 건조수축은 상수를 이용한 콘크리트와 비교하여 약 10% 이내의 미소한 증가 경향으로 실용상에는 거의 문제가 없을 것으로 예상되고 있다. 단, 최근 레미콘 구입자는 콘크리트의 균열과 관련하여 많은 불만을 제기하고 있는데, 회수수 사용 유무에 관계없이 균열방지에 대해서는 신중한 배려가 필요하다. 특히, 잔골재의 경우 미립분 혹은 이토분(泥土粉)이 많으면서 슬러지 고형분율이 큰 회수수를 상당량 사용할 경우는 초기의 소성수축 증대에 따른 균열과 아울러 건조수축균열까지 많게 되어 문제시 되는 경우가 있으므로 주의해야 한다.

(라) 내구성

회수수를 이용한 콘크리트의 건조수축 이외의 내구성에 대한 검토로는 내동해성, 중성화, 내마모성 등이 시도된바 있다. 검토결과 회수수를 이용한 콘크리트는 물-시멘트비, 반죽질기 및 공기량에 있어 상수를 이용한 콘크리트와 동일하게 유지한다면 모든 내구성의 실험결과치는 거의 같은 값이 얻어짐을 보고하고 있다.

(3) 회수수 사용기준

일본 콘크리트공학협회의 회수수 연구위원회 보고서에서는 회수수 사용기준과 관련하여 다음 표 3.2.2를 제시하고 있다.

JIS A 5308:2009 레ディー믹스트콘크리트의 경우 슬러지수를 생산자의 판단에 의하여 사용할 수 있도록 회수수 품질기준, 슬러지 고형분율 및 슬러지수 관리방법 등

에 대하여 규정하고 있다. 회수수의 품질기준은 표 3.2.3과 같다. 슬러지 고형분율은 3%를 초과하지 않도록 규정하고 있으며, 슬러지수 관리방법도 배치 농도조절방법, 연속농도측정방법으로 규정하고 측정빈도와 측정 기록 등 요구사항에 대하여 기술하고 있다.

표 3.2.2 일본 콘크리트공업협회 회수수 사용기준

- 상징수는 배합수로서 상수와 똑같이 사용해도 좋다.
- 슬러지수는 다음 4가지 항목을 만족할 경우 사용해도 좋다.
 - 슬러지 고형분은 시멘트 중량의 3% 이하로 한다.
 - 물-시멘트비와 컨시스턴시를 일정하게 하기 위하여 슬러지 고형분 1%에 대해 단위수량, 단위시멘트량을 1~1.5% 증감한다.
 - 잔골재율은 슬러지 고형분 1%에 대하여 약 0.5% 감한다.
 - AE제의 양은 고형분량에 따라 증가시키고, AE 감수제에 대해서도 필요에 따라 공기량 조정제를 증가시킨다.

표 3.2.3 JIS A 5308 회수수 품질기준

항목	품질
염화물이온(Cl^-)량	200ppm이하
시멘트 응결시간 차	초결 30분 이내, 종결 60분 이내
모르타르 압축강도 비	채령 7일 및 28일에서 90% 이상

연속농도측정방법을 사용하여 슬러지수를 관리하는 경우 자동농도계를 사용하여 측정·기록하도록 하고 있다.

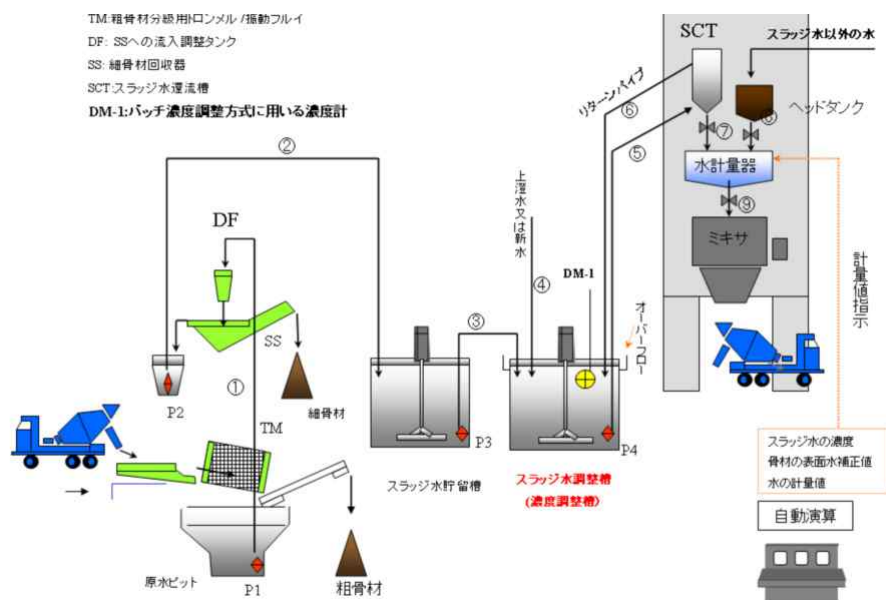


그림 3.2.8 슬러지수 관리방법 - BATCH 농도 조절방법 예시

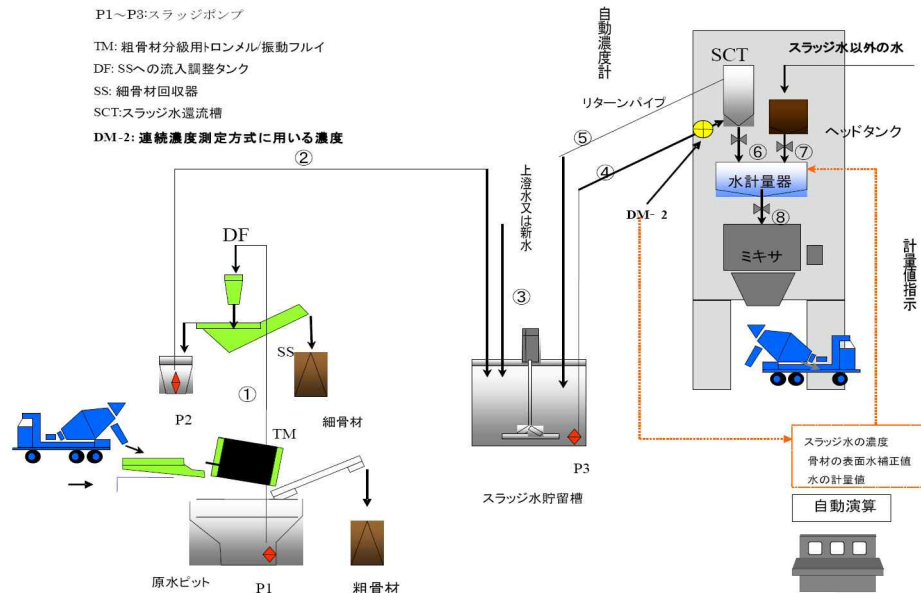


그림 3.2.9 슬러지수 관리방법 - 연속농도 측정방법 예시

국내의 경우 회수수에 관련된 기준은 KS F 4009:2006 레디믹스트 콘크리트에서 표 3.2.4와 같이 규정하고 있다. 또한, 슬러지를 사용하였을 경우 슬러지 고형분율이 3%를 초과하지 않도록 규정하고 있다.

표 3.2.4 KS F 4009 회수수 품질

항목	품질
염소 이온(Cl ⁻)량	250 mg/L 이하
시멘트 응결시간 차	초결 30분 이내, 종결 60분 이내
모르타르 압축강도 비	채령 7일 및 28일에서 90% 이상

다. 슬러지 농도계 개발 현황

측정방법에 따라 농도계를 분류하면 크게 마이크로파, 광(光), 초음파 측정방식으로 분류할 수 있다.

(1) 마이크로파, 광(光) 초음파의 범위

마이크로파와 광은 동일한 전자파이며 초음파는 음파의 일종이므로 물리적으로 완전히 다른 성질을 갖고 있다. 전자파는 진공 중에서도 전달되며, 진공 또는 공기 중에서 전달되는 속도는 1초에 30만 Km, 수중에서도 약 3.3만 Km의 빠른 속도를 가지지

만 음파는 압력파로서 진공에서는 전달되지 않고 공기 중에서의 전달속도는 약 340 m 정도, 수중에서는 1초에 150 m 정도이다. 전자파를 크게 구분하면, 전파, 광(光), X선, Gamma선 등이 있으며, 주파수 범위는 그림 3.2.10과 같다.

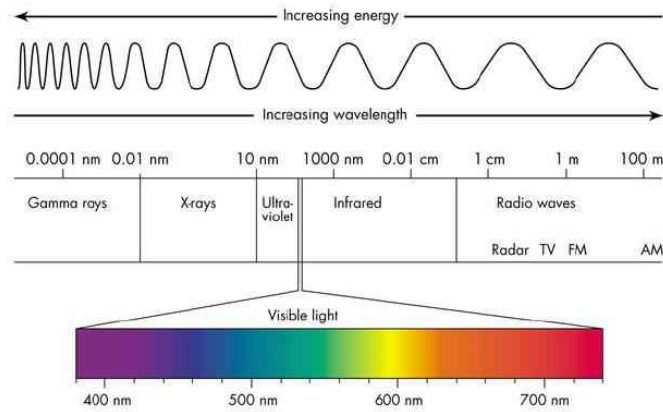


그림 3.2.10 Electromagnetic waves

표 3.2.5는 농도계를 마이크로파, 광(光), 초음파의 측정방식으로 분류한 것이다.

표 3.2.5 측정방법에 따른 분류

구 분		측정원리
근적외광식 농도계		근적외광 산란방식
레이저식 농도계		레이저광 산란방식
초음파 감쇠식 농도계	비소포식	초음파 감쇠법
	가압소포식	초음파 감쇠법
마이크로파식 농도계	반사강도식	반사파의 강도감쇠법
	위상차방식	투과파의 위상차

표 3.2.6 슬러지 농도계 측정 방법별 비교

측정방법 항목	근적외광식 농도계	레이저식 농도계	초음파감쇠식 농도계		마이크로파식 농도계	
			비소포식	가압소포식	반사 강도식	위상차 방식
색 영향	小	小	無	無	無	無
기포 영향	小	小	大	小	中	大
측 정 범 위 (%)	0~0.3	○	×	×	△	△
	0~1.0	○	△	△	△	△
	0~5.0	○	○	○	○	○
	0~8.0	△	○	○	○	○
	0~10.0	×	○	○	○	○

○: 양호, △: 보통, ×: 미흡

(2) 광학식 농도계

광학식은 물 또는 액중에서 현탄(분산)되어 있는 물질에 따라 광이 산란되어 투과광이 감소되고 산란광이 증가하는 것을 이용하여 농도측정을 실시한다. 즉, 현탁 물질의 농도가 높아지면, 투과광의 감소가 커지면서 산란광이 증가하므로, 이들 감소를, 증가율 또는 두 항목을 함께 측정하는 원리에 기초를 두고 있다. 광학식 농도계에는 근적외선의 반사를 이용한 근적외광식 농도계가 있으며 레이저 광원으로부터의 광속을 검수 중의 탁질에 투사해 반사·산란한 빛과 광속과 직각 방향의 포토 셀로 검출하는 측방 산란 방식의 레이저식 농도계가 있다.

(3) 마이크로파 농도계

마이크로파 농도계는 마이크로파의 원리를 이용한 위상차 측정방식에 의하여 배관 내부에 흐르는 유체의 고형분 농도를 연속적으로 측정하는 계기이다. 마이크로파는 전파의 일종으로서 주파수가 300MHz~30Hz(파장 1cm~1m)의 전파이며 초극단파라고 부르기도 한다. 통신 레이더 및 가정에서 사용하는 전자렌지, 최근에는 휴대폰 등에 사용되고 있고 농도계에서 사용하는 마이크로파의 강도는 전자렌지의 약 100만분의 1정도이다. 위상은 주기적으로 변화하는 파형에 어떤 임의의 기점에 대하여 상대적인 위치를 나타내는 것이다. 통상 1cycle을 360°로 각도 표시하고 있다. 그림 3.2.11은 정현파 $Y=ESin(\omega t+\theta)$ 에서 $(\omega t+\theta)$ 가 위상으로서 $t=0$ 시점의 위상 θ 를 나타낸다. 마이크로파 방식은 물 또는 액중에 어떠한 물질이 현탁 또는 용해되면, 그 물질을 포함한 액체의 전기적인 특성(유전율과 전도율)이 변화하므로 아무 것도 포함되지 않은 액과 비교하여, 마이크로파의 속도가 조금씩 늦어진다.

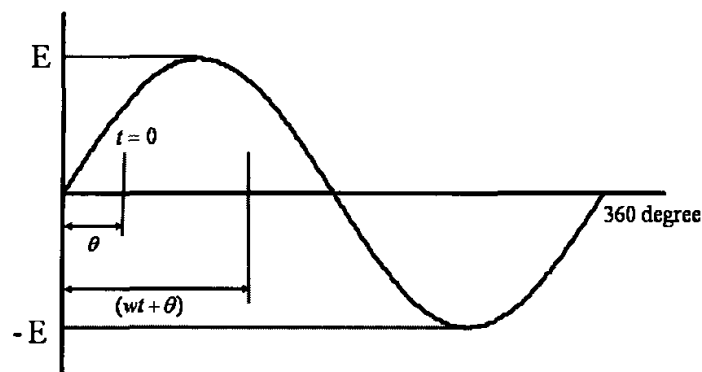


그림 3.2.11 정현파 $Y=ESin(\omega t+\theta)$

그러한 속도변화를 위상의 변화형식으로 농도측정을 실시하고 액중에 포함된 물질의 농도가 높으면, 위상변화가 키지는 원리에 기초하고 있다. 이와 같은 측정방식은 유속의 영향을 받지 않으며, 유체 내 오염물질에 의한 영향을 거의 받지 않으므로 안정한 측정을 할 수 있다. 게다가 마이크로파 농도계는 기계적인 가동부가 없으므로 높은 신뢰성과 보수성을 가지며 마이크로파 농도계의 출력은 저농도에서 고농도까지

광범위한 농도범위에서 운전이 가능하다. 또한 유체의 유동방향과 상관없이 수직배관, 수평배관이 가능하여 설치위치 선정이 용이하다. 대표적 마이크로파 농도계 중 하나인 TOSHIBA LQ510은 위상차 변위방식으로 측정하며 대표적 사양은 표 3.2.6과 같다.

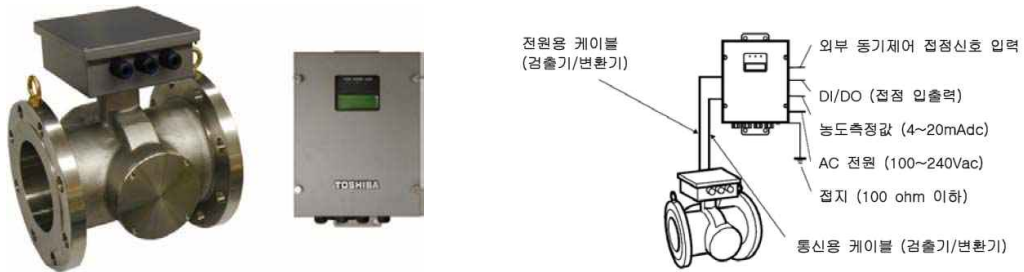


그림 3.2.12 Micro과 농도계-LQ510(TOSHIBA)

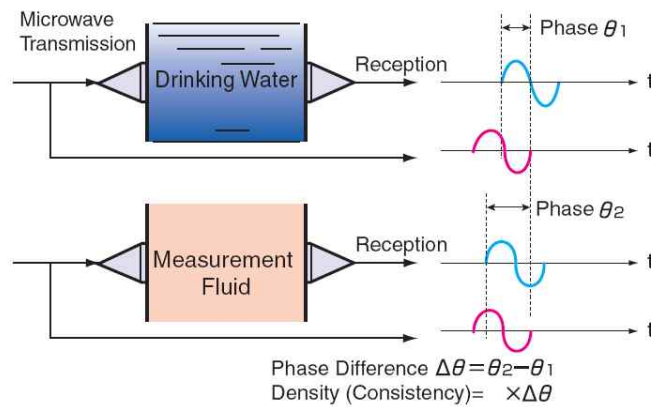


그림 3.2.13 Micro과 농도계-LQ510(TOSHIBA) 측정원리

(4) 초음파 Double Beam 농도계

초음파 농도계는 물 또는 액중에서 현탁(분산)되어 있는 물질에 따라 초음파가 산란되어 감쇠하는 것을 이용하여 농도 측정을 실시한다. 즉, 현탁 물질의 농도가 높아지면, 초음파의 감쇠가 커지는 원리를 기초로 하고 있다. 따라서 액중에 용해되어 있는 물질의 농도측정은 불가능하다.

초음파 Double Beam 농도계는 단관에 초음파 센서를 삽입시켜 각각의 송신자에서 발사된 초음파가 유체에서 감쇠되어 수신자에 전달되며 초음파의 감쇠량의 정도를 연산해서 슬러지 농도로 측정하는 방법이다.

기존의 일반적인 초음파 농도계는 Single Beam(1회선) 방사의 측정 방식을 가지고 있는데 이것은 매우 느린 유속에서 발생하는 고형분의 침강, 부상 등의 이유로 농도 분포가 불일정한 상태이거나, 혐기성 상태에서 발생한 기포가 센서 자체에 직접적으로 부착되면 많은 오차가 발생할 수 있다. 이를 보완하기 위해 Double Beam(2회선) 방사가 개발되어 기존의 Single Beam(1회선) 방사보다 안정적이고 정확한 측정값을

얼게 되었으나 수신부와 송신부가 관의 지름 길이에 해당하는 위치에만 부착되어 있어 관로 크기에 대한 설계적인 한계가 발생할 수 있다. 게다가 센서부에 직접적으로 부착된 기포제거와 센서주변의 슬러지 침착에 대한 세척문제의 해결방법은 제시되지 않았다.

ENV-200 농도계는 포락선을 이용한 에너지평균 알고리즘을 적용하여 신뢰성 있는 측정을 가능하게 하였고, 다중(단일)송수신 방법을 이용하여 측정의 정확성을 높였다. 다양한 현장에 적용하기 위하여 배관형, 침수형 및 삽입형 센서를 공급하고 있다.

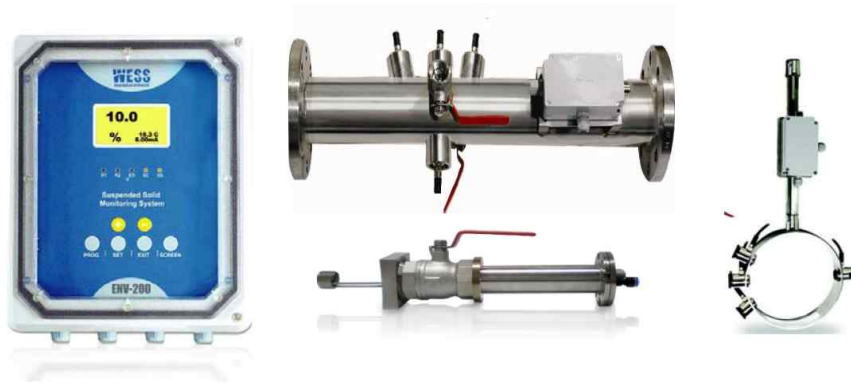


그림 3.2.14 초음파 농도계-ENV-200(WESS)

ENV-200 농도계는 포락선 신호를 이용한 에너지 평균법(EEAM)을 사용하고 있다. 기존 방식인 Peak-Hold 방식(일정전압레벨을 넘긴 모든신호를 농도값으로 환산)을 탈피하고, 수신되는 신호를 3단계(유효신호선택, 적분, 에너지평균)에 걸쳐 처리함으로써 현장에서 요구되는 측정신호의 정확성과 안정성을 극대화하도록 설계되었다.

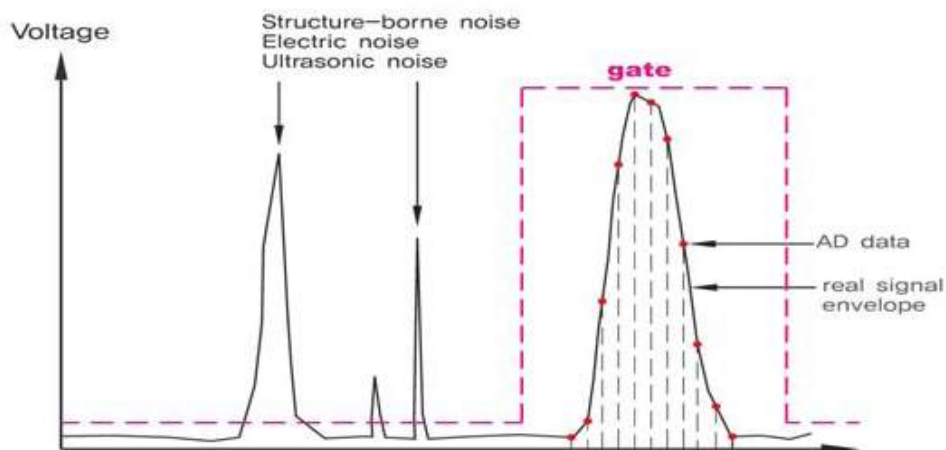


그림 3.2.15 EAM((Envelope Energy Average Method)

또한 하나의 송신센서와 3개의 수신센서를 사용하여 단순히 측정값의 평균을 구하는 것이 아니라 세 개의 수신센서를 이용하여 저농도와 고농도를 구분하여 측정할 수 있도록 단일송신 다중수신 측정법을 적용하고 있다.

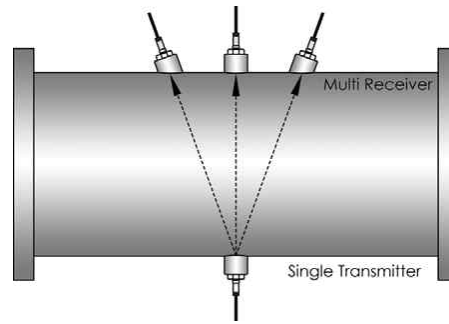


그림 3.2.16 단일송신다중수신 (STMR)

2. 회수수 고형분 측정 자동화 시스템 개발

레미콘 공장에서 제조되는 레디믹스콘크리트란 시멘트, 골재, 물, 기타 첨가제를 적정비율로 혼합하여 된 시멘트 모르타르로서, 이에 혼합되는 물은 상용수와 함께 레미콘을 세척배수한 회수수가 사용되고 있다.

상용수와 함께 사용되는 회수수란 레디믹스 콘크리트 공장에서 세척에 의해 발생하는 물로서 콘크리트 믹서 트럭, 운반차, 플랜트의 믹서, 호퍼 등에 부착된 콘크리트 및 흘러내린 콘크리트의 세척배수를 정화하여 얻어지는 슬러지수와 상징수를 의미하고, 슬러지수란 콘크리트의 세척배수에서 굵은 골재, 잔골재를 분리 회수하고 남은 현탁수를 말하며, 상징수는 슬러지수에서 슬러지 고형분을 침강 또는 기타 방법으로 제거한 물을 말한다.

이러한 회수수를 사용하여 레디믹스 콘크리트를 제조할 때는 콘크리트 배합에서 단위 결합재량에 대한 슬러지 고형분(슬러지는 105℃~110℃에서 건조시켜 얻어진 것)량의 비율을 백분율로 환산한 단위 슬러지 고형분율이 3.0% 이내에 있어야 레디믹스 콘크리트의 품질 규격을 만족시키게 되는 것이다.

레디믹스 콘크리트 제조 공장에서는 슬러지수를 사용할 경우 슬러지 농도를 측정하고 이에 따라 슬러지 농도를 일정 수준에 맞도록 조절하여야 할 필요성이 있다.

이러한 슬러지 농도를 측정하는데 사용되는 종래의 슬러지 농도 측정기는 슬러지수의 농도를 측정하는 복수개의 농도 측정센서들이 구비되는데, 이러한 농도 측정센서들은 빛을 방출하는 발광부와 발광부로부터 방출된 후 슬러지 입자에 의해 반사된 빛이 입사되는 수광부로 이루어져 수광부에 흡광되는 광량에 의해 농도를 측정하는 광센서가 주로 적용된다.

종래의 농도 측정센서는 발광부 및 수광부가 처리조 내부에서 측정수에 직접 접촉되도록 설치되므로 센서의 발광부 및 수광부에 슬러지가 고착하여 성장하게 되고 이러한 센서 표면에 고착된 슬러지에 의해 흡광이 제대로 이루어지지 않아 농도 측정이 부정확하게 이루어지게 되는 문제가 있었다. 이로 인하여 주기적으로 슬러지 농도를 측정하는 센서들을 처리조에서 꺼내어 표면에 부착된 슬러지들을 깨끗이 제거한 후 센서들을 처리조 내에 재설치하였다. 하지만 이처럼 처리조에서 센서를 분리하고 재설치하는 작업은 매우 어렵고 시간이 많이 소요되었다.

또한, 종래의 슬러지수 농도를 측정하는 또 다른 방법으로 슬러지수 탱크의 소정 깊이
 이에 침전된 슬러지수 샘플을 직접 채취하여 그 농도를 분석하는 방식도 이용되고 있
 으나 이와 같은 방식은 분석에 필요한 시간이 길고 탱크에서의 슬러지 농도 변화가
 심하기 때문에 상시적으로 정확한 슬러지 농도를 측정하는 것이 어렵다. 레미콘 제조
 현장에서 회수수를 최대한 재활용하기 위해서는 슬러지수 농도를 실시간으로 모니터
 링할 수 있고, 신뢰도 높은 분석결과를 제공할 수 있는 농도 측정 시스템이 필요한
 실정이다.

가. 초음파식 농도 측정 시스템

(1) 개요

초음파식 농도 측정 시스템은 회수수 탱크 내부의 슬러지수에 초음파 센서부를 침
 지시키고 Controller를 조작하여 초음파 센서로부터 초음파를 발생시키면 이에 대응되
 는 반대편 초음파 센서가 전달된 초음파를 받아서 Controller에 전기적인 신호로 전달
 하며, Controller는 초음파의 감쇄율을 이용하여 슬러지수의 농도를 계측하게 된다.

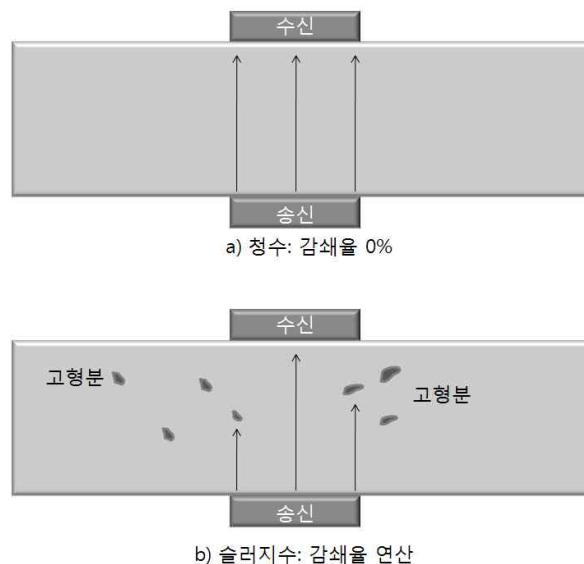


그림 3.2.17 측정원리

또한, 한 쌍의 초음파 센서에는 고압의 에어를 분사시킬 수 있도록 에어 세정노즐이
 설치되어 있다. 따라서 압축펌프에 의해 고압의 에어가 충전된 에어 보조탱크에서 에
 어 세정노즐 측으로 에어가 공급되면 고압의 에어가 노즐에서 분사되면서 초음파 센
 서의 초음파 발진 부위를 세척하게 된다. 세정노즐 장치는 초음파 센서에 슬러지수에
 포함된 슬러지가 고착되는 것을 방지시킬 수 있으며, 이에 따라 슬러지수의 농도측정
 을 정확하게 측정할 수 있다. 초음파 센서에 이물질이 고착되지 않기 때문에 이를 제
 거하기 위해 작업 중인 초음파 센서부를 탱크로부터 꺼내서 세척해야 하는 불편이 해
 소되며, 농도 측정 작업의 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

초음파식 농도 측정 시스템은 슬러지수 탱크의 슬러지수에 잠기도록 설치되어 슬러지수의 농도 및 온도를 측정하는 초음파 센서부, 초음파 센서부에 설치되어서 초음파가 발생하는 부위에 부유물이 침착되는 것이 방지되도록 에어를 분사하여서 세척하는 세척부, 고압의 에어가 저장되며 상기 세척부에 연결되어 이에 고압의 에어를 공급하는 에어보조탱크, 에어를 공급하는 압축펌프, 기기를 제어할 수 있는 Controller로 구성되었다.

(2) 제작 도면 및 Controller 내부회로

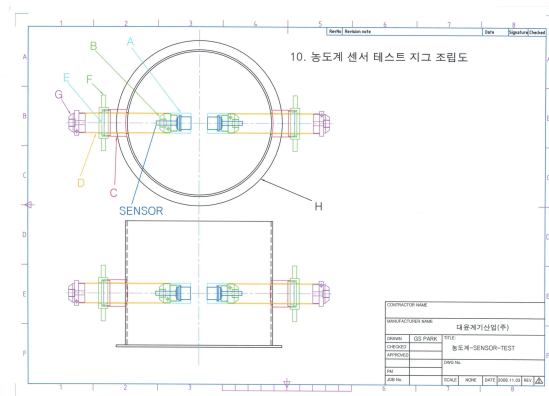


그림 3.2.18 센서부 Test를 위한 지그제작

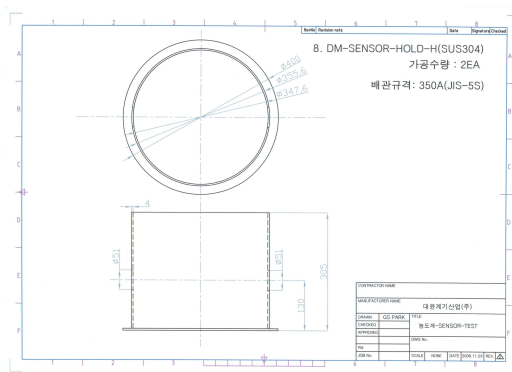


그림 3.2.19 지그제작용 Holder-1

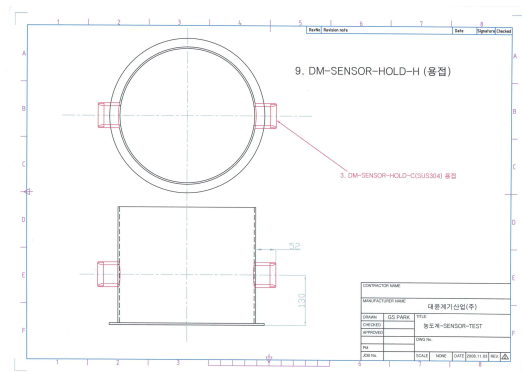


그림 3.2.20 지그제작용 Holder-2

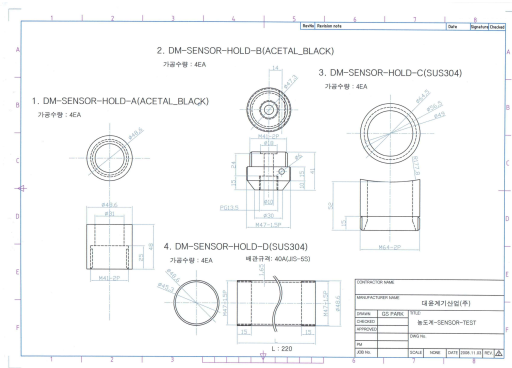


그림 3.2.21 센서 고정 Bracket-1

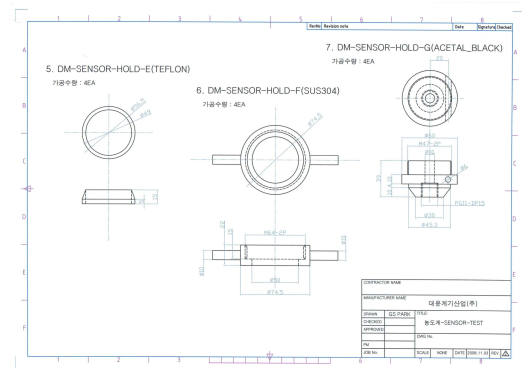


그림 3.2.22 센서 고정 Bracket-2

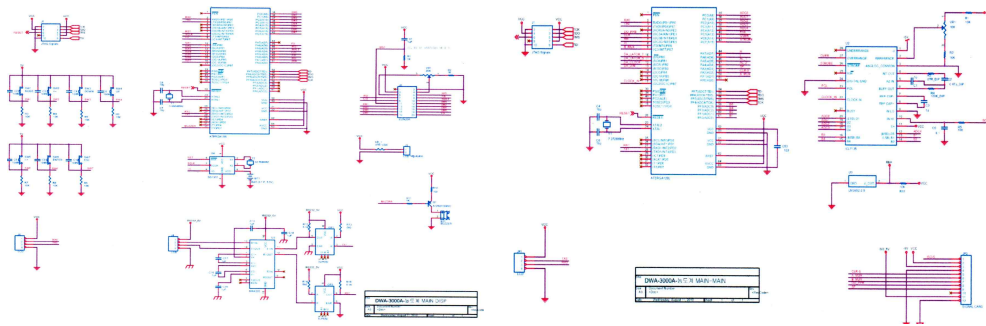


그림 3.2.23 Main Display 적용 회로 그림 3.2.24 Main Board 개발 회로

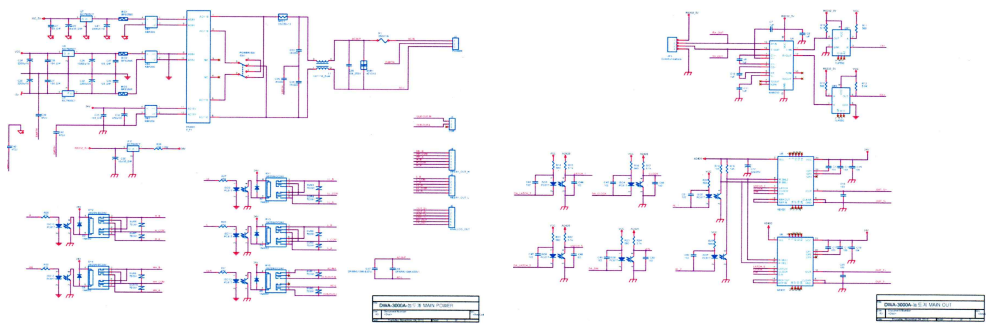


그림 3.2.25 Main Output 적용 회로 그림 3.2.26 Main Power 적용 회로

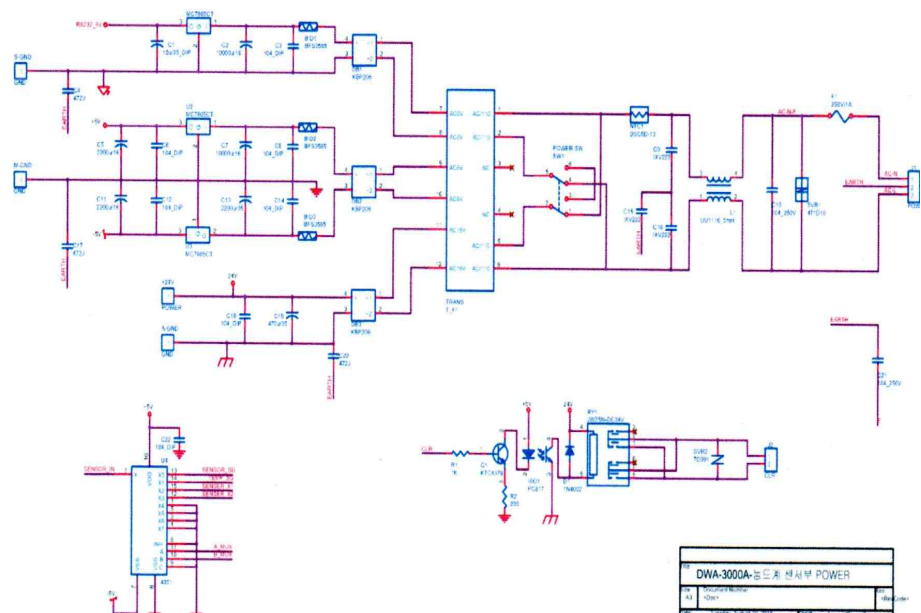


그림 3.2.27 Sensor부 Power 적용 회로

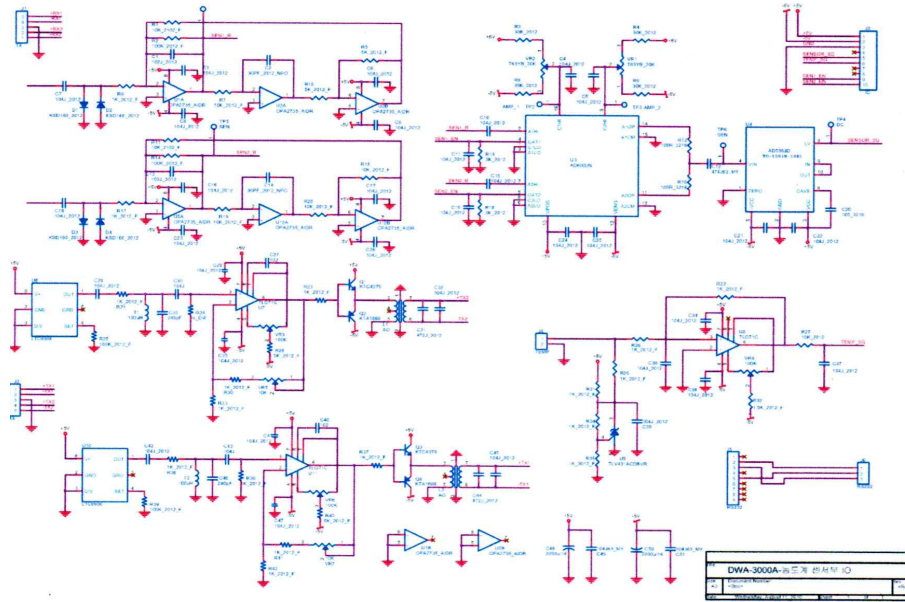


그림 3.2.28 Sensor I/O 적용 회로

본 과제를 통하여 개발한 시스템은 실시간 측정시스템으로써 측정값이 디지털로 표시되며 진행과정을 한눈에 알 수 있도록 Trend 기능을 첨부하였으며 상태정보가 전면 표시되어 고장상태나 특정의 이상여부를 표시하도록 하여 관리에 편리성을 구상하였다.

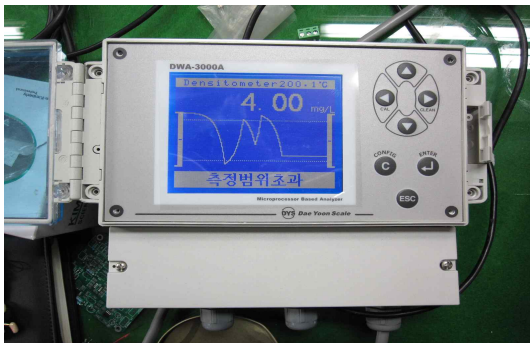


그림 3.2.29 Controller의 Trend 기능



그림 3.2.30 상태정보/이상여부표시 기능

(3) 실내 성능평가

초음파 센서를 이용한 회수수 고형분 측정 시스템을 슬러지 농도 측정에 사용하기 위해서 농도별 시료를 제작하여 센서를 이용한 측정값과 실제 농도를 비교 평가하였다.

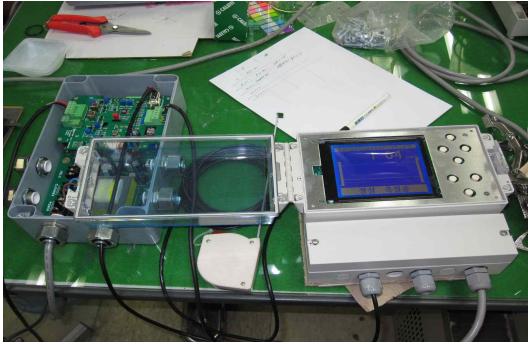


그림 3.2.31 Controller 표시부 Test

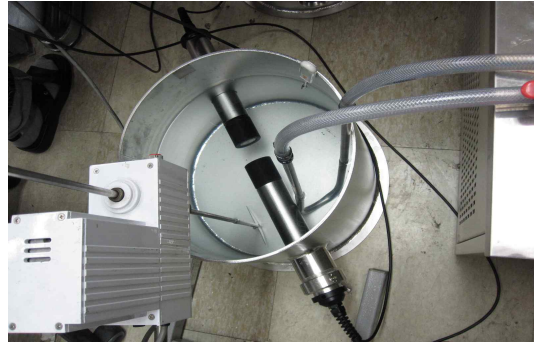


그림 3.2.32 Water(청수) Test



그림 3.2.33 슬러지수 Test



그림 3.2.34 현장적용형 센서부 Test

실험에 의한 시료 농도는 다음과 같이 측정하였다. 청수(靑水)에 일정량의 고형분을 넣어 시료를 제작한 후 질량(W)을 측정한다. 시료를 건조기에 넣어 105~110℃에서 항량이 될 때 까지 건조시킨 후 실온에서 냉각시키고 질량(S)을 측정하고 아래 식에 따라 시료 농도를 산출한다.

$$\text{시료 농도}(\%) = \frac{\text{건조후 질량}(S)}{\text{건조전 질량}(W)} \times 100$$

측정 시스템에 대한 성능 평가결과 그림 3.2.35와 같이 출력값과 시료 농도 관계는 선형적이고 회귀식과 측정데이터와의 부합성은 매우 높은 것으로 나타났다.

표 3.2.7 출력값과 슬러지수 농도 실험 결과

센서 출력값(mV)	슬러지수 농도(%)
601.3	1.021
311.6	3.269
483.8	1.94
391.9	2.482
692.1	0.56

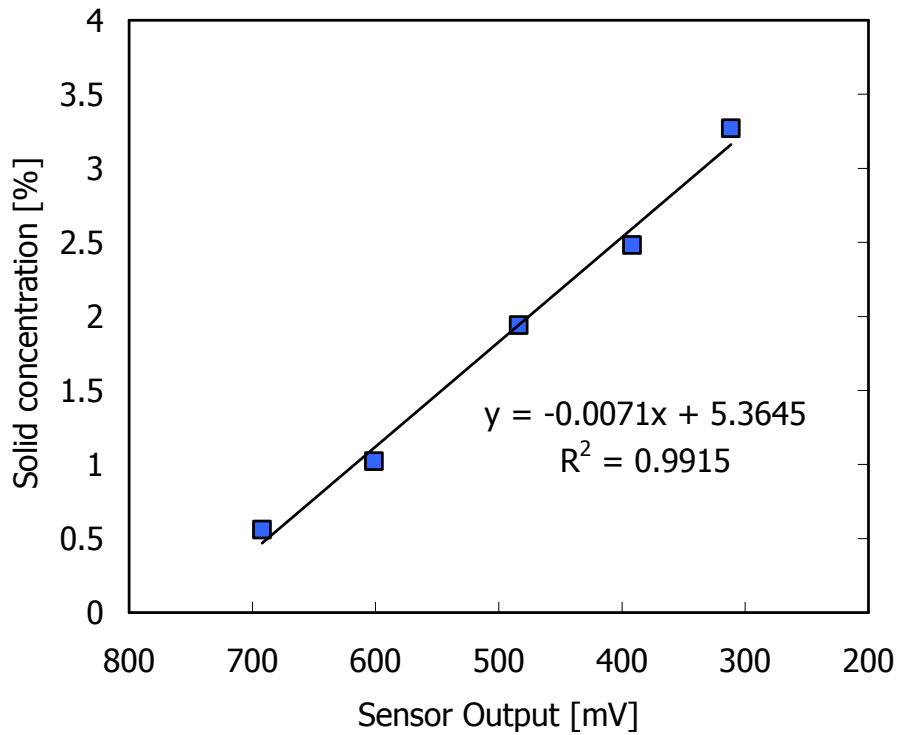


그림 3.2.35 측정값과 슬러지수 농도의 관계식

실험을 통해 얻은 시료 농도는 최종적으로 아래 식을 활용하여 콘크리트 배합용 단위 슬러지수 고형분율을 산출하는데 활용할 수 있다.

$$\text{단위 슬러지수 고형분율}(\%) = \frac{S_s}{B} \times 100$$

$$\text{여기에서 SS : 슬러지 고형분량(kg)} = \frac{W_s \times C_s}{100}$$

W_s : 1m³ 배합에 사용하는 슬러지수의 질량(kg)

C_s : 슬러지수 농도(%)

시료 농도에 따른 평가 결과에서도 그림 3.2.36에서 보는 바와 같이 오차가 매우 작은 안정적인 결과를 보이고 있다.

표 3.2.8 슬러지수 농도별 측정 결과

구분	Oven dry value	Test results(Max.)	Test results(Min.)	Test results(Ave.)
Speciment #1	1.5	1.58	1.45	1.51
Speciment #2	3	3.15	2.9	2.98
Speciment #3	4.3	4.4	4.15	4.28

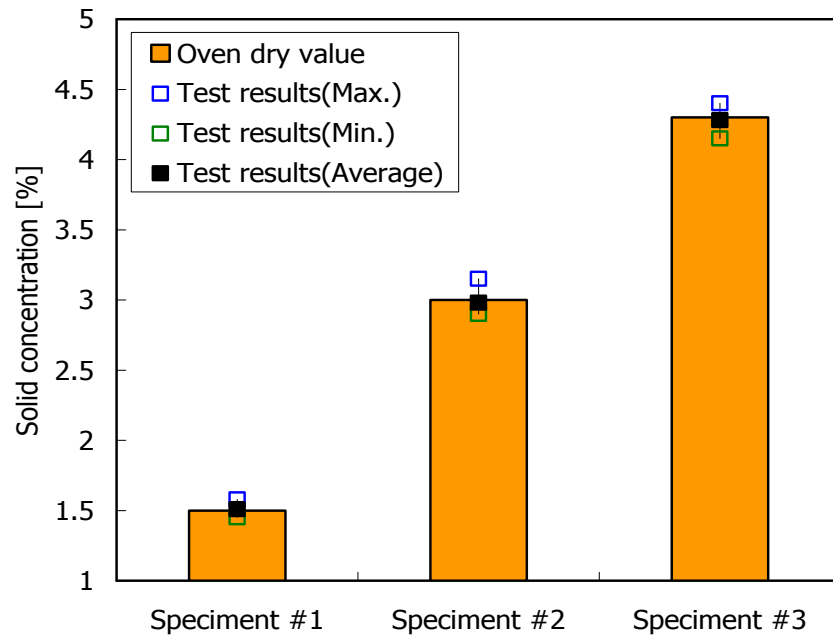


그림 3.2.36 시료 농도별 측정결과

침적형 측정방식의 세정력을 향상시키기 위하여 신규로 측정 센서 세정부를 제작하고 레미콘 현장 평가에 앞서 침적형 측정 시스템 시제품에 대한 고농도(15% 이상)의 시료(물+시멘트+모래)를 대상으로 실내 실험을 실시하였다.



a) 세정부

b) 회로부

그림 3.2.37 침적형 측정 시스템 시제품

표 3.2.9 침적형 측정 시스템 시제품의 실내 실험 결과

Target value (%)	Oven dry value (%)	Test results (%)
5	5.2	5.35
10	10.5	10.23
15	15.8	14.92
20	21.2	20.45
25	24.8	24.30
30	30.4	25.27
35	35.5	27.67
40	40.3	26.83

실험 결과 표 3.2.9와 같이 저농도 영역(15% 이하)의 경우 건조법에 의한 결과값과 유사한 경향을 나타내고 있으나 15% 이상인 경우 초음파 신호의 투과력이 감소함에 따라 농도 측정에 어려움이 있다는 것을 확인할 수 있다. 센서 부위의 세정력을 향상시키기 위하여 세정 센서 노즐을 추가 부착(1개→2개) 하고 초음파 파장 출력을 높였으나 20% 이상의 고농도 영역에서는 일정시간 이후에는 노즐 주위에 부유물의 흡착으로 인하여 세정 효과가 감소하는 것을 알 수 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 농도 측정 방식을 침적형에서 수중 펌프를 이용하여 슬러지수를 이송하는 샘플링 방식으로 전환하여 다른 시제품을 제작하였다.

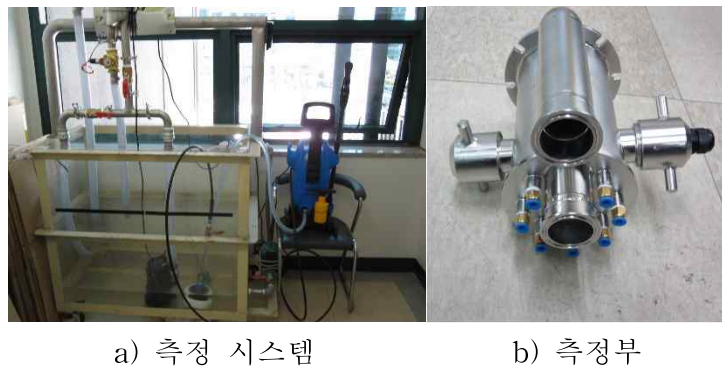


그림 3.2.38 수중 펌프형 측정 시스템 시제품

수중 펌프형 측정 시스템에 대한 실험 결과 시료 농도가 20% 이상으로 높아지면 정확도가 떨어지는 현상이 발생하여 레미콘 실제 현장을 고려할 경우 고농도 영역의 측정에는 어려움이 있다고 판단하여 측정 센서부의 측정원리를 초음파형에서 인덕턴스형으로 변경하였다.

표 3.2.10 수중 펌프형 측정 시스템 시제품의 실내 실험 결과

Oven dry value (%)	Test results (%)
18.6	17.01
24.3	20.52
28.7	22.35
29.2	21.83

나. 유도 인덕턴스 방식 농도 측정 시스템

(1) 개요

유도 인덕턴스 방식의 농도 측정 시스템은 외부로부터 유입되는 슬러지수의 유도 전압을 측정하는 센서부, 센서부에서 측정된 유도 전압에 관한 신호를 전송받아 그 신호를 이용하여 농도를 연산하는 프로세서부, 농도에 관한 결과를 표시하는 표시부

로 구성되어 있다. 센서부는 내부에 시료가 통과하도록 링 모양으로 형성되어 있으며 표면에 제1, 제2토로이드 코일이 감겨져 있다. 제1토로이드 구조물은 프로세서부로부터 교류전압을 인가받아 그 내측으로 측정대상 시료가 통과하면 유량에 따른 전기장 및 자장과 이로 인한 원형의 유도 교류 전류를 발생시키고, 제2토로이드 구조물은 유도 교류 전류에 의하여 유도 기전력 및 유도 전류를 발생시키며, 프로세서부는 유도 전류에 의한 유도 전압 신호를 전송받아 시료의 농도를 연산한다. 기전력 발생 원리는 플레밍의 오른손 법칙과 같다. N극, S극 자장 공간에 배관(또는 튜브)을 설치하고 이동 도체 대신에 유체를 흘려주면 자장의 방향과 유체의 방향에 직각인 제3의 방향으로 기전력이 발생하게 되며, 이러한 기전력은 자속 밀도와 유체의 전도도에 비례하기 때문에 자속밀도만 일정하다면 유체의 전도도와 기전력이 비례하게 된다.

따라서 전극을 통하여 기전력만을 측정하여 기전력과 유체의 전도도와의 관계를 이용하여 유체의 농도를 검출할 수 있다. 프로세서부에서 수행되는 유도전류에 대한 연산 알고리즘에 대해 설명하면 유도전류의 계산은 패러데이(Faraday) 법칙에 의해 구할 수 있다. 자장 공간 내에서 자속밀도 B인 자력선을 직각으로 끊는 방향으로 도체가 이동(이동속도 v)하면, 이동하는 도체를 중심으로 Z축인 도체 이동방향과 Y축인 자계 방향의 직각인 X축 방향으로 기전력이 발생하며, 기전력 크기는 자속밀도와 자력선을 끊는 속도인 도체 이동방향의 속도에 비례하는 법칙을 의미한다.

이러한 패러데이 법칙이 농도 측정방법에 적용되는 경우 우선 자속밀도의 변화에 따른 제2토로이드 구조물에 유도되는 기전력을 측정해야 한다. 제1토로이드 구조물에 의하여 제2토로이드 구조물에 자속이 흐르게 되고 그 결과 아래와 같은 유도 기전력이 발생한다.

$$V = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

여기에서 $d\Phi$: 자속 밀도 변화, dt : 시간 변화, 음의 부호는 방향이 반대임을 의미함.

유도 기전력은 제2토로이드 구조물에 코일이 감긴 횟수만큼 비례하기 때문에 V 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = -N \frac{d\Phi_m}{dt}$$

여기에서 N : 코일이 감긴 횟수

이렇게 구한 유도 기전력을 옴의 법칙을 이용하여 아래와 같이 유도 전류를 구할 수 있다.

$$I = -N \frac{d\Phi_m}{Rdt}$$

여기에서 R : 코일 저항의 크기

(2) 실내 성능 평가

인덕턴스 방식의 측정 시스템 성능을 평가하기 위하여 실험실에서 농도별로 시료를 제조하고 이를 활용해 건조법과 비교 실험을 실시하였다. 샘플링 방식은 수중펌프식을 적용하였다. 실험 결과 그림 3.2.40와 같이 농도 5~40%의 전범위에서 양호한 결과를 보이고 있다.



a) 시스템 구성

b) 농도 측정(수중 펌프형)

그림 3.2.39 인덕턴스 방식 측정 시스템 실내 평가

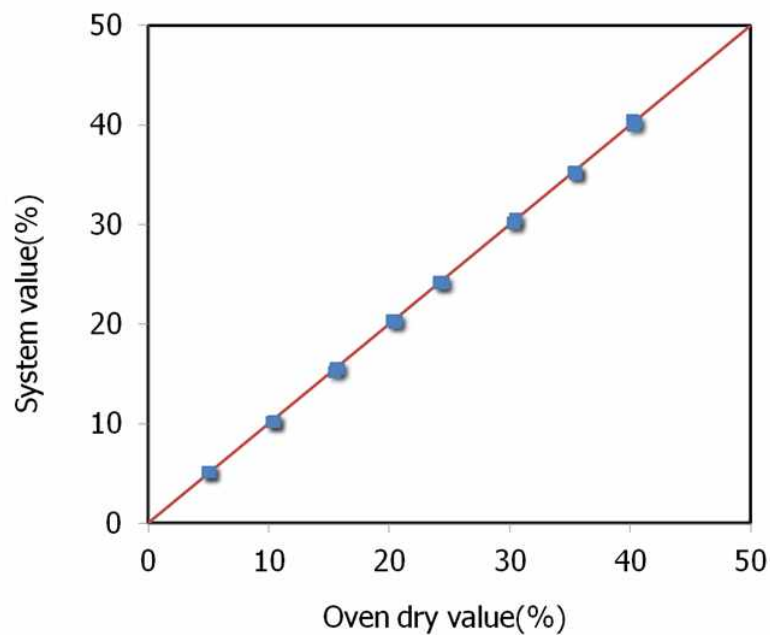


그림 3.2.40 건조법에 의한 농도 측정값과 인덕턴스 방식 측정 시스템 측정값의 관계

3. 회수수 고형분 측정 시스템의 현장 성능평가

회수수 고형분 측정 자동화 시스템의 현장 적용성 평가를 통해 개발 시스템의 성능을 보완하기 위한 실제 레미콘 현장에서의 실험을 아래와 같이 실시하였다.

- 현장 소재지: 경기도 A사
- 평가 항목: 슬러지수 농도(%)
- 가동 시간중 연속 측정(10분당 1회 저장, DATA 자동 저장)
- 1일 2회 현장시료 채취 후 건조법을 사용하여 슬러지 농도를 측정하고 시스템 측정값과 비교
- 건조법에 의한 농도는 아래 식을 사용하여 구함.

$$\text{슬러지수 농도(\%)} = \frac{\text{건조후 슬러지 질량(g)}}{\text{슬러지수 질량(g)}} \times 100 - 0.2$$

아래 사진과 현장 실험에 있어서 슬러지수 농도 측정을 위한 샘플링 방법은 실내 시험에서 사용했던 방식인 수중 펌프식으로 회수수 탱크 내부에 설치한 수중 펌프를 이용하여 슬러지수가 관을 따라 센서부로 이동되도록 하였다. 센서부의 이물질 고착으로 인하여 측정능력이 저감되는 것을 방지하기 위하여 센서부 양쪽에 고압으로 물을 분사할 수 있는 세정장치를 부착하였다.



그림 3.2.41 1차 현장 실험 현장

상기 준비 절차를 거쳐 본 시험을 수행하였으나 농도 측정 시스템에 의해 측정된 결과가 건조법에 의한 결과와 현저한 차이와 불규칙한 결과를 나타냈다.

표 3.2.11 수중펌프 방식의 샘플링을 통한 슬러지 농도 측정 결과

Oven dry results(%)	Test results(%)
32.09	19.88
34.10	30.72
33.54	10.55
32.53	0.00

탱크 내부에 설치한 수중펌프에서 센서부로 동일한 양과 유속의 슬러지수가 공급되지 않는 문제가 발생하였으며 원인 분석 결과 슬러지수 사용량에 따라 탱크 내부의 수위가 변동되기 때문인 것으로 확인되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 수중펌프를 가능한 탱크 최하단부에 설치하였으나 최하단부의 경우 상부보다 상대적으로 이물질이 많기 때문에 수중펌프의 출력이 낮아지고, 시간이 경과할수록 수중펌프 표면 전체가 아래 그림과 같이 고착되어 정상적으로 펌프가 작동하지 못하였다.



a) 탱크 내부에 설치된 수중 펌프 b) 고착된 상태의 수중 펌프

그림 3.2.42 현장 실험 중 수중펌프 상태

수중펌프를 사용한 샘플링 방식의 문제를 원천적으로 해결하기 위하여 기존 방법과는 다른 새로운 샘플링 방식을 시도하였다. 아래 그림과 같이 레미콘 생산현장의 batch plant로 회수수를 이송하는 main 배관에 분관을 설치하여 일정량을 샘플링하는 방식으로 변경하여 측정하였다. 이와 같은 샘플링 방식을 통하여 수중펌프로 인한 문제를 해결하는 동시에 일정한 유량과 유속을 확보하게 되어 측정시 발생되었던 헤팅 문제도 해결할 수 있었다. 또한 main 배관에서 센서부로 연결하는 배관들의 길이도 최적화하여 배관에 고인 시료가 고착되던 문제도 개선하였다. 이와 같은 샘플링 방식의 추가적인 장점은 main 배관에서 직접 샘플링을 하기 때문에 기존에 저장 탱크에서 수중펌프를 통해 샘플링하는 방식에 비하여 상대적으로 배합시 사용되는 회수수와 동일한 조건의 시료를 샘플링하여 측정할 수 있다.



a) Main 배관 분기점

b) 측정 센서부 및 Holder

그림 3.2.43 Main 배관을 통한 샘플링 방식

Main 배관에서 샘플링하는 방식으로 실시한 현장 실험결과 전체 기간 동안의 최대 농도는 29.01%, 최소 농도는 8.31%를 나타냈으며 전체 기간 동안의 평균 농도는 18.66%이다. 1일 평균농도의 경우 최대 22.92%, 최소 12.06%이고 1일 최대 농도 차이는 15.14%로 나타났다. 실험 현장의 경우 일 평균 농도 차이(해당일 평균농도-전일 평균농도)뿐만 아니라 해당일 최대 농도와 최소 농도 차이가 큰 특징을 나타내고 있다. 이와 같은 농도 변동은 레미콘 출하량, 회수수 사용량, 강수량 등 다양한 요인에 의한 것으로 판단된다.

표 3.2.12 현장 실험 결과 - 슬러지 농도

Date	Max(%)	Min(%)	Ave(%)	SD
2011.10.28	19.97	18.88	19.47	0.25
2011.11.01	25.00	21.30	23.04	1.03
2011.11.03	25.84	17.79	21.31	2.60
2011.11.04	21.63	11.50	16.46	3.81
2011.11.07	21.92	15.35	17.69	2.22
2011.11.09	23.48	21.27	22.08	0.66
2011.11.10	23.67	20.19	22.92	0.81
2011.11.14	22.58	14.04	17.94	2.95
2011.11.15	17.49	16.00	16.61	0.43
2011.11.16	18.64	14.77	17.06	0.99
2011.11.17	18.59	15.76	17.10	0.87
2011.11.21	18.24	16.40	17.41	0.44
2011.11.22	24.73	20.19	22.17	1.50
2011.11.25	29.01	13.87	20.72	5.45
2011.11.28	21.73	17.76	19.58	1.13
2011.11.29	13.84	8.31	12.06	1.31
2011.12.01	17.85	13.57	15.35	1.27
2011.12.02	17.82	15.82	16.89	0.49

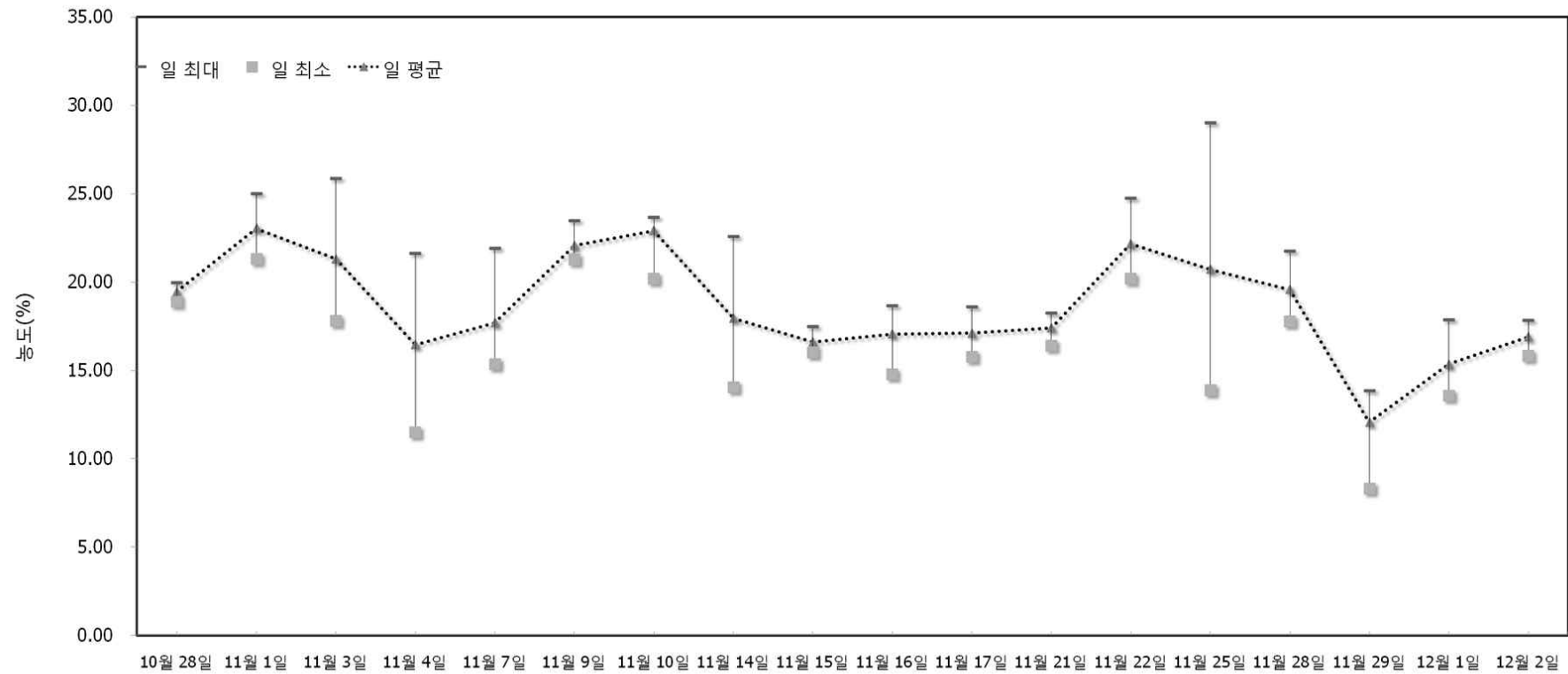
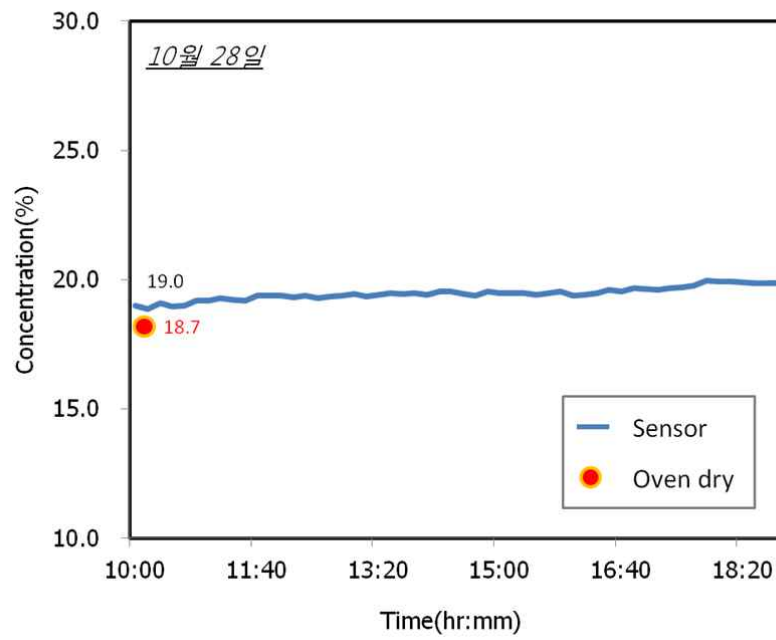
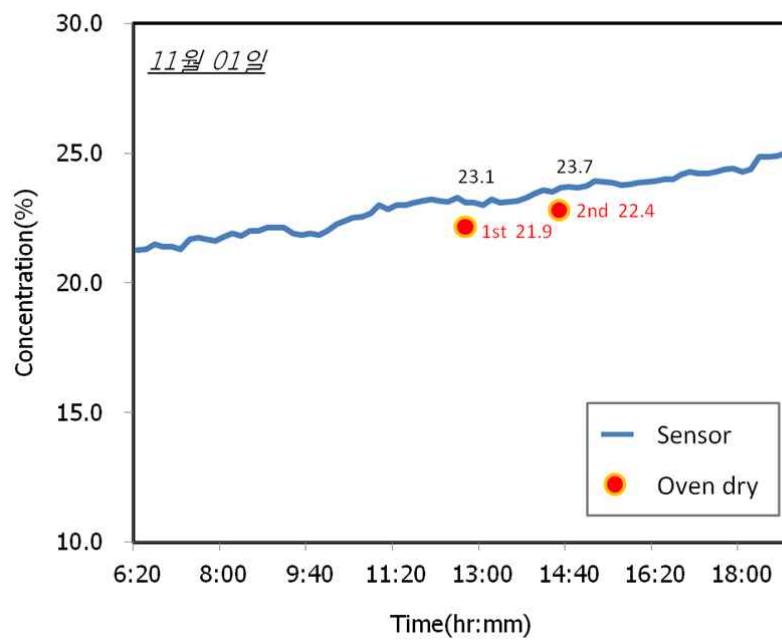


그림 3.2.44 현장 슬러지 농도 측정 - 최대/최소/일평균

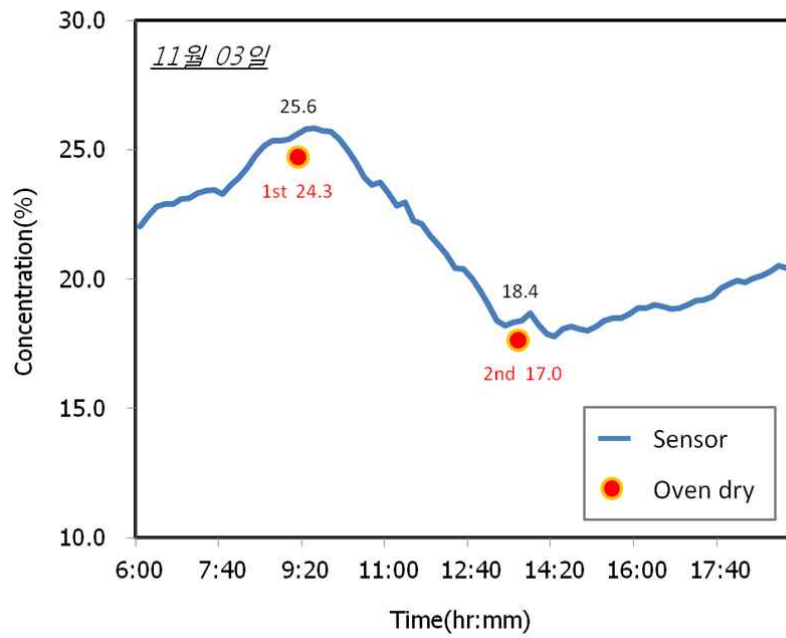


a) 10월 28일

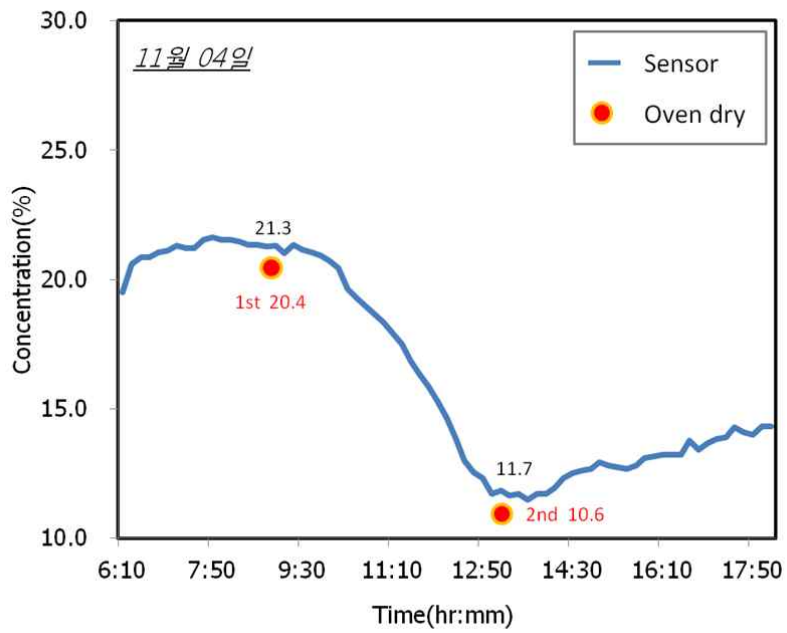


b) 11월 1일

그림 3.2.45 슬러지 농도 현장실험 결과(계속)

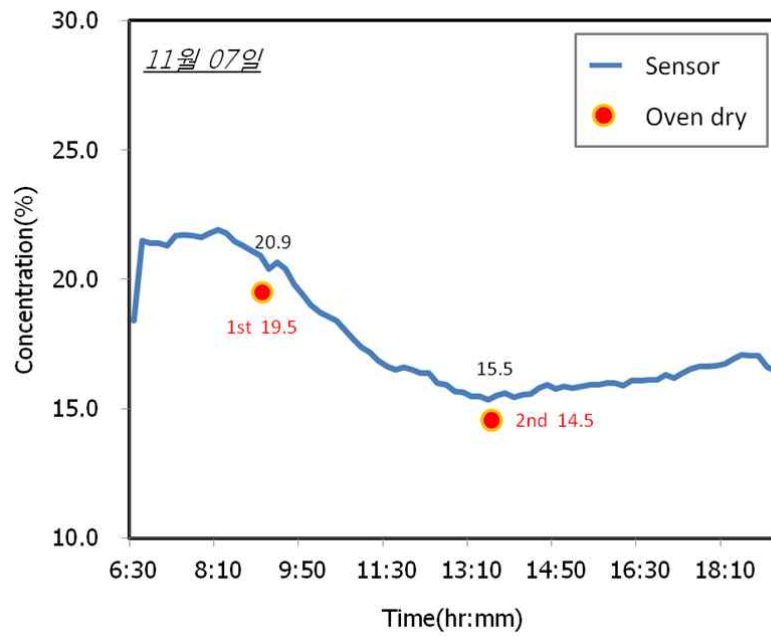


c) 11월 3일

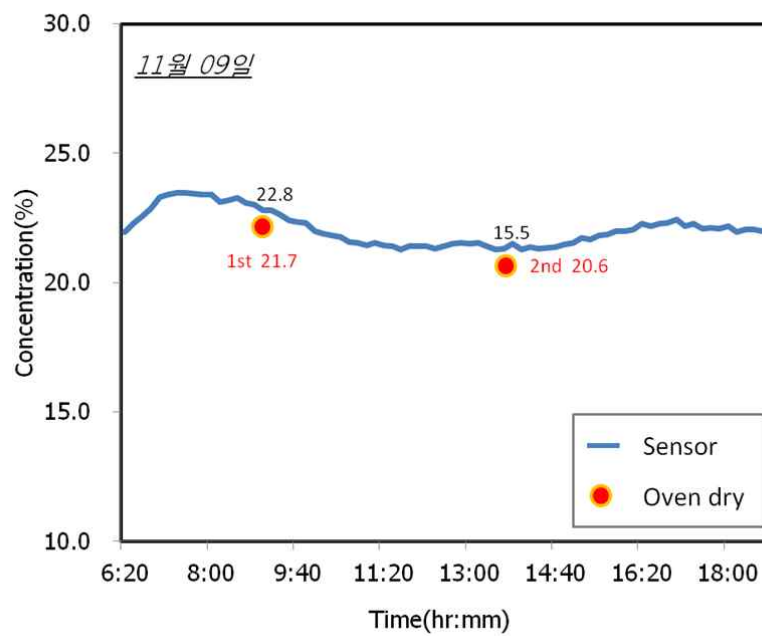


d) 11월 4일

그림 3.2.45 슬러지 농도 현장실험 결과(계속)

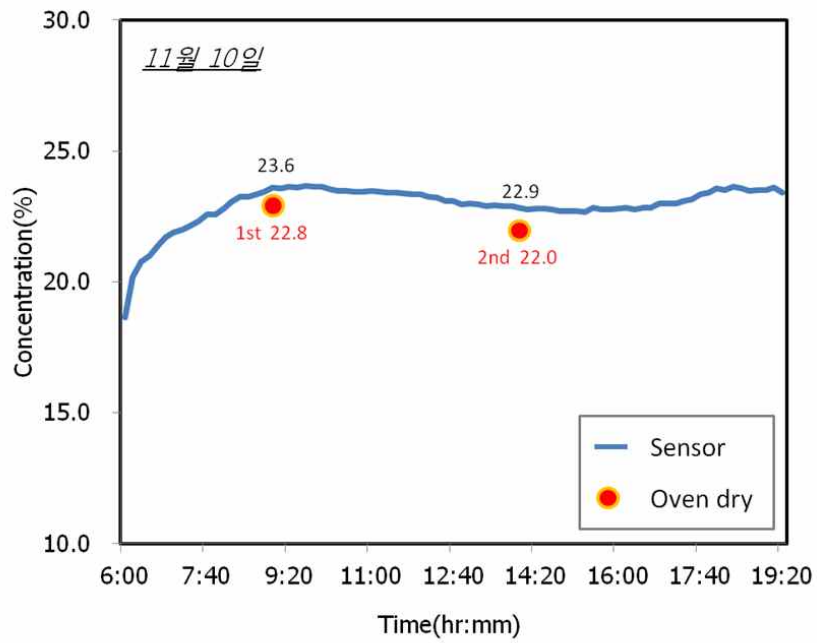


e) 11월 7일

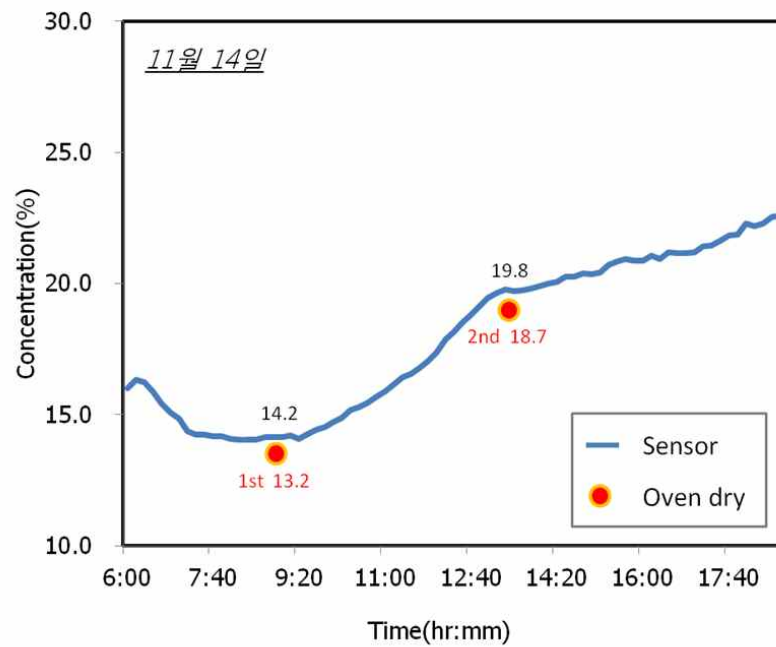


f) 11월 9일

그림 3.2.45 슬러지 농도 현장실험 결과(계속)

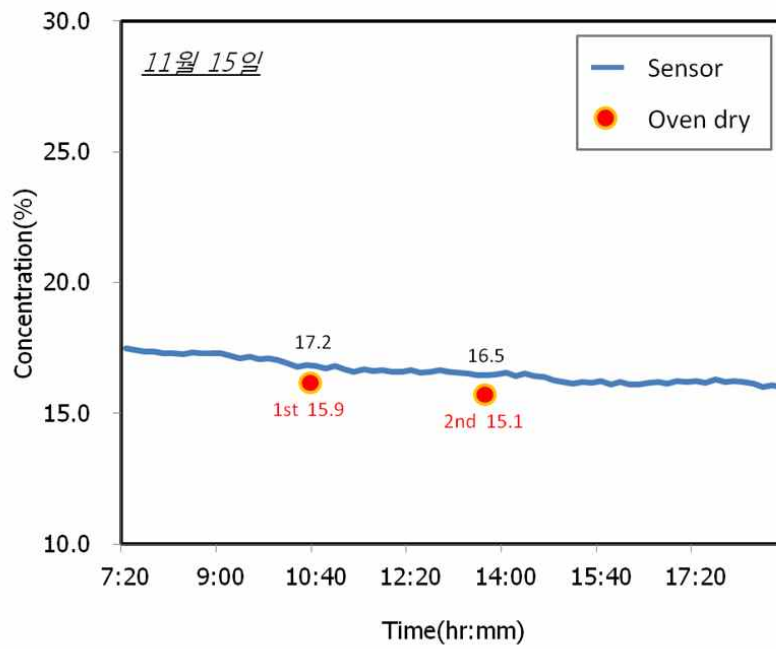


g) 11월 10일

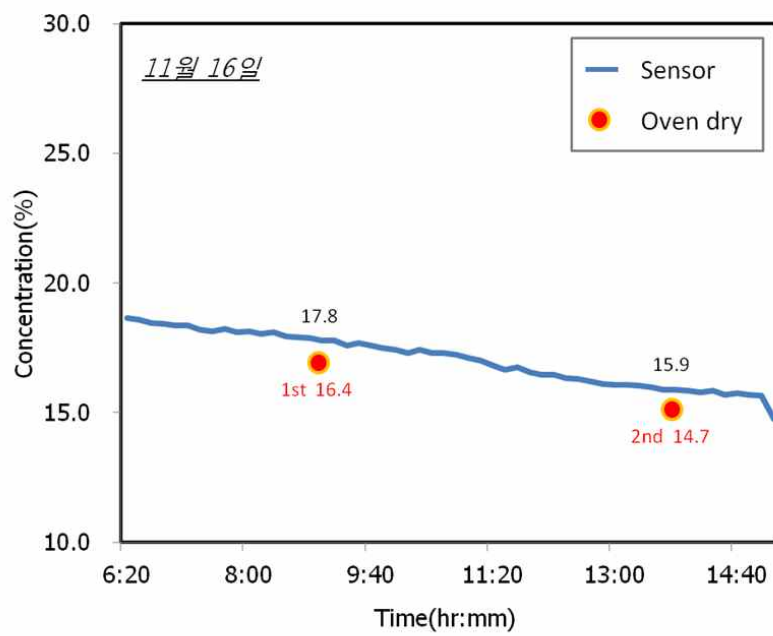


h) 11월 14일

그림 3.2.45 슬러지 농도 현장실험 결과(계속)

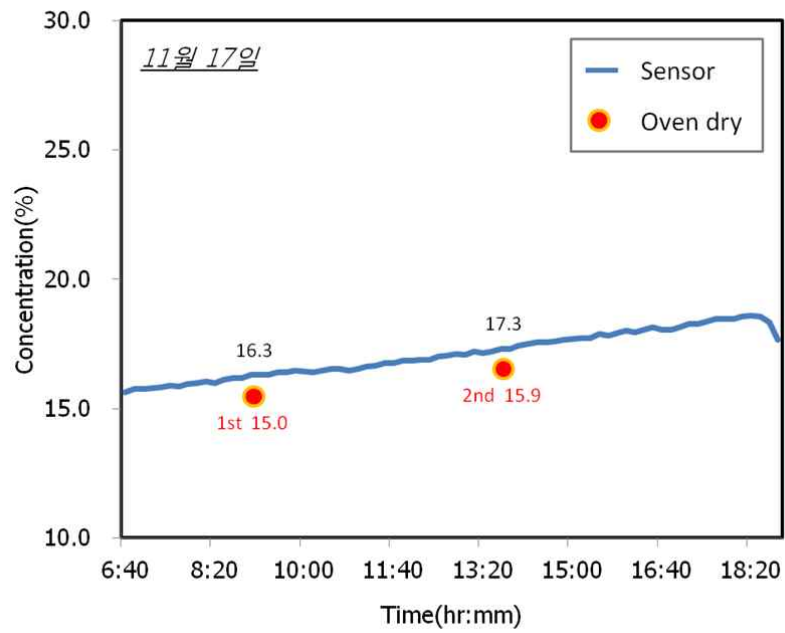


i) 11월 15일

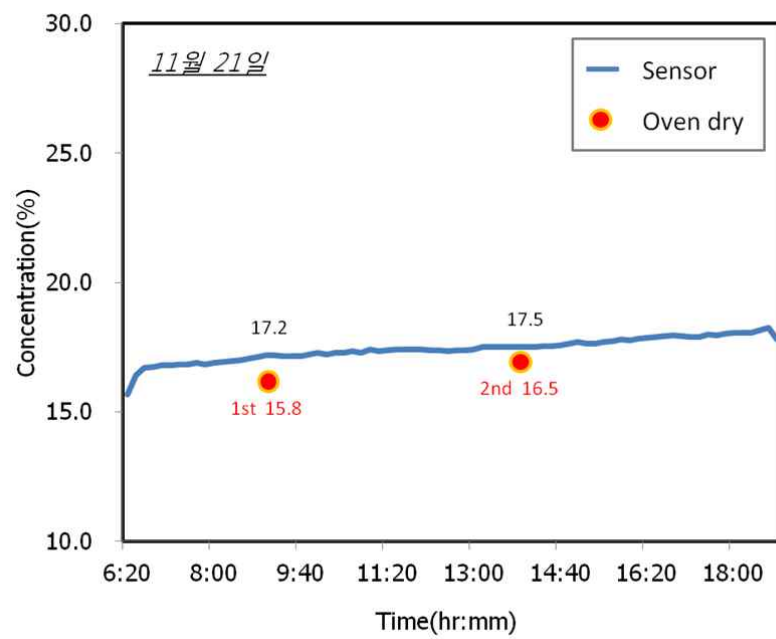


j) 11월 16일

그림 3.2.45 슬러지 농도 현장실험 결과(계속)

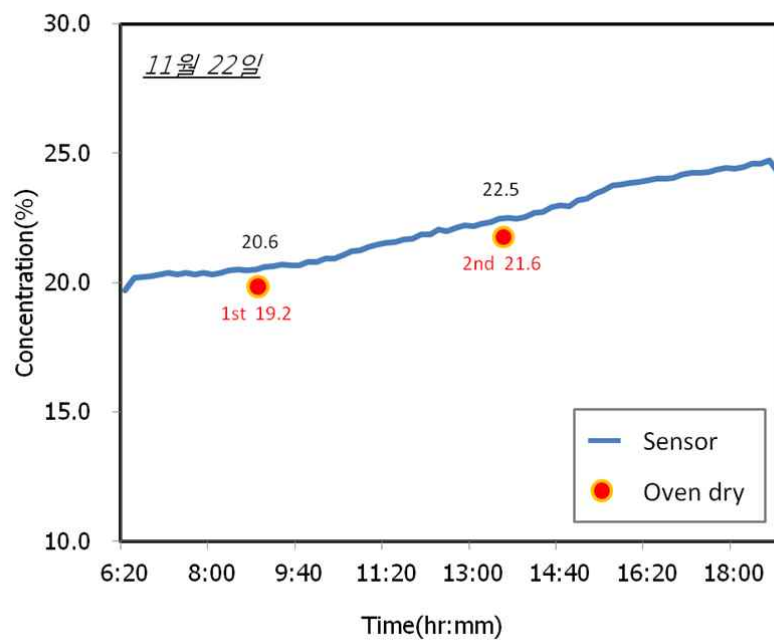


k) 11월 17일

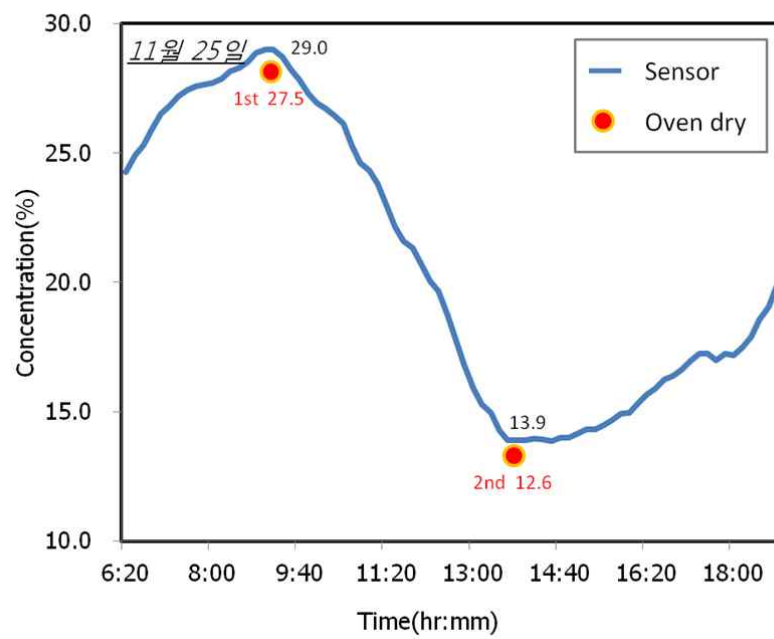


l) 11월 21일

그림 3.2.45 슬러지 농도 현장실험 결과(계속)

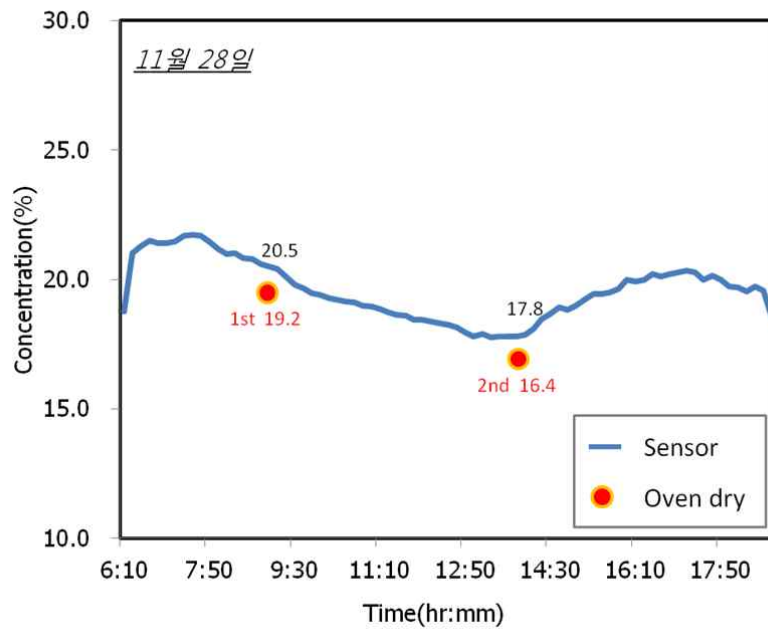


m) 11월 22일

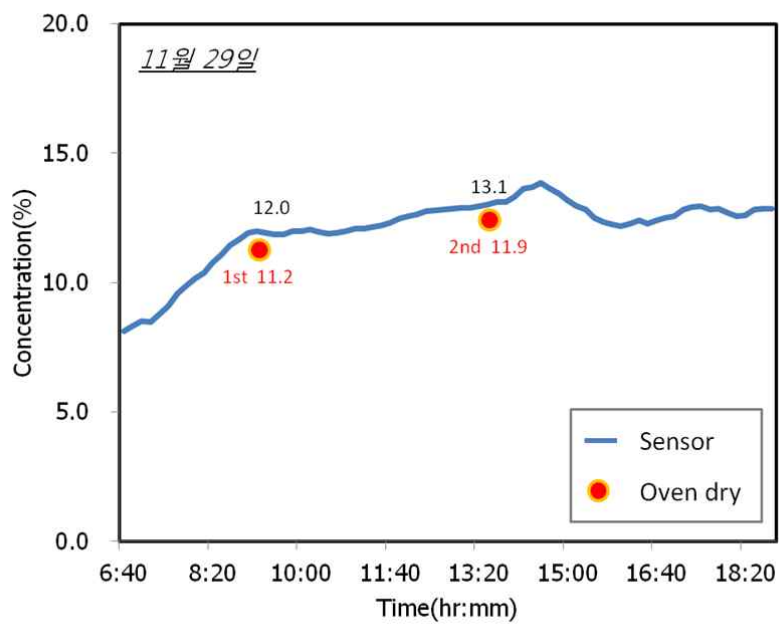


n) 11월 25일

그림 3.2.45 슬러지 농도 현장실험 결과(계속)

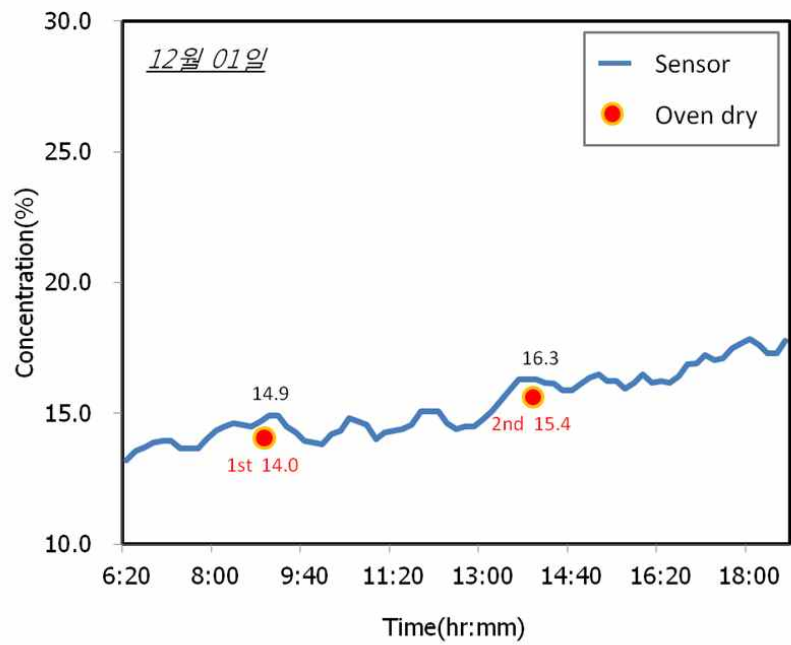


o) 11월 28일

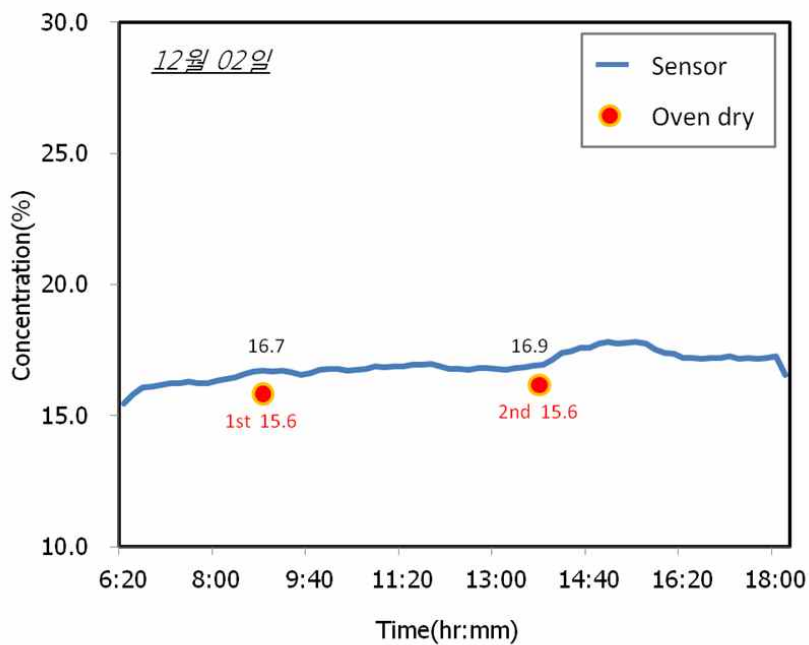


p) 11월 29일

그림 3.2.45 슬러지 농도 현장실험 결과(계속)



q) 12월 1일



r) 12월 2일

그림 3.2.45 슬러지 농도 현장 실험 결과

이와 같이 측정된 농도값은 단위 슬러지 고형분을 산정에 자료로 활용되어 청수와 슬러지수 사용량을 결정하게 된다. 현장 실험결과 슬러지 농도 측정 오차는 그림 3.2.46과 같이 모두 $\pm 5\%$ F.S 이내로 나타났다(F.S= 30%).

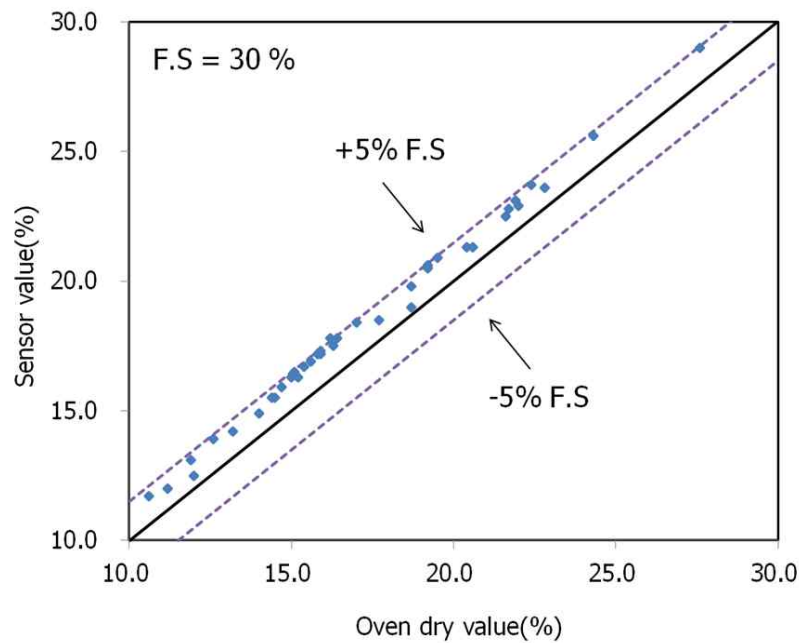


그림 3.2.46 슬러지 농도 측정 현장실험 오차

현재 그림 3.2.47과 같이 회수수 고형분 측정 자동화 시스템에 대한 2차 현장 실험 중에 있다. 1차 실험과 동일하게 회수수 탱크 상부에 농도 측정 장치와 Controller를 설치하고, Main 배관에서 농도 측정을 위한 전용 배관을 통해 시료를 측정장치로 이송한다. 측정장치에 의한 실시간 농도를 측정하고 무선으로 현장 사무실 내부 Panel로 결과값을 전송하도록 설치하였다. 현장 실험결과를 바탕으로 시스템의 성능을 개선할 계획이다.



a) 농도 측정 장치 및 Controller b) 현장 사무실 내부 설치 Panel

그림 3.2.47 2차 현장 실험 개요

제 3절 단위수량 측정 시스템 개발

1. 단위수량 측정 필요성

단위수량이란 골재를 표면건조 포수(飽水)상태로 한 조건에서의 콘크리트 1m³ 중의 물의 양으로, 일반적으로 질량으로 표시되는 값이다. 즉, 콘크리트 중의 전체 수량(水量)에서 세골재(細骨材) 및 조골재(粗骨材)가 흡수하는 수량을 제외한 물의 양이다. 그리고 단위수량은 콘크리트의 품질을 좌우하는 가장 중요한 인자 중의 하나이다.

일반적으로 단위수량을 증가시키면 콘크리트의 슬럼프는 커지고 유동성이 높아지는 등 워커빌리티(Workability, 콘크리트를 시공할 때의 유동성, 점성, 비분리성 따위를 나타내는 수치)의 개선에 도움이 되어 운반이나 타설, 다지기 등의 작업이 쉬워진다. 그러나 단위수량이 과잉으로 증가하면 다음과 같은 콘크리트 품질상의 문제가 발생하기 쉬워진다.

- 1) 조골재와 모르타르가 분리되어 품질의 균일성이 손상되고 타설 결함부의 발생으로 이어진다.
- 2) 건조 수축이 증대하여 수축 균열 발생으로 이어진다.
- 3) 블리딩(bleeding)이 증가하여 철근·골재 밀면에 공극(空隙)이 증가하여 철근과 콘크리트의 부착력이 떨어진다. 또한, 타설 후의 침강 균열, 수분 이동에 의한 표면상태의 악화 등으로 이어진다.
- 4) 시멘트와의 수화 반응에 이바지 하지 않는 자유수가 증가하여 염분이나 수분, 각종 기체의 침투 저항성이 떨어져 내구성 저하로 이어진다.

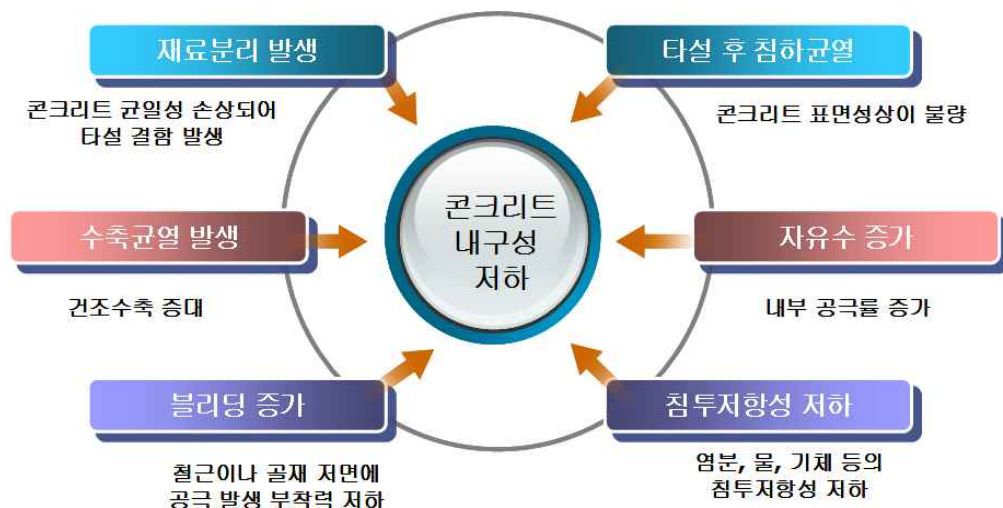


그림 3.3.1 수량 증감에 따른 내구성 저하

또, 목표로 하는 강도 혹은, 물-시멘트비가 일정한 조건에서 단위수량의 증가는 단위시멘트량의 증가로 이어지며, 매스콘크리트에서는 온도 균열이 발생하기 쉬워진다.

또한, 단위시멘트량을 그대로 두고 수량만 증가시키면 물-시멘트비가 커져 강도가 떨어질 뿐만 아니라 더 나아가 조골재와 모르타르가 쉽게 분리되어 시공성이 오히려 낮아지거나 품질의 균일성이 떨어지며, 타설 결함부 발생으로 이어진다. 따라서 단위수량은 콘크리트의 성능에서 매우 중요하며, 콘크리트의 배합설계에서는 워커빌리티와 강도, 내구성 등 필요한 성능을 만족하는 범위에서 그 값을 가능한 한 작게 할 필요가 있다. 이전에는 양질의 자갈, 모래를 이용한 경우에는 슬럼프의 최대치를 제한하면 필연적으로 단위수량이 어느 값 이하로 억제되어 슬럼프와 콘크리트의 품질에도 일정한 대응관계가 있었다. 그러나 최근에는 쇄석·쇄사(碎砂, 부순 모래)가 많이 이용되고, 골재의 입자모양이나 입도분포 개선에 노력하고 있는 경우도 적어지고 있어 기존처럼 슬럼프를 일정치 이하로 하는 것만으로는 단위수량의 증대를 억제하는 것이 곤란하게 되었다. 또한, 최근에는 유동화제(流動化劑)나 고성능 AE 감수제에 따라 슬럼프를 자유롭게 바꾸는 것이 가능해져 슬럼프와 단위수량의 대응에 일정 관계를 적용하는 것이 곤란한 상황이다.

한편, 최근 국내에서는 콘크리트용 원자재, 특히 잔골재의 수급 파동 등에 기인하여 레미콘의 품질 저하가 우려되고 있으며, 요구 품질을 만족시키지 못하여 반품된 레미콘이 다른 건설현장으로 재차 반입되는 사례가 각종 언론매체를 통하여 보도되는 등 국가·사회적으로 콘크리트 공사의 부실시공에 대한 우려가 제기되고 있는 실정으로서 레미콘 품질관리의 중요성이 크게 부각되고 있다. 향후 콘크리트용 골재 수급 불균형 문제가 지속적으로 제기될 것으로 예상되고 있으며, 콘크리트 구조물의 고품질화에 대한 요구 또한 지속적으로 증가되고 있어 이와 같은 불량 레미콘의 문제점을 해결하고 내구성이 우수한 고품질의 콘크리트 구조물을 구축하기 위해서는 레미콘의 품질관리가 강화되어야 할 필요성이 크게 대두되고 있다.

표 3.3.1 단위수량과 관련한 국내현황 및 문제점

구 분	현황 및 문제점
공급자 (레미콘)	■ 골재 입수시마다 밀도, 흡수율, 조립율 등의 기초물성 시험 곤란 ■ B.P(배척플랜트)에 골재 표면수율을 실시간으로 측정할 수 있는 센서가 없거나 고장난 상태 ■ 레미콘 에지테이터 배차시 잔수처리를 하지 않아 새로 수급되는 레미콘에 가수효과 발생 ■ B.P에서 레미콘 에지테이터에 콘크리트 수급 후 호퍼에 묻은 콘크리트를 물로 세척하는 과정에서 내부로 물이 유입되어 가수됨
사용자 (시공자)	■ 레미콘 공급계약과 상이한 품질의 콘크리트를 요구(계약은 슬럼프 8cm로 하고 납품은 15cm 또는 18cm로 요구)함에 따라 공급자측에서 단가를 고려한 저품질의 콘크리트 납품 유도
관리자 (감독관)	■ 현재 레미콘 품질을 확인하는 항목은 공기량, 슬럼프, 압축강도, 염화물함유량 4개 항목이 전부이며, 이러한 항목만으로는 주문 발주한 레미콘의 배합물량이 정확하게 지켜지는가에 대한 정량적인 품질관리가 불가능한 상태

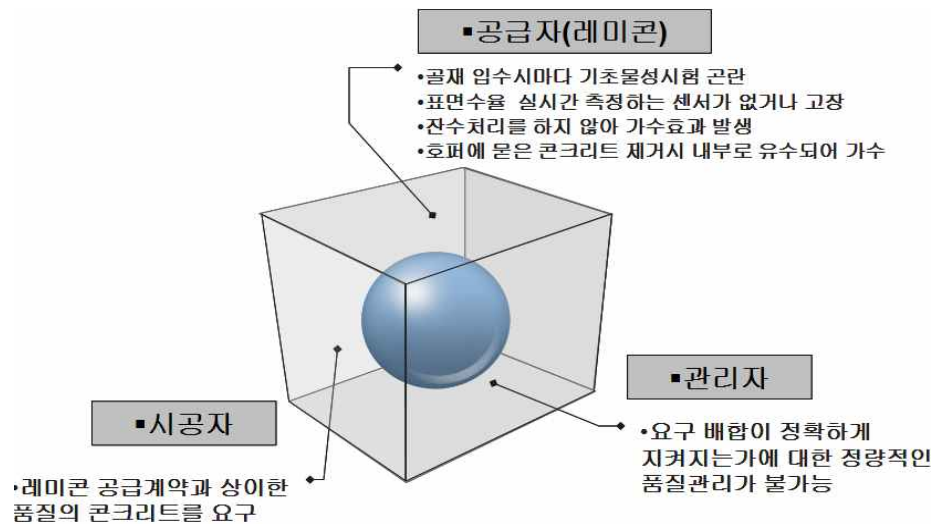


그림 3.3.2 단위수량과 관련된 국내현황

6 2005년 3월 25일 금요일 제17091호 **사 회**

불량 레미콘 아파트 건설 ‘섬뜩’

가오지구 건설사들 시설물 철거 재시공등 ‘흉역’

고려 하이콘 제품 조장제 과다투입
해당업체들 “경미한 사항 문제없어”

대전지역에 건축에 아파트공사 중 시공되고 있는 일부 건설사들이 불량레미콘으로 조장제를 과다투입해 건물 시공이 뒤늦게 밝혀져 파문이 일었다.

최근 이 과정에서 해당 건설사들이 이를 미수습한 사실이 밝혀져 주민들의 우려를 사들였다. 특히, 아파트 주민들의 안전을 위협하는 것으로 지적되고 있다.

건설사들은 “레미콘은 콘크리트의 강도를 높이기 위해 사용되는 것으로, 과다투입은 강도를 높이는 효과가 없다”고 주장하며, “레미콘을 과다투입한 것은 사실이지만, 이는 시공상의 과실로, 법적 책임을 지고 재시공할 것”이라고 밝혔다.

한편, 건설사들은 “레미콘을 과다투입한 것은 사실이지만, 이는 시공상의 과실로, 법적 책임을 지고 재시공할 것”이라고 밝혔다.

국민일보

수도권·충청권 일대 불량레미콘 나돈다

수도권과 충청권 일대에 불량레미콘이 나돌고 있는 것으로 나타났다. 국회 건설교통위원회 정장선 의원은 5일 건설교통부에 대한 국정감사에서 “수도권과 충청권에 불량레미콘이 나돌아 안전에 문제가 있는 것으로 확인됐다”면서 “부실시공 건축물 양산이 우려된다”고 지적했다.

실제로 건설부가 지난 5월과 8월 수도권과 충청권의 레미콘 업체 73곳에 대한 특별점검을 실시한 결과 69.9%인 51개 업체의 레미콘 품질관리기준이 미흡한 것으로 드러났다. 특히 10개 업체는 콘크리트 품질 가운데 가장 중요한 요소 중 하나인 압축강도시험을 아예 하지 않거나 압축강도 시험을 방법으로 실시했다. 또 다른 8개 업체는 콘크리트 반죽의 무르고 된 정도를 나타내는 슬럼프값 조사방법이 부적합한 것으로 지적됐다.

콘크리트 반죽이 너무 무르면 모래, 자갈 등이 한 곳으로 몰리는 재료분리가 되고, 반죽이 너무 되면 건조수축으로 인한 콘크리트 균열현상이 발생하게 된다. 정 의원은 “올들어 발생한 골재파동 여파로 불량레미콘 업체가 대거 발생한 것으로 추정된다”면서 “충분한 모래골급과 레미콘 품질에 대한 철저한 관리로 부실건축물이 양산되지 않도록 해야 한다”고 지적했다.




그림 3.3.3 불량 레미콘에 관한 언론 매체 보도사례

국내 KS F 4009, 콘크리트표준시방서, 건축공사표준시방서에서도 수량의 중요성을 인식하고 단위수량을 작업이 가능한 범위 내에서 최소한으로 사용하도록 규정하고 있음. 특히 건축공사표준시방서에서는 보통콘크리트 범위(내구성능을 확보하기 위한 재료 및 배합에 관한 규정)에서 단위수량을 185kg/m^3 이하, 고내구성콘크리트 범위에서 175kg/m^3 이하가 되도록 규정하고 있다.



그림 3.3.4 단위수량 관련 규정(기준)

현장에서는 배합설계에 정한 단위수량과 실제로 믹싱된 단위수량과는 다른 경우가 많다. 예를 들면 배합 설계시에는 공기량을 목표대로 계산하지만, 실제로 혼련된 콘크리트에서는 공기량은 혼화제의 사용량, 온도, 혼련 상태 혹은, 경과 시간에 따라 변화한다. 목표로 하는 공기량에 대하여 1% 많은 공기량이 된 경우에는 단위수량은 계획보다 실질적으로 1% 적어진다. 또, 시공시에 시간이 경과함에 따라 공기량이 1% 감소한 경우에는 단위수량은 결과적으로 1% 증가하게 된다.



그림 3.3.5 단위수량의 변동에 영향을 미치는 요인

또한, 배합 설계는 공사 시작 전 실내에서의 시험 믹싱에 의하여 결정되는 경우가

많아 하기(夏期, 여름철)나 동기(冬期, 겨울철)에 시공될 경우에도 중간기(中間期)와 마찬가지로 20℃ 가까운 조건에서 배합 설계가 결정되는 경우가 관례가 되고 있다. 일부 공장에서는 하기 배합과 동기 배합 등 계절별로 패턴을 변화시키는 경우도 있는데, 목표 슬럼프를 일정하게 하여 혼화제 첨가율을 일정하게 하여 기온이 바뀌면 필연적으로 배합 설계를 수정하는 것이 필요하다. 또한, 골재의 입도분포나 입자모양이 변동하면 콘크리트의 유동성이 변화되기 때문에 슬럼프를 안정시키기 위하여 조정이 필요하다. 따라서 콘크리트의 필요한 성능을 엄밀히 확보하기 위하여서는 날씨나 기온의 변동 및 골재의 입도분포나 입자모양의 변동에 따라 배합 설계의 수정이 필요하다. 그러나 콘크리트 제조 시에 재료를 계량하기 위한 제어 장치에 입력이 번잡해지기 때문에 보통은 믹싱 시에 슬럼프가 정해진 값이 되도록 골재 표면수율의 변동을 보정한다는 명목으로 배합수의 투입량을 조정하고 있는 것이 현 상황이다.

한편, 천연 골재 자원의 고갈로 인하여 골재 생산의 소규모화, 동일 품종으로 복수의 다른 산지에서 도입, 골재 종류의 다양화 등으로 최근에는 품질이 안정된 골재를 다량으로 입수하는 것은 곤란한 경우가 많아지고 있다. 레디믹스트콘크리트공장에서는 복수의 골재를 사용하여 약간의 입도 조정을 하는 이외에는 골재의 입도분포나 입자모양의 개선, 미립분(75 μ m 이하)의 양을 삭감·제거하는 등의 가공은 하지 않기 때문에 입도분포 등의 변동이 발생하여 위에서 설명한 슬럼프 관리 방법에서는 콘크리트의 필요한 성능을 충분히 확보하는 것이 곤란해지고 있다.

단위수량의 과대한 증가는 콘크리트 구조물의 내구성을 현저하게 떨어뜨릴 가능성이 있는데다가 기존의 슬럼프 시험에 의한 간접적인 단위수량의 관리 방법이 고성능 AE 감수제 등 화학 혼화제 사용으로 적용이 곤란해지고 있다. 단위수량의 각종 측정 방법에 따라 직접적으로 단위수량을 측정·관리하여 강도와 마찬가지로 내구성에 대하여도 품질 보증을 요구하는 경향은 높아지고 있다.

제조자로서의 품질보증을 올바르게 하기 위하여 단위수량을 관리하거나 콘크리트의 단위수량을 굳지 않은 콘크리트 도입 검사 항목으로 하는 것은 수요자의 신뢰성 확보를 위하여 필요한 조건이 되고 있다.

2. 국내외 기술개발 현황

콘크리트 배합요인 중 단위수량은 굳지 않은 콘크리트의 시공성 뿐만 아니라 경화 콘크리트의 균열, 압축강도 및 내구성 등에 커다란 영향을 미치는 요인으로서 콘크리트 품질관리에서 중요시되는 부분이다. 더욱이 최근 콘크리트 구조물의 내구성 문제가 대두되고, 콘크리트 구조물의 장수명화가 요구됨에 따라 단위수량 관리의 중요성은 더욱 부각되고 있는 실정이다.

그러나 콘크리트 제조 시 레미콘 공장에서 단위수량은 골재의 표면수량 변화 등에 따라 변동하기 쉬우며, 일부 레미콘 공장에서는 콘크리트의 유동성을 높이기 위해 계획된 배합보다 많은 양의 물을 첨가하는 경우도 지적되고 있어 콘크리트의 단위수량을 정확하게 측정할 수 있는 방법 개발의 필요성이 제기되고 있다.

이러한 측면에서 선진외국의 경우에는 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기법에 관한 연구를 1980년대부터 시작하여 최근에는 콘크리트의 품질관리 기법으로서 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 신속 측정방법을 활용하기 위한 품질기준 정립을 도모하고 있는 상황이다.

그러나 아직까지 국내에서는 레미콘 품질관리 기법으로서 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정방법을 활용하기 위한 연구가 미비한 실정으로서 레미콘의 체계적 품질관리에 의한 고품질 콘크리트구조물의 구축을 위하여 굳지 않은 콘크리트의 품질관리 기법 연구개발이 지속적으로 요구되고 있다.

한편, 지금까지 국내·외에서 제안되고 있는 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 신속 측정방법에 관한 연구 및 기술개발 동향을 정리하면 다음과 같다.

가. 국내의 기술개발 현황

국내에서는 콘크리트의 품질을 조기에 판정하기 위한 연구로서 주로 압축강도를 대상으로 하여 단위시멘트량 추정과 축진 압축강도 시험을 중심으로 연구가 이루어졌으며, 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정방법에 관한 연구는 아직까지 미미한 실정이다.

국내에서의 연구는 2000년대 초반 한천구 등에 의해 콘크리트의 단위수량과 콘크리트 성능의 관계에 관한 연구의 일환으로서 단위수량 측정방법에 관한 연구가 이루어졌으며, 측정방법으로서는 기존의 가열건조법에 관한 검토가 이루어졌다. 연구의 내용으로서는 웨트스크리닝을 실시하지 않고 가열건조법에 의한 단위수량을 추정하고자 하였으며, 물-시멘트비, 단위수량 변화 및 골재종류에 따른 단위수량의 측정 오차를 검토하였고, 단위수량 측정방법으로서의 적용성을 확인하였다.

그러나 국내의 경우 아직까지 건설생산현장에서 반입되는 레미콘의 품질관리를 위한 기법으로서 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 신속 측정방법을 적용하기 위한 연구는 전혀 이루어지지 않고 있으며, 더욱이 최근의 원자재 품질저하에 따라 불량 레미콘의 생산이 지속적으로 발생될 것으로 예상되고 있어 체계적인 레미콘 품질관리 기법 구축을 위한 연구개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

즉, 현재 국내의 연구 및 기술개발 동향은 다음과 같다.

- (가) 국내 단위수량 관리기법의 기술개발 수준은 단순도입단계로서 주로 일본에서 생산되고 연구되고 있는 단위수량 측정기법 및 측정기기 자체의 정밀도를 평가하는 수준이며,
- (나) 적정수준의 품질관리 한계 설정 및 생산 시 품질관리에 적용하는 등의 현장 실용화에 관한 연구는 미흡한 실정으로 계획단위수량의 변동에 따른 콘크리트의 품질변화에 대한 기초 데이터가 없으며, 압축강도/내구성을 고려한 단위수량 관리한계치 등 단위수량 관리기술의 고도화가 요구된다.

나. 국외의 기술개발 현황

(1) 일본

선진외국의 경우 경화 콘크리트 내구성의 중요성이 부각됨에 따라 콘크리트의 단위수량 관리방법에 관한 연구개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 특히, 일본의 경우 1970 ~ 1980년대에 콘크리트 품질의 조기 판정방법에 관한 연구를 활발히 수행하였으며, 이러한 조기 판정방법 중 경화 콘크리트의 성상에 큰 영향을 미치고, 콘크리트 배합상의 재료량 추정 시 정밀도 및 용이성이 양호하다는 측면에서 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정방법에 관한 기술개발이 1980년대 후반부터 지속적으로 이루어지고 있다. 1988년 豊福 등은 콘크리트 품질관리에 있어서 현장타설시 품질 평가의 필요성을 제기하고, 1989년 건조법, 1990년 RI 법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정방법의 적용성을 검토하였다. 또한, 1990년 일본 건설성 토목연구소에서는 小林, 高橋 등에 의해 건조법에 의한 단위수량 측정방법의 적용성을 검토하였다. 이후 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정방법에 관한 연구는 기존에 측정 기법으로 다양하게 제안되어 있어 새로운 연구가 진행되지 않았으나 1990년대 후반부터 레미콘 품질관리 및 내구성의 중요성이 부각됨에 따라 다시 연구가 활발하게 진행되고 있다.

그림 3.3.6은 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정방법에 관련된 일본에서의 연구발표 논문수를 나타낸 것으로서 1997년 이후 관련 연구가 지속적으로 추진되어 최근에는 연구가 활발히 진행되고 있는 것을 알 수 있다. 일본에서 최근의 연구는 中村, 千歩, 浜, 豊田, 辻本 등 산·학·연의 연구자들이 다양한 단위수량 측정방법의 적용성, 현장적용성 등에 관한 비교·검토를 수행하였다.

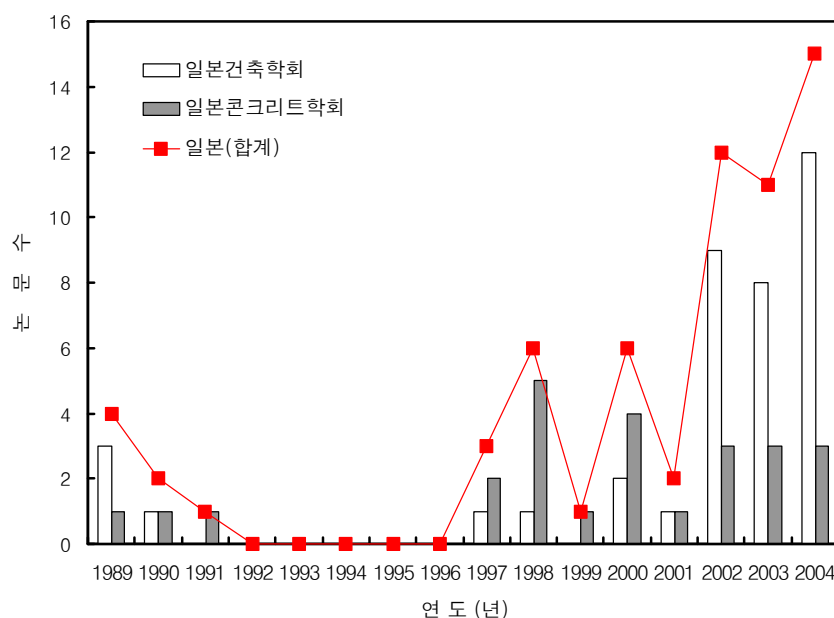


그림 3.3.6 단위수량 측정방법 관련 발표 논문 수 (일본)

또한, 일본건축학회에서는 2003년 11월 재료시공위원회 콘크리트시험법소위원회에서 콘크리트의 시험방법에 관한 심포지엄을 개최하고 단위수량 측정방법에 관한 연구개발결과를 보고하였으며, 일본콘크리트학회에서는 2004년 6월 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 신속측정 및 관리시스템 연구위원회 보고서를 통하여 일본내 레미콘 공장의 단위수량 관리실태 및 단위수량 측정방법의 적용성에 관하여 제시하였다.

이와 같은 연구결과를 바탕으로 하여 일본 국토교통성에서는 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정을 의무화하고 있으며, 측정방법으로는 정전용량법, 에어메터법, 전자레인지를 제시하고 품질관리 기준치를 제시하고 있고, 일본토목공사표준시방서에서도 유사한 품질기준을 제시하고 있다.

또한, 이러한 단위수량 측정기법 및 품질기준을 실제 건설생산현장에 적용함으로써 그림 3.3.7에서 보는 바와 같이 레미콘의 품질 향상 효과를 확인하고 있으며, 지속적인 연구 추진 및 현장 적용 확대를 통하여 레미콘의 기본적인 품질관리 지침으로의 활용을 도모하고 있다.

한편, 표 3.3.2는 지금까지 연구개발을 통해 제안된 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정기법을 정리하여 나타낸 것이며, 2005년 일본콘크리트학회 「콘크리트 테크노플라자」에서는 현장적용을 보다 용이하게 하기 위하여 다양한 측정원리를 기반으로 다수의 제품이 출품되어 관심이 대두되고 있는 상황이다.

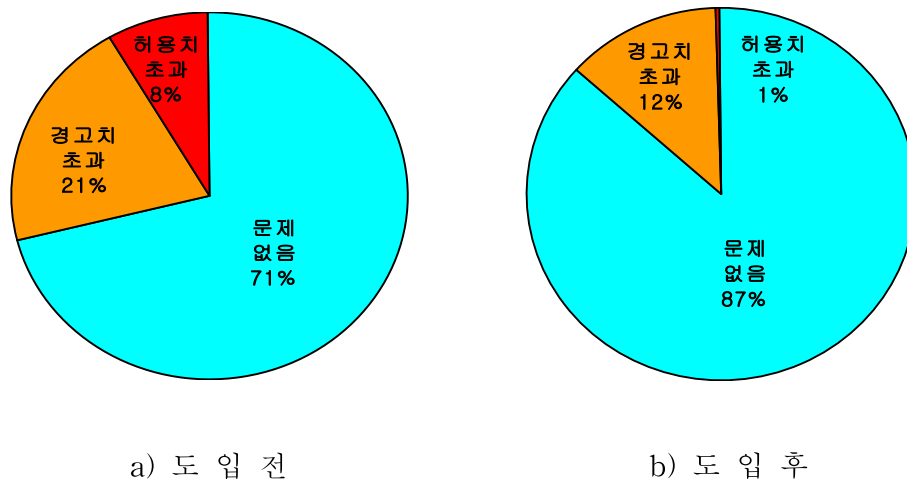
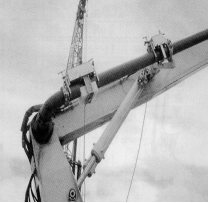


그림 3.3.7 단위수량 측정방법의 건설현장 도입 효과 (일본)

표 3.3.2 굳지 않은 콘크리트의 각종 단위수량 측정방법

시 험 방 법		측 정 원 리	측 정 장 비	개발자	시료	시료량
가 열 건조법	건조로법	전용 건조로에 의해 콘크리트를 가열 건조하고, 증발량으로부터 단위수량을 추정		豊福 / 土木 研究所 등	콘크리트	2 kg
	감압 건조로법	단위수량 추정원리는 건조로법과 동일하지만, 물은 감압건조시 약 50℃에서 증발하는 원리를 이용하여 저온에서 콘크리트 시료 건조		大林組	모르타르	400g
	고주파 가열법	건조로법과 원리는 동일하며, 전자레인을 이용하여 콘크리트를 가열 건조시킴		竹中工務店 / 全生連 등	모르타르	400g
단위 용적 질량 법	에어 메터법 (간이법)	단위수량이 증가하면 콘크리트의 단위용적질량이 감소한다는 성질을 이용하여 단위용적질량의 차이에 의해 단위수량을 추정		土木 研究所	콘크리트	7 l
	에어 메터법 (정밀법)	간이법과 원리는 동일하지만, 전용기계를 사용하여 공기량 및 질량 측정의 정밀도를 높임		MARUI	콘크리트	6 l
	수중 질량법	콘크리트의 기중질량과 수중질량 및 재료의 밀도로부터 콘크리트 용적을 구하고 단위수량을 측정함		大成 建設	콘크리트	2kg
R I 법 (Radioisotope)		콘크리트내 수소원자와 중성자의 충돌에 의해 감쇄하는 중성자의 비율로부터 단위수량을 추정		竹中工務店 등	콘크리트	제한 없음
정전용량법		물질의 유전율이 수분량에 따라 변화하는 것을 응용하여, 모르타르 중의 정전용량과 수분율의 관계식에 의해 단위수량 추정		KETT 科學	모르타르	330 cc

염분농도차법	굳지 않은 콘크리트에 식염수를 첨가·혼합하여 식염수 첨가전과 후의 염분농도를 측정함으로써 단위수량 추정		中研 건설 턴트	콘크리트	2ℓ
마이크로파법	굳지 않은 콘크리트에 마이크로파를 투과시킨 후, 물분자에 의해 흡수되어 마이크로파가 감쇄되는 원리를 이용하여 단위수량을 추정		가와 사키 機工	콘크리트	7ℓ

(가) 단위수량 측정기법 적용 실적

그림 3.3.8 은 최근 일본에서의 단위수량 측정기법 적용 실적 변화를 나타낸 것으로서 1990년대 말까지는 50건 이하로서 레미콘 품질관리 기법으로서의 적용이 미미하였으나, 2000년대 초기부터 적용 실적이 급격히 증가하여 2004년도에는 관공사의 경우 약 410개소, 민간공사의 경우 약 570개소에서 단위수량 측정을 레미콘 품질관리기법으로 적용하고 있는 것으로 나타났다.

이와 같은 단위수량 측정기법 적용 실적의 증가는 전술한 바와 같이 콘크리트 구조물의 내구성 향상에 관한 관심이 크게 대두되고, 국가·사회적으로 콘크리트 구조물의 내구설계 기법 구축 및 콘크리트 구조물의 고품질화와 장수명화가 크게 요구되고 있어 향후 더욱 증가될 것으로 예상되고 있다.

한편, 이와 같은 다수의 단위수량 측정기법 적용 실적 중 현재 일본에서 주로 적용되고 있는 측정기법으로서는 워싱턴에어메터를 사용하는 에어메터법(간이법)의 경우 약 400대, 전용 측정 장비를 활용하는 에어메터법(정밀법)의 경우 약 100대, 정전용량법의 경우 약 800대 정도가 보급된 것으로 나타났으며, 이들 측정기법이 주로 적용되고 있는 이유는 건설현장에서의 품질관리 기법으로 적용 시 측정 소요시간이 짧고, 측정이 용이하기 때문인 것으로 나타났다.

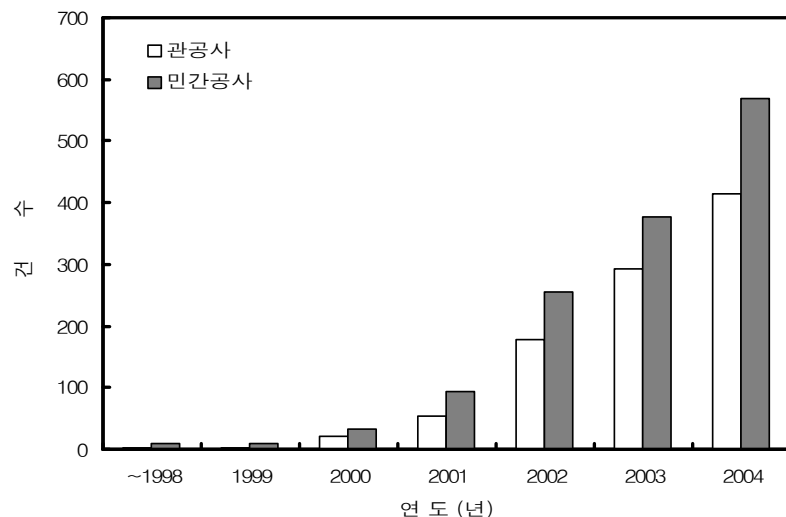


그림 3.3.8 단위수량 측정기법의 적용 실적

(나) 단위수량 측정기법을 활용한 레미콘 품질관리 실태

일본콘크리트공학협회 (Japan Concrete Institute) 의 「프레시콘크리트의 단위수량 신속측정 및 관리 시스템 조사 연구위원회」에서는 2003년 5 ~ 6월 일본 「전국레미콘공업조합연합회」의 전 조합 공장 (3,096 개 공장) 을 대상으로 하여 공사발주자별 단위수량 검사 실적 및 측정방법 종류, 단위수량 검사의 담당자, 단위수량 측정방법 선정자, 단위수량 측정 및 관리 빈도, 단위수량 합부 판정 기준, 불합격한 레미콘의 처리 방법 등에 관한 레미콘 플랜트의 단위수량 관리 실태를 조사하여 2004년 6월 위원회 보고서로 보고하였다.

본 절에서는 이들 조사 자료를 기초로 하여 단위수량 측정 기법의 개발 및 적용을 선도하고 있는 일본에서의 단위수량 측정기법을 활용한 레미콘 품질관리 실태를 제시하고자 한다.

① 단위수량 관리 담당자

일본의 경우 레미콘의 품질관리 기법으로서 단위수량 측정을 실시하고 있는 건설생산현장에서의 단위수량 측정 담당자는 그림 3.3.9에서 보는 바와 같이 공사 발주자가 직접 단위수량 관리를 실시하는 경우가 8.4%, 시공자가 36.9%, 제3의 품질관리 전문기관이 33.3%, 레미콘 제조업자가 관리를 하고 있는 경우가 21.4%의 수준으로서 시공자가 단위수량을 실시하는 경우가 가장 많은 것으로 나타났다.

또한, 그림 3.3.10은 단위수량 측정 결과에 대한 합부 판정자를 조사한 결과를 나타낸 것으로서 단위수량 측정 결과의 합부 판정을 시공자가 실시하는 경우가 63.3%, 발주자가 24.7%, 제3의 품질관리 전문기관이 8.3%, 레미콘 제조업자가 판정하는 경우가 3.7%로서 레미콘의 단위수량에 관한 판정은 시공자 및 발주자가 주로 실시하는 것으로 나타났다.

그러나 조사결과의 특이 사항으로서 단위수량을 측정하는 목적이 건설생산현장에 반입되는 레미콘의 품질관리임에도 불구하고, 레미콘 제조업자가 단위수량의 합부를 판정하는 경우가 3.7%인 것으로 나타났으며, 이는 단위수량 측정을 레미콘 품질관리 기법으로 활용하지 않고 있거나 단위수량 측정을 입회하는 담당자가 단위수량 측정의 목적을 이해하지 못하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

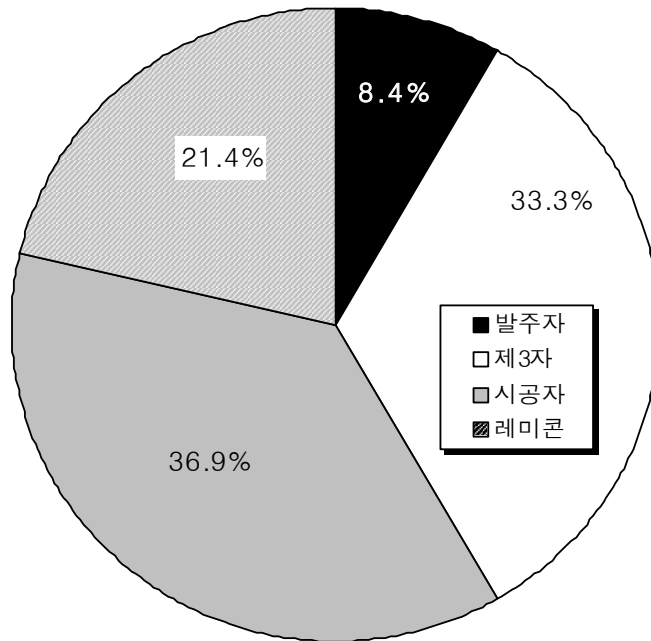


그림 3.3.9 단위수량 측정 담당자

(자료 : 일본콘크리트공학협회, 2004. 6)

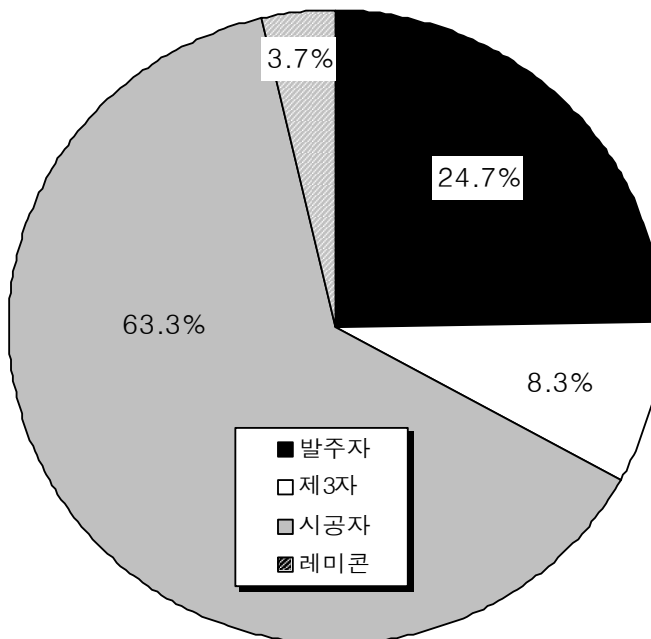


그림 3.3.10 단위수량 합부 판정자

(자료 : 일본콘크리트공학협회, 2004. 6)

단위수량 측정의 목적은 전술한 바와 같이 건설생산현장의 레미콘 품질관리이므로 공정성을 확보하기 위해서는 공사 발주자 및 시공자가 단위수량의 합부를 판정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

② 단위수량 측정 및 관리 빈도

일본의 건설생산현장에서 반입되는 레미콘의 단위수량 측정 및 관리 빈도는 그림 3.3.11에서 보는 바와 같이 콘크리트 타설량에 따른 단위수량 측정 빈도는 $0\sim 50\text{m}^3$ 마다 측정을 실시하는 경우가 36.8%, $50\sim 100\text{m}^3$ 가 22.6%, $100\sim 150\text{m}^3$ 가 38.5%, 150m^3 이상인 경우가 2.1%의 수준으로서 150m^3 이하 마다 단위수량을 측정하는 경우가 약 98%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 이는 KS F 4009 「레디믹스트콘크리트」에 규정된 슬럼프, 공기량 및 염화물량의 측정 빈도와 유사하거나 더 많은 수준이다.

또한, 콘크리트 공사 일정에 따른 단위수량 측정 빈도는 그림 3.3.12에서 보는 바와 같이 공사현장에 반입되는 모든 레미콘 차량을 대상으로 단위수량을 측정하는 경우가 12.0%, 1시간에 1회가 21.7%, 12시간에 1회(1일 2회)가 16.5%, 24시간에 1회(1일 1회)가 40.8%, 콘크리트 공사시 1회만 측정하는 경우가 1.0%로 조사되어 건설생산현장에서 단위수량 측정을 1일 1회 이상 실시하는 경우가 약 99%로 대부분을 차지하는 것으로 나타났다.

한편, 모든 레미콘 차량을 대상으로 단위수량을 측정하는 경우는 콘크리트 물량이 적거나 대상 콘크리트 구조물이 대단히 높은 품질 및 성능을 요구하는 경우인 것으로 나타났다.

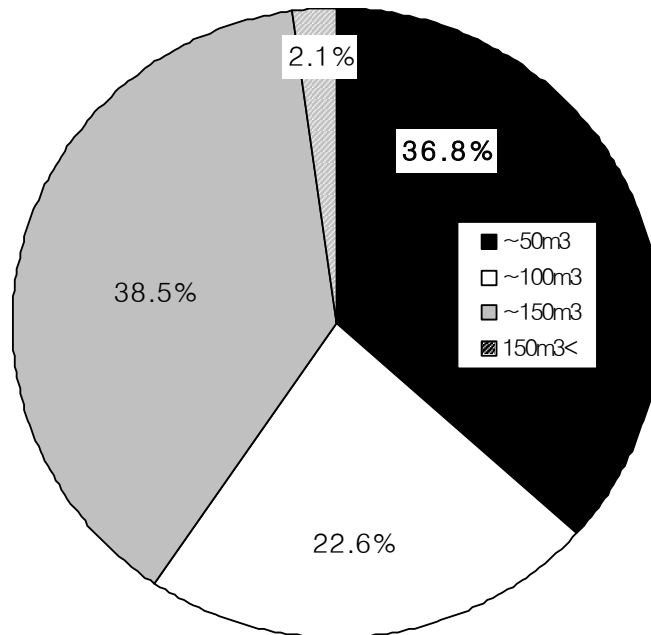


그림 3.3.11 콘크리트 타설량에 따른 단위수량 측정 빈도
(자료 : 일본콘크리트공학협회, 2004. 6)

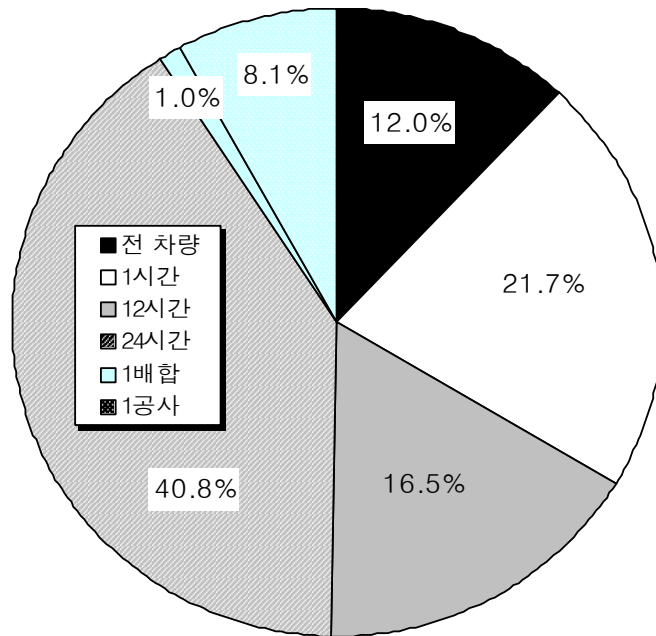


그림 3.3.12 콘크리트 공사 일정에 따른 단위수량 측정 빈도
(자료 : 일본콘크리트공학협회, 2004. 6)

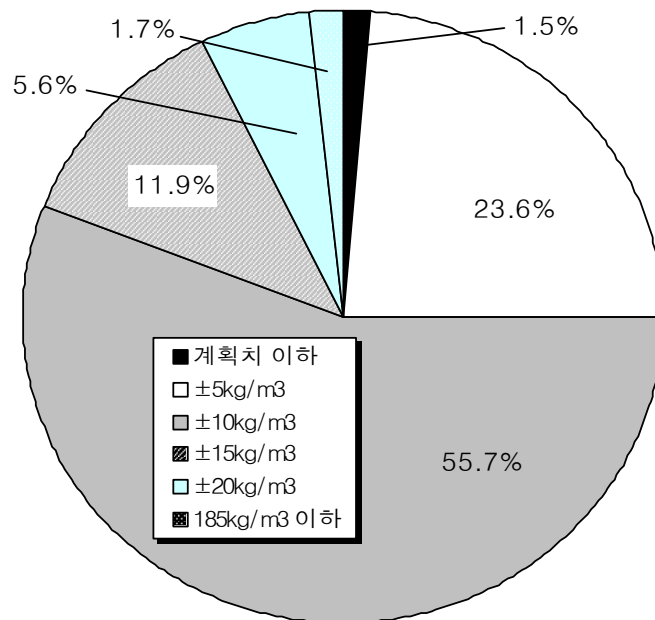


그림 3.3.13 건설현장의 단위수량 품질관리 기준
(자료 : 일본콘크리트공학협회, 2004. 6)

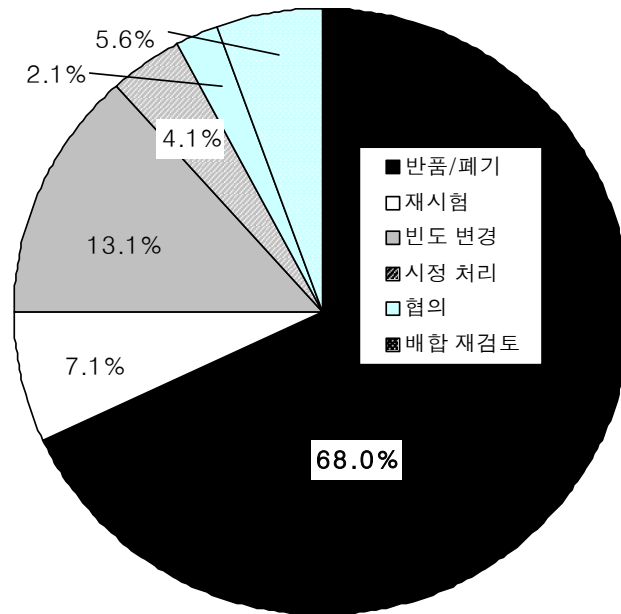


그림 3.3.14 단위수량 품질 미확보시의 대응책
(자료 : 일본콘크리트공학협회, 2004. 6)

③ 단위수량 합부 판정 기준 및 불합격시 처리 방법

건설현장에 반입된 레미콘의 단위수량 측정 결과에 관한 합부 판정 기준의 조사 결과는 그림 3.3.13에서 보는 바와 같이 콘크리트 배합상의 설계 단위수량에 대하여 계획치 이하로 단위수량을 관리하는 경우가 1.5%, $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ 의 범위가 23.6%, $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ 가 55.7%, $\pm 15 \text{ kg/m}^3$ 가 11.9%, $\pm 20 \text{ kg/m}^3$ 가 5.6%, 건축공사표준시방서에서 단위수량 기준으로 규정하고 있는 185 kg/m^3 이하로 관리하는 경우가 1.7%의 수준으로서 $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ 로 관리하는 경우가 가장 많은 것으로 나타났다.

그러나 일반적으로 콘크리트의 품질은 사용재료의 물성 변화에 따라 상이하게 되며, KS F 4009에 규정된 품질평가항목으로서 슬럼프 및 공기량을 확보하기 위해 사용재료를 조정하게 되면 콘크리트의 단위수량은 변동할 수밖에 없게 된다. 또한, 레미콘 플랜트에서의 제조공정 변동에 따른 오차를 고려하면 현재 계획된 단위수량에 비해 실제 수량은 약 $10 \sim 15 \text{ kg/m}^3$ 정도의 차이가 발생할 수 있을 것으로 고려된다. 더욱이, 현재 개발되어 적용되고 있는 단위수량 측정 기법의 오차 범위를 고려하면 $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ 정도의 단위수량 측정 오차가 발생할 수 있을 것으로 예상되고 있어, 일본콘크리트공학협회의 연구위원회에서는 단위수량 품질관리 기준을 $\pm 15 \text{ kg/m}^3$ 정도로 설정하는 것이 바람직할 것으로 제시하고 있다. 단, 이와 같은 단위수량 품질관리 기준은 5년간의 유예기간을 두고 5년경과 후에는 $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ 을 단위수량 품질관리 기준으로 하는 방안을 제안하고 있다.

한편, 그림 3.3.14는 건설생산현장에서 단위수량 측정 결과 품질관리 기준을 만족시키지 못한 경우의 처리 방법에 관한 조사 결과를 나타낸 것으로서 반품 및 폐기하는 경우가 68.0%, 재시험을 실시하는 경우가 7.1%, 단위수량 측정 시험의 빈도를 증

가시키는 경우가 13.1%, 레미콘사에 시정 조치를 요구하는 경우가 4.1%, 레미콘 제조업자와 협의하는 경우가 2.1%, 혼화제 첨가량의 변화를 포함한 콘크리트의 배합을 재검토하는 경우가 5.6%로서 품질기준을 확보하지 못한 레미콘은 반품 및 폐기하는 경우가 가장 많은 것으로 나타났다.

(다) 단위수량 추정 방법과 오차 요인의 관계

단위수량의 추정에 관한 오차 요인에는 여러 가지가 있다. 그 주요 요인을 표 3.3.3에 정리하였다. 이들 오차 요인이 추정 단위수량에 어느 정도 영향을 미치는지에 대하여서는 각 추정 방법, 추정 원리에 따라 다르다. 또한, 그 영향도를 수량화 하는 것은 어렵지만, 표 3.3.3에서는 영향도를 3등급으로 표시하였다. 또, 각각의 오차 요인에 대하여 측정 방법별로 다양한 보정이 이루어지므로, 표 중의 오차 누적이 각 측정 방법의 오차가 되는 것은 아니다. 이들 보정을 함으로써 오차는 작아지지만, 모든 오차를 완전히 없애는 것은 곤란하다. 그렇기 때문에 아무리 측정 정밀도를 높여도 누적 오차로서 몇 kg/m³ 정도의 오차가 잔존하는 것은 피할 수 없다고 생각한다. 단위수량 추정 결과에는 반드시 오차가 존재한다는 사실을 의식한 다음, 검사 기준 등을 마련하는 것이 중요하다.

오차 요인을 대충 분류하면 ①샘플링에 관한 오차, ②재료 물성에 관한 오차, ③측정기기·프로세스에 관한 오차로 분류할 수 있다.

표 3.3.3 단위수량 추정 방법과 각종 오차 요인의 관계

분 류		가열건조법			단위용적질량법		RI법 (배관식)	정전용량법	농도법	
		고주파 가열법	감압건조법	건조로 법	에어미터법	수중질량법			알코올 농도법	염분농도법
오차 요인		(M)	(M)	(C)	(C)	(C)	(C)	(M)	(C)	(C)
샘플링에 관한 오차요인	애지테이터 드럼 내의 품질 변동	△	△	△	○	△	-	△	○	○
	조골재 채취량의 변동	-	-	○ _a	△	○ _a	-	-	○	○
	웨트스크리닝에 관한 오차	◎ _{a,b}	◎ _b	-	-	-	-	◎ _b	-	-
재료물성 에 관한 오차	시멘트의 밀도 열화(劣化)	-	-	-	○ _b	○ _b	-	-	-	-
	골재의 밀도 변동	-	-	-	○	○ _a	-	-	-	-
	골재의 흡수율 변동	△	△	△	-	-	△	△	-	△
	골재의 과대입자·과소입자 변동	○	○	○	-	○	-	○	-	-
측정기기 프로세스 에 관한 오차	저울의 정밀도, 계량 오차	△	△	△	△	△	-	△	-	-
	결합수량에 의한 오차	○ _b	○ _b		-	-	-	-	-	-
	건조에 의한 골재의 변형	△	-	△	-	-	-	-	-	-
	용기의 질량과 용적의 변화	△	-	-	△	-	-	-	-	-
	전용 기기의 검출 정밀도	-	-	-	△	-	△	△	△	△
	검량선에 관한 오차	-	-	-	-	-	◎ _a	◎ _b	-	-
	기기의 열화	○	-	-	-	-	○	-	-	-
	온도에 의한 물의 밀도 변화	-	-	-	-	△ _a	-	-	-	-
	숙련도	△	△	△	-	○	-	-	○	○
추정 단위수량에 미치는 오차 크기의 기준	10kg/m ³ 이상의 오차가 될 수 있다								◎	
	수kg/m ³ 의 오차가 될 수 있다								○	
	2kg/m ³ 정도 이하의 오차가 될 수 있다								△	

① 샘플링에 관한 오차

현재 제안되고 있는 단위수량의 측정 방법에는 콘크리트를 시료로 이용하는 방법과 콘크리트를 웨트 스크리닝 하여 채취한 모르타르를 이용하는 방법이 있다. 이들 중 웨트 스크리닝 모르타르를 이용하는 방법의 장점으로서는 시료 중에 포함되는 조골재량의 변동 영향을 받지 않는다는 것과 시험기구가 비교적 작고 취급이 용이하다는 것 등도, 가열건조법에서는 건조 필요 시간을 짧게 할 수 있다는 것 등을 들 수 있다. 그러나 그 반면 시료 준비에 관한 작업 공정이 많아지는 것과 웨트 스크리닝 전후에 모르타르를 구성하는 재료의 비율이 변화하기 때문에 측정치에 편중이 생기는 것 등의 문제가 있다.

여기서는 샘플링에 의하여 발생하는 시료의 품질 변동과 웨트 스크리닝에 의하여 생기는 모르타르의 구성재량의 변화가 단위수량의 측정치에 미치는 영향(오차)의 크기를 트럭 애지테이터에서의 샘플링, 콘크리트의 축분(縮分), 웨트 스크리닝, 모르타르의 축분 등의 작업 공정별로 나누어 조사하였다.

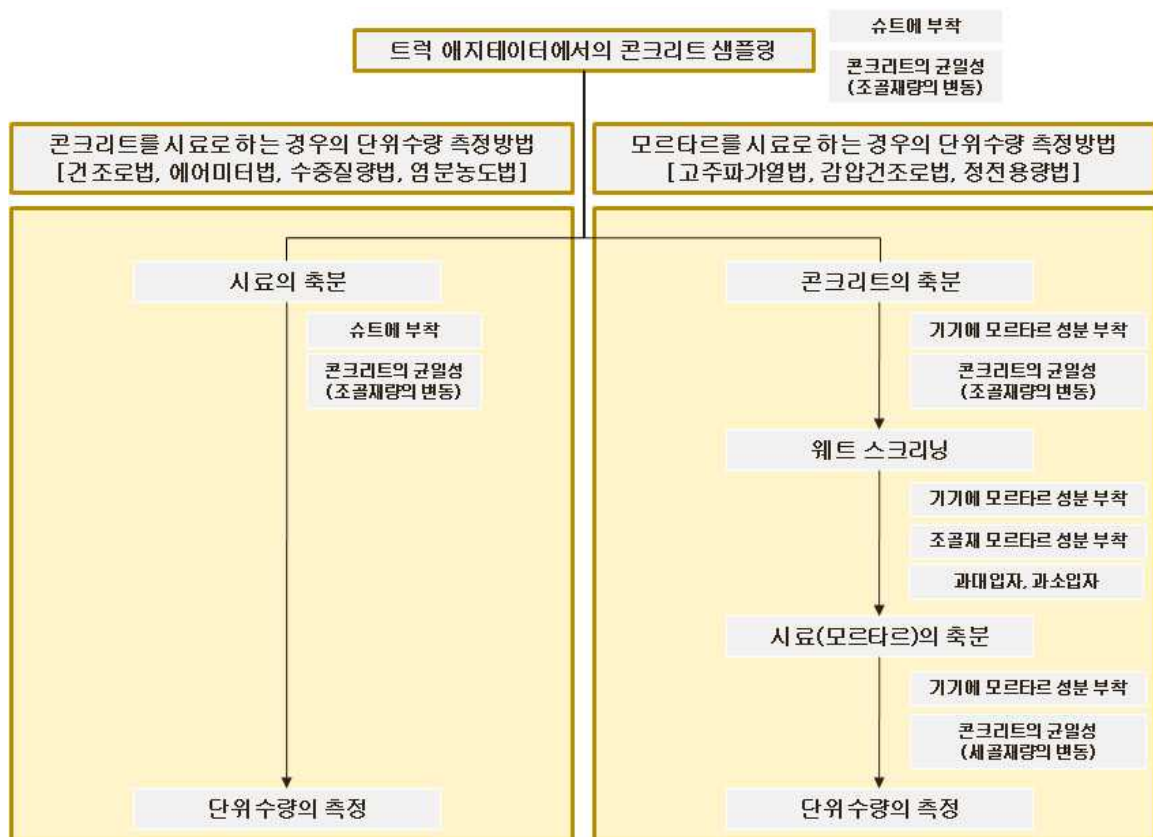


그림 3.3.15 샘플링에 관련된 오차

[1] 트럭 애지테이터에서의 콘크리트 샘플링

부설 및 도입 검사에서 사용하는 콘크리트는 보통 JIS A 1115(프래시 콘크리트의 시료 채취 방법)에 따라 트럭 애지테이터에서 최초에 배출되는 콘크리트 50~100L을 제외한 후 연속하여 다른 일륜차에서 1대분을 채취하고 있다. 이 경우 콘크리트의 샘플링

플링량은 60L 정도로 작기 때문에 트럭 애지테이터의 교반 성능 확인과 배출 전의 고속 교반을 확실히 하여 트럭 애지테이터 1대분의 콘크리트를 대표한 시료를 샘플링 하는 것이 중요하다. 트럭 애지테이터에서 배출되는 콘크리트를 약 1m³ 간격으로 샘플링 한 경우의 슬럼프 시료의 결과와 공기량 시험에 사용한 콘크리트 중의 조골재량의 측정 결과, 슬럼프의 시험치는 배출 초기와 누계 배출량 4m³ 이후에 약간 작아지는 경향을 나타내고 있다. 이것은 콘크리트 중의 조골재량의 변동이 원인이라고 할 수 있다. 또, 동시에 샘플링 한 콘크리트의 단위수량을 에어미터법으로 측정한 결과, 배출 초기 및 누계 배출량 4.4m³의 값이 작아지는 경향을 나타내고 있으며, 누계 배출량 0.1~4.4m³까지의 합계 6회의 시험 결과에서 구한 표준편차는 3.54~7.64kg/m³(평균 5.60kg/m³)로 되어 있다. 이것은 주로 앞에서 설명한 조골재량의 변동이 원인이라고 할 수 있으며, 이 변동을 보정하여 단위수량을 계산한 경우의 표준편차는 2.05~2.54 kg/m³(평균 2.38kg/m³)로 비교적 작은 값이 된다. 이어서 고주파 가열법에 의하여 단위수량을 측정한 결과 에어미터법과 마찬가지로 구한 표준편차는 1.95~2.35kg/m³(평균 2.11kg/m³)로 작다. 이것은 고주파 가열법의 경우 모르타르를 시료로 사용하기 때문에 조골재량의 변동에 의한 영향을 받기 어렵기 때문이라고 할 수 있다.

[2] 콘크리트를 사용하는 방법

콘크리트를 시료로 사용하는 단위수량 측정 방법에서는 사용 재료 중 비교적 분리하기 쉬운 조골재를 배합대로 샘플링 하는 것이 중요하다. 최대 조골재 치수 20mm의 콘크리트를 대상으로 축분하는 콘크리트의 양과 거기에 포함되는 조골재량의 변동을 조사한 결과, 축분하는 콘크리트의 양이 많아질수록 조골재량의 변동이 작아져 그 표준편차는 1.8~4.7%가 된다.

이 조골재량의 변동을 보정하지 않고 단위수량의 측정치를 구하면 표준적인 배합의 콘크리트에서 조골재량의 변동 폭을 20으로 한 경우 각각 3.2~8.4kg/m³ 정도의 오차가 발생하게 된다. 단위수량 165kg/m³, 물-시멘트비 55%, 세골재율 43%인 콘크리트를 대상으로 혼련 수조 내의 상층부에서 샘플링 한 경우와 바닥부에서 샘플링 한 경우의 콘크리트에 포함되는 모르타르와 조골재의 구성비를 조사한 결과 상층부에서 샘플링 한 콘크리트는 계획 배합과 비교하여 모르타르 성분이 많아져 있고 에어미터법에 의하여 구한 단위수량의 측정치는 바닥부에서 채취한 콘크리트보다 5kg/m³ 정도 큰 값으로 되어 있다.

[3] 웨트 스크리닝에 의하여 채취한 모르타르를 사용하는 방법

[웨트 스크리닝에서 기인하는 오차]

콘크리트를 웨트 스크리닝 한 경우 조골재, 체 및 모르타르의 받침대에 모르타르가 부착하기 때문에 그 전후에는 모르타르를 구성하는 재료의 비율이 변화하여 단위수량의 측정치에 편중이 생긴다. 고주파 가열법에 의한 단위수량 측정 결과를 나타낸 것으로, 그 값은 물-시멘트비 40%인 콘크리트가 평균 169.6kg/m³, 50%가 평균 167.9kg/m³, 60%가 평균 166.4kg/m³로 계획치(185kg/m³)에 비하여 15~20kg/m³ 정도 마이너스

편중이 발생한다. 웨트 스크리닝 종료 후의 조골재 및 시험기구에 부착한 모르타르의 구성 재료 비율을 씻기 분석(washing analysis)하여 구한 결과는 부착 모르타르를 구성하는 재료는 배합과 비교하여 세골재가 적다. 이것은 조골재와 기구에 부착하는 모르타르 중 비교적 입경이 큰 세골재가 진동 때문에 분리되어 체를 통과하였기 때문이다.

[콘크리트 축분에서 기인하는 오차]

웨트 스크리닝을 할 때 조골재와 기구에 부착하는 모르타르의 양은 웨트 스크리닝 하는 콘크리트의 양에 상관없이 거의 일정하기 때문에 체로 분리하는 콘크리트의 양이 많을수록 측정치에 미치는 영향이 작아질 것으로 생각한다. 웨트 스크리닝으로 얻은 모르타르의 양이 200, 400 및 600g이 되도록 축분하는 콘크리트의 양을 변화시켜 단위수량을 측정한 결과는 웨트 스크리닝 하는 콘크리트의 양이 적을수록 측정치와 계획치의 차이가 커져 상기의 추측을 뒷받침하고 있다. 비교적 소량의 콘크리트를 웨트 스크리닝 하여 시료를 채취할 경우에는 웨트 스크리닝 하는 콘크리트를 웨트 스크리닝의 양이 변화하지 않도록 주의할 필요가 있다.

[모르타르의 축분에서 기인하는 오차]

웨트 스크리닝에 의하여 600 또는, 800g의 모르타르를 채취하여 거기서 400g의 시료를 축분하여 단위수량을 측정한 경우와 웨트 스크리닝에 의하여 얻은 400g의 모르타르를 전량 시료로 삼은 경우의 측정치를 측정한 결과 단위수량의 측정치는 웨트 스크리닝된 모르타르의 양이 많아짐에 따라 약간 커지지만, 수준별 표준오차는 $0.55 \sim 1.47\text{kg/m}^3$ 가 되어 모르타르 시료의 축분량의 차이가 측정치의 불규칙한 분포에 미치는 영향은 명확하지 않다.

[웨트 스크리닝 방법과 배합의 차이에 의한 오차]

웨트 스크리닝에 의하여 시료를 채취하는 방법은 현재 표 3.3.4에서 나타낸 4종류의 방법이 제안되고 있다. 표 3.3.5은 표 3.3.4에 나타낸 4종류의 웨트 스크리닝 방법에 의하여 각각 채취한 모르타르에 대하여 단위수량을 측정한 결과를 나타낸 것으로, 표 안의 수치는 단위수량의 측정치와 계획치의 차이를 나타내고 있다. 표 3.3.5에서 표 안의 괄호에 제시된 측정치의 표준편차는 $0.91 \sim 1.87\text{kg/m}^3$ 로 되어 있고, 웨트 스크리닝 방법의 차이에 의한 명확한 차이는 볼 수 없다. 그러나 측정치와 계획치의 차이는 웨트 스크리닝 방법을 I 및 IV로 한 경우에 커지는 경향을 나타내고 있다. 또, 표 안의 배합 SF60 및 SF60+a는 고유동 콘크리트이며, 측정치와 계획치의 차이가 다른 것과 비교하여 작은 값으로 되어 있다. 이것은 고유동 콘크리트의 경우 페이스트의 점성이 다른 콘크리트보다 높기 때문에 웨트 스크리닝에 의한 모르타르의 배합 변화 비율이 작기 때문이라고 할 수 있다. 따라서 계획치에서의 편중에 대하여서는 웨트 스크리닝 방법과 콘크리트의 배합별로 구할 필요가 있다.

표 3.3.4 웨트 스크리닝 방법

웨트 스크리닝 방법	특징
I	바이브레이터를 시험용 체에 접촉시켜 진동을 가한다. 웨트 스크리닝 모르타르의 전량을 시료로 사용한다.
II	미리 시험용 체 및 체 받침대에 모르타르를 부착시켜 둔다. 그 외의 절차는 I 과 마찬가지로. 시료는 400g으로 한다.
III	바이브레이터와 시료용 체를 고정시킨 전용 기구를 사용한다. 시료는 웨트 스크리닝 모르타르를 시료 받침 안에서 교반하여 400g 축분한다.
IV	시험용 체에 기계적으로 가로 진동을 가한다. 시료는 웨트 스크리닝 모르타르를 볼모양의 시료 받침 안에서 교반하여 400g 축분한다.

표 3.3.5 웨트 스크리닝 방법의 차이가 단위수량의 측정치에 미치는 영향

웨트 스크리닝 방법	배합 종류별						평균
	SL8	SL8+α	SL18	SL18+α	SF60	SF60+α	
I	-24.6 [1.87]	-22.1 [1.76]	-20.4 [0.90]	-22.4 [1.15]	-14.2 [0.98]	-14.4 [0.57]	-19.7 [1.21]
II	-17.7 [3.08]	-18.7 [2.04]	-19.5 [1.38]	-21.3 [1.38]	-15.1 [1.11]	-15.1 [1.69]	-17.9 [1.78]
III	-	-	-20.5 [1.27]	-21.0 [1.25]	-15.0 [3.26]	-13.6 [1.68]	-17.5 [1.87]
IV	-22.7 [1.30]	-22.1 [0.47]	-23.3 [0.84]	-25.0 [0.99]	-14.8 [0.76]	-15.0 [1.09]	-20.5 [0.91]

※상단: 측정치와 계획치의 차이 평균, 하단: 5개 측정치의 표준편차

[4] 샘플링에 관한 측정치의 불규칙한 분포 및 편중

[1]~[3]까지의 결과에서 구한 단위수량 측정치의 불규칙한 분포 및 편중을 총괄하여 표 3.3.6에 나타내었다.

표 3.3.6 샘플링에 관련된 불규칙한 분포 및 편중

작업 공정	불규칙한 분포 · 편중 구분	표준편차	
		에어미터법	고주파 가열법
①트럭 애지테이터에서 콘크리트 샘플링	불규칙한 분포	5.6	2.6
②콘크리트의 축분	불규칙한 분포	1.8	1.3
③웨트 스크리닝 · 부착 모르타르 · 방법의 차이	편중	-	(10~20) (3)
④모르타르의 축분	불규칙한 분포	-	1.5

주석) 표 안에서 에어미터법은 조골재량의 보정을 하지 않은 경우의 값을 나타낸다.

또, 표의 괄호 안 수치는 단위수량의 측정치와 계획치의 차이를 나타낸다.

표 3.3.6에서 현장 시험(①트럭 애지테이터에서 콘크리트 샘플링)에서의 에어미터법의 표준편차는 5.6kg/m³로 되어 있다. 이 불규칙한 분포 중에는 에어미터법의 모든 오차 요인이 포함되어 있다. 또, 실내 실험 결과를 나타내는 「②콘크리트의 축분」 표준편차는 1.8kg/m³로 되어 있으며, 이것과 ①의 표준편차 5.6kg/m³의 차이가 콘크리트의 샘플링에 관한 오차라고 할 수 있고, 시험 결과의 불규칙한 분포 대부분을 차지하고 있다. 또, 모르타르를 시료로 사용하는 고주파 가열법에 대하여서는 전체의 불규칙

한 분포는 2.1kg/m^3 로 비교적 작은 값이지만, 에어미터법과 마찬가지로 샘플링의 영향이 크다. 측정치의 편중은 모르타르를 시료로 사용하는 방법의 웨트 스크리닝 공정에서 발생한다. 이것에 대하여서는 콘크리트의 배합, 조골재와 혼화제의 종류 등에 따라 그 크기가 다르다고 할 수 있지만, 과거의 결과 및 본 연구 위원회의 공통 시험 결과에서는 대략 $10\sim 20\text{kg/m}^3$ 의 마이너스 편중이 되고 있다.

③ 재료 물성에 관한 오차

[1] 재료 물성의 변동 폭

단위수량을 정밀도 있게 추정하려면 각 추정식에 필요한 재료 물성을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 그러나 사용 재료의 물성치는 다양한 요인에 의하여 변동하기 때문에 이것을 정확히 파악할 수 없는 경우도 충분히 고려할 수 있다. 그래서 재료 물성의 변동이 각 단위수량 추정 방법의 오차에 어느 정도 영향을 미치는지에 대하여 표준적인 배합을 예로 검토하였다.

배합은 공칭 강도 27, 슬럼프 18cm, 최대 조골재 치수 20mm인 것으로 표 3.3.7과 같고, 각 재료 물성은 표 3.3.8과 같이 설정하였다. 각 재료 물성의 변동치를 표 3.21과 같이 가정하였다. 표 안의 시멘트 밀도의 변동치를 정하는데 있어 정밀도가 높은 데이터가 게재되어 있는 자료가 충분히 존재하지 않으며 또, 자료에 따라 변동의 정도가 불규칙하기 때문에 이들 값은 어디까지나 참고 정도로 이용되어야 한다.

표 3.3.7 배합표

배합	물	시멘트	세골재	조골재	공기	합계
단위중량(kg/m^3)	178	322	853	940	0	2293
단위용적(λ)	178	102	327	348	45	1000

표 3.3.8 재료 물성

재료물성	물	시멘트	세골재	조골재
(표건)밀도(g/cm^3)	1.00	3.16	2.61	2.70
흡수율(%)	-	-	2.16	0.54

표 3.3.9 단위수량에 큰 영향을 미치는 재료 물성

재료물성	종류	변동치
시멘트의 밀도	-	$0.06(\text{g/cm}^3)$
골재의 밀도	세골재	$0.02(\text{g/cm}^3)$
	조골재	$0.02(\text{g/cm}^3)$
골재의 흡수율	세골재	0.20(%)
	조골재	0.15(%)
골재의 과대입자·과소입자	세골재	-
	조골재	10(%)

[2] 재료 물성의 변동에 의한 각 단위수량 추정 방법의 추정 오차 추산

위의 재료 물성 변동이 단위수량 추정치에 미치는 오차에 대하여 추산하였다. 추산은 단위수량 추정식이 공개되고 있는 웨트 스크리닝 모르타르를 시료로 사용한 건조로법, 콘크리트를 시료로 사용한 감압건조법, 건조로법, 에어미터법 및 수중수량법에 대하여 진행하였다. 단, 추정법에 따라서는 물성치를 보정하는 방법이 제안되고 있는데, 여기서는 이 보정을 하지 않는 것을 전제로 하였다. 예를 들면 수중질량법에 대하여서는 조골재를 드러나게 하여 보정하지 않는다는 가정에서 산정하였다.

표 3.3.9에 나타낸 각 재료 물성의 변동치를 고려한 오차를 표 3.3.10, 또 재료 물성이 1% 변동한 경우의 각 단위수량 추정 방법의 오차에 대하여 표 3.3.11에 나타내었다. 이 오차를 산출할 때는 다음 견해를 바탕으로 진행하였다.

1. 각 재료 물성의 변동은 서로 독립적인 것으로 하고 그 이외의 오차는 없는 것으로 한다. 따라서, 수정계수 등도 보정하지 않는다.
2. 물성치가 변동한 경우에는 배합이 바뀌기 때문에 각 단위수량 추정 방법의 질량 등의 측정치도 변동한다. 그러나 측정자는 물성치가 변동하였다는 사실을 모르기 때문에 배합 및 물성에 대하여서는 변동하지 않는 것으로 하고 단위수량을 추정하는 것으로 한다. 이때 추정된 단위수량과 계획 단위수량의 차이를 오차로 한다.

표 3.3.10 재료 물성의 변동에 의한 각 단위수량 추정 방법의 오차

물성	종류	변동치	추정 단위수량의 오차				
			질량법			용적법	
			전자 레인지법	감압 건조법	건조 로법	에어미터 법	수중 질량법
시멘트의 밀도 (g/cm ³)	-	-0.06	0	0	0	3.0	3.2
골재의 밀도 (g/cm ³)	세골재	+0.02	0	0	0	-3.9	-4.0
	조골재	+0.02	0	0	0	-4.0	-4.1
골재의 흡수율(%)	세골재	+0.20	1.9	1.9	1.9	0	0
	조골재	+0.15	-	-	1.4	0	0
골재의 과대입자(%)	세골재	+10	13.3	13.3	13.3	0	0
골재의 과소입자(%)	조골재	+10	-12.6	-12.6	-12.6	0	0

표 3.3.11 재료 물성의 변동에 의한 각 단위수량 추정 방법의 오차(1% 변동당)

물성	종류	변동치	추정 단위수량의 오차				
			질량법			용적법	
			전자 레인지법	감압 건조법	건조 로법	에어미터 법	수중 질량법
시멘트의 밀도 (g/cm ³)	-	1% (0.0316)	0	0	0	-1.6	-1.6
골재의 밀도 (g/cm ³)	세골재	1% (0.0261)	0	0	0	-5.0	-5.3
	조골재	1% (0.0270)	0	0	0	-5.4	-5.6
골재의 흡수율(%)	세골재	1%	9.5	9.5	9.5	0	0
	조골재	1%	-	-	9.2	0	0
골재의 과대입자(%)	세골재	1%	1.2	1.2	1.2	0	0
골재의 과소입자(%)	조골재	1%	-1.3	-1.3	-1.4	0	0

표 3.3.10에서 분명한 것은 건조법인 전자레인지법, 감압건조법 및 건조로와 용적법인 에어미터법 및 수중질량법에서는 서로 같은 오차가 발생한다는 것이다. 이것은 기본적인 측정 메커니즘 및 추정식의 구성이 건조법과 용적법에서 각각 같기 때문이다. 결과로서 ①건조법은 골재 흡수율의 영향을 받는다, ②용적법은 시멘트의 밀도, 골재 밀도의 영향을 받는다, ③시험 과정에서 조골재를 분리하는 공정을 포함하는 방법에서는 골재의 과대입자·과소입자의 영향을 받는다는 사실이 밝혀졌다. 또, 오차의 절대치라고 하면 변동 폭이 다른 것과 비교하여 큰 과대입자·과소입자의 영향이 두드러져 크다는 것을 알 수 있다.

표 3.3.11에서 단위수량 추정치의 오차에 미치는 영향이 단위 변동이(1%당) 큰 재료 물성은 질량법에 관하여서는 골재의 흡수율이며, 용적법에 관하여서는 골재의 밀도라는 사실을 알 수 있다. 질량법의 경우에는 건조 전후에 의한 중량 차이에서 단위수량을 추정하는 방법이기 때문에 골재의 흡수율이 변동한 경우 건조 전후의 중량 차이가 변동하게 되어 직접 추정치에 영향을 미치게 된다. 마찬가지로 용적법의 경우에는 밀도 차이에서 단위수량을 추정하는 방법이기 때문에 골재 밀도가 변동한 경우 밀도 차이가 변동하게 되어 직접 추정치에 영향을 미치게 된다.

[3] 그 외의 추정 방법에서의 재료 물성의 변동 영향

RI법과 정전용량법에 대하여서는 시료 중의 수분량을 간접적으로 측정하는 방법이기 때문에 골재 흡수율의 변동 영향을 받는다고 할 수 있다. 또, 정전용량법에 대하여서는 웨트 스크리닝 과정을 필요로 하기 때문에 과대입자·과소입자의 영향을 받는다고 할 수 있다.

농도법인 수농도차법과 염분농도법에 대하여서는 콘크리트 중의 수분에 의하여 희석된 약액(藥液)의 농도를 측정하는 방법이기 때문에 골재의 흡수율 변동의 영향은 아주 작으면서 존재한다고 할 수 있지만, 그 비율은 현 상황에서는 충분히 확인되지

않는다(개발 업체로부터의 히어링(hearing, 청문회)에서는 수농도차법에서는 영향이 없다는 응답이었다.) 또한, 농도법에 관하여서는 시료 중의 물만을 추출하기 때문에 기본적으로는 그 외의 재료 물성의 변동 영향은 없다고 할 수 있다.

④ 측정기기 · 프로세스에 관한 오차

단위수량의 추정 방법에는 각종 측정기기 · 프로세스가 있는데, 현재 제안되고 있는 주요 기기 · 프로세스에 관한 오차 요인의 개요와 주의점은 다음과 같다.

[1] 저울의 정밀도, 계량 오차

대부분의 추정 방법에서 전자저울을 사용하고 있다. 저울의 정밀도는 항상 확인하여야 한다. 1g 이하인 감도의 저울은 바람 등의 영향으로 안정되지 않는 경우가 있기 때문에 바람막이 등의 배려가 필요하다. 고온에서 건조시킨 시료를 고온에서 그대로 측정할 경우에는 부력의 영향으로 측정치가 변동할 경우가 있다.

[2] 결합수량에 의한 오차

고주파 가열건조법과 감압건조법에서는 충분한 건조를 하여도 시멘트와 수화(水和)된 결합수는 증발하지 않는다고 보고되고 있다. 도모자와(友澤)팀의 연구[11]에 따르면 결합수량은 시멘트의 종류에 따라 달라 혼련한 후 30분 시점에서는 시멘트량에 대한 질량비에서 1.0~1.6%이며 혼련 후 120분 시점에서는 0.2% 정도 증가하여 1.2~1.8% 정도라고 보고되고 있다. 또, 감압건조법에서도 결합수량은 시멘트량의 1.25~1.49%의 범위에 있고, 물-시멘트비와 경과 시간 선정에서 계수(係數)가 설정되는 시스템으로 되어 있다. 한편, 고주파 가열건조법에 대하여 전국 생콘크리트공업조합 연합회에서는 2002년에 「프래시 콘크리트의 단위수량 신속 추정 시험 방법(고주파 가열법)」(ZKT-210)를 제정하고 있는데, 그 가운데는 시멘트 페이스트를 전자레인지로 건조시키는 실험을 한 결과 혼련에서의 경과 시간에 상관없이 모든 수분이 증발하여도 「결합수는 보정하지 않는다」라고 한다. 이처럼 결합수에 관하여서는 「증발하지 않은 결합수량이 존재하므로 보정이 필요」하다는 보고와 「모든 수량이 증발하므로 보정은 필요 없다」라는 보고 2가지가 있다. 결합수의 영향은 배합 조건이나 기기의 성능, 환경 조건 등에 따라서도 달라진다는 사실을 예상하고 미리 확인 시험을 하는 것이 바람직하다. 같은 건조법의 일종인 건조로법에 대하여서는 증발하지 않는 결합수의 존재는 보고되지 않았다.

[3] 건조에 의한 골재의 변형

고온에서 건조시키는 시험법에서는 골재 중의 유기물이 탄화(炭化)되거나 건조 중에 골재가 갈라져 용기 밖으로 튀어 날아가는 경우가 있다. 감압건조법에서는 감압하여 건조 온도를 낮게 낮추므로 그 영향은 작다고 할 수 있다.

[4] 용기의 질량 변화 · 용적 변화

고온 건조를 하는 방법에서는 시료를 얹은 용기 자체의 질량이 변화될 경우가 있으므로 미리 용기를 가열하여 질량을 안정시킬 필요가 있다. 특히, 고주파 가열건조법에서는 용기로서 종이접시를 사용할 경우가 있는데, 이 경우에는 종이접시가 탄화되어 질량이 변화될 경우가 있기 때문에 미리 검증 시험을 하는 것이 중요하다.

에어미터법에서는 용기에 페이스트가 부착하는 등 용기의 질량이나 용적이 변화될 경우가 있으므로 정기적으로 확인할 필요가 있다. 또, 에어미터 용기의 용적은 온도에 따라서도 약간 변화된다. 15~20℃의 온도 변화에 대하여 용적이 0.1% 정도 변화된다는 보고가 있다. 이 때문에 한추위나 한더위 측정에서는 그 영향을 고려하는 것이 바람직하다.

[5] 전용 기기의 검출 정밀도

에어미터법에서의 공기량 측정 정밀도, RI, 정전용량, 염분농도, 알코올농도법에서의 가스압 등을 측정하는 측정기의 검출 정밀도는 추정 결과에 직접 영향을 미친다. 현재 제안되고 있는 각 방법의 검출기기 자체의 검출 정밀도에 대하여 각 사에 문의한 결과 추정 단위수량에 미치는 영향은 작으며, 모두 2kg/m³ 이하라는 응답이었다.

또한, RI법에 대하여서는 측정 시간에 따라 추정 정밀도가 변화된다. 현 상황에서는 대략 2분 정도 이상의 측정을 함으로써 높은 정밀도를 얻을 수 있다는 보고가 있다

[6] 검량선에 관한 오차

RI와 정전용량에서는 단위수량을 구하기 위한 검량선이 필요하다. 이 검량선의 설정 순서에 따라 추정 단위수량의 값은 어떻게라도 변화된다. 검량선은 콘크리트의 재료와 배(조)합 조건에 따라 바뀌는 것을 예상할 수 있기 때문에 시험하는 콘크리트에 일치한 정확한 검량선을 작성할 필요가 있다.

[7] 기기의 열화

고주파 가열건조법에 이용하는 전자레인지의는 식품용으로 개발된 것이다. 그렇기 때문에 연속하여 고온 가열하면 기기가 열화 되어 성능이 떨어진다. 또, RI의 선원(線源)은 경연 열화 되므로 정기적인 교환이 필요하다.

(8) 온도에 의한 물의 밀도 변화

물의 밀도는 온도에 따라 변화된다. 수중질량법에서는 수중 질량과 공기 중 질량의 차이에서 밀도를 구하기 때문에 수온에 의한 물의 밀도 보정을 반드시 할 필요가 있다.

(9) 숙련도

실제의 단위수량 측정법에서는 조작법에 숙련을 필요로 하지 않으면 충분한 정밀도가 보증되지 않는 경우가 있다. 수중질량법, 알코올농도법, 염분농도법은 특별한 조작이 필요하기 때문에 숙련되지 않으면 오차가 발생할 가능성이 있다고 할 수 있다.

웨트 스크리닝을 하는 방법에 대하여서는 항상 일정한 조건에서 웨트 스크리닝을 하지 않으면 얻을 수 있는 모르타르의 성상(性狀)이 변화되기 때문에 어느 정도의 숙련이 필요하다. 또, 건조법(고주파 가열건조법, 건조로법)에서는 건조 완료 시점을 정확하게 예상할 필요가 있다. 감압건조법에는 건조 시간이 미리 설정되어 있다.

에어미터법은 공기량 측정 추가로 질량만 측정하므로 공기량 측정에 정통한 사람이 조작한다면 특별한 문제는 없다고 할 수 있다. RI법은 미리 교정 시에 배관 내에 콘크리트를 가득 채우는 작업이 필요한데, 실제의 측정은 모두 자동화되어 있어 숙련도의 영향은 적다고 할 수 있다.

(라) 단위수량 측정 방법을 적용한 레디믹스트콘크리트 품질관리 현황

일본의 경우 단위수량 측정기법을 연구 개발하여 건설생산현장에서의 레미콘 품질 관리 기법으로서 단위수량 측정을 실시하고 있는 관공사 및 민간공사가 증가되고 있는 추세이다. 현재 일본에서 단위수량 측정 기법을 활용하여 레미콘 품질관리를 실시하고 있는 사례를 조사하여 검토함으로서 향후 국내 건설생산현장에서 단위수량 측정 기법을 활용할 경우 품질관리 지침 마련을 위한 기초적인 자료를 확보하고자 한다.

표 3.3.12 레미콘 단위수량 측정방법 사용 현황(국외)

구 분		레미콘 단위수량 측정방법			
		에어메타법	정전용량법	고주파가열법	중성자법
미국	ASTM WK2423			○	
	AASHTO			○	
	FHWA				○
일본	국토교통성	○	○	○	
	동일본여객철도		○		
	오사카시주택국	○			
	다케나카공무점			○	
	다이세이건설	○			
	후쿠오카고속철도	○			

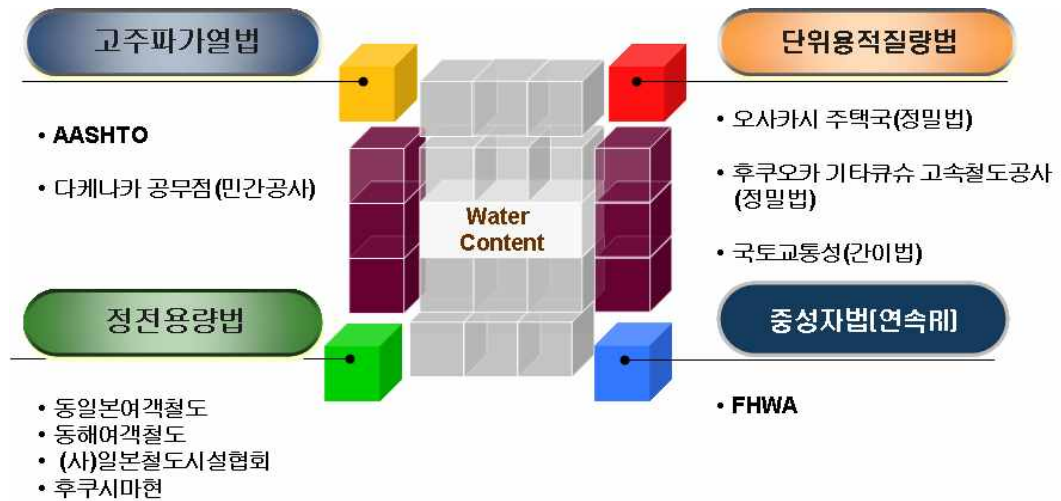


그림 3.3.16 선진 외국의 레미콘 단위수량 신속측정방법

1) 일본 국토교통성 지침 (2003년 10월)

a) 대상 공사

일본 국토교통성에서 수행하는 토목공사 중 1일 공사에서 콘크리트 사용량이 100m^3 이상인 공사

b) 단위수량 측정 기법

에어메터법 (정밀법) 이나 이와 동등 이상의 측정 정밀도를 가지고 있는 단위수량 측정 기법 (2002년 3월에 제정된 요령서(안)에 따름)

c) 단위수량 측정 빈도

1일 2회 (오전 1회, 오후 1회) 또는 대상 구조물의 중요도와 콘크리트 공사의 규모에 맞추어 $100\sim 150\text{m}^3$ 마다 1회 및 부름 시에 품질변화가 인지되는 경우에 실시

d) 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법

표 3.3.13 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(일본 국토교통성)

구 분	경 고 기 준	한 계 기 준
관 리 기 준	• 배합설계 단위수량 $\pm 15\text{kg}/\text{m}^3$	• 배합설계 단위수량 $\pm 20\text{kg}/\text{m}^3$
대 응 방 법	• 단위수량 변화의 원인을 조사하고, 레미콘 제조업자에게 개선 지시. 단, 레미콘은 타설 • $\pm 15\text{kg}/\text{m}^3$ 이내로 안정될 때까지 레미콘 차량 3대마다 1회씩 측정	• 레미콘의 반품 및 폐기 • $\pm 20\text{kg}/\text{m}^3$ 이내로 안정될 때까지 전 레미콘 차량 단위수량 측정 • $\pm 15\text{kg}/\text{m}^3$ 이내로 안정될 때까지 레미콘 차량 3대마다 1회씩 측정

2) 동일본여객철도주식회사 (JR)

a) 대상 공사

동일본여객철도주식회사가 발주하는 대부분의 토목 콘크리트구조물

(열차하중을 받지 않는 콘크리트 구조물로서 소규모인 것은 제외)

b) 단위수량 측정 기법

정전용량법

c) 단위수량 측정 빈도

콘크리트의 타설 전 1회, 이후 1시간 초과 시마다 1회

d) 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법

표 3.3.14 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(동일본여객철도주식회사)

구 분	경 고 기 준	한 계 기 준
관 리 기 준	- 배합설계 단위수량 $\pm 10\text{kg/m}^3$ - 또는, 시방서 상의 단위수량 상한치중 작은 값 이하	- 배합설계 단위수량 $\pm 20\text{kg/m}^3$ - 또는, 시방서 상의 단위수량 상한치에 10kg/m^3를 첨가한 수치 중 작은 값 이하
대 응 방 법	- 레미콘 개선 결과 보고 - 원칙적으로 모든 레미콘 차량의 단위수량 측정	- 레미콘의 반품 및 폐기 - 개선방법 도출 및 승인 - 단위수량 관리결과 보고

3) 오사카시 주택국

a) 대상 공사

방재 중점 시설 철근철골콘크리트 구조물

b) 단위수량 측정 기법

에어메터법 (정밀법)

c) 단위수량 측정 빈도

콘크리트 50m^3 당 1회

d) 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법

표 3.3.15 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(오사카시 주택국)

구 분	경 고 기 준	한 계 기 준
관 리 기 준	배합설계 단위수량 $\pm 15\text{kg/m}^3$	배합설계 단위수량 $\pm 20\text{kg/m}^3$
대 응 방 법	레미콘 제조업자에게 측정 결과 전달 및 개선 요구	레미콘 제조업자에게 측정 결과 전달 및 개선 요구

4) 후쿠오카 기타큐슈 고속철도공사

a) 대상 공사

후쿠오카 고속 5호선 고가교 건설공사 : 501공구, 502공구

b) 단위수량 측정 기법

에어메터법 (정밀법)

c) 단위수량 측정 빈도

콘크리트 타설 당일 1일 2회 (오전 1회, 오후 1회)

d) 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법

표 3.3.16 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(후쿠오카 기타큐슈 고속철도공사)

구 분	경 고 기 준	한 계 기 준
관 리 기 준	• 설정하지 않음	• 굵은 골재 40mm : 165 kg/m ³ 이내 • 굵은 골재 20mm : 175 kg/m ³ 이내
대 응 방 법	• 설정하지 않음	• 불합격 레미콘 폐기 및 레미콘 제조회사에 개선보고서 요청

5) 다케나카공무점 (竹中工務店)

a) 대상 공사

오사카 지역 다케나카공무점 건축공사

b) 단위수량 측정 기법

고주파가열법 (다케나카 개발 기법)

c) 단위수량 측정 빈도

콘크리트 타설 개시시 레미콘 차량 1대 및 강도관리용 공시체 채취시

d) 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법

표 3.3.17 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(다케나카공무점)

구 분	경 고 기 준	한 계 기 준
관 리 기 준	• 배합설계 단위수량 $\pm 10\text{g/m}^3$	• 배합설계 단위수량 $\pm 15\text{g/m}^3$
대 응 방 법	• 워커빌리티에 문제가 없으면 그대로 타설 • 레미콘 공장에 연락하여 표면수율 등의 사용재료 확인 · 검토	• (+) 측은 반품 및 폐기 (-) 측은 워커빌리티에 문제가 없으면 타설 • 레미콘 공장에 원인 구명 요구

6) 다이세이 건설 (大成建設)

a) 대상 공사

압축강도 80MPa 이상인 콘크리트 전량

b) 단위수량 측정 기법

단위용적질량법

c) 단위수량 측정 빈도

레미콘 공장에서 전체 레미콘 차량을 대상으로 제조 즉시 시료를 채취하여 건설현장 도착시까지 결과를 도출하고, 불합격인 경우는 폐기

d) 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법

표 3.3.18 단위수량 품질관리 기준 및 대응 방법(다이세이 건설)

구 분	경 고 기 준	한 계 기 준
관 리 기 준	• 설정하지 않음	• 배합설계 단위수량 + 10/m ³ (하한치는 설정하지 않음)
대 응 방 법	• 측정결과는 제조관리에 반영	• 품질기준을 만족시키도록 고성능 감수제로 대응

나. 미 국

굳지 않은 콘크리트 중의 단위수량을 신속하게 측정하는 방법에 관한 해외의 동향에 대해서는 기존의 문헌을 중심으로 조사하였다. 참고문헌에 기재한 규격 및 연구발표 논문을 요약하여 이하에 기술한다.

국가 규격에 준하는 것은 ASTM C 1079-87이며, 염분농도차법으로 분류되는 것이다. 그 외에 미국의 기관 등에서 연구발표된 몇 가지 측정방법이 보고되고 있다.

굳지 않은 콘크리트 중의 단위수량을 측정하는 방법은 단위시멘트량을 측정하는 방법과 함께 1930년대부터 웨트스크리닝에 기초한 방법이 개발되고 있다. 이와 같은 웨트스크리닝에 기초한 측정방법은 정밀도가 나쁘고, 시간이 소요되며, 현장보다는 실험실용으로 적절한 것으로 되어 있다. 최근 개발된 화학법에 속하는 측정방법으로서는 개발자인 이름을 딴 켈리베일 (Kelly and Vail) 방법⁵⁾이 다방면으로 검토되어 ASTM C 1078로서 단위시멘트량과 단위수량의 측정방법으로 규정되었다. 그렇지만 이 방법은 도로분야에만 이용되는 것으로서 사용 사례가 적었다. 그 이유는 많은 화학기구와 복잡한 화학조작 수순이 필요하기 때문에 현장에서의 측정방법으로서는 실용적이지 않다고 거론되고 있다.

조작성이 양호한 기기를 사용한 방법이 미국의 Civil Engineering Research Laboratory에서 「콘크리트 품질 모니터 (Concrete Quality Monitor)」로 개발되었다. 그렇지만 이 측정방법도 여전히 화학법과 유사하게 실험실적 조작이 필요하였다.



그림 3.3.17 선진 외국의 레미콘 단위수량 신속측정방법
단위수량 관련 미국의 관리지침

주로 단위시멘트량을 측정하는 물리적 방법으로는 급속분석기기, 원심탈수법, 부력법, 기타가 개발되고 있다. 이들 많은 방법은 취급이 곤란하고, 또는 어떤 방법은 고가이며, 특수한 장치가 필요하고 유독한 화학물질을 이용하거나 온도·습도의 제어가 필요하다. 또한, 숙련된 조작원에 의하거나 다소 많은 조작수준이 필요한 것이 많다.

(1) 염분농도차법 ASTM C 1079-87

ASTM C 1078-87은 1987년에 제정되었으며, 시약농도차법 중 염분농도차법으로 분류되는 단위수량의 신속 측정방법이다. 실험실 내 및 현장의 어느 곳에서도 적용할 수 있으며, 염화물이온 농도의 측정은 용적적정법과 전류적정법의 2방법이 규정되고 모든 방법을 이용할 것인지는 사용자의 지시에 따른다.

용적적정법에서는 $2000 \pm 200\text{g}$ 의 2조 콘크리트를 시료로 채취하고, 1g 단위까지 정확히 질량을 측정한다. 각각 넓은 입구를 가진 병에 넣고, 한쪽 방향에 0.5N의 NaCl을 500ml 첨가하고, 다른 쪽에 500ml의 증류수를 첨가한다. 각각의 병을 덮고, 진동을 가하면서 수분간 혼합한다. 그 후 3~5분간 정치하고, 상등액에서 피펫을 이용하여 25ml를 채취하고 각각의 염화물이온농도를 측정한다. 그리고 양 시료의 염화물이온농도의 차를 콘크리트 1m^3 상당으로 환산하여 단위수량을 구하는 방법이다. 전류적정법에서는 $2000 \pm 200\text{g}$ 의 2조의 시료에 0.5N NaCl 용액 250ml를 한쪽에, 다른 쪽에는 250ml의 증류수를 가하여 충분히 혼합한다. 그리고 혼합된 시료에서 100ml의 상등액을 채취하여 염화물이온을 측정하는 점이 용적적정법과 다르다.

(2) 고주파유전가열건조법

미국 AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)에서는 전자레인지로 이용한 건조법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 신속측정방법의 규격안이 제정되어 있다. 이 방법은 1978년에 North Dakota 주 교통국 (Department of Transportation)에서 개발한 것이다. 그 후 1994년에 전략적 도로연구 프로그램 (Strategic Highway Research Program, SHRP)에 채용되어 전 수량의 $\pm 3\%$ 의 정밀도로 측정할 수 있도록 하였다.

1500g의 굳지 않은 콘크리트 시료를 채취하고, 약 20분간 전자레인지로 건조하고, 건조 전과의 질량차를 시료 중의 수량으로 보아서 단위수량을 산출하는 방법이다. 또한, 굵은 골재와 잔골재 중의 수량인 흡수율은 제외하고 있다.

AASHTO의 측정방법은 단위시멘트량을 별도로 배합표 등에 의해 구하고, 물-시멘트비를 신속히 정밀도 있게 추정하는 것을 주목적으로 한 것이다.

측정방법의 허용 정밀도에 대해서는 몇 가지 프로젝트로 조사되고 있다. 미국레미콘협회 (National Ready Mixed Concrete Association)의 보고에서는 1인의 측정자에 의한 결과에서는 실험실 내에서는 최대 $1.5 \sim 5.0\text{kg/m}^3$ 및 6.5kg/m^3 , 현장에서도 6.5kg/m^3 의 오차인 것이 보고되고 있다. 특히 현장에서는 배합표의 값에 비해 큰 값이 얻어지고, 또한 측정치의 편차도 종래의 방법보다 크게 되었다. 이에 반해 뉴욕·

뉴저지 항만국 (Port Authority of New York and New Jersey)의 보고에서는 고주파유전가열건조법의 정밀도는 대단히 양호하다고 평가하였다. 예를 들면, 35만 m^3 의 시방배합에서 물-시멘트비가 0.42인 포장콘크리트에 대해서 실시한 약 300회의 측정치의 평균 물-시멘트비가 0.42이며, 실험실에서 이 방법의 정밀도 확인실험에서도 약 98%의 정밀도로 단위수량을 측정할 수 있고, 재현성도 양호한 것으로 보고하고 있다.

(3) 중성자 측정법

RI (Radioisotope) 수분계를 이용하여 굳지 않은 콘크리트 중의 단위수량을 추정하는 중성자 측정법이 미국 도로분야를 주체로 하여 이용되고 있다. 용기에 넣은 시료에 중성자를 조사하여 투과시키고, 측정된 속중성자의 감쇄율로부터 미리 구해둔 교정식에 의해 수량을 환산하는 것이다. 또한, 검출한 물은 콘크리트 중의 전 수량이기 때문에 골재의 흡수율과 시멘트 중에 포함된 수분의 양을 보정하고 있다.

이 측정법은 1970년에 Texas 원자력회사에서 X선과 γ 선을 이용하여 굳지 않은 콘크리트 중의 단위시멘트량을 측정하는 것을 목적으로 개발된 것이다. 그 후, 이 측정방법의 평가가 FHWA (Federal Highway Administration)에서 실시되고, 그 후 연속하여 조지아주와 루이지애나주 교통국에서도 실시되었지만 이 측정방법은 그 시점에서는 시판되지 않았고, 그 후 1994년에 단위시멘트량의 측정기기로서 시판되었다. 또한, 단위수량 측정용 기기로서도 시판되었다.

선원으로서의 단위수량의 측정에는 60 μCi (2.2MBq) Cf-252를, 단위시멘트량의 측정에는 10 μCi (0.37MBq) Am-241을 일반적으로 이용한다. 충분한 캘리브레이션을 하면 단위시멘트량으로서 6~12 kg/m^3 , 단위수량으로 1~2 kg/m^3 의 오차로 측정할 수 있다는 것이 보고되고 있다. 이 경우에 공기량은 $\pm 1\%$ 의 범위로 유지하지 않으면 측정오차가 크게 된다는 것도 보고되고 있다.

3. 단위수량 측정방법의 적용 및 개선점 도출

가. 단위수량측정방법(정전용량법)

(1) 측정 메카니즘

본 연구에서 추진하고 있는 정전용량법은 기존의 3채널 이상의 다중 고주파 유전율 방식(다중 정전 용량법)의 기술을 적용한 개발로 기존의 단채널 주파수변조방식의 단점(굵은 골재로 인한 측정오차발생)을 극복하여 수백 MHz~수 GHz 대역의 주파수를 여러 방향에서 시료에 투과시키면 시료의 수분율에 따라 투과된 주파수의 이득[dB]의 감쇄현상에 의해 감쇄된 신호와 시료의 유전율 및 측정장치의 구조적 함수관계를 수식화 하여 계산된 계수를 단위수량으로 환산하고 골재의 크기에 따른 측정오차(편차)를 줄여 현장에서 모르타르만으로 선별하는 불편한 작업 없이 사용 할 수 있도록

하는데 중점을 두고 있다.

다중 고주파 유전율 방식(다중 정전 용량법)의 구성은 주파수를 발진시키는 발진부, 신호의 흐름을 단일방향으로만 전달하는 절연부와 규격화 된 극판으로 구성된 송신부, 센서부 및 검파(Detector)기, 연신증폭기로 구성된 수신부로 구성 하였으며 일정한 용기에 시료를 담은 뒤 계기에 부착 측정하는 방식으로 검파기에 포착된 고주파를 정형/증폭하는 과정을 거쳐 아날로그신호에서 디지털로 변환하여 지시 및 출력하는 시스템으로 구성되어 있다.

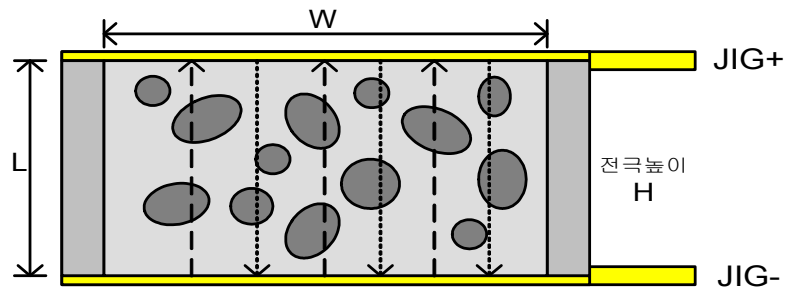


그림 3.3.18 시료 및 시험용기

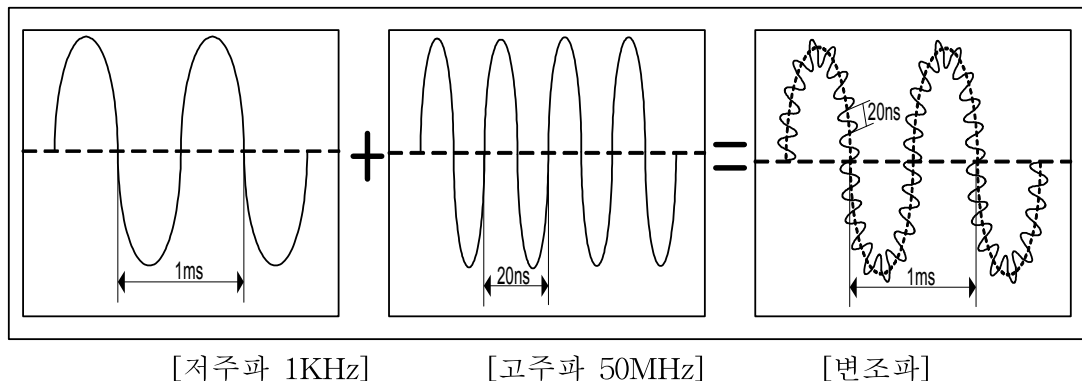


그림 3.3.19 주파수 변조

순수한 저주파(1KHz) 만으로는 잔골재 및 굵은 골재를 투과하여 전극에 신호가 달할 수 없으며 굵은 골재에 반사되어 오히려 측정에 방해를 줄 수 있는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 높은 고주파에 저주파를 변조하여 저주파가 반대편 전극에 도달할 수 있도록 캐리어 역할을 함으로서 극판에 도달된 신호는 시료의 성분에 따라 다소 차이는 있으나 정확한 시험값에 도달한다. 또한 변조과정(MIXING)에서 시료성분, 전극면적, 전극거리 등을 고려하여 변조되는 신호비율 등이 고려된다.

※ 주파수변조 (周波數變調 frequency modulation) : 전송해야 할 신호전류의 강약에 따라 반송파(搬送波) 주파수에 변화를 주는 전파 변조방식.

(2) 측정 신호 운영

① 1차 시험(JIG+, JIG-, 정방향 신호인가)

- 측정 신호원의 +50mV를 JIG+에 인가하여 시험용기를 투과하여 감쇄된 측정. 신호가 JIG-에 도착한다. 즉 인가신호/투과신호의 감쇄비율로 수분율을 측정한다.
- ② 2차 시험(JIG-, JIG+, 역방향 신호인가)
 - 측정 신호원의 -50mV를 JIG+에 인가하여 시험용기를 투과하여 감쇄된 측정. 신호가 JIG+에 도착한다. 즉 인가신호/투과신호의 감쇄비율로 수분율을 측정한다.
- ③ 고주파의 특성으로 외란에 의한 시험오차를 high-low filter로 [50MHz와 1kHz] 이하 주파수 소멸로 시험오류를 최소화 함. 1, 2차 정·역방향 신호를 분배하며, 분배시 신호가 감쇄하지 않도록 신호 레귤레이터 작용 병합된다.
- ④ 1차와 2차에 걸쳐 계측된 신호의 절대값의 평균을 계측신호로 1회 시험 시 30회를 반복 측정하여 평균한다.

$$\text{계측신호[mVAC]} = \frac{(|+\text{계측신호[mVAC]}| + |-\text{계측신호[mVAC]}|)}{2} \dots\dots\dots 1/30 \text{회}$$

$$\text{계측신호[mVAC/1]} = \frac{(\text{계측신호[mVAC]} + \text{-----} + \text{계측신호[mVAC]})}{30} \dots\dots\dots 1 \text{회}$$

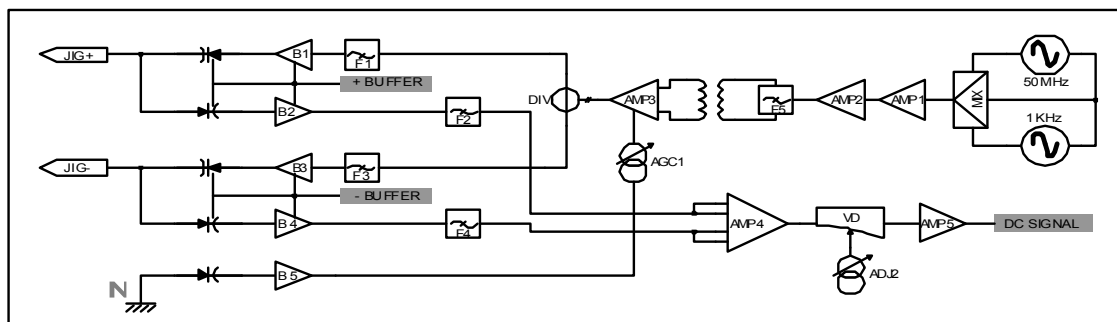


그림 3.3.20 단위수량 측정회로(50MHz Driver Circuit Diagram)

나. 정전용량식 단위수량 측정기 개발

(1) 개발의 내용

정전용량 방식을 이용한 단위수량측정기는 발신단자, 검출단자로 이루어진 단자부가 결합된 상태로 시멘트 페이스트가 담겨지는 검출용기와, 검출용기가 결합되어 단자부에 +, -전하 인가하여 시멘트 페이스트의 정전용량을 산출하여 전송하는 검출도체와, 검출도체의 신호를 전달받아 표시하는 디스플레이부와, 디스플레이부의 표시값을 출력하는 프린터로 단위수량측정기가 구성된다. 단자부는 신호를 발생시키며 외부로 노출되어 접속을 위한 발신단자면이 형성된 발신단자로부터 발생신호를 전달받아 측정

값을 검출하는 것으로 접속을 위한 검출단자면이 형성된 검출단자로 이루어진 비철금속재질로 구성된다.

발신단자와 검출단자는 'ㄱ'형상의 판 형태로 제작되며, 검출단자는 평면상으로 투영시 'ㄷ'형상으로 형성되고, 공통적으로 재질은 비철금속 중 알루미늄이나 스테인리스로 제작된다. 이러한, 발신단자와 검출단자는 발신단자면, 검출단자면 또는 검출단자면이 외부로 노출되게 단자부가 설치되는 검출용기가 형성된다.

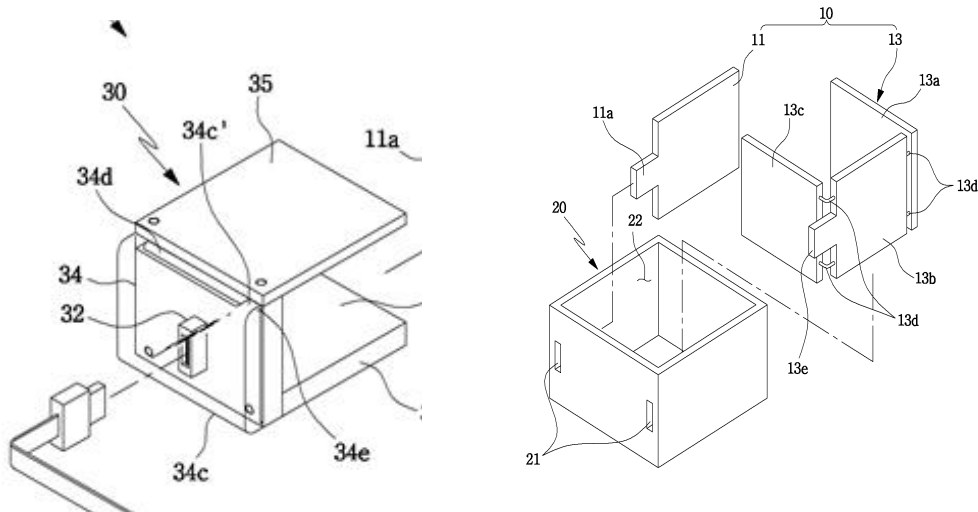


그림 3.3.21 발신단자와 검출단자의 구성

검출물체는 결합공간이 형성될 수 있도록 바닥에 위치되어 정전용량의 측정에 필요한 전원공급장치(도면상 미도시)로부터 전원을 인가받은 후, 공급을 위해 내부에 설치된 피씨비기판에 연결된 단자가 설치된 바닥판이 형성된다. 그리고, 바닥판의 단자에 결합되며, 발신단자의 발신단자면, 검출단자의 검출단자면이 결합되는 삽입홈의 하부로 단자가 결합되는 단자홈이 형성되며, 전원의 공급 및 신호전달을 위해 내부에 설치된 피씨비기판이 설치되고, 파손방지 및 이물질 침투를 방지하는 투명한 보호덮개가 결합되어진 신호전달판이 구성된다.

시멘트 페이스트가 담겨진 검출용기가 결합되어 정전용량을 측정, 산출하는 검출물체의 신호를 전달받아 결과값을 표시하는 디스플레이부가 신호전달판의 컨넥터에 연결된다. 이러한, 디스플레이부는 결과값을 디지털방식으로 표시하는 엘씨디화면이 형성되며, 수치의 입력 및 전류의 제어를 할 수 있는 키패드부로 이루어지고, 신호전달판의 컨넥터와 연결되는 컨넥터포트, 프린터와 연결되는 프린터포트, 디스플레이부의 충전 및 전원공급을 위한 전원잭으로 구성된다.

발신단자와 검출단자를 이용하여 정전용량을 산출하는 방정식은 다음과 같다.

$$C1 = \frac{Q}{V}, \quad C2 = \frac{Q}{V}$$

여기서, C1 : 발신단자의 정전(전기)용량,
 C2 : 검출단자의 정전(전기)용량,
 Q : 전하량, V : 전압

$$C=\sqrt{C1+C2}$$

여기서, C : 평균 정전용량

산출된 평균 정전용량은 시멘트 페이스트의 유전율과 발신단자와 검출단자의 단면적 및 거리의 관계로 다중 정전용량을 아래의 수식을 이용하여 산출할 수 있다.

$$Cn=\epsilon\frac{s}{d}$$

여기서, Cn : 다중 정전용량,
 ϵ : 시멘트 페이스트의 유전율(임의의 값),
 s : 발신단자와 검출단자의 단면적,
 d : 발신단자와 검출단자간의 거리

다중 정전용량법(고주파 유전율 방식)을 이용한 측정방식 다중(2채널이상) 수백 MHz~수 GHz 대역의 주파수를 시멘트 페이스트에 투과시키면 시멘트 페이스트의 수분율에 따라 투과된 주파수의 이득[dB]의 감쇄 현상이 발생하게 되는데, 감쇄된 신호와 시멘트 페이스트(200)의 유전율 및 측정장치의 구조적 함수 관계를 수식화하여 계산되어진 계수를 단위수량으로 환산하여 산출하게 된다.

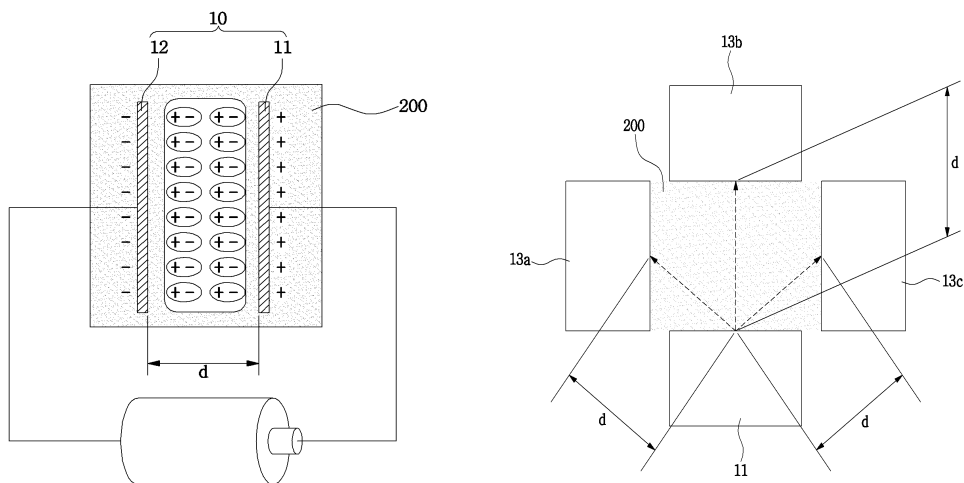


그림 3.3.22 정전용량의 측정의 측정개념도

결론적으로, 발신단자와 검출단자를 이용하여 단위수량을 산정하는 동일한 방식으로 다중 정전용량법(고주파 유전율 방식)을 이용한 측정방식 다중(3채널이상) 수백 MHz~수 GHz 대역의 주파수를 시멘트 페이스트에 투과시키면 시멘트 페이스트의 수분율에 따라 투과된 주파수의 이득[dB]의 감쇄 현상이 발생하게 되는데, 감쇄된 신호와 시멘트 페이스트(200)의 유전율 및 측정장치의 구조적 함수 관계를 수식화하여 계산되어진 계수를 단위수량으로 환산하여 산출하게 되는 것이다.

공통적으로, 정전용량은 일정한 전압에서 저장되는(혹은 분리되는) 전하의 양이다. 전기용량은 보통 물체의 총 전하량을 물체의 전압으로 나눈 값으로 정의한다 라는 정의에 의해 산출된 방정식이다. 이로 인하여, 시멘트 페이스트 내에 단위 수량을 현장에서 측정가능한 것이다.

(2) 단위수량 추정식 도출

$$[\text{추정단위수량(Kg/m}^3\text{)} = (W2+W4) - (W3+W5+W6)]$$

W2 : 단위수량(Kg/m³)

$$= WC \times (W+C+S+G) \text{-----} (\text{식 3.1})$$

* C=C+FA+BFS+AD

* WC : DY-500X에 의해 계측된 콘크리트의 수분율

W3 : 결합수보정수량(Kg/m³) => 시료중의 수분이 시멘트와 결합해 앓은 수량.

$$= (A/100)/(C+FA+BFS+AD) \text{-----} (\text{식 3.2})$$

* A : 결합수보정계수(%)

* 표 3.31 참고

W4 : 웨이트스크리닝 보정계수(Kg/m³) => 굵은골재 표면에 부착하는 수분의 보정수량.

$$= (B/100)*G \text{-----} (\text{식 3.3})$$

* B : 웨이트스크리닝 보정계수(%)

* G : 굵은골재량(Kg/m³)

* 표 3.32 참고

W5 : 잔골재의 흡수량(Kg/m³) => 시료중의 잔골재에서 흡수된 수량.

$$= (Q/(100+Q))*S \text{-----} (\text{식 3.4})$$

* Q : 잔골재 흡수율(표면 건조포수 상태에 있어서의 흡수율 %)

* S : 잔골재량(Kg/m³)

W6 : 굵은골재의 흡수량(Kg/m³) => 시료중의 굵은골재에서 흡수된 수량.

$$= (P/(100+P))*G \text{-----} (\text{식 3.5})$$

* P : 굵은골재 흡수율(%)

* G : 잔골재량(Kg/m³)

표 3.3.19 결합수보정계수

배합 시멘트비 (%)	결합수보정계수(+)%		
	다지는 시간(분)		
	30(1~44)	60(45~74)	90(75~104)
65(75.0~62.1)	1.246	1.254	1.309
60(62.0~57.1)	1.251	1.305	1.323
55(57.0~52.1)	1.282	1.320	1.328
50(52.0~47.1)	1.355	1.345	1.346
45(47.0~42.1)	1.357	1.482	1.468
40(42.0~34.1)	1.487	1.484	1.473
35(34.0~27.1)	0.848	0.820	0.846
25(27.0~22.1)	0.868	0.866	0.905
20(22.0~10.0)	1.030	1.056	1.044

참고1]. 결합수 보정계수는 흙의 강열감량 시험방법에 의해 요구한 것임.

2]. 물-시멘트비 30%이하는 고유동 콘크리트이다.

표 3.3.20 웨이트스크리닝 보정계수

굵은골재의 종별	웨이트스크리닝 보정계수	참고
쇄석(B1)	(+) 1.26%	굵은골재의 쇄석 사용을 100%만의 경우에 적용한다.
하천 굵은골재(B2)	(+) 0.40%	하천 굵은골재의 사용을 100%만의 경우에 적용한다.

다. 개발제품의 성능 검토 및 개선점 도출

레이콘 단위수량 신속측정방법에 대한 문헌 조사결과 고주파가열법, 단위용적질량법(에어메타법), 정전용량법, 중성자법(연속RI법)이 사용되고 있는 것으로 확인되었다. 이 중 중성자법(연속RI법)의 경우에는 측정방법 자체가 중성자를 이용하여 측정하기 때문에 관련 취급 라이선스를 보유한 측정 및 관리자가 반드시 필요하다.

또한 측정장비가 고가로 일반 현장에서 쉽게 접근할 수 없는 관계로 레이콘 단위수량 신속측정방법으로 정밀성, 경제성 및 간편성 등을 고려하여 본 실험에서는 다중고주파 유전율 방식에 대한 측정방법의 측정오차를 평가하였다.

표 3.3.21 실험요인 및 수준

실험 요 인	실험 수 준		
단 위 수 량	3	165 kg/m ³ , 175 kg/m ³ , 185 kg/m ³	

(1) 개발제품의 성능검토

(가) 사용재료 및 배합

본 연구에 사용된 시멘트는 표 3.3.22와 같은 밀도 3.15의 1종 보통포틀랜드 5g/cm³ 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 표 3.3.23과 같이 표건밀도 2.61g/cm³, 흡수율 1.40%의 부순모래를 사용하였다. 본 실험에서는 물결합재비 55%, 잔골재율을 43%, 단위수량 175kg/m³를 플레인 배합으로 설정하였으며, 단위수량 변화 등에 따라 배합을 변경하여 각 시험인자별 10배합씩 실시하였다.

배합은 표 3.3.24에서 보는 바와 같이 실시하였으며 측정에 사용된 모르타르는 제조된 콘크리트를 웨트스크리닝(Wet-Screening)하여 굵은 골재를 제거한 것으로 사용하였다.

표 3.3.22 시멘트의 물리·화학적 성질

종 류	밀 도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	응 결 도 (h : m)		화 학 조 성					강열 감량 (%)	안 정 성	압축강도 (MPa)		
			초결	종결	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃			3일	7일	28일
OPC ¹⁾	3.15	3,200	4:50	7:05	64.8	24.2	3.1	1.9	2.3	-	양호	18.3	25.0	35.0

1) OPC : Ordinary Portland Cement

표 3.3.23 골재의 물리적 성질

구 분	입 경 (mm)	조 립 율 (FM)	밀 도 (g/cm ³)	흡 수 율 (%)	실 적 율 (%)	단위용적질량 (kg/ℓ)
부순모래	5	3.34	2.61	1.40	55.30	1.58
굵은골재	25	6.40	2.73	0.73	62.52	1.66

표 3.3.24 배 합 표

배합명	W/B (%)	s/a (%)	단 위 수 량 (kg/m ³)	단위중량 (kg/m ³)				
				C	FA	BFS	S	G
PLAIN	55.0	43	175	318	0	0	779	1048
W165	55.0	43	165	300	0	0	766	1074
W185	55.0	43	185	336	0	0	731	1025

주1) C : 시멘트, S : 잔골재, G : 굵은 골재

(나) 단위수량 시험방법

본 실험에 사용된 측정장비는 정전용량법으로 본 연구를 통해 개발된 제품과 일본

K사의 제품을 비교 평가하였다. 그림 3.3.25는 정전용량법 측정 및 측정방법으로 개략적인 원리 및 시험순서는 다음과 같다.

① 측정 원리

콘크리트 시료에 고주파전압을 부여하여 정전용량 (전기 잔류의 쉬움 / 어려움) 과 전기저항 (전기 흐름의 쉬움 / 어려움) 을 측정한다. 이 때 물과 콘크리트를 구성하는 다른 재료들의 유전율은 큰 차이가 나게 되며, 물의 양과 정전용량 및 전기저항 사이의 관계를 활용하여 검량선 으로부터 콘크리트의 단위수량을 추정한다.

② 사용기기 및 시험방법

정전용량법에서는 그림 3.3.23과 같은 전용기기를 사용하며, 입력데이터로서 단위시멘트량, 단위수량, 시멘트 밀도, 골재 밀도 및 골재 흡수율을 입력함으로서 사전에 적용된 검량선에 의해 물-시멘트비 및 단위수량이 표현된다.



그림 3.3.23 개발 제품



그림 3.3.24 일본 K사 제품



그림 3.3.25 정전용량법 측정 및 측정방법

③ 단위수량 추정 계산식

정전용량법에서의 단위수량 추정은 수분과 정전용량의 검량선을 이용하여 배합입력

사항에 대한 비율로 단위수량을 산출한다.

(다) 실험 결과

① 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 단위수량이 증가할수록 콘크리트의 슬럼프는 점차 증가하는 것으로 나타났으며, 공기량의 경우는 단위수량이 증가할수록 점차 감소하는 것으로 나타났다.

표 3.3.25 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 측정 결과

배합명	PLAIN(W175)	W165	W185
슬럼프(cm)	20	15	22
공기량(%)	4.0	4.4	3.8

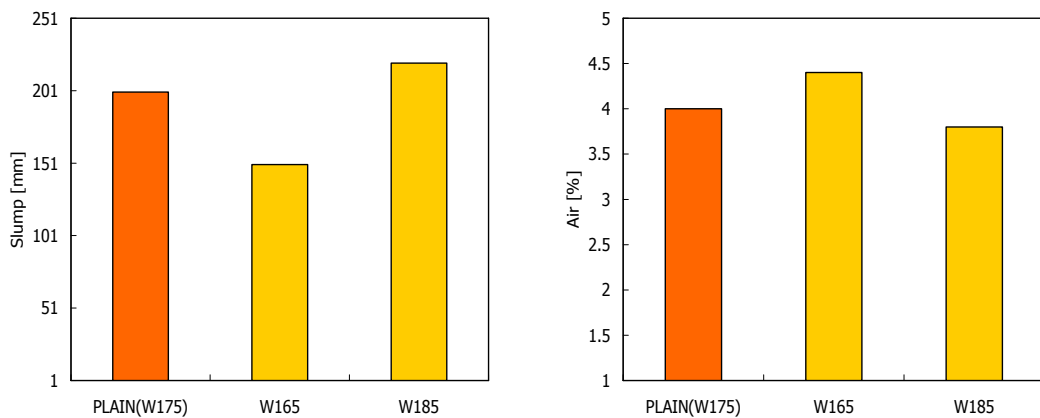


그림 3.3.26 단위수량 변화에 따른 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 변화

② 굳지 않은 모르타르 및 콘크리트의 단위수량 추정 결과

일본 K사의 정전용량법으로 측정한 단위수량 추정값과 본 연구에서 개발한 정전용량법으로 측정한 단위수량 추정값 및 표준편차의 결과는 표 3.3.26과 같다. 표 3.3.26의 단위수량 추정오차는 식 3.6에 의해 산출한 것이다.

$$\text{단위수량추정오차(\%)} = \frac{\text{추정단위수량} - \text{설계단위수량}}{\text{설계단위수량}} \times 100 \dots\dots\dots \text{식(3.6)}$$

표 3.3.26 단위수량 추정 결과

단위수량 측정기법 배합명	설계 수량 (kg/m ³)	일본 K사 정전용량법			정전용량법 [개발제품]					
					모르타르			콘크리트		
		추정 수량 (kg/m ³)	추정 오차 (%)	표준 편차	추정 수량 (kg/m ³)	추정 오차 (%)	표준 편차	추정 수량 (kg/m ³)	추정 오차 (%)	표준 편차
PLAIN	175	182	-4.0	5.0	178	-1.7	2.6	171	2.3	1.7
W165	165	171	-3.6	3.7	172	-4.2	3.6	160	3.0	3.4
W185	185	192	-3.8	3.1	179	3.2	3.4	181	2.2	2.9

표 3.3.26에서 보는 바와 같이 일본 K사 정전용량법, 기술 개발된 정전용량법[모르타르, 콘크리트용] 모두 설계 단위수량이 증가할수록 추정 단위수량도 증가하는 것으로 나타났다. 그림 3.3.27은 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과로서 단위수량 추정 오차가 일본 K사 정전용량법인 경우 3.6~4.0%, 개발된 제품의 경우 모르타르 시료를 이용할 경우 1.7~4.2%로 나타나 양호한 정밀도 수준으로 추정할 수 있는 것으로 나타났으며, 콘크리트 시료를 이용한 경우에는 2.2~3.6%로 모르타르를 이용한 경우에 비해 상대적으로 단위수량 추정 오차가 작게 나타났으나, 다양한 실험요인에 따른 추가 검토가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 기존제품 및 개발된 제품 모두 정전용량법의 경우에 단위수량이 증가할수록 단위수량 추정 오차가 감소하는 것으로 나타나 모두 단위수량의 변동 경향을 재현할 수 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 정전용량법의 경우 물-시멘트비가 낮아질수록 추정오차는 증가되는 것으로 알려져 있으며, 이러한 결과는 점성이 증가되는 낮은 물-시멘트비에서는 웨트 크리닝 효율이 저하되어 편차가 증가되는 것으로 보고되고 있다.

그림 3.3.28은 평균 단위수량과 평균 추정 오차 결과로 추정 단위수량의 평균은 일본 K사 정전용량법의 경우 182kg/m³, 개발된 정전용량법[모르타르]는 178kg/m³, 개발된 정전용량법[콘크리트]는 171kg/m³로 나타났으며, 단위수량 평균 추정 오차는 일본 K사 정전용량법의 경우 -4%, 개발된 정전용량법[모르타르] 경우 -1.7%, 개발된 정전용량법[콘크리트]의 경우 3.1%로, 일본 K사의 정전용량법 보다 기술개발된 제품[모르타르, 콘크리트]의 경우 단위수량 추정 성능이 다소 우수한 것으로 나타났다.

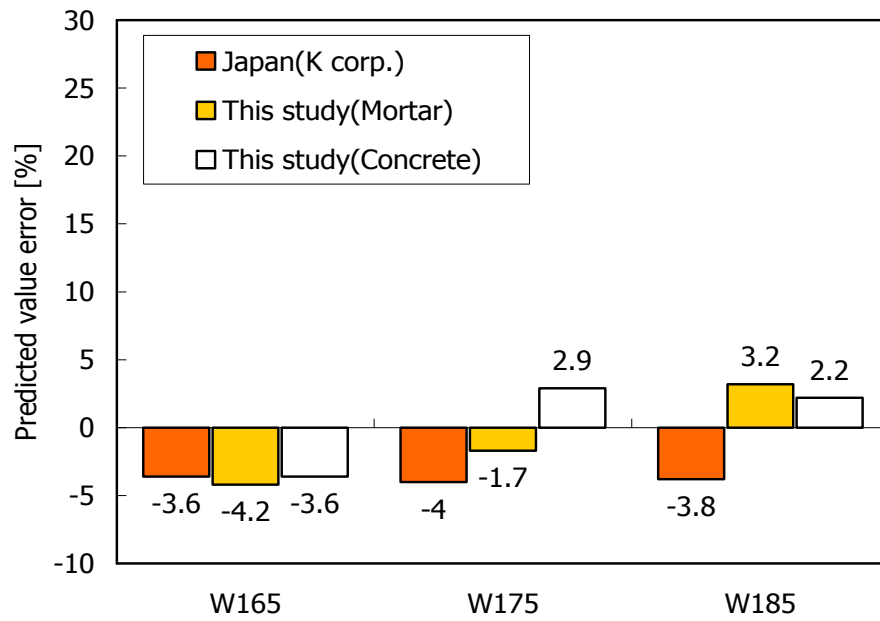


그림 3.3.27 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과

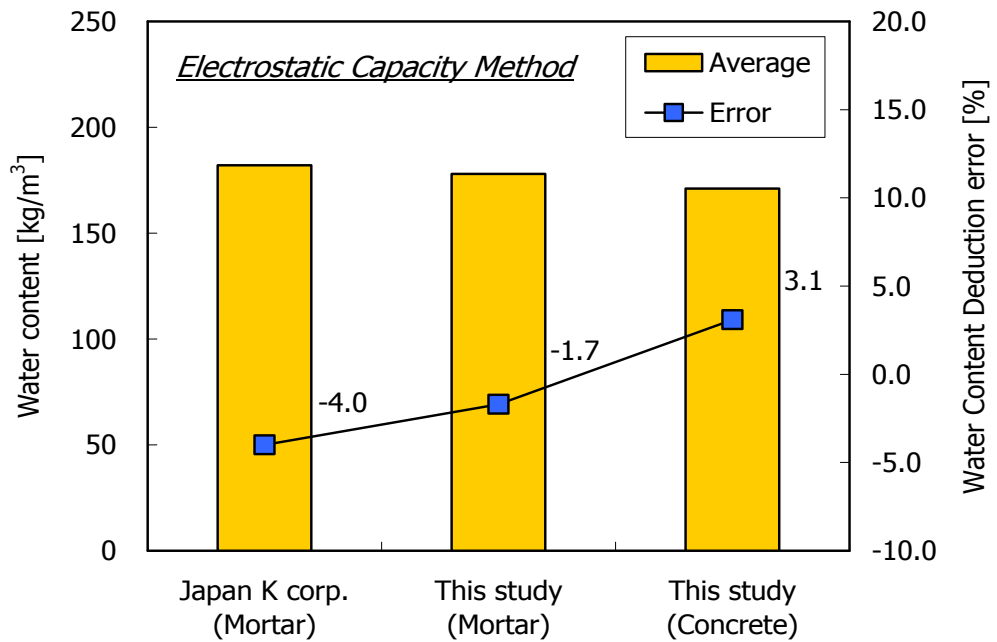


그림 3.3.28 단위수량 측정대상별 평균 추정 단위수량과 추정 오차

③ 단위수량 측정 범위[수분율]

표 3.3.27 단위수량 측정 범위[수분율]

측정 범위	개발된 제품	
	콘크리트	모르타르
1	22.0	35.6
2	29.2	30.4
3	30.4	32.5
4	28.6	33.2
5	38.1	32.0
6	34.9	36.4
7	27.5	32.8
8	36.2	34.0
9	37.4	38.0
10	33.5	37.5
평균	31.8	34.2
표준편차	5.13	2.52

그림 3.3.29는 단위수량 측정 범위[수분율]의 평균값을 나타낸 것으로 콘크리트는 약 20~40%를 만족하는 것으로 나타나 기술 개발제품으로 단위수량을 측정할 경우 측정 범위는 개발 목표치 범위내에서 측정이 가능한 것을 확인하였다.

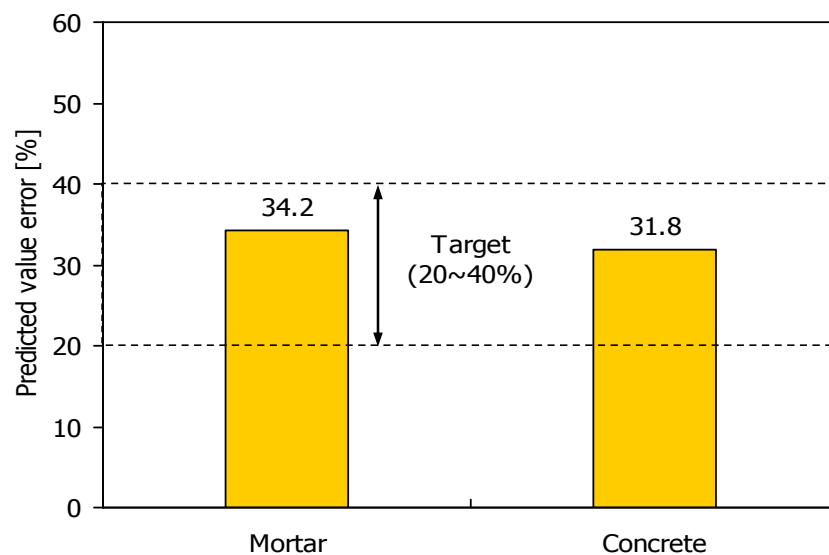


그림 3.3.29 단위수량 측정범위

④ 단위수량 측정 정도

굳지 않은 콘크리트의 단위수량을 정전용량법에 의해 측정할 때 측정정도는 일본 K사 정전용량법의 경우 모르타르가 약 $\pm 0.5\%$, 잔골재 $\pm 0.3\%$ 로 나타났으며, 기술 개발된 정전용량법으로 측정한 경우 측정정도는 콘크리트가 약 $\pm 0.44\%$, 잔골재 $\pm 0.26\%$ 로 개발목표치를 만족하는 것으로 나타났다.

표 3.3.28 단위수량 측정 정도

측정정도 단위수량 측정기법	설계수량 (kg/m ³)	정전용량법[K사]	정전용량법[개발제품]
		모르타르	콘크리트
측정정도(%)	175	$\pm 0.5\%$,	$\pm 0.44\%$

⑤ 외부출력

굳지 않은 콘크리트의 단위수량을 정전용량법에 의해 측정된 결과를 원격자료전송 모바일 프린터로 데이터출력이 가능하다.

(2) 단위수량 측정 장치 개선점 도출

다중 고주파 유전율 방식(다중 정전 용량법)기술을 개발하고 기존 일본제품의 한계점을 극복한 다중 고주파 유전율 방식을 이용한 레미콘의 단위수량과 잔골재의 표면수율을 측정할 수 있는 측정 장치를 개발하였으나 정전용량법을 현장에 적용할 시 다음과 같은 문제점들이 발생하고 있다.

- (1) 측정 장비(측정기, 정밀전자저울, 진동체가름시험기, 다짐봉, 직선자) 및 공구의 종류가 많이 필요하며 측정 준비 및 측정환경에 적합한 장치의 개발이 어려움
- (2) 단위수량 측정시 굳지 않은 콘크리트의 골재를 모두 골라내어야 하는 준비의 시간과, 어려움이 있으며 골재표면에 묻어있는 물의 양을 알기 어려움
- (3) 작업의 숙련도가 크지 않으면 측정시 오차로 이어질 수 있는 어려움
- (4) 정전용량에 의한 측정시 콘크리트의 블리딩 현상에 의한 오차 발생
- (5) 굳지 않은 콘크리트의 사용 혼화제에 따라 전기전도도가 변화되어 오차의 원인이 됨. 최근 혼화제의 사용이 다양화 되고 있어 전기적인 신호에 영향에 미침.
- (6) 정전 용량법에 의한 현장 측정은 현장에서 많은 시간과 장비가 동행되어야 함.

위에서 언급한 정전용량법의 다양한 문제점 등을 해결하기 위한 방법으로 상대적으로 간편한 에어미터법에 의한 단위수량 측정방법을 고려하여 본 연구에 적용하였다. 에어미터법은 정전용량 법에 의한 단위수량 추정 방법은 유사하다 할 수 있다. 두

측정 방법 모두 설계된 배합표를 입력 후에 나타날 수 있는 단위수량의 오차를 정전 용량법은 전기적인 방법으로 채택하고 있으며, 에어미터법은 단위수량의 오차를 공기량 방법으로 찾고 있는 것이다. 이러한 원리를 적용한 단위수량 산정 등은 관련 논문 등에 의해 이론적으로 검증되고 있다. 에어미터법에 의한 단위수량은 요구사항 및 특성은 다음과 같다.

- (1) 에어미터는 측정시 편리성과 정밀도가 필요함. 장치를 디지털화하며 기존 브론돈관 원리 사용으로 온도변화, 락스기어 등 여러 오차를 해결할 수 있는 장치 개발이 필요함.
- (2) 공기량 측정과 별도의 단위수량을 이중으로 측정하는 불편함을 줄일 수 있는 현장관리의 편리성 확보.
- (3) 기존 공기량 시험기에 통신기능을 포함한 장치로 공기량과 단위수량을 복합 측정함으로서 측정의 편리함과 간편함이 확보
- (4) 측정 데이터에 있어 배합표 상 여러 종류의 혼합 특수 약품 및 특수 시멘트 등에 영향을 주지 않으므로 실수나 오류 측정을 최대로 줄일 수 있음
- (5) 에어미터 법에 의한 단위수량 측정을 위하여 수학적 모델의 연산방법과 정확 정밀도가 유지되는 디지털 에어미터의 개발로 레미콘(생 콘크리트)의 단위수량 측정 시스템을 개발.

4. Air meter법에 의한 단위수량 측정시스템 개발

정전용량법에 의한 문제점의 보완과 동시에 굳지 않은 콘크리트의 품질관리를 동시(공기량, 단위수량)에 해결할 수 있는 방안으로 Air meter법을 이용한 단위수량 측정 시스템을 개발하고자 하였다.

가. Air Meter법의 용적 계산식 도출

굳지 않은 콘크리트의 용적 도출은 굳지 않은 콘크리트 시료질량(M1)을 산정하고, 배합설계의 재료량에 근거한 단위용적질량(VMo)와 Air Meter에 의해 측정된 실측 단위용적질량(VM1)을 구한다. 산정된 두 개의 단위용적질량으로부터 굳지않은 콘크리트의 단위수량을 추정할 수 있다.

① 콘크리트 시료질량 : $M_1 = M - M_0$

- M1 : 굳지않은 콘크리트 시료만의 질량
- M : 에어미터와 그에 담긴 굳지 않은 콘크리트 시료의 전체 질량
- M0 : 에어미터의 공질량

② 배합설계에 근거한 단위용적질량 : $VM_0 = M_1 / [1 - (Air_0 + C/100) \times 0.1]$

- VM0 : 배합설계에 근거한 굳지 않은 콘크리트의 단위용적 질량(kg/m³)
- M1 : 굳지않은 콘크리트 시료만의 질량
- Air0 : 굳지않은 콘크리트의 생산 당시에 측정된 초기 공기량
- C : 배합설계에 근거한 굳지않은 콘크리트 단위부피 당 시멘트량(kg/m³)

③ 실측 단위용적질량 : $VM_1 = M_1 / [V_0 \times (1 - Air_1 \times 0.01)]$

- VM1 : 에어미터 실측에 근거한 굳지않은 콘크리트의 실측 단위용적 질량
- M1 : 굳지않은 콘크리트 시료만의 질량
- Air1 : 에어미터를 이용하여 구한 실측 공기량

④ 굳지 않은 콘크리트의 추정 단위수량 : $W = W_0 + (VM_0 - VM_1) \times 0.7$

- W : 굳지않은 콘크리트의 측정 단위수량
- W0 : 굳지않은 콘크리트의 이론 단위수량

굳지 않은 콘크리트의 단위수량 값에 대해, 에어미터를 이용하여 굳지 않은 콘크리트 시료에 대해 실제로 측정한 데이터에 근거한 보정치를 적용함으로써, 더욱 신뢰성 있는 굳지 않은 콘크리트의 측정 단위수량 값을 구할 수 있게 된다. 개발제품의 굳지 않은 콘크리트의 측정 단위수량을 구함에 있어서, 에어미터를 이용하게 되므로 굳지 않은 콘크리트에 대한 시험을 신속하고 용이하게 수행할 수 있게 된다.

나. 단위수량 추정식 적용 및 PROGRAM 알고리즘 적용

① 추정 단위 수량 (kg/m³)

$$W1 = W2 + W3 + W4 - W5$$

W2 : 단위수량(kg/m³) W3 : 결합 보정 수량(kg/m³)

W4 : 웨트 스크리닝 보정 수량(kg/m³)

W5 : 세골재의 흡수량(kg/m³)

② 단위수량(W2)

$$W_2 = \frac{a}{100} \times (W + C + S) \quad W6 : \text{설정수량(kg/m}^3\text{)}$$

W6 : 건조수량(g) M6 : 건조전의 모르타르 질량(g)

C6 : 설정 시멘트량(kg/m³)

S6 : 설정세골재량(kg/m³)

(설정이란, 「시방배합」, 「현장 배합」, 「인자기록」의 배합으로부터 선택한, 배합의 수량, 시멘트량, 세골재량, 물-시멘트비를 말한다)

③ 결합 보정 수량(W3) - 시료중의 수분이 시멘트와 결합해 잃은수량

$$W_3 = \frac{\alpha}{100} \times C \quad \alpha : \text{결합수 보정 계수 (\%)}$$

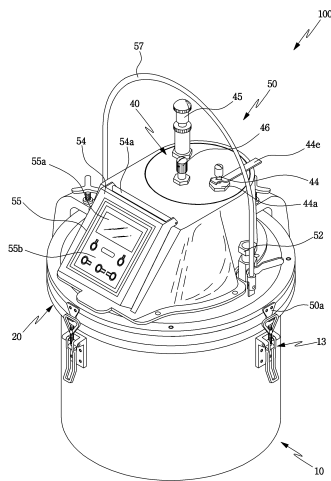
④ 웨트스크리닝 보정 수량(W4) - 결점 골재 표면에 부착하는 수분의 보정수량

$$W_4 = \frac{\beta}{100} \times G \quad \beta : \text{웨트 스크리닝 보정 계수 (\%)}$$

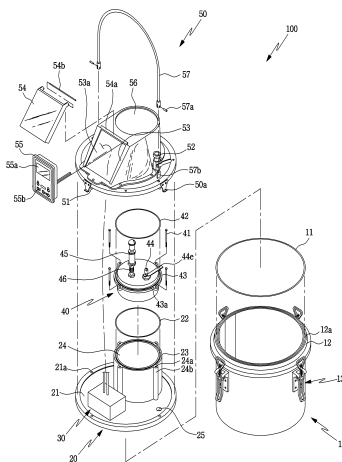
$G : \text{설정결점 골재량 (kg/m}^3\text{)}$

⑤ 세골재의 흡수량(W5) - 시료중의 세골재의 흡수량

$$W_5 = \frac{Q}{100 + Q} \times S \quad Q : \text{세골재의 흡수율(SSD상태의 흡수율)(\%)}$$



[개발에 적용한 AIR METER 조립도]



[AIR METER 분해도]

그림 3.3.30 Air Meter 조립도 및 분해도

개발된 Air meter법의 공기량 측정오차와 재료밀도 변동량이 단위수량에 미치는 영향을 검토한 결과 공기량 측정오차는 일본 제품(W-Checker)과의 추정정도는 동등한 수준의 측정값을 나타내었으며, 재료밀도 변동량에 따른 단위수량의 영향은 골재의 영향이 단위수량에 미치는 영향이 가장 큰 값으로 나타났다.

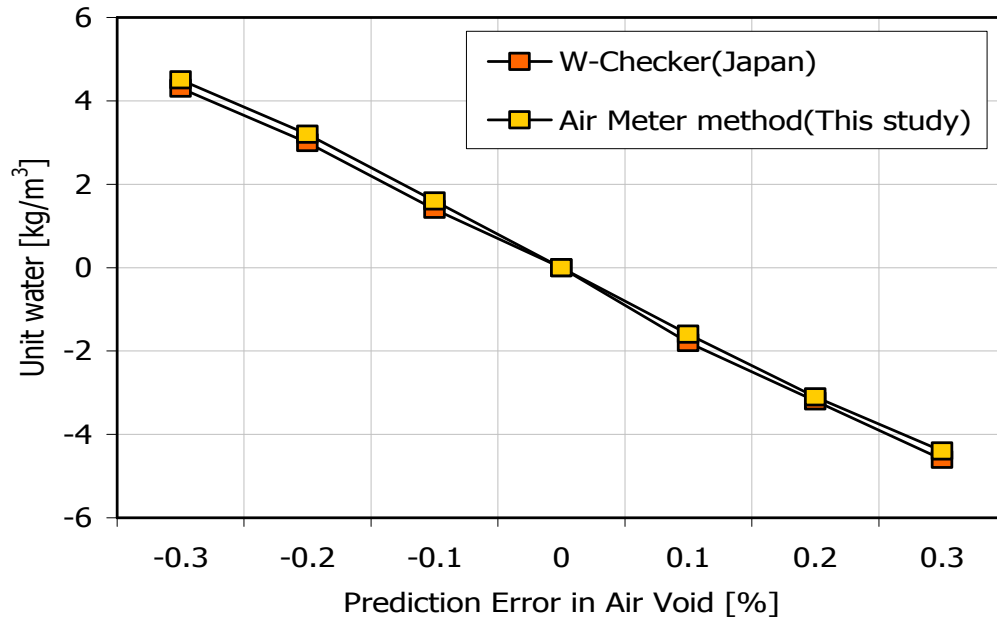


그림 3.3.31 공기량 측정오차에 따른 단위수량

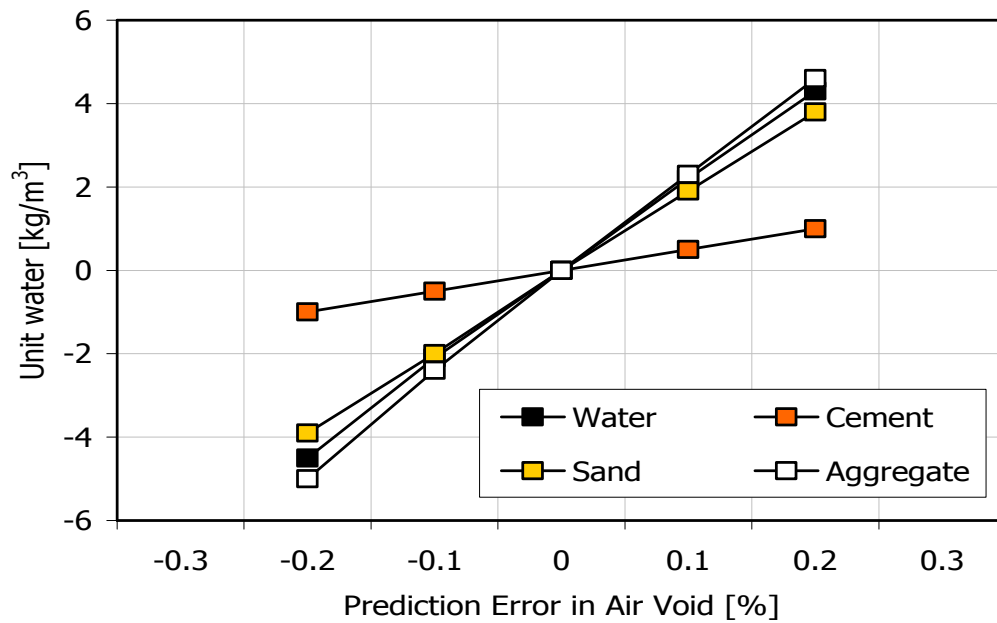


그림 3.3.32 밀도 변동량에 따른 단위수량

다. 단위수량 측정 Sample Test 및 Program 개발

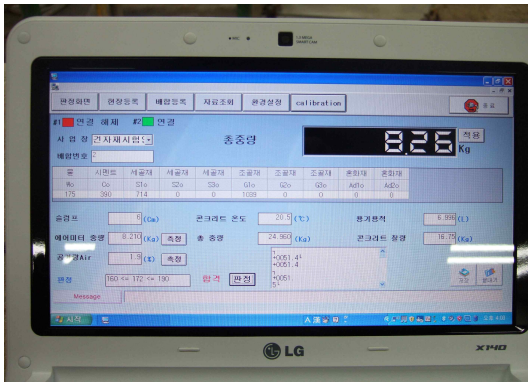
Air Meter법의 용적 계산식과 단위수량 추정식 알고리즘을 통해 단위수량 측정장치의 조건별 오차검증을 수행하여 디지털 Sample Test 장치와 프로그램을 개발하였으며 본 개발품의 사양은 다음과 같다.



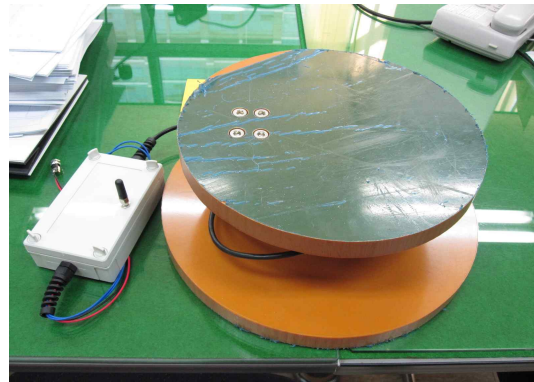
[사 양]

- 공기유입방식 : Auto
- IP Line 설정 : SOL/v에 의한 자동설정
- 측정범위 : 0.0%~9.9%
- 분해능 : 0.1% / 0.01% 선택사용

그림 3.3.33 Air Meter법 단위수량 측정기



[알고리즘을 적용한 프로그램]



[중량 CHECK를 위한 BALANCE 제작]

그림 3.3.34 알고리즘 적용 프로그램 및 BALANCE-1

라. Air Meter법에 의한 단위수량 추정 성능 검토

Air Meter법에 의한 단위수량 추정 성능을 검토하기 위하여 단위수량 변동에 따른 단위수량 추정값을 측정하여 기존의 정전용량법과 비교 평가하였다.

사용된 실험요인 및 수준은 표 3.3.29와 같고 배합표는 표 3.3.30과 같다. 또한, 사용 재료는 정전용량법에서 사용된 재료와 동일한 것을 사용하였다.

표 3.3.29 실험요인 및 수준

실험요인	실험수준			
단위수량	3	165 kg/m ³ ,	175 kg/m ³ ,	185 kg/m ³
측정대상	3	콘크리트		

표 3.3.30 배 합 표

배합명	W/B (%)	s/a (%)	단 위 수 량 (kg/m ³)	단위중량 (kg/m ³)				
				C	FA	BFS	S	G
PLAIN	55.0	43	175	318	0	0	779	1048
W165	55.0	43	165	300	0	0	766	1074
W185	55.0	43	185	336	0	0	731	1025

주1) C : 시멘트, S : 잔골재, G : 굵은 골재

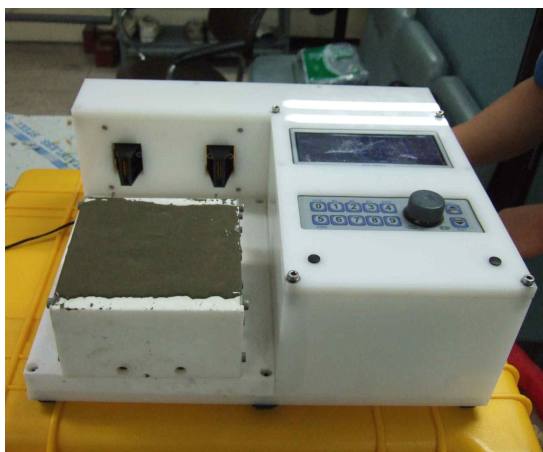
(1) 결과 분석

(가) 단위수량 추정 시험 결과

표 3.3.31은 일본 K사의 정전용량법으로 측정한 단위수량 추정값과 개발한 Air Meter법으로 측정한 단위수량 추정값 및 표준편차를 나타낸 것으로 단위수량 시험조건별 단위수량 추정은 모두 유사한 수준으로 나타났다.

표 3.3.31 단위수량 추정 결과

단위수량 측정기법 배합명	설 계 수 량 (kg/m ³)	정전용량법 [개발품]			Air Meter법 [개발제품]		
		추정수량 (kg/m ³)	추정오차 (%)	표준 편차	추정수량 (kg/m ³)	추정오차 (%)	표준 편차
PLAIN	175	170	-2.9	2.9	179	1.7	-2.3
W165	165	171	-3.6	3.1	161	2.4	2.4
W185	185	181	-2.1	2.2	179	3.2	3.2



[정전용량법 측정 모습]



[Air Meter법 측정 모습]

그림 3.3.35 알고리즘 적용 프로그램 및 BALANCE-2

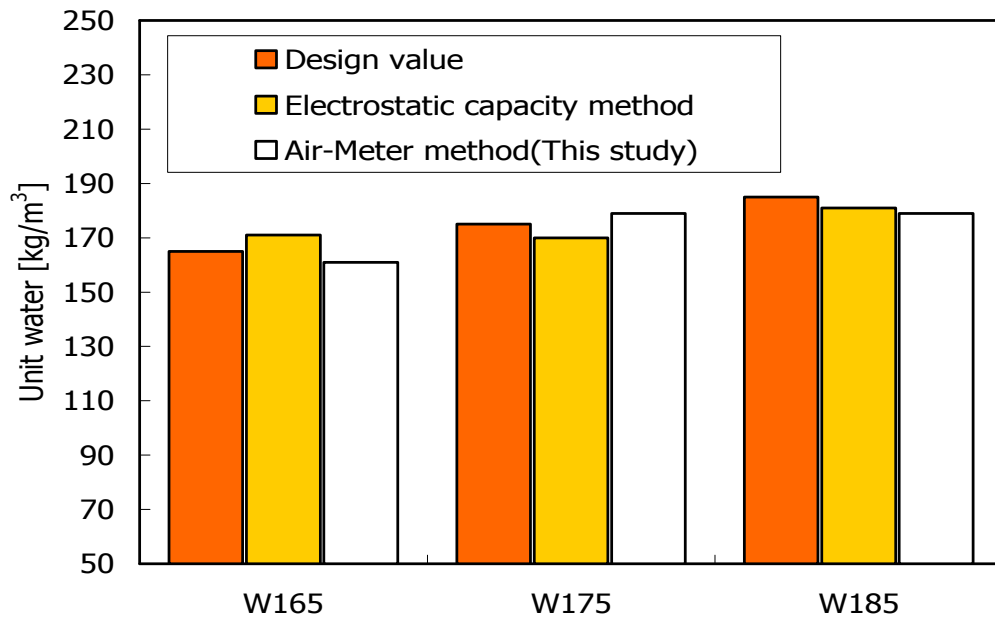


그림 3.3.36 측정 방법별 단위수량 측정 결과

(나) 굳지 않은 모르타르 및 콘크리트의 단위수량 추정 결과

굳지 않은 콘크리트의 단위수량을 정전용량법에 의해 추정한 결과를 표 3.3.31에 나타냈으며, 단위수량 추정 오차는 식 3.7에 의해 산출하였다.

$$\text{단위수량추정오차(\%)} = \frac{\text{추정단위수량} - \text{설계단위수량}}{\text{설계단위수량}} \times 100 \dots\dots\dots \text{식(3.7)}$$

설계 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과를 나타낸 그림 3.3.36에서 보는 바와 같이 개발된 정전용량법, Air Meter법 모두 설계 단위수량이 증가할수록 추정 단위수량도 점차 증가하는 것으로 나타나, 단위수량 변화에 따른 단위수량 추정에 문제가 없는 것으로 나타났다.

그림 3.3.37의 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과에서도 단위수량 추정 오차가 정전용량법인 경우 2.2~3.6%, 개발된 Air Meter법의 경우 콘크리트를 이용할 경우 1.7~3.2%로 나타나 동등이상의 정밀도 수준으로 추정할 수 있는 것으로 나타났다.

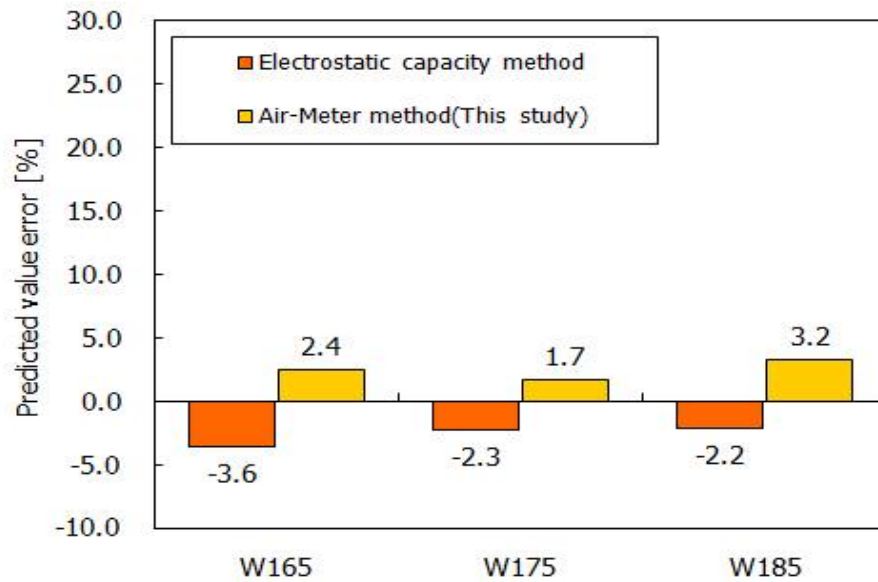


그림 3.3.37 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과

(나) 단위수량 측정 대상별 단위수량 추정 성능 검토

그림 3.3.38은 단위수량 측정 대상별 평균 단위수량과 단위수량 평균 추정 오차를 나타낸 것으로서 추정 단위수량의 평균의 경우 정전용량법의 경우 179kg/m^3 , Air Meter법은 170kg/m^3 , 단위수량 평균 추정 오차는 정전용량법의 경우 -2.7% , Air Meter법은 2.5% 로 단위수량 추정 성능이 동등 이상인 것으로 나타났다.

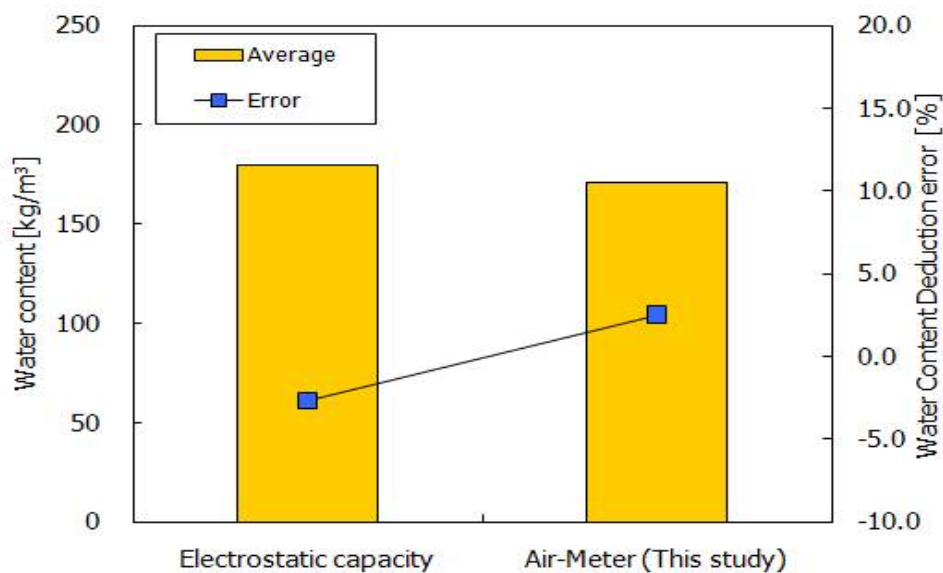


그림 3.3.38 단위수량 측정대상별 평균 추정 단위수량과 추정 오차

5. 단위수량 측정장비의 성능 평가

최근 콘크리트 품질에 대한 관심이 높아져 성능 확보를 위한 관리가 요구되고 있다. 그 중에서도 콘크리트 제조시의 단위수량은 강도와 내구성 등의 품질에 큰 영향을 미치기 때문에 관리상 중시되고 있다. 굳지않은 콘크리트의 단위수량 측정에는 고주파 가열건조법, 에어미터법, 정전용량법 등이 이용되고 있으나 어떤 방법도 콘크리트 중의 단위수량을 직접 측정하는 것이 아니라 시험에 의하여 얻은 물리량에서 단위수량을 산출하기 때문에 측정된 단위수량 값에는 실제 제품의 단위수량에 대한 측정 오차 이외의 오차도 포함되어 있다.

고주파 가열건조법에 대하여서는 독자의 추정식을 구축하여 정밀도가 높은 관리를 하고 있으나 이 측정방법은 측정에 시간이 걸리며 연속 측정에 의한 사용기기의 내구성 저하 등으로 인해 자주 활용시에는 콘크리트의 인수 시험으로서 시공에 시간적인 제약이 발생하는 문제점이 있다. 한편, 에어미터법은 측정방법이 간편하고 단시간에 단위수량을 추정할 수 있으므로 측정 빈도가 높은 경우에도 대응할 수 있지만, 고주파 가열건조법보다도 정밀도가 다소 낮은 결과를 초래하였다. 본 절에서는 보다 정밀도를 높인 개발제품에 대해서 기존의 단위수량 측정장비(정전용량법, 고주파가열건조법)과의 비교 평가를 수행하여 개발제품의 성능을 규명하고자 하였다.

가. 실험계획

(1) 사용재료 및 콘크리트 배합

본 실험에 사용된 시멘트는 표 3.3.32과 같은 밀도 3.15의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 표 3.3.33과 같이 표건밀도 2.63g/cm^3 , 흡수율 1.50%의 부순모래를 사용하였고, 굵은골재는 표건밀도 2.72g/cm^3 의 쇄석을 사용하였다.

콘크리트의 배합은 물/결합재비의 변동(30, 35, 40, 45, 50%)에 따라 단위수량의 측정 정도를 검토하였으며, 물/결합재비 50%에 대해서는 시방 배합수에 10, 20 kg/m^3 의 배합수를 추가하여 가수에 따른 단위수량 측정장비 변동성을 검토하였다.

본 실험에 적용한 콘크리트 배합은 표 3.3.34와 같다.

표 3.3.32 시멘트의 물리·화학적 성질

종류	밀도 (g/cm^3)	분말도 (cm^2/g)	응결도 (h:m)		화 학 조 성					강열 감량 (%)	안 정 성	압축강도 (MPa)		
			초결	종결	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃			3일	7일	28일
OPC ¹⁾	3.15	3,200	4:50	7:05	64.8	24.2	3.1	1.9	2.3	-	양호	18.3	25.0	35.0

1) OPC : Ordinary Portland Cement

표 3.3.33 골재의 물리적 성질

구 분	입 경 (mm)	조 립 율 (FM)	밀 도 (g/cm ³)	흡 수 율 (%)	실 적 율 (%)	단위용적질량 (kg/ℓ)
부순모래	5	3.54	2.63	1.50	54.10	1.57
굵은골재	25	6.49	2.72	0.76	63.1	1.65

표 3.3.34 콘크리트 배합

No	W/B (%)	단위중량 (kg/m ³)			
		C	W	S	C
1	30	567	170	802	830
2	35	486	170	836	865
3	40	425	170	861	891
4	45	378	170	881	911
5	50	340	170	897	928
6	55	309	170	910	941
7	50	340	180	897	928
8	50	340	190	897	928

(2) 단위수량 시험방법

굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정방법으로는 단위용적질량법(Air-Meter), 정전용량법 및 고주파 가열법을 적용하였다.

나. 실험결과

(1) 굳지 않은 콘크리트의 특성

표 3.3.35는 물결합재비 및 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성을 나타낸 결과이다. 물결합재비 및 단위수량 변화에 따른 목표 슬럼프 18±2.5cm를 만족시키기 위한 고성능감수제의 첨가율 변화는 그림 3.3.39와 같다. 고성능감수제 첨가율의 경우는 물-시멘트비가 높아질수록 첨가율이 감소되는 경향을 보이고 있다.

기존의 연구결과를 살펴보면 동일 물-시멘트비에 있어서 단위수량을 변경시킨 경우 고성능감수제 첨가율이 감소되는 것으로 나타났으며, 건설현장에서 배합설계시 목표로 한 슬럼프에 비해 다소 높은 유동성이 요구될 경우 레미콘 플랜트에서 이에 대응하기 위한 방안으로서는 경제성 등을 고려하여 고성능감수제의 첨가보다는 단위수량의 증가로 대응할 가능성이 클 것으로 예상되기 때문에 콘크리트의 단위수량 관리는 필요하다.

표 3.3.35 물결합재비 및 단위수량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성

No	W/B (%)	단위수량 (kg/m ³)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	S.P첨가량
1	30	170	18.0	4.9	5.95
2	35	170	19.5	5	4.86
3	40	170	20.0	4.5	4.25
4	45	170	19.5	5.1	3.78
5	50	170	20.5	4.8	3.40
6	55	170	19.0	4.6	3.09
7	50	180	21.0	4.5	3.40
8	50	190	22.0	2.3	3.40

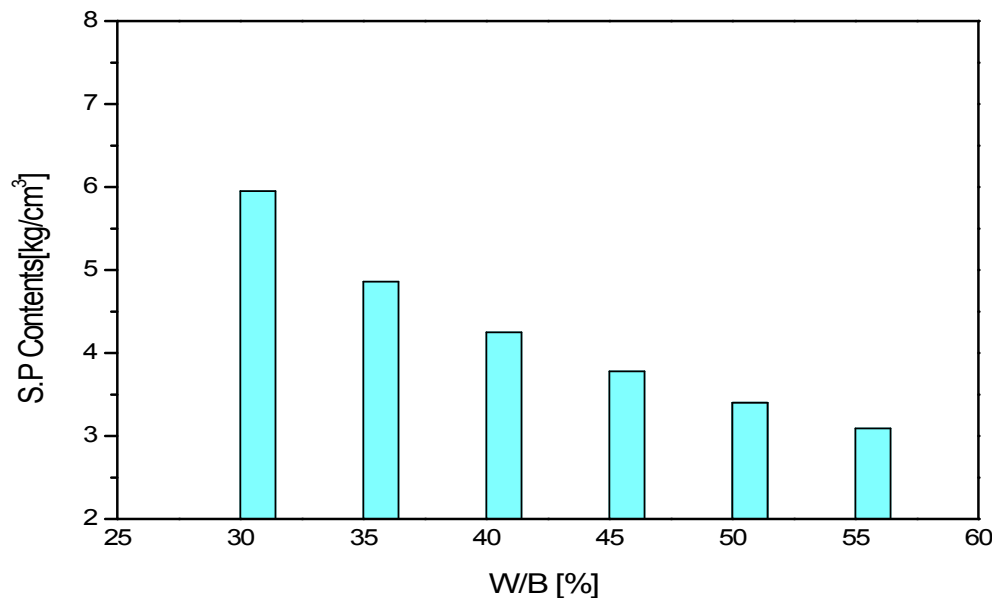


그림 3.3.39 단위수량 측정대상별 물결합재비와 혼화제 사용량

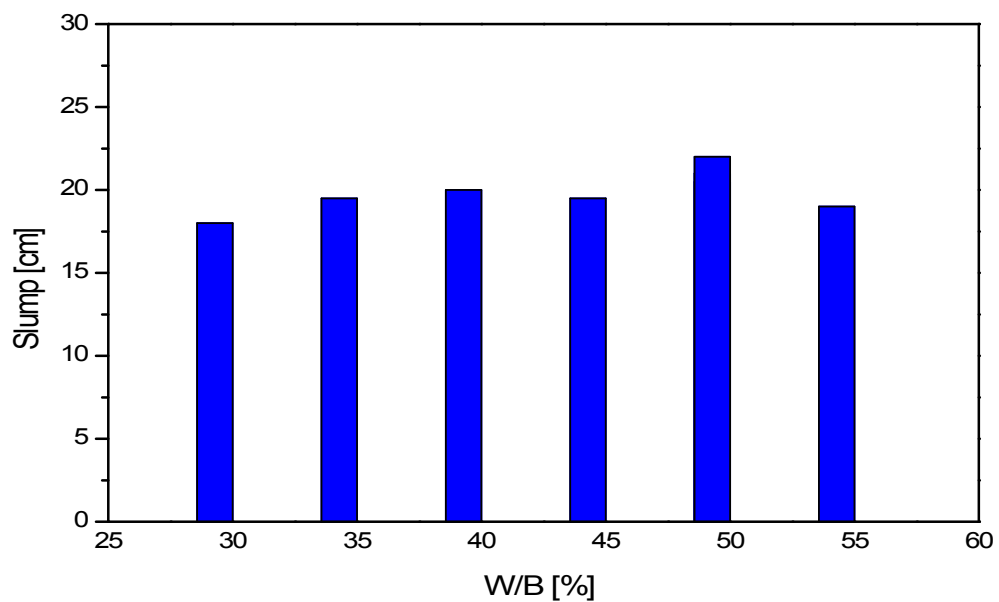


그림 3.3.40 단위수량 측정대상별 물결합재비와 슬럼프

(2) 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과

물-시멘트비 및 가수에 따른 고주파 가열건조로법, 정전용량법 및 에어미터법에 의해 굳지 않은 콘크리트의 단위수량을 추정한 결과는 표 3.3.36 및 그림 3.3.41~3.3.43과 같다. 단위수량의 추정오차는 식 3.8에 의해 산출하였다.

$$\text{단위수량 추정오차 (\%)} = \frac{W_d - W_t}{W_d} \times 100 \text{ ----- 식 (3.8)}$$

여기서, W_d : 설계단위수량 (kg/m^3)

W_t : 추정단위수량 (kg/m^3)

표 3.3.36 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 결과

단위수량 측정기법	W/B(%)	30	35	40	45	50	55	50	50
	설계단위수량 (kg/m^3)	170	170	170	170	170	170	180	190
고주파가열 건조로법	추정단위수량 (kg/m^3)	165.7	168.4	165.8	164.3	165.4	164.2	176.0	184.0
	추정오차 (%)	-2.5	-0.9	-2.5	-3.3	-2.7	-3.4	-2.2	-3.2
정전용량법	추정단위수량 (kg/m^3)	167.2	167.9	167.1	164.8	165.6	164.2	178.6	183.6
	추정오차 (%)	-4.7	-1.9	-3.6	-4.3	-5.1	-3.1	-1.7	-4.7
개발품	추정단위수량 (kg/m^3)	178.8	166.3	174.0	176.2	173.4	173.6	185.5	197.5
	추정오차 (%)	5.2	-2.2	2.4	3.6	2.0	2.1	3.1	4.0

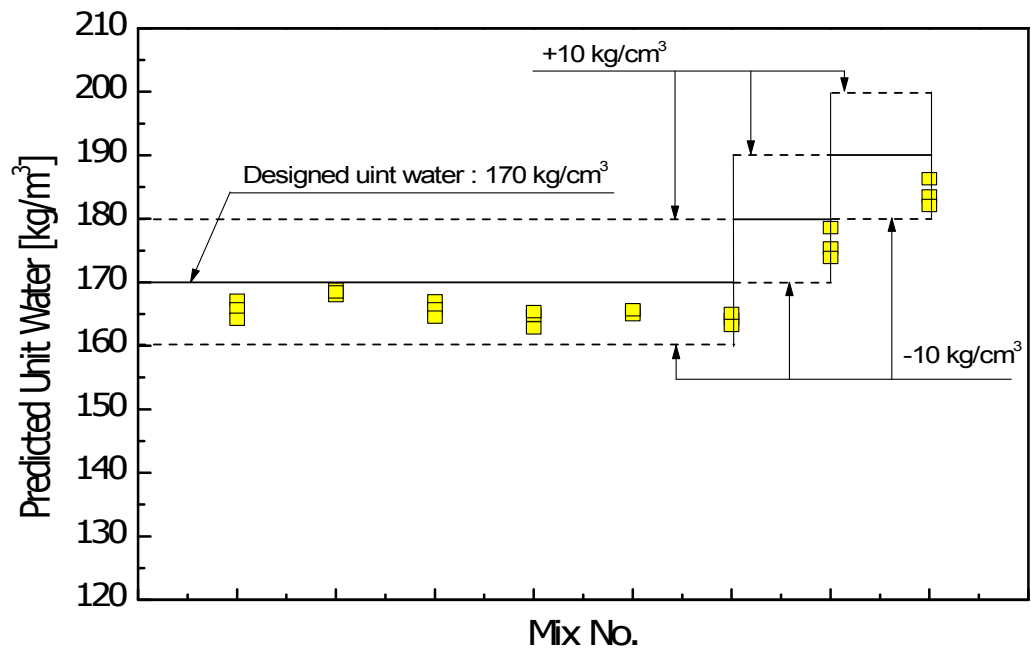


그림 3.3.41 단위수량 추정 결과[가열건조법]

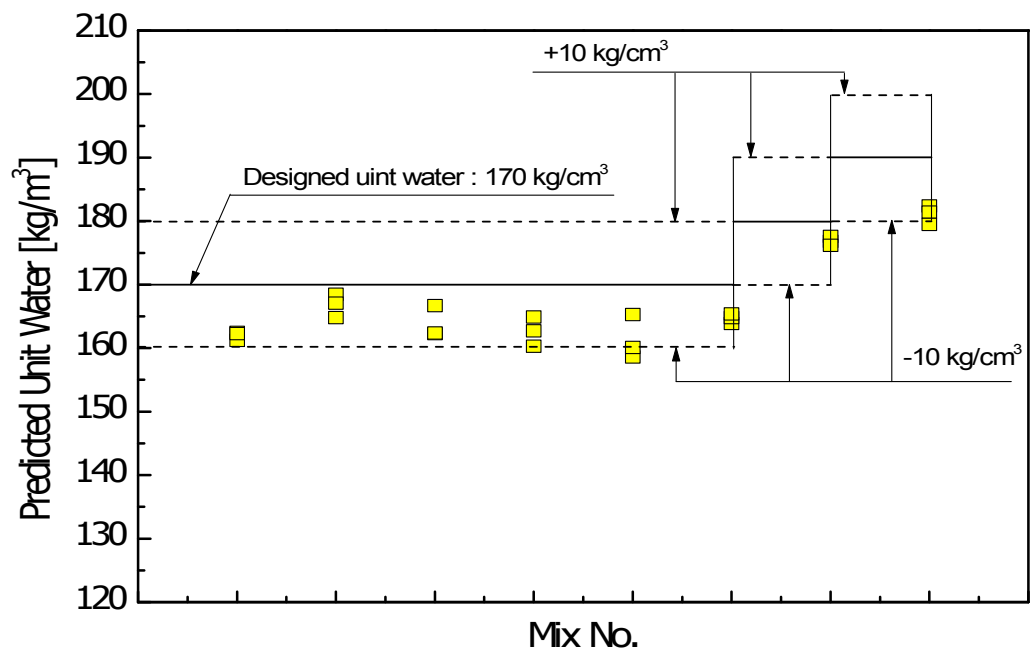


그림 3.3.42 단위수량 추정 결과[정전용량법]

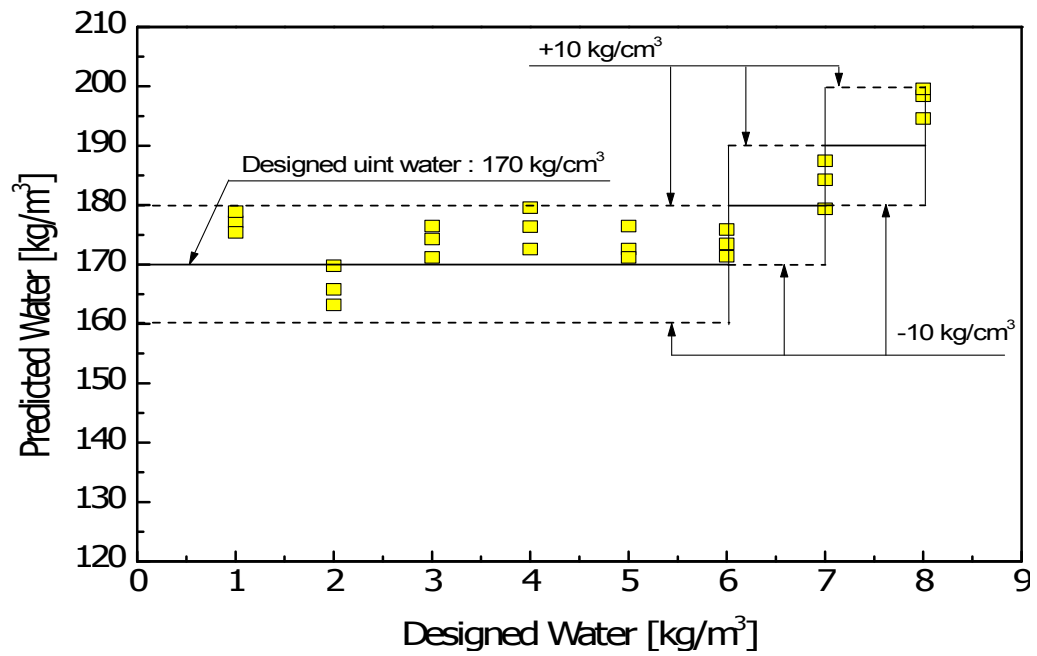


그림 3.3.43 단위수량 추정 결과[에어메타법]

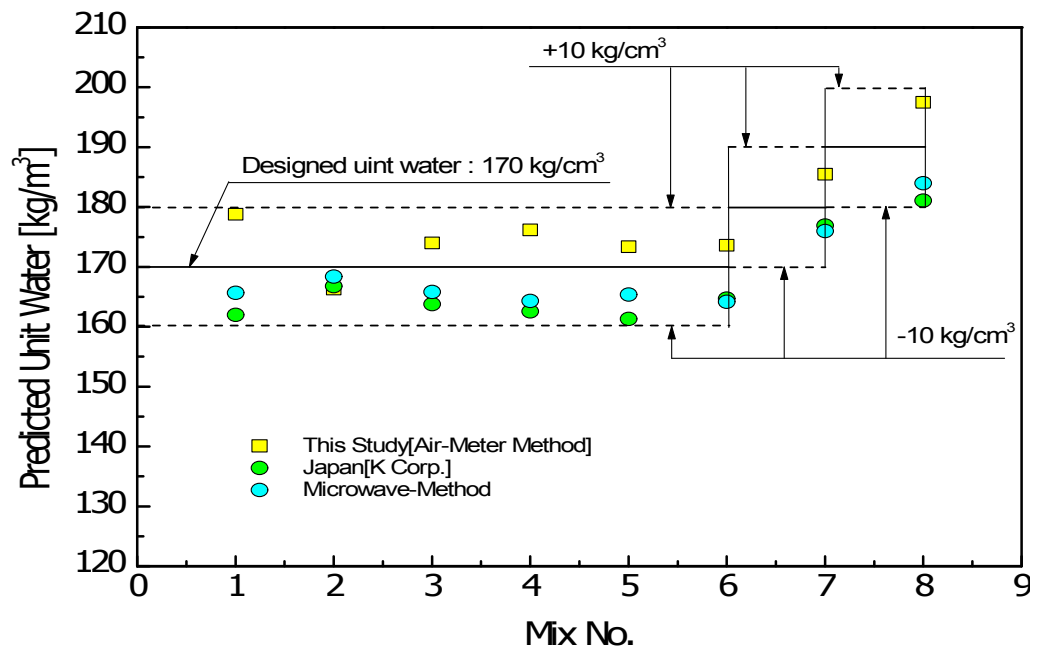


그림 3.3.44 측정방법별 단위수량 추정 결과

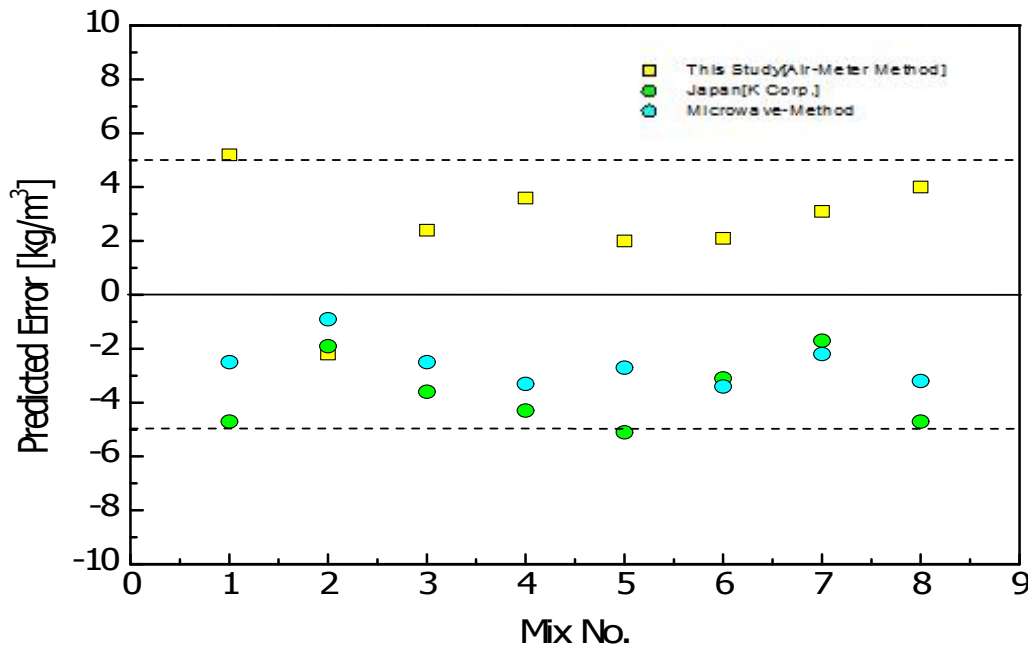


그림 3.3.45 측정방법별 단위수량 추정 오차

그림 3.3.41과 그림 3.3.42는 단위수량 측정방법별 단위수량 추정값으로서 가열건조법과 정전용량법은 시방배합 수량[170kg/cm³] 보다 다소 낮은 단위수량 추정값[164.2~168.4kg/cm³]을 나타내는 경향을 보이고 있으며, 단위용적중량법은 시방배합 수량에 비해 다소 높은 단위수량 추정값[166.3~178.8kg/cm³]을 갖는 것으로 나타났다. 시방배합 수량에 가수[+10, +20kg/cm³]를 한 경우, 측정장비의 영향을 검토한 결과, 모든 측정장비에서 가수에 따른 추정수량은 점차 증대되는 것을 확인할 수 있었다.

단위수량 추정 결과 모든 측정방법에서 단위수량의 변동성을 재현할 수 있는 것으로 나타났으며, 모든 측정방법에서 설계수량인 170kg/cm³에 비해 ±10kg/cm³이내의 단위수량 추정값을 도출하였다. 단위수량 측정방법 중에서는 가열건조법이 정전용량법이나, 단위용적중량법에 비해 다소 정밀도가 높은 것으로 나타났다.

그림 3.3.45는 단위수량 측정기법별 단위수량 추정 오차를 나타낸 것으로서 단위수량 추정오차는 가열건조법의 경우 -3.3~0.9%, 정전용량법의 경우, -5.1~-1.7%, 단위용적중량법은 -2.2~5.2%로 나타나 가열건조법이 정전용량법이나 단위용적중량법에 비해 다소 양호한 단위수량 추정 정밀도를 갖는 것으로 나타났으나, 단위용적중량법도 양호한 단위수량 추정값을 갖는 것으로 나타났다.

(3) 개발제품(단위용적중량법)의 단위수량 변동오차의 영향검토

콘크리트의 배합조정을 할 경우에는 단위수량의 설정값과 추정값의 오차는 골재의 표면수율 오차의 영향이 큰 것으로 가정하여 세골재량으로 보정을 한다. 그러나 현장에서는 굵은골재의 관리 상태에 따라서도 표면수율의 측정오차도 단위수량측정에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한 공기량에 의한 단위용적질량법은 공기량의 측정오차, 재료의 계량오차 및 골재의 밀도측정오차 등의 영향을 받는 것으로 지적되고

있다. 따라서 본 절에서는 개발된 단위수량측정장비를 사용하여 이러한 영향요인이 단위수량 측정오차에 미치는 영향을 검토하였다.

표 3.3.37 콘크리트 배합표

No	W/B (%)	단위중량 (kg/m ³)			
		C	W	S	C
4	45	378	170	881	911
5	50	340	170	897	928
6	55	309	170	910	941

본 검토에서 사용된 배합은 물-결합재비 40, 45, 50%와 단위수량 170kg/cm³에 대한 콘크리트 배합에 적용하였으며, 사용재료 및 배합은 표 3.3.38과 표 3.3.39와 같다. 표 3.3.40은 오차요인 및 설정오차량을 나타낸 것으로 단위용적질량법의 오차요인으로는 공기량, 에어미터의 용적, 시료질량의 측정오차, 시멘트, 잔골재, 굵은골재의 계량오차 및 밀도측정오차와 골재의 표면수율오차를 선정하여 단위수량 변동량을 검토하였다. 고려된 오차량은 측정오차를 제외한 오차 등은 KS F 4009의 표준에서 규정하고 있는 허용오차량을 참고로 설정하였다. 공기량, 용기용적 및 시료 질량의 측정 등은 규정된 값이 없어 각각의 정도를 고려하여 임의로 선정하였다.

표 3.3.38 사용재료

항목	기호	특 성
시멘트	C	1종 시멘트(밀도 3.15kg/cm ³)
잔골재	S	해사(밀도 2.63 g/cm ³)
굵은골재	G	경기도 안양산 쇄석(밀도 2.72g/cm ³)
물	W	상수도

표 3.3.39 콘크리트 배합

No	W/B (%)	단위중량 (kg/m ³)			
		C	W	S	C
1	45	378	170	881	911
2	50	340	170	897	928
3	55	309	170	910	941

표 3.3.40 오차요인 및 설정오차량

오차요인		KS 허용오차량	설정 오차량
정도오차	공기량 측정	-	0.1%
	개발품 용적측정	-	1cc
	시료 질량측정	-	1g
계량오차	시멘트	-1%, +2%	-1%, +2%
	잔골재	±3%	±3%
	굵은골재	±3%	±3%
밀도측정오차	시멘트	±0.01g/cm ³	±0.01g/cm ³
	잔골재	±0.01g/cm ³	±0.01g/cm ³
	굵은골재	±0.01g/cm ³	±0.01g/cm ³
표면수율오차	잔골재	+0.3%	+0.3%
	굵은골재	+0.3%	+0.3%

표 3.3.41 품질 변동 결과

오차요인			단위수량 오차량		
			45	50	55
정도오차	공기량 측정	0.1%	-1.7	-1.7	-1.7
		1%	-17.1	-17.0	-17.0
	개발품 용적측정	1cc	0.3	0.3	0.3
	시료 질량측정	1g	-0.1	-0.1	-0.1
계량오차	시멘트	+2%	1.3	1.2	1.1
	잔골재	-1%	1.3	1.4	1.5
	굵은골재	±3%	2.0	2.0	2.1
밀도측정오차	시멘트	±0.01g/cm ³	0.6	0.6	0.5
	잔골재	±0.01g/cm ³	2.2	2.2	2.2
	굵은골재	±0.01g/cm ³	2.1	2.1	2.2
표면수율오차	잔골재	+0.3%	-2.1	-2.1	-2.1
	굵은골재	+0.3%	-2.0	-2.1	-2.1

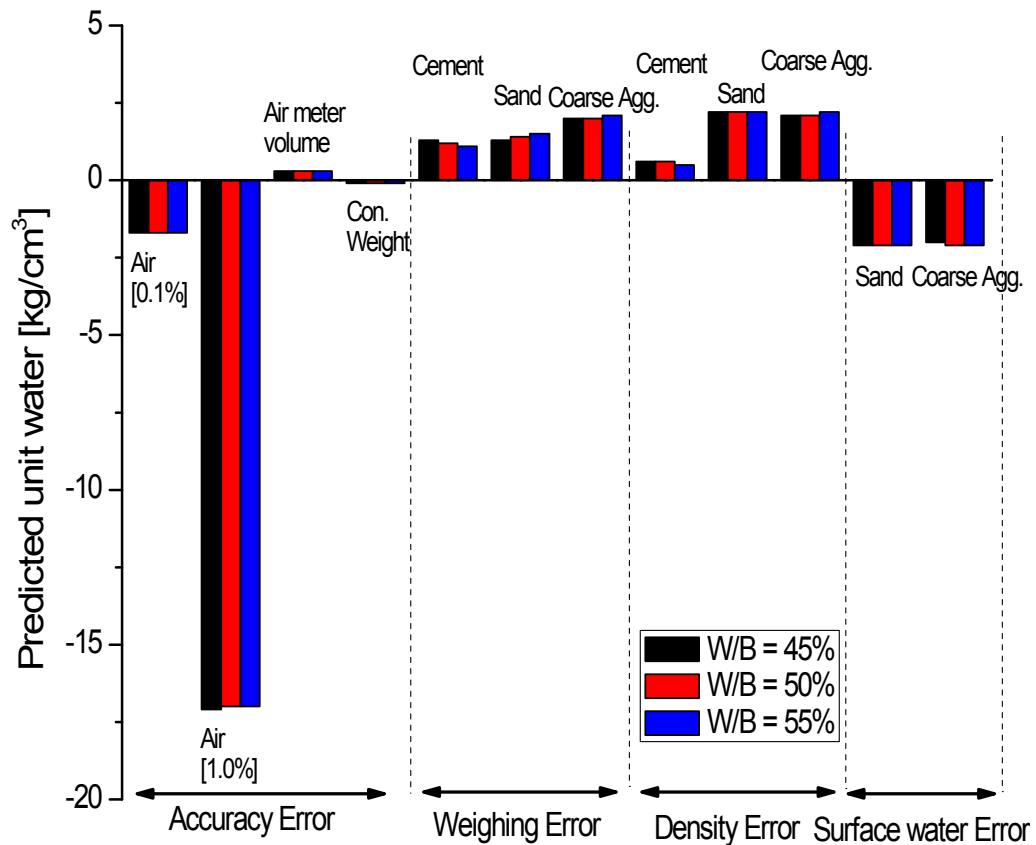


그림 3.3.46 측정방법별 단위수량 추정 오차

각각의 오차요인의 변동에 대하여 단위수량 측정오차의 결과는 그림 3.3.46과 같다. 공기량의 0.1%변동오차에 대한 단위수량의 변동량은 -1.7kg/cm^3 을 나타내고 있으나, 1%에 공기량 오차가 발생할 경우에는 -17.1kg/cm^3 의 큰 단위수량 변동을 나타내었다. 또한, 재료의 밀도 변동(0.01g/cm^3)에 따른 단위수량 변화를 살펴보면 시멘트의 경우 0.6g/cm^3 , 잔골재의 경우 2.2g/cm^3 , 굵은골재의 경우 2.1g/cm^3 로 시멘트의 변동에 따른 단위수량 변동오차보다는 골재의 밀도변화에 따른 단위수량 변동오차가 큰 것으로 나타났다.

대상시료에 대한 영향을 살펴보면 각종 오차요인에 있어서 배합별 유사한 정도의 단위수량 오차량을 나타내고 있으며, 공기량의 측정오차, 골재의 밀도측정오차 및 굵은골재의 계량오차가 단위수량 측정결과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 재료의 계량오차에서는 KS F 4009에 규정된 허용범위를 고려할 때 최대 4.7kg/cm^3 정도의 오차가 발생할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 품질변동의 측정결과 공기량과 골재의 계량 및 밀도의 변동이 단위수량에 큰 영향을 미치므로 현장에서는 이러한 항목의 측정에 신중을 기할 필요가 있다. 또한 단위수량의 추정에 있어서 골재의 표면수율의 변동이 단위수량의 추정에 영향이 크기 때문에 골재의 표면수율에 있어서도 신중한 관리가 요구된다.

6. 단위수량 측정장비의 현장 적용성 분석

본 항에서는 실내시험을 통해 개발된 단위수량 측정장비의 성능 검증을 위하여 공인시험기관 성능 검증을 수행하였으며, 건설 현장의 콘크리트 타설 제품에 대한 성능 검증을 수행하였다.

가. 신뢰성 검증 (공인시험기관 의뢰)

(1) 콘크리트 배합

본 연구를 통해 개발된 굳지않은 콘크리트의 단위수량 측정(Model:DS 1000W)장비의 신뢰성을 검증하기 위하여 공인시험기관에 의뢰하였다. 시험검사 항목으로는 설계 기준강도 27MPa, 45MPa, 4.5MPa 및 슛크리트(4.5MPa)에 대하여 설계수량과 측정값과의 편차를 검토하였다. 사용재료별 적용 밀도값은 표 3.3.42와 같으며, 콘크리트의 배합표는 표 3.3.43과 같다.

표 3.3.42 사용재료별 밀도

시멘트	플라이애시 (2종)	물	잔골재	굵은골재 (10mm)	굵은골재 (20mm)	굵은골재 (25mm)	굵은골재 (30mm)
3.15	2.20	1.00	2.61	2.64	2.62	2.62	2.62

표 3.3.43 콘크리트 배합

배합명	G _{max} (mm)	W/B (%)	S/a (%)	단위중량 (kg/m ³)					고성능 AE감수제	유동 화제
				C	FA	W	S	G		
27MPa	25	45	45	346	-	156	792	971	0.6	-
45MPa	20	32	42	500	-	160	681	944	0.6	-
4.5MPa	30	43	36	280	70	150	629	1122	0.3	0.005
슛크리트	10	45	65	480	-	216	1046	570	0.8	-

(2) 시험결과

표 3.3.44 단위수량 추정 결과

배합명	단위수량 추정기법	설계수량 (kg/m ³)	DS 1000W	
			추정수량 (kg/m ³)	추정오차 (%)
27MPa		156	156.2	0.2
45MPa		160	161.6	1.0
4.5MPa		150	152.3	1.5
-shotcrete		216	214.8	-0.6

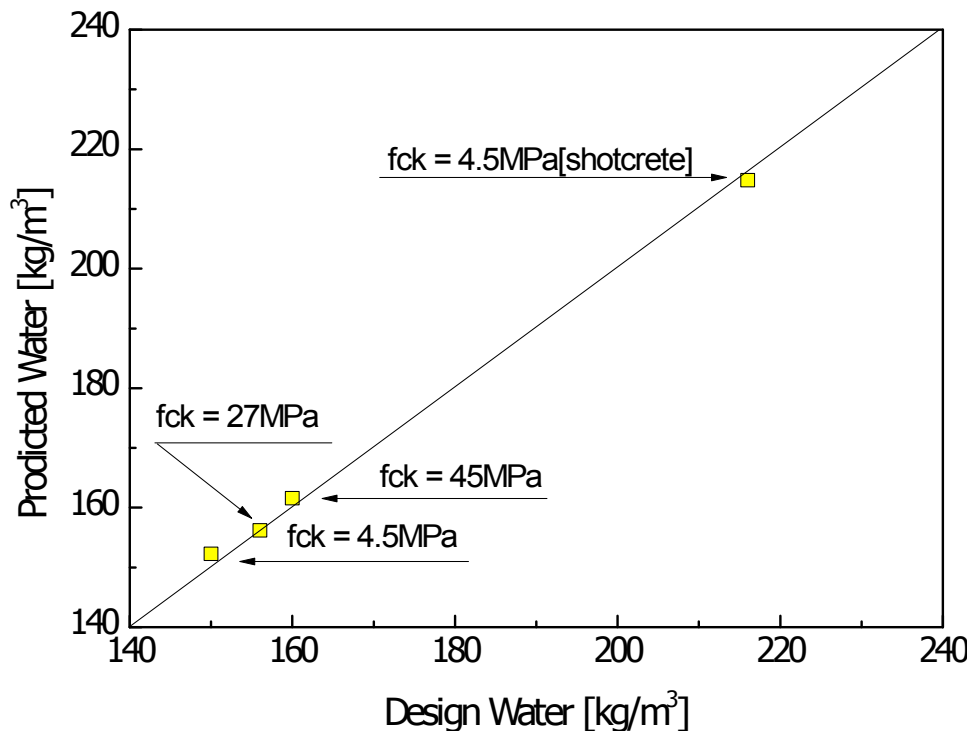


그림 3.3.47 단위수량의 계획치와 추정치와의 관계

표 3.3.44와 그림 3.3.47은 적용 배합별(일반강도: 27MPa, 고강도 : 45MPa, 포장용 : 4.5MPa, shotcrete) 단위수량의 계획치와 추정치의 결과이다. 이를 살펴보면 적용 배합별 상관성은 양호한 것으로 나타나 본 연구를 통해 개발된 단위수량 측정장비의 신뢰성을 확보한 것으로 판단된다.

나. 현장 적용성 평가

본 연구에서 도출된 단위수량 측정장비의 현장 적용성을 평가하기 위해서 콘크리트 적용 현장에 대상으로 DS-1000W의 성능을 평가하였다. 표 3.3.45는 적용 현장의 시방배합으로 총 10개 현장에 대해 동일 배합 당 각 3회씩 측정하였다.

표 3.3.45 콘크리트 배합

No.		C	FA	W	S1	S2	G
1	단위중량(kg/m ³)	357		168	171	653	921
	밀도(g/cm ³)	3.15		1.00	2.68	2.56	2.71
2	단위중량(kg/m ³)	360		166	770		949
	밀도(g/cm ³)	3.15		1.00	2.62		2.59
3	단위중량(kg/m ³)	376		166	787		1051
	밀도(g/cm ³)	3.15		1.00	2.64		2.65
4	단위중량(kg/m ³)	500		160	692		959
	밀도(g/cm ³)	3.15		1.00	2.61		2.62
5	단위중량(kg/m ³)	346		156	792		971
	밀도(g/cm ³)	3.15		1.00	2.61		2.62
6	단위중량(kg/m ³)	280	70	150	630		1150
	밀도(g/cm ³)	3.15	2.2	1.00	2.61		2.62
7	단위중량(kg/m ³)	500		160	681		944
	밀도(g/cm ³)	3.15		1.00	2.61		2.62
8	단위중량(kg/m ³)	376		169	666		1018
	밀도(g/cm ³)	3.15		1.00	2.57		2.66
9	단위중량(kg/m ³)	450		174	714		887
	밀도(g/cm ³)	3.15		1.00	2.61		2.65
10	단위중량(kg/m ³)	280	70	150	630		1150
	밀도(g/cm ³)	3.15	2.2	1.00	2.61		2.62

표 3.3.46 평균 단위수량 추정 결과

배합명	단위수량 측정기법	설계수량 (kg/m ³)	DS 1000W	
			평균 추정수량 (kg/m ³)	추정오차 (%)
1		168	165.6	-1.4
2		166	168.7	1.6
3		166	170.4	2.7
4		150	153.8	2.5
5		156	154.9	-0.7
6		150	155.1	3.4
7		160	163.0	1.9
8		169	169.0	0.0
9		174	175.3	0.7
10		150	151.5	1.0

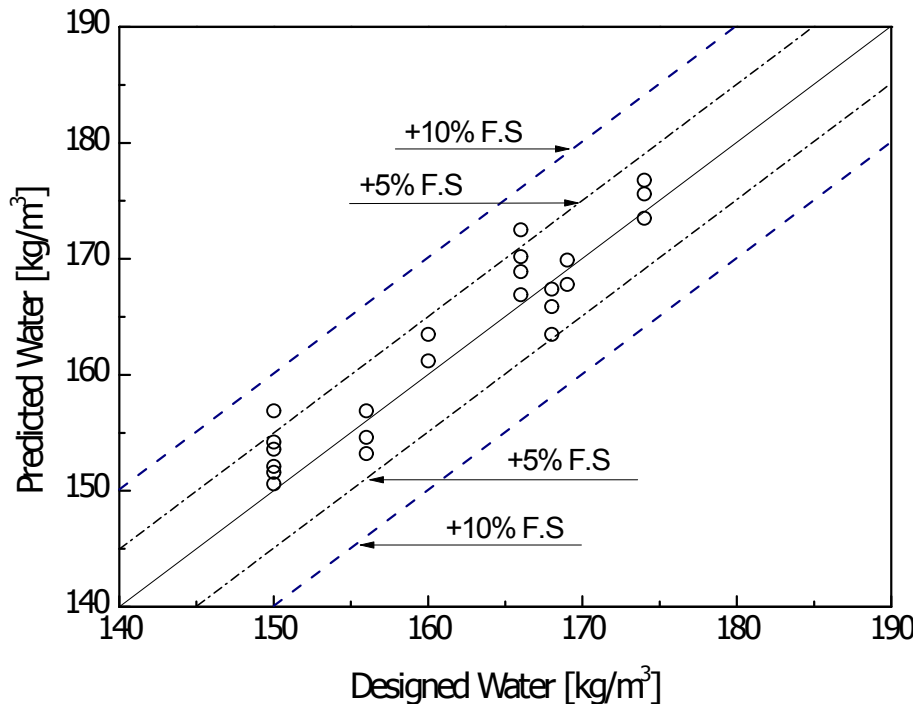


그림 3.3.48 단위수량의 계획치와 추정치와의 관계

표 3.3.46과 그림 3.3.48은 평균 단위수량 추정결과로서, 현장별 추정오차는 -1.4~3.4%의 범위를 나타내고 있으며, 단위수량 추정값은 +10% F.S의 범위 내에 정밀도를 갖는 것으로 나타났다. 에어미터법에 의한 단위수량의 측정은 단위수량의 추정오차에 영향을 미치는 요인 중 공기량과 사용재료의 밀도 오차가 가장 영향을 미치게 되므로 건설현장에서 본 측정장비를 적용할 경우에는 추정 단위수량의 정확도를 증대시키기 위해서는 사용재료에 대한 품질관리가 필요하다.

7. 단위수량 측정장비의 시제품 제작 및 품질기준[안]

가. 콘크리트 단위수량 측정기[DS-1000W]

(1) 시스템 개요



그림 3.3.49 단위수량 측정 시스템 개요

본 시제품은 굳지않은 콘크리트의 단위수량을 신속히 측정할 수 있는 장비로서 다음과 같은 특징이 있다.

- Air-meter법에 의한 단위수량을 측정한다.
- 수동펌핑 없이 공기를 자동으로 유입해 준다.[국내외 최초]
- IP라인(초기압력)을 자동으로 설정한다.[개인적인 오차 없음]
- 내장된 콤푸레샤로 공기를 자동으로 유입함.
- 분해능 0.1kPa의 에어미터, 1g단위의 전자저울로 정확한 무게 측정
- 측정시간이 5분 이내로 빠르고 간편함.
- 공기량 측정시 주수법에 의한 측정을 하며, 상부 캐핑을 할 필요가 없음.
- 혼화제 종류에 따른 오차영향 등을 해소하였고, 편리성, 신속성, 정확성이 확보되었음.
- 측정 시료량이 약 7L로 샘플링의 오차범위가 적다.
- 측정기 자체 정밀도 $\pm 5\text{kg/m}^3$
- 데이터 분석 편리(Software), 무선통신 기능(블루투스)



[디지털 에어미터]



[단위수량 측정 저울]



[분석용 프로그램]

그림 3.3.50 단위수량 측정 장비

(2) 측정장비 특징

- 측정방식 : 질량과 공기량을 측정하여 단위용적질량을 계산하여 단위수량 측정
- 측정대상 : 굳지 않은 콘크리트
- 측정용량 : 약 7리터, 질량 환산 약 15kg
- 용기재질 : 알루미늄 합금제, 내압 500kPa
- 측정성능 : 측정기 자체 정밀도 $\pm 5\text{kg/m}^3$
- 표시방법 : 액정화면, 디지털 표시, 프린터 및 저장
- 측정시간 : 5분 이내

(3) Specification

[공기량 계측 Unit]

- 고정도 디지털식 공기량 측정기
- 측정방법 : 공기펌핑-자동유입/IP라인-자동설정
- 최대압력 : 200kPa
- 표시분해능 : 0.1kPa
- 정격 압력 : 100kPa
- 통신방법 : Bluetooth통신
- 전원 : DC12V, 500mA 어댑터 충전 방식(9시간 완전충전)

[질량 계량 Unit]

- 고정도 계량기 : 최대질량 30kg, 최소질량 1g 표시
- 특수 로드셀 : max 30kg, Amp A/D변화 내장형

- 통신방법 : Bluetooth통신
- 전원 : AC220V/50,60Hz(충전배터리 내장)

[수신 Unit]

- 질량과 공기량 수신 데이터 처리

[조작 연산 Unit]

- Note P.C에 의해 조작[배합설정, 용기설정, 측정, 교정 인쇄 및 표시]

[기록 Unit]

- 모바일 프린터

나. 레미콘 단위수량 신속측정방법(안)

[1] 적용범위 및 인용규격

1. 적용범위 이 규격은 레미콘 타설 현장에서 굳지 않은 콘크리트의 단위수량을 정전용량법, 단위용적질량법(에어메타법), 고주파가열법 등을 이용하여 신속하게 측정할 수 있는 시험방법에 대하여 규정한다.

2. 인용규격 다음에 나타낸 규격은 이 규격에 인용됨으로써 이 규격의 규정 일부를 구성한다. 인용 규격은 최신판을 적용한다.

KS F 2401 굳지 않은 콘크리트의 시료 채취 방법

KS F 2421 압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법

KS F 2503 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험방법

KS F 2504 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법

KS A 5101 시험용 체

[해설] 현재 국내외적으로 굳지 않은 콘크리트의 단위수량을 측정하는 방법 중에는 표 4-1에서와 같이 정전용량법, 단위용적질량법(에어메타법), 고주파가열법(전자렌지법), 중성자법이 적용되어 사용되고 있다. 이중 중성자법의 경우에는 실시간으로 레미콘 단위수량의 측정이 가능하나 중성자를 이용하여 측정하여야 하는 제한 조건으로 전문인력이 반드시 필요할 뿐만 아니라 고가의 장비로 특수한 경우를 제외하고는 사용하지 않고 있어 본 규격에서는 제외하였다.

표 4-1 레미콘 단위수량 측정방법 사용 현황(국외)

구 분		레미콘 단위수량 측정방법			
		단위용적 질량법	정전용량법	고주파가열법	중성자법
미국	ASTM WK2423			●	
	AASHTO			●	
	FHWA				●
일본	국토교통성	●	●	●	
	동일본여객철도		●		
	오사카시주택국	●			
	다케나카공무점			●	
	다이세이건설	●			
	후쿠오카고속철도	●			

또한 본 규격의 적용범위가 레미콘 타설현장에서 레미콘 단위수량을 측정하는 것으로 쿨드조인트, 시공조인트, 경시변화로 인한 시공성 결여 등 측정시간에 따른 현장 적용상의 어려움을 고려하여 10분이내의 측정이 가능한 정전용량법, 단위용적질량법, 고주파가열법(1700W 이용)을 선정하였다.

[2] 시험용 기구 및 장치

3. 시험용 측정기기 시험에 사용되는 측정기기 및 시험기구는 다음과 같은 성능 이상의 것을 사용하며 사전에 품질관리자에게 승인을 얻어야 한다. 단, 측정 소요 시간이 10분을 초과하지 않아야 한다.

3.1 정전용량법 고주파 유전율 방식을 이용하여 단위수량을 측정하며 다음 사항을 만족하여야 한다.

- a) 사용되는 고주파 주파수는 50MHz로 정전 용량 및 전기저항의 측정이 가능 하여야 한다.
- b) 적정수준의 검량선이 입력되어 있어야 하며, 사용재료의 품질 변동에 따른 검량선 변경이 가능하여야 한다.
- c) 측정에 사용되는 측정용기의 내부 용적은 300cc 이상이어야 한다.
- d) 몰탈을 사용하여 측정하는 경우, 사용하는 체 진동기의 가속도 진동량은 18 m/s^2 이상, 속도 진동량은 35 mm/s 이상, 변위진동량은 0.27mm 이상이어야 한다.

3.2 단위용적질량법(에어메타법) 단위용적질량의 변화를 이용하여 단위수량을 측정하며 다음 사항을 만족하여야 한다.

- a) 단위수량과 공기량 측정시 주수법이 가능하여야 하며 측정용기의 용적은 7ℓ로 한다.
- b) 뚜껑의 상부에는 용기의 약 5%의 내용량을 가진 공기실을 가지고 있어야 한다.
- c) 공기실 내의 고압 공기를 용기에 분출할 수 있는 작동 밸브를 가지며 작동 밸브는 공기실에 물이 침입하지 않는 구조로 되어야 한다.
- d) 측정용기와 뚜껑을 조립하였을 때 100kPa의 압력에도 공기 및 물이 새지 않는 구조이어야 한다.
- e) 압력계의 용량은 100kPa에서 1.00kPa 정도의 감도인 것으로 한다.

3.3 고주파가열법 고주파가열장치(전자레인저)를 이용하여 가열건조 전후의 질량차를 통해 단위수량을 측정하며 다음 사항을 만족하여야 한다.

- a) 고주파가열장치는 고주파의 정격출력이 1,700w 이상이어야 한다.
- b) 내부챔버의 크기는 시료용기의 크기($230 \pm 30 \text{ mm}$)를 고려하여 가로 $300 \times$ 세로 $300 \times$ 높이 150mm 이상이어야 한다.
- c) 고주파 정격출력 1,700w으로 15분 이상 연속 가열시에도 성능에 문제가 없어야 한다.
- d) 웻 스크리닝(Wet-Screening)에 사용하는 체 진동기는 **3.1 d)**에서 규정하는 동등 성능 이상의 것을 사용한다.
- e) 시료용기의 크기는 $230 \pm 30 \text{ mm}$ 이며, 재질은 알루미늄이나 도가니로 고주파 정격출력 1,700w으로 15분 이상 연속 가열시에도 성능에 문제가 없어야 한다.
- f) 고주파가열장치의 국부적 온도 상승에 따른 파손을 보호하기 위해 사용하는 스페이서는 가로 $20 \times$ 세로 $20 \times$ 길이 100 mm의 형태로 고주파 정격출력 1,700w으로 15분 이상 연속 가열시에도 성능에 문제가 없는 재질(내화벽돌 등)이어야 한다.

[해설] 레미콘 단위수량 신속측정방법 중 고주파가열법, 정전용량법의 경우에는 측정시료로 모르타르를 사용하게 된다. 측정시료로 사용되는 모르타르는 콘크리트를 5mm 진동체를 이용하여 굵은골재를 제거하여 채취하게 되는데, 이러한 채취과정에서 진동바이브레이터의 성능에 따라 또는 웻스크리닝의 성능에 따라 측정편차에 큰 영향을 미치게 된다.

그림 4-5는 시판되고 있는 포터블 바이브레이터(Portable Vibrator)와 테이블 바이브레이터(Table Vibrator)의 비교 실험 결과이다. 실험결과에서 보는 바와 같이 포터블 바이브레이터의 경우에는 측정편차(오차)가 고주파가열법 9.0kg/m³, 정전용량법 19.0kg/m³으로 테이블 바이브레이터의 고주파가열법 3.0kg/m³, 정전용량법 4.1kg/m³ 비해 상대적으로 큰 오차 범위를 나타내고 있어, 기존에 사용되고 있는 포터블 바이브레이터의 사용은 측정 정확성 측면에서 큰 문제점을 나타내고 있다. 이에 본 규격에서는 체 진동기의 가속도 진동량은 18 m/s² 이상, 속도 진동량은 35 mm/s 이상, 변위진동량은 0.27mm 성능 이상의 테이블 바이브레이터를 사용하도록 규정하였다. 고주파가열법의 경우에는 측정시간의 단축을 위해 정격출력을 1700W로 증가시킴에 따라 기존의 시험용기로 사용하였던 종이재질의 접시는 사용하지 못하고 알루미늄 도가니를 사용하도록 하였으며, 고주파가열장치의 연속 사용을 위해 국부적 온도 상승에 따른 파손을 보호하기 위해 스페이서를 사용하도록 규정하였다.

[3] 단위수량 측정횟수

4. 단위수량 측정횟수 단위수량 측정은 콘크리트 150m³ 마다 콘크리트 타설 직전 1회 이상 측정하며 필요에 따라 품질관리자와 협의하여 측정횟수를 증가시킬 수 있다. 단, 150m³ 이하로 콘크리트를 타설하는 경우에는 콘크리트 타설 직전 1회 측정하는 것으로 한다.

[해설] 기존 레미콘 품질관리와의 상관성과 효율적인 품질관리를 위해 KS F 4009에 규정된 슬럼프, 공기량과 동일하게 150m³ 당 1회 이상을 측정하는 것으로 규정하였으며, 품질관리 책임자의 판단에 의거하여 필요에 따라 빈도를 증가시킬 수 있도록 하였다. 또한 150m³ 이하로 콘크리트를 타설하는 경우에는 적절한 품질관리를 위해 콘크리트 타설 직전 최소 1회 측정하는 것으로 하였다.

[4] 시험방법

5. 시험방법

5.1 정전용량법 정전용량법을 이용한 콘크리트의 단위수량은 다음과 같이 측정한다.

5.1.1 기본 데이터 입력

- a) 콘크리트의 시방 배합, 결합재의 밀도, 잔골재의 밀도 및 흡수율, 굵은 골재의 밀도 및 흡수율등을 단위수량 측정기기에 입력한다.
- b) 공기량은 KS F 2421에 따라 측정한 공기량을 단위수량 측정기기에 입력한다.
- c) 뚜껑을 포함한 시료가 들어있지 않은 상태의 측정용기의 질량을 1g단위로 측정하여 입력한다.

5.1.2 시료준비

- a) 콘크리트의 시료 채취는 KS F 2401에 따르며, 채취량은 5ℓ로 한다.

b) 채취한 콘크리트 시료를 KS A 5101에서 규정하고 있는 4.75mm체로 웨트스크리닝(Wet Screening)하여 굵은골재를 분리한 모르타르를 채취한다. 일반강도 콘크리트의 경우 손에 의한 체가름 및 기계식 체진동기의 활용 모두 가능하지만, 고강도 및 고유동콘크리트와 같이 점성이 높은 경우에는 체진동기를 사용한다. 웨트스크리닝은 체 상부에 굵은 골재만 남을때까지 충분히 하며 시간은 2분을 초과하지 않도록 한다.

c) 웨트스크리닝하여 채취한 시료를 측정용기에 2회에 나누어 충전하고 다짐봉으로 15회씩 다짐한 후 상면을 평활하게 고른 후 전극 접점부와 외부에 묻은 이물질을 마른 천으로 깨끗이 제거한다.

5.1.3 단위수량 측정

a) 기본 데이터가 정확히 입력되었는지를 확인하고 준비된 시료(시료+ 용기)의 질량을 1g단위로 측정하여 그 값을 입력한다.

b) 측정기기의 영점 조정 후 시료가 담긴 측정용기를 단위수량 측정기기에 연결하여 단위수량을 측정한다. 단위수량 측정은 동일 시료에 대해 3회 반복 측정한 후, 그 평균값을 콘크리트의 단위수량 값으로 한다.

5.2 단위용적질량법(에어메타법) 에어메타법을 이용한 콘크리트의 단위수량은 다음과 같이 측정한다.

5.2.1 기본 데이터 입력

a) 콘크리트의 시방 배합, 결합재의 밀도, 잔골재 및 굵은골재의 밀도, 시멘트 습윤밀도⁽¹⁾ 등을 단위수량 측정기기에 입력한다.

주 (1) KS L 5110 따른다. 단, 광유대신 상수도 물을 사용하여 측정한다.

b) KS F 2421에 따라 측정한 골재수정계수를 단위수량 측정기기에 입력한다.

5.2.2 시료준비

a) 콘크리트의 시료 채취는 KS F 2401에 따르며, 채취량은 25ℓ로 한다.

b) 채취한 콘크리트 시료를 측정용기에 3회에 나누어 충전하고 다짐봉으로 각 층에 25회씩 균등하게 다진다. 다짐 구멍이 없어지고 콘크리트의 표면에 큰 거품이 보이지 않도록 용기의 옆면을 4면에 걸쳐 3회씩 고무망치로 골고루 두드린다.

5.2.3 단위수량 측정

a) 용기에 뚜껑을 장착한 후, 시료+ 용기+ 뚜껑의 질량을 1g단위로 측정하여 그 값을 입력한다.

b) 주수구와 에어밸브를 개방하고 주수구를 통하여 물을 주수한다. 용기에 묻어 있는 물과 이물질을 제거한 후, 시료+ 용기+ 뚜껑+ 물의 질량을 1g단위로 측정하여 그 값을 입력한다.

c) 압력펌프를 이용하여 측정용기에 압력을 가한 후, 초기 압력을 결정한다.

d) 주밸브를 열고 공기압이 평형을 이루도록 고무망치로 용기의 옆면을 4면에 걸쳐 3회씩 고무망치로 골고루 두드린다. 공기압이 평형을 되었을 때의 평형 공기압을 측정하여 입력한다.

e) 이상의 데이터가 정확히 입력되었는지 확인한 후 단위수량을 측정한다. 단위수량 측정은 동일 시료에 대해 3회 반복 측정한 후, 그 평균값을 콘크리트의 단위수량 값으로 한다.

5.3 고주파가열법 고주파가열법을 이용한 콘크리트의 단위수량은 다음과 같이 측정한다.

5.3.1 사용 재료의 기본 물성 측정

a) 잔골재 흡수율 사용 잔골재의 흡수율을 KS F 2504에 따라 측정한다.

b) 혼화제의 고흡분율 레미콘 제조에 사용되는 혼화제의 고흡분율 KS M 0009에 따라 측정한다.

5.3.2 시료준비

- a) 콘크리트의 시료 채취는 KS F 2401에 따르며, 채취량은 5kg로 한다.
- b) 채취한 콘크리트 시료를 3회에 나누어 KS A 5101에서 규정하고 있는 4.75mm체로 웨트스크리닝(Wet Screening)하여 굵은골재를 분리한 모르타르를 채취한다. 일반강도 및 고강도콘크리트 모두 **3.3 d)**에서 규정하고 있는 기계식 체진동기를 사용하며, 웨트스크리닝 하는 동안 헤라를 이용하여 일정한 압력으로 체 상부에 굵은 골재만 남을때까지 고른다. 웨트스크리닝 시간은 60초로 한다.
- c) 시료용기를 고주파가열장치에 넣고 30초간 정격출력 1,700w로 가열한 후 꺼내어 시료용기의 질량을 0.1g 단위로 측정한다.
- d) 웨트스크리닝하여 채취한 시료 중 $400 \pm 1\text{g}$ 를 **3.3 e)**에서 규정하는 시료용기에 넣고, 시료용기 밑면을 손으로 두드려 공기포를 제거하고 시료가 균일한 두께가 되도록 한다. 시료 개수는 2개로 하며, 건조전 시료의 질량을 0.1g 단위로 측정한다.
- e) 고주파가열장치 내의 스페이서 위에 시료용기를 올려 놓고 6분 동안 시료를 건조한 후, 꺼내어 건조 후 (시료용기+시료) 질량을 0.1g 단위로 측정한다. 건조 후 시료의 질량은 다음 식에 따라 계산한다.

[해설] 레미콘 단위수량의 정확하고 정밀한 측정을 위해서 정전용량법의 경우에는 콘크리트의 시방 배합, 결합재의 밀도, 잔골재의 밀도 및 흡수율, 굵은 골재의 밀도 및 흡수율, 공기량을, 단위용적질량법의 경우에는 콘크리트의 시방 배합, 결합재의 밀도, 잔골재 및 굵은골재의 밀도, 시멘트 습윤밀도, 골재수정계수, 공기량을, 고주파가열법의 경우에는 콘크리트의 시방배합, 잔골재의 흡수율, 혼화제의 고형분 등의 데이터를 정확히 측정/확인하여 사용하도록 규정하였다.

측정과정 중 주의할 사항으로는 정전용량법의 경우 시험용기의 전극 접점부에 이물질이 묻어 있는 경우에는 수분율 측정에 지대한 영향을 미쳐 측정편차가 크게 발생할 수 있음에 따라 외부에 묻은 이물질을 마른 천으로 깨끗이 제거하도록 규정하였다. 단위용적질량법의 경우에도 단위 부피당 질량값을 가지고 단위수량을 측정하는 방식으로 측정과정에서 용기에 부착될 수 있는 이물질과 물로 인해 단위수량 측정값에 심각한 영향을 초래할 수 있음에 따라 이물질과 물을 주의를 가지고 충분히 제거한 후 측정하도록 규정하였다. 고주파가열법의 경우에는 측정결과에 영향을 미칠 수 있는 시료용기에 흡수되어 있는 물과 사용 혼화제의 고형분량을 미연에 측정하여 계산식에서 이를 고려하여 계산하도록 하였다.

5) 검사 및 보고

6. 검 사 굳지 않은 콘크리트의 단위수량은 5.에 따라 시험하며 제시하는 시방 배합표 단위수량과 각 시험방법에 따라 측정 및 계산된 단위수량과의 차를 기록한다. 단위수량 측정값은 동일 시료에 대해 2회 반복 측정한 데이터의 평균값을 원칙으로 하나 콜드조인트, 시공조인트, 경시변화로 인한 시공성 결여 등 현장 여건을 고려할 필요성이 있는 경우에는 품질관리자의 판단하에 측정횟수를 줄일 수 있다.

7. 보 고 보고는 다음 사항을 포함하여야 한다.

- a) 측정일자, 온도 및 습도
- b) 시방배합표
- c) 단위수량 측정방법(정진용량법, 단위용적질량법(에어메타법), 고주파가열법)
- d) 측정 단위수량값
- e) 측정 소요시간

[해설] 단위수량 측정값은 동일 시료에 대해 2회 반복 측정한 데이터의 평균값을 원칙으로 하였으나, 본 규격의 시험방법이 레미콘 타설전에 측정하는 방법으로 레미콘 대기시간 증가에 의해 콜드조인트, 시공조인트, 경시변화로 인한 시공성 결여 등의 문제점을 발생시킬 우려가 있음에 따라 품질관리자의 판단하에 측정횟수를 줄일수 있도록 하였다. 레미콘 단위수량 측정과 관련한 측정일자, 온도, 습도, 시방배합표, 측정방법, 측정 단위수량값, 소요시간 등을 표기하여 품질관리자가 다양한 조건에서 측정 결과값을 검토할 수 있도록 하였다.

제 4절 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발

1. 개 요

레디믹스트 콘크리트 공장 및 콘크리트 타설 현장에서의 골재 수분관리는 정확한 배합을 통한 콘크리트 품질의 변동성을 최소화하기 위해 꼭 필요한 기술이다. 이러한 골재 수분관리는 골재의 저장, 이동 및 혼합 시 골재가 함유하고 있는 수분을 자동으로 측정 할 수 있는 센서를 이용함으로써 콘크리트 강도 등의 품질에 영향이 큰 단위수량, 즉 물-시멘트비(W/C)의 변동 폭을 크게 줄일 수 있다.

본 연구는 마이크로파를 이용하여 골재가 함유하고 있는 수분량을 정확히 측정할 수 있는 측정장치에 관한 것이다. 구체적으로 발진위상을 달리하는 다중 위상차 마이크로파를 송신파로 이용하여 측정대상 시료에 조사하고, 측정대상 시료를 통과하여 수신된 수신파에서의 진폭을 파악함으로써 측정대상 시료의 수분량을 측정하게 되는 다중 위상차 마이크로파를 이용한 수분량 측정장치를 개발하고 이를 이용하여 콘크리트 배합을 자동 보정할 수 있는 골재 표면수율 자동 측정시스템에 관한 연구이다.

측정대상 시료에 발진 위상을 달리하는 복수의 마이크로파(다중 위상차 마이크로파)를 송신파로서 투과시키고, 각각의 발진 위상을 가지는 송신파에 대응되는 수신파에 대해 진폭을 측정 후 진폭의 평균을 구하며, 이렇게 구해진 평균 진폭의 감소 비율에 근거하여 수분량을 측정함으로써 노이즈가 제거된 신뢰성 있는 측정 결과를 얻을 수 있는 시료의 수분량 측정 장치를 개발하고 이를 적용할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

2. 골재 수분 측정 센서 개요

가. 측정 원리

골재 수분량 측정을 위한 마이크로파는 기본적으로 대상 물질을 투과할 수 있어야 하며, 먼지가 있는 환경 및 골재의 색상변화에 영향을 적게 받아야 한다.

일반적으로 콘크리트용 골재의 수분 측정을 위해 저전력 마이크로파(low power microwave)가 이용되고 있으며, 수분량 측정을 위해 그림 3.4.1에서 보는 바와 같이 주파수 이동과 진폭 감쇄를 이용한 아날로그식(analogue) 마이크로파 센서를 주로 이용했었다. 이러한 조합은 싱글 아날로그식 응답(single analogue response)을 측정하기 때문에 주파수 이동과 진폭 감쇄는 분리될 수 없다.

이러한 마이크로파를 대상물질에 투과하여 수신하게 되면 주파수 및 파의 진폭에 변화가 생기게 된다. 주파수의 이동은 수분의 변화와 직접적으로 관련이 있으며, 진폭은 물질의 밀도와 상관계수가 있다.

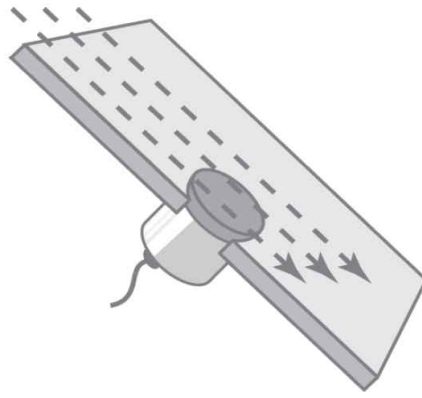


그림 3.4.1 수분측정을 위한 센서

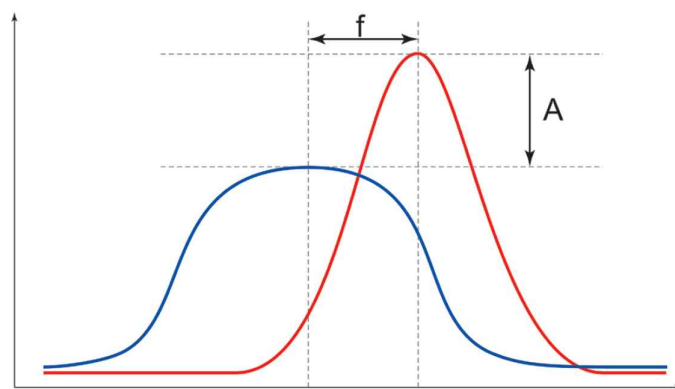


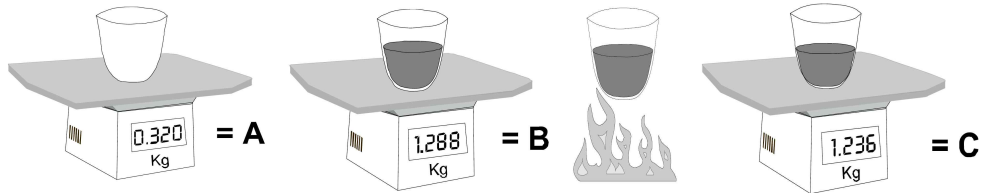
그림 3.4.2 수분에 의한 송신파의 유전특성
변화(주파수 이동 및 진폭 감쇄)

1980년대에 개발된 디지털식 마이크로파를 이용한 수분 측정센서는 정확한 디지털 기술을 이용하여 측정값의 신뢰도를 높였으며 측정 가능한 수분의 범위가 확대되었다. 이러한 디지털식 마이크로파 센서는 수신 신호의 주파수와 진폭 모두를 측정한 후 수학적 공식에 의해 주파수 변화, 진폭감소량 및 위상변화 등을 조합하여 사용자에게 측정결과 모델을 제공한다. 이러한 측정결과와 전기적 신호체계는 대부분 선형 또는 비선형의 unscaled 값을 출력하며 이들 값들이 재료들이 갖는 수분의 양과 보정된다.

나. 골재 수분량 측정센서의 교정(calibration)

콘크리트 산업에서 골재는 표면건조포화상태(SSD)를 기준으로 계량을 하게 된다. 하지만 현장 및 실험실에서 SSD상태로의 골재 보관 및 저장이 상당히 어렵기 때문에 콘크리트용 골재는 대부분 표면에 수분을 함유하게 된다. 이는 단위수량의 변동성을 초래하기 때문에 콘크리트의 신뢰성 있는 품질관리를 위해서는 골재의 함수율을 정확한 측정이 필요하며, 이를 위해서는 수분량을 알고 있는 표준대상 시료와 이를 측정한 센서의 결과 값에 의한 교정이 필수적이다.

골재의 수분은 골재 내부에 흡수된 부분과 골재 표면에 응축된 부분으로 구분 할 수 있기 때문에 골재의 표면의 수분의 양을 측정하기 위해서는 오븐 건조를 통해 전체 골재가 함유하고 있는 수분의 양을 측정하고 골재 자체의 함수율(SSD 상태)을 측정하여 다음과 같이 산정할 수 있다.



$$\text{Moisture}(\%) = \text{Water in material} / \text{Dry weight of material} \times 100$$

그림 3.4.3 골재의 수분량 측정

$$\text{Total moisture}(\%) - \text{Water absorption value}(\%) = \text{Free water} \quad \text{식 (3.9)}$$

상기 식에 의한 골재의 함수율과 디지털 마이크로파식 측정센서의 측정결과를 그래프에 나타내고 이러한 여러 교정 점들의 회귀 분석식을 이용하여 해당 골재에 대한 디지털 마이크로파식 측정센서의 검량선을 완성 할 수 있다.

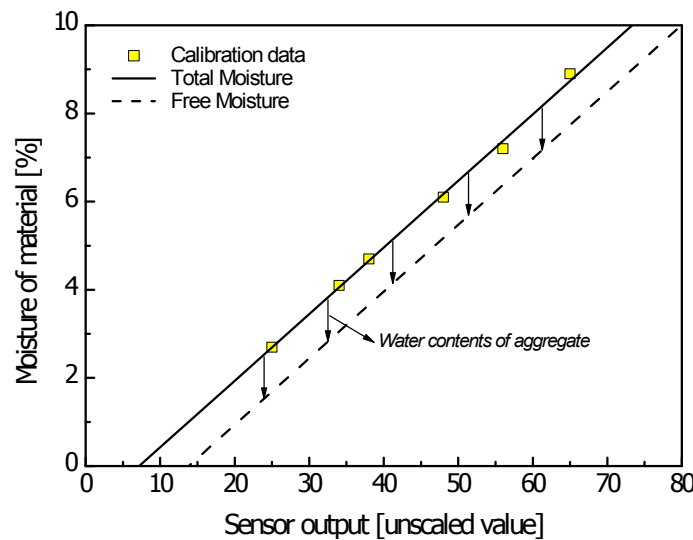


그림 3.4.4 디지털 마이크로파식 센서의 교정

다양한 골재의 수분량에 따른 측정 센서의 출력 값과의 관계(선형 또는 비선형), 즉 골재의 수분량에 따른 센서의 검량선은 수분량을 알지 못하는 골재가 함유하고 있는 수분의 양을 정확히 측정할 수 있는 해당 재료의 고유특성이므로 재료가 바뀌는 경우 이러한 선행작업을 미리 수행하여야 한다. 그림 3.4.5 (a)와 같이 검량선의 교정점들이 선형적으로 그 분산도가 적은 경우 측정센서를 이용하여 골재의 표면수율 측정 정확도가 높아지며, (b)의 검량성 사용 시 수분 측정센서의 결과 값에 대한 신뢰성이 교정 점들의 큰 분산도만큼 떨어지게 된다.

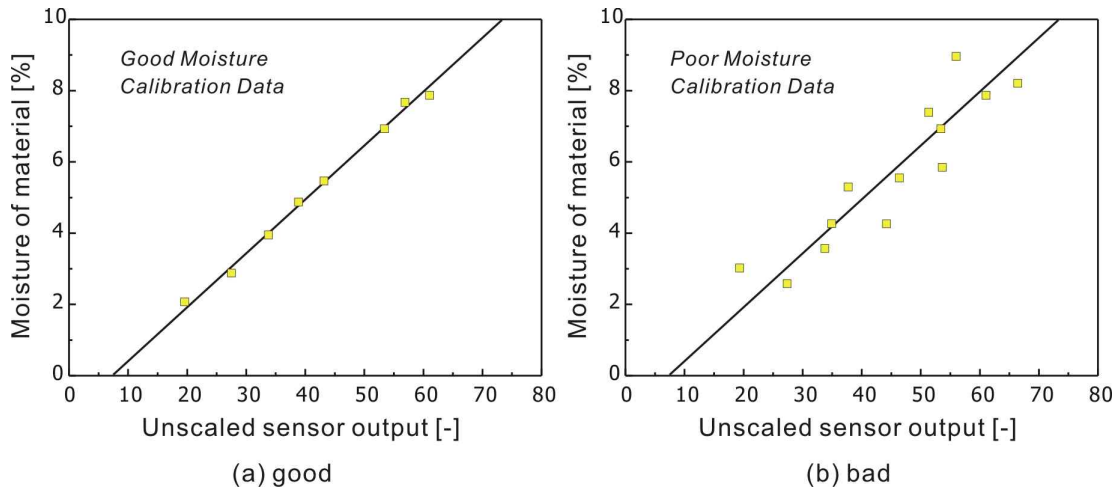


그림 3.4.5 골재의 수분측정 검량선의 예

측정하고자 하는 물질의 수분량을 측정할 때 센서의 출력값(unscaled value)의 범위가 큰 경우가 작은 경우보다 검량선 작성에 골재의 수분량 측정 오차가 작다. 그림 3.4.6 (a)의 경우 실제 약 0.3% 정도의 수분량 차이를 보이지만 센서 출력 값이 10~20 정도에서는 약 1%의 큰 오차를 보일 수 있다. 이는 교정 시 측정하고자 하는 골재의 수분량 범위를 넓게 하는 것이 측정센서의 정밀도를 높일 수 있다는 것을 알 수 있다.

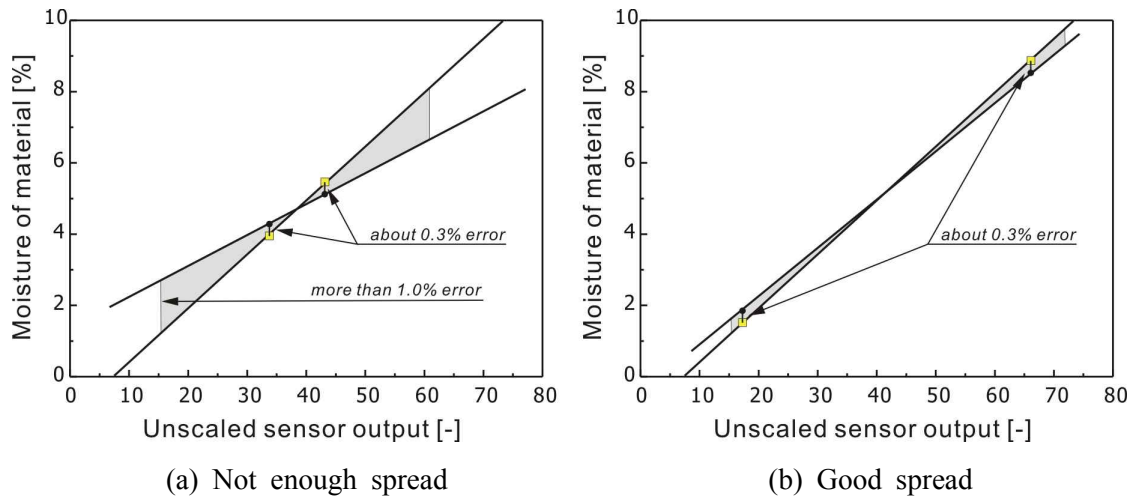


그림 3.4.6 검량선 작성에 따른 오차

3. 골재 표면수율 측정 센서 개발

가. 전기적 신호값과 수분량과의 관계

마이크로파(microwave)는 대상물질의 수분정도에 따라 수신되는 파의 특성이 달라지게 된다. 그림 3.4.7은 사인파 형태의 마이크로파를 송신파(굵은 실선)로 이용하여 완전 건조한 시료를 통과한 후 수신한 수신파(가는 점선)와 일정한 수분을 포함한 시료를 통과한 후 수신한 시료의 수신파(굵은 점선)의 관계를 보여주는 그림이다. 그림 3.4.8에 도시된 것처럼, 사인파 형태의 송신파를 수분량이 거의 없는 완전건조 상태의 시료에 투과하게 되면 시료를 통과하여 수신한 수신파는 θ_w 의 위상차를 가지게 되고, 진폭도 감쇄가 일어나서 송신파의 진폭 E 보다 작은 E_w 의 진폭을 가지게 된다. 일정 수분량을 가지는 시료의 경우, 시료에 포함되어 있는 수분에 의해 마이크로파의 진행에 장애가 발생하기 때문에 시료를 통과하여 수신한 수신파는 완전건조 상태의 시료에서의 위상차 θ_w 보다 더 큰 위상차 θ_s 를 가지게 되며, 진폭 역시 더 작아진 E_s 의 진폭을 가지게 된다.

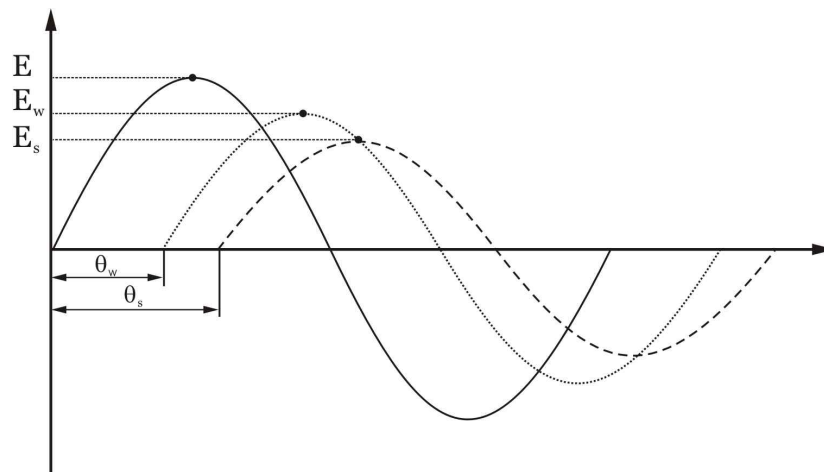


그림 3.4.7 마이크로 송수신파의 형태

일반적으로 마이크로파를 수분이 거의 없는 완전 건조된 골재 상태에 투과한 후의 수신파의 진폭 E_w 와 소정의 수분을 함유한 골재 상태의 수신파의 진폭 E_s 의 차이 ΔE 는 시료의 수분량과 일정한 관계를 가지게 되며, 이는 해당 골재의 재료 물성처럼 고유특성으로 구분될 수 있다.

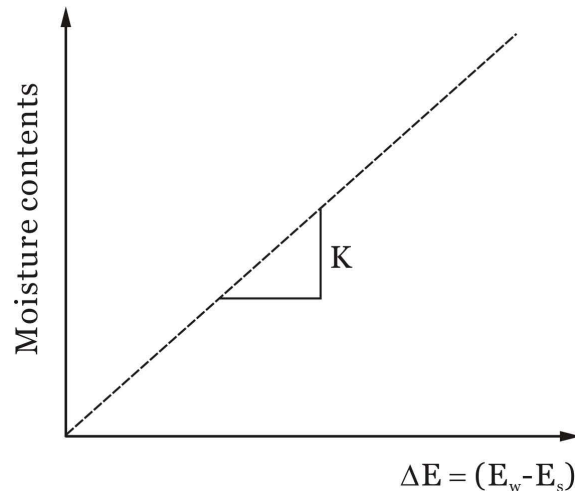


그림 3.4.8 마이크로 송수신파의 형태

상기의 이러한 수분 함유정도에 따른 마이크로파의 특성을 이용하면, 골재 등의 물질이 함유하고 있는 수분의 양을 정량할 수 있다. 하지만 일반적인 마이크로파를 이용하면 수분의 정도에 따라 진폭감소 폭 등 마이크로파의 기본적인 특성 손실에 의해 측정의 정확도를 기할 수 없기에 본 연구에서는 다중 위상차 마이크로파를 이용하였다. 다중 위상차 마이크로파는 진폭과 주파수는 동일하고 위상이 서로 다른 마이크로파로 그림 3.4.9에서 송신파와 시료를 통과한 후 수신한 수신파의 관계를 보여주고 있다.

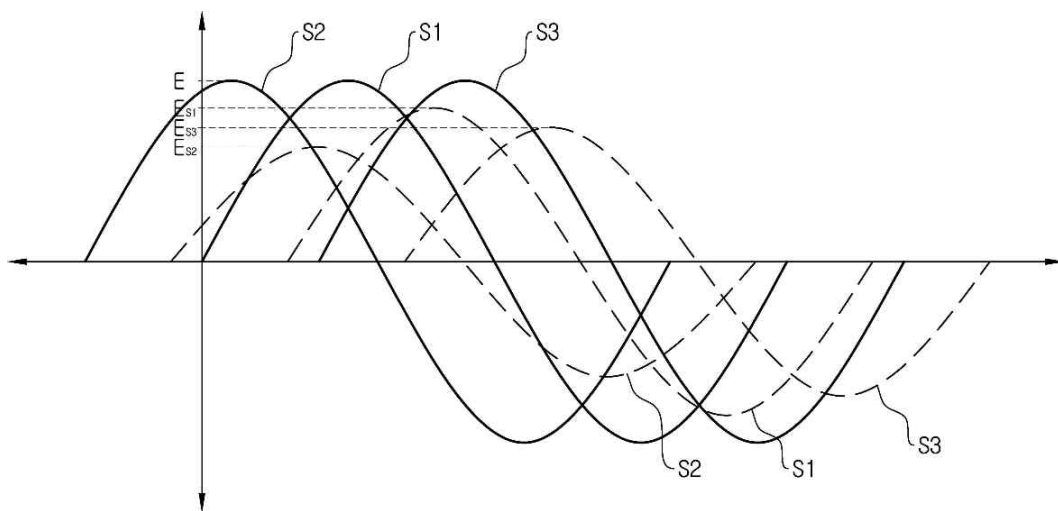


그림 3.4.9 다중 위상차 마이크로파

시료의 수분량이 커질수록 마이크로파의 진행에 대한 방해가 더 심해지므로, 시료를 통과한 수신파의 진폭은 시료의 수분량에 비례하여 더 감소하게 된다. 즉, 시료의 수

분량은 완전건조 상태에서 측정된 수신파에서의 진폭 E_w 와 시료의 수신파에서의 진폭 E_s 의 차이 ΔE 에 비례하는 것이다. 이를 식으로 표현하면 식 (3.10)과 같으며 도면으로 표현하면 그림 3.4.10으로 본 개발의 실시 예에 따른 골재의 수분량 측정장치의 구성을 나타낸 그림이다.

$$W = k \times \Delta E \quad \text{식 (3.10)}$$

여기서, W 는 수분량이며, k 는 비례상수, ΔE 는 순수 물의 수신파에서의 진폭 E_w 에서 시료의 수신파에서의 진폭 E_s 를 뺀 값이다.

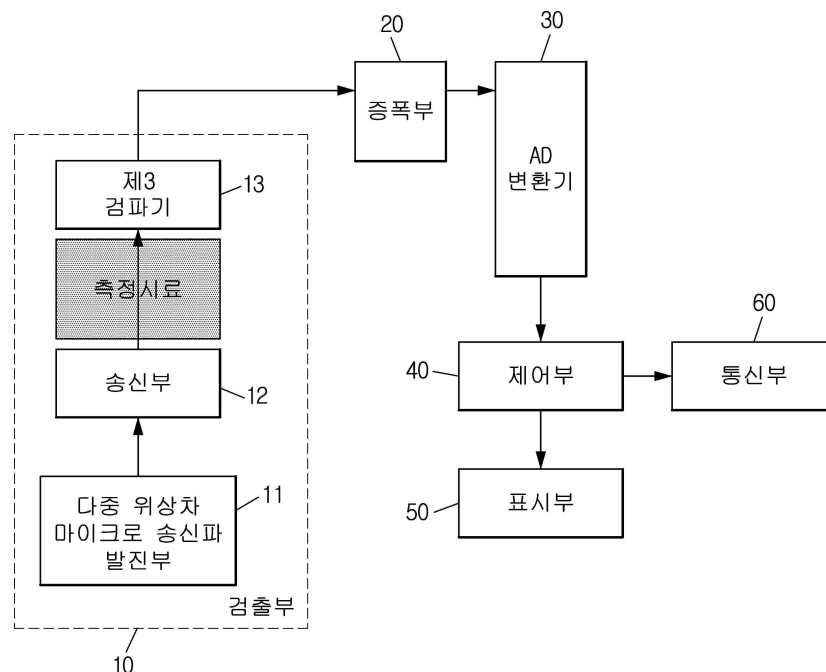


그림 3.4.10 골재의 수분량 측정장치의 구성

따라서, 완전 건조된 골재와 다양한 종류의 수분량을 가진 골재를 가지고 진폭과 위상, 그리고 파장을 알고 있는 송신파를 투과하여 그 수신파의 진폭, 위상, 파장변화를 측정하여 이를 DB화 시키게 되면, 해당 수분량과 진폭 변화량 간의 관계를 규정하는 비례상수 k (식 3.10)를 해당 골재에 대해 알 수 있게 된다. 이러한 비례상수 k 를 알고 있으면, 수분량을 알고자 하는 실제 측정대상 시료에 마이크로파를 송신파로서 조사하고 시료를 통과한 수신파를 수신하여 진폭 변화를 산정하고 이미 구해놓은 비례상수 k 를 이용하여 실제 측정대상 시료의 수분량을 알 수 있다.

그런데, 실제 시료를 통과한 수신파에서의 진폭 변화에 영향을 주는 원인으로는 시료에 포함된 수분 이외에도 시료의 물리적인 상태가 있다. 예를 들어, 시료에 기포가 존재하는 등의 불완전한 상태에 의해 시료를 통과한 수신파의 진폭이 감소하게 될 수도 있는 것이다.

반면 식 3.10에서의 비례상수 k 를 구하는데 사용되었던 다양한 수분량 값을 가지는

시료는 이상적인 상태에서 측정된 것이다. 따라서 이상적이지 아니한 상태의 시료에 대해 마이크로파를 송신하고 시료를 통과한 수신파에 대해 진폭을 측정하였을 때 측정된 진폭이 과연 수분량에 의한 영향만 반영된 것인지, 아니면 시료의 물리적 상태로 인한 노이즈가 반영된 것인지 확인할 수가 없다. 개발에 반영한 기술은 발진 위상이 서로 다른 복수개의 마이크로파로 이루어진 다중 위상차 마이크로파를 송신파로 이용하여 노이즈를 제거할 수 있어 수분량 측정을 할 수 있다.

나. 개발된 센서 및 CONTROLLER

그림 3.4.11은 본 연구개발을 통해 개발된 다중 위상차 마이크로파를 이용한 센서를 나타내고 있다. (a)의 그림에서 상부의 기기가 측정 센서이며, 이 그림은 콘크리트용 잔골재의 수분 함량을 측정하는 것을 나타내고 있다. (b)는 실제 이러한 센서가 사일로나 호퍼 등에 실제로 설치될 때 필요한 가이드 악세사리이다.



(a) 센서



(b) 측정 악세사리

그림 3.4.11 골재 수분량 측정센서 및 악세사리

그림 3.4.12은 본 연구개발을 통해 개발된 골재 수분량 측정센서 controller로 다음과 같은 항목을 display 및 측정 기능을 포함하고 있다.

- 측정치의 디지털 값 표시
- 실시간 측정에 따른 측정 값 트렌드 기능
- 측정되고 있는 LCD 그래프화
- 측정상태가 정상여부 등 상태정보가 표시
- 기타 통신기능 등 다양화



그림 3.4.12 골재 수분량 측정센서 controller

4. 콘크리트용 잔골재 표면수율 측정

가. 다중 위상차 마이크로파 측정센서를 이용한 표면수율 추정식 도출

개발된 다중 위상차 마이크로파 센서를 콘크리트용 골재의 함수율 측정에 적용하기 위해서는 다음 그림 3.4.13과 같이 여러 함수율 범위의 시료를 먼저 준비하고, 이들 시료에 대한 오븐 건조에 의한 전체 수분 함수율 및 KS F 2504에 의한 골재 흡수율 (SSD 상태의 골재 수분율)을 측정하여야 한다. 추정식 도출 시료의 수분함유율은 표 3.4.1과 같으며 흡수율 측정결과는 1.57%이다.



그림 3.4.13 골재 수분량 측정시료

표 3.4.1 추정식 시료의 수분 함수율

구분	건조전 질량 (g)	건조후 질량 (g)	함수율 (%)
#1	500.3	500.3	0
#2	501.2	500.2	0.2
#3	498.5	493.6	1
#4	499	493.1	1.2
#5	501.2	491.4	2
#6	503	490.7	2.5
#7	495.2	480.8	3
#8	499.4	475.6	5
#9	502.5	469.6	7
#10	497.8	463.1	7.5
#11	502.1	456.5	10

표 3.4.1의 결과와 그림 3.4.14에서 보는 바와 같이 개발된 측정센서를 이용한 결과를 그래프로 나타내면 그림 3.4.15와 같다. 측정 센서의 출력 값과 시료의 수분함유량 관계는 선형적이며 측정회귀식과 측정데이터와의 부합성은 상당히 높은 것으로 나타났다.

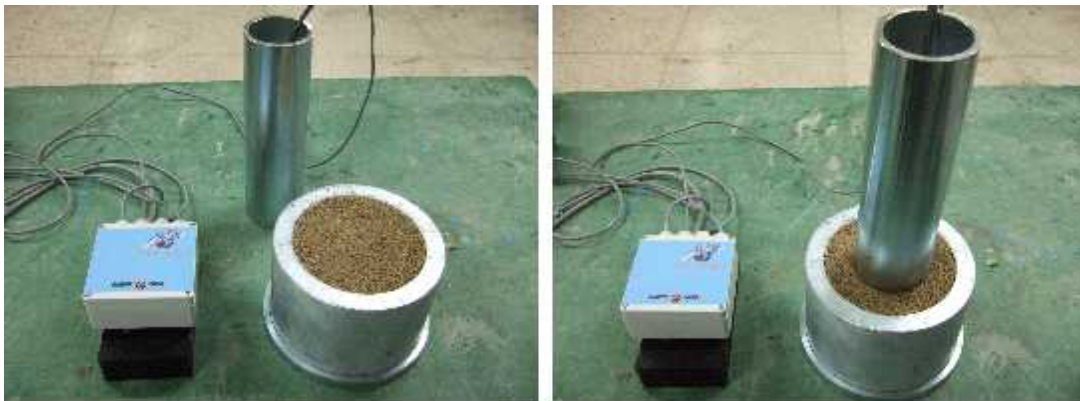


그림 3.4.14 개발된 센서를 이용한 잔골재의 수분량 측정

$$H1(\text{total moisture, \%}) = 8.3395 \times (\text{Sensor output}) - 10.146 \quad \text{식 (3.11)}$$

$$H2(\text{free moisture, \%}) = 8.3395 \times (\text{Sensor output}) - 11.716 \quad \text{식 (3.12)}$$

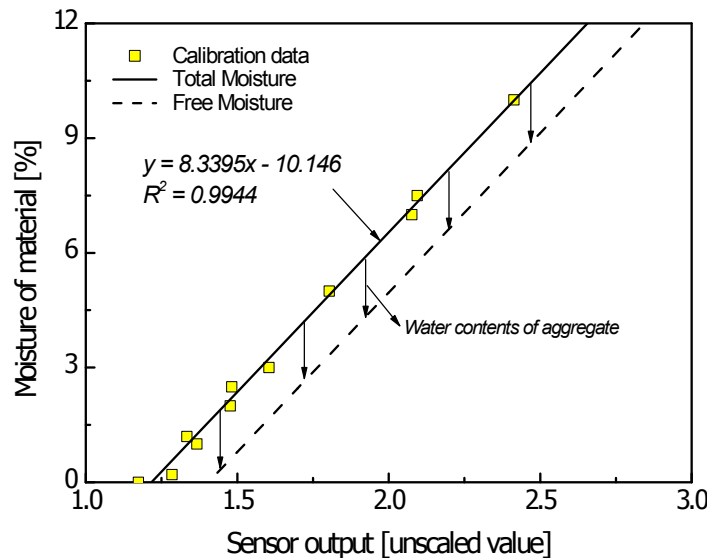


그림 3.4.15 개발된 센서의 검량선

나. 온도에 의한 영향

콘크리트 배합에 적용되는 골재의 저장온도는 보통 현장에서 일정한 온도로 보관되기 힘들다. 따라서 사계절이 뚜렷한 우리나라의 경우 골재 표면수율 자동측정시스템을 적용하기 위해서는 온도변화에 따른 센서의 영향을 검토하여야 한다.

본 연구에서는 이러한 센서의 온도에 의한 영향을 검토하기 위해 수분 함유량이 다른 7종류의 골재를 준비하여 각각 밀봉한 후 10℃, 20℃, 30℃에 보관한 후 개발된 센서를 통해 수분량을 측정하여 그림 3.4.16에 나타내었다.

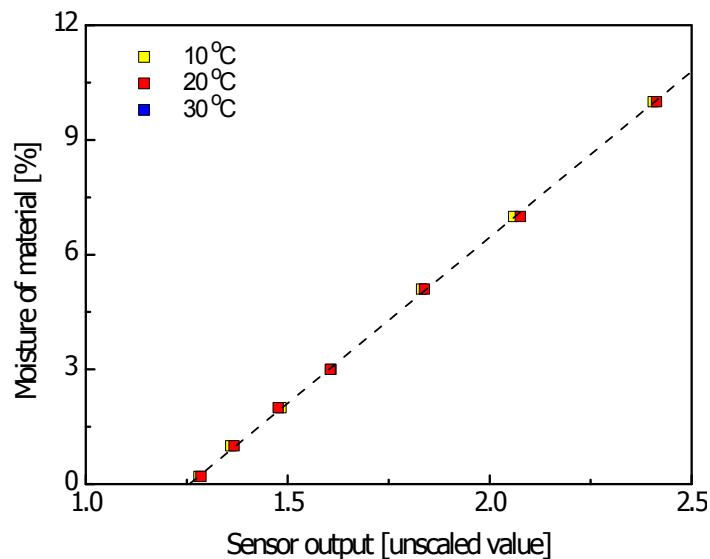


그림 3.4.16 온도에 의한 영향

그림 3.4.16에서 보는 바와 같이 개발된 센서의 경우 수분에 의한 마이크로파의 감쇄

(진폭, 파장, 위상 등)에 의해 수분량을 평가하기 때문에 온도변화에 의해서는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 온도에 의한 별도 보정을 실시하지 않아도 되는 것으로 판단된다.

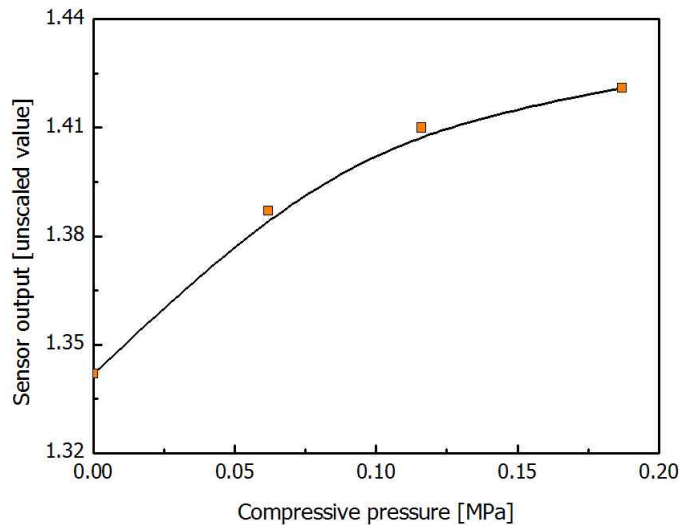
다. 골재의 다짐정도에 따른 영향

골재의 다짐정도에 따라 매트릭스의 단위 부피 당 포함하는 골재량, 수분량 및 기포의 양이 달라 질 수 있기 때문에 이러한 점을 검토하여야 한다. 그림 3.4.17은 골재에 일정 중량으로 가압하여 다짐할 수 있는 장비를 나타낸 것으로 본 연구에서는 다양한 압력조건하에서 약 2%, 3% 함수율 시편에 대해 비교분석하였다.

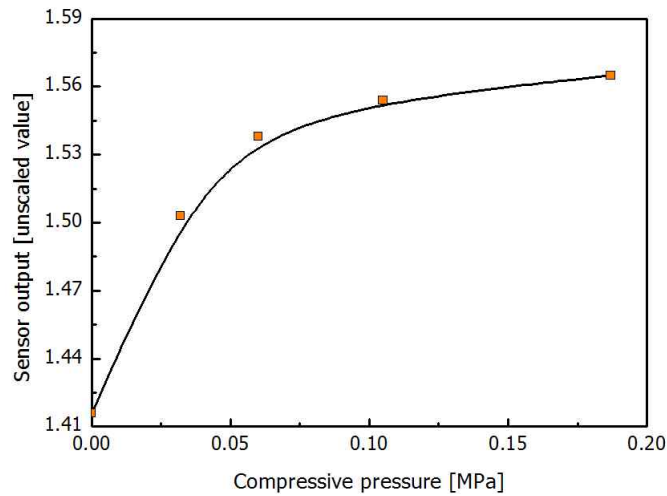


그림 3.4.17 일정 가압장비

다짐정도에 따른 골재의 함수율 측정영향은 그림 3.4.18에 보는 바와 같이 다짐 압력이 증가할수록 먹함수 형태로 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 다짐정도에 따른 골재의 단위부피당 기포 및 수분의 분포에 변화가 생겨 발생한 것으로 판단된다. 이러한 점은 추후 현장의 사일로, 컨베이어벨트 등에 설치 시 현장 조건에 맞는 압력조건하에서의 검량선을 작성을 통한 교정작업이 센서의 신뢰성을 높일 수 있다.



(a) 2%



(b) 3%

그림 3.4.18 다짐정도에 따른 골재의 함수측정
결과비교

라. 기존 개발된 센서와의 비교

세계적으로 골재 및 사료 등의 함수율 측정센서로 일반적으로 사용되고 있는 그림 3.4.19와 같은 영국의 Hydronix 제품과 비교 성능평가를 하였다. 비교분석을 위해 본 연구개발을 통해 개발된 센서는 식 3.11, 식 3.12에 의해 교정하였으며, Hydronix 제품의 경우 (1)항의 순서로 교정하였다. 센서 성능의 비교평가를 위해 임의의 함수율을 갖는 골재에 대해 두 제품을 통해 골재의 표면수율을 평가하였다. 또한 오븐 건조법과 KS F 2504에 의해 함수율을 측정하여 골재의 표면수율을 측정한 후 이를 참값으로 가정하였다.



그림 3.4.19 영국 Hydronix 측정센서



그림 3.4.20 Hydronix 센서를 이용한 골재의 수분 측정

그림 3.4.21에서 보는 바와 같이 본 연구에서 개발된 센서는 영국 Hydronix제품과 비교하여 동등이상의 성능을 나타내고 있음을 확인 할 수 있었다.

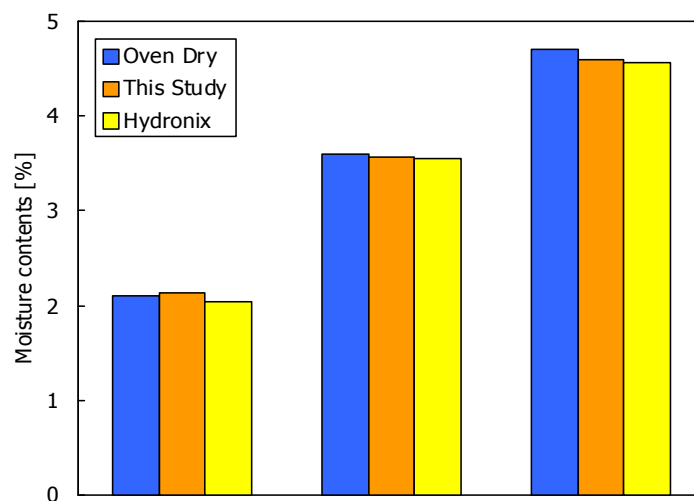


그림 3.4.21 성능평가 비교분석

마. 정확도 · 재현성 및 센서 세정효과

개발된 잔골재 표면수율 측정 센서의 정확도 · 재현성을 평가하기 위해서 2%, 3.5%, 4.7%의 함수율의 잔골재를 제작하였다. 그리고 반복 횟수에 대한 정확성 및 재현성을 평가하기 위해 약 27번의 측정결과를 비교분석하였다. 표 3.4.2는 잔골재 표면수율 측정 센서에 의한 값과 비교한 결과이다.

표 3.4.2 잔골재 표면수율 정확도 · 재현성 평가결과

구분	Oven Dry	Sensor	Oven Dry	Sensor	Oven Dry	Sensor
1	2.1	2.162	3.5	3.456	4.7	4.890
2	2.1	2.000	3.5	3.451	4.7	4.376
3	2.1	2.181	3.5	3.666	4.7	4.839
4	2.1	2.158	3.5	3.717	4.7	4.849
5	2.1	1.984	3.5	3.561	4.7	4.903
6	2.1	2.208	3.5	3.576	4.7	4.757
7	2.1	2.175	3.5	3.305	4.7	4.475
8	2.1	2.238	3.5	3.675	4.7	4.496
9	2.1	2.119	3.5	3.275	4.7	4.762
10	2.1	2.105	3.5	3.627	4.7	4.873
11	2.1	2.141	3.5	3.504	4.7	4.857
12	2.1	2.215	3.5	3.407	4.7	4.518
13	2.1	2.273	3.5	3.607	4.7	4.759
14	2.1	2.280	3.5	3.653	4.7	4.714
15	2.1	2.182	3.5	3.552	4.7	4.677
16	2.1	2.254	3.5	3.650	4.7	4.793
17	2.1	1.999	3.5	3.601	4.7	4.874
18	2.1	2.203	3.5	3.252	4.7	4.624
19	2.1	1.983	3.5	3.302	4.7	4.824
20	2.1	2.247	3.5	3.317	4.7	4.643
21	2.1	2.021	3.5	3.667	4.7	4.392
22	2.1	2.055	3.5	3.358	4.7	4.757
23	2.1	2.012	3.5	3.321	4.7	4.850
24	2.1	2.017	3.5	3.526	4.7	4.919
25	2.1	2.179	3.5	3.418	4.7	4.415
26	2.1	2.064	3.5	3.551	4.7	4.636
27	2.1	2.162	3.5	3.707	4.7	4.860

또한 그림 3.4.22는 이러한 평가결과를 그래프로 표시한 결과이며, 대부분의 결과는 $\pm 1.25\%$ F.S. 범위안에 해당하는 결과를 보이고 있으며 모든 결과가 $\pm 2.5\%$ F.S. 범위 내에 있어 측정센서의 정확도 및 재현성이 상당히 좋다고 판단된다.

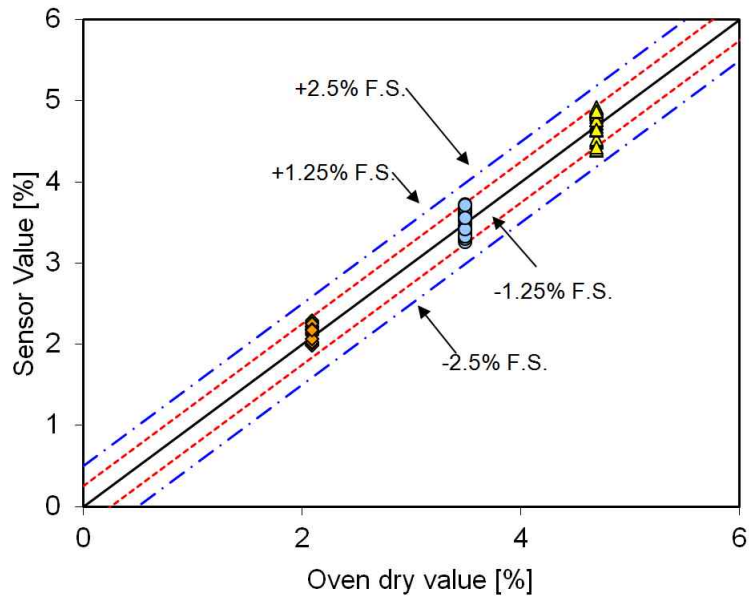


그림 3.4.22 표면수율 측정센서의 정확성 및 재현성 평가

잔골재 표면수율 측정센서의 경우 잔골재에 포함된 이물질과 수분에 의해 측정이 반복될수록 측정되는 센서의 함수율 측정결과가 높게 나타나는 경향이 있다. 그림 3.4.23은 세정을 실시하지 않은 경우와 Air로 세정한 후의 일정한 함수율의 잔골재에 대한 측정결과를 비교한 것이다. Air 세정의 경우 5회 빈도로 세정을 실시하였다. 그래프에서 보는 바와 같이 세정을 실시하지 않은 경우는 예상한대로 측정회수가 증가할수록 함수율이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

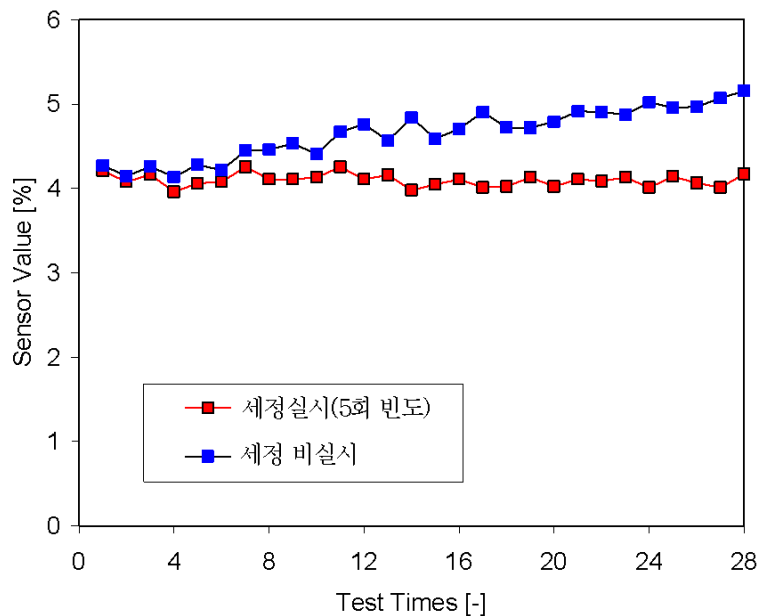


그림 3.4.23 표면수율 측정센서의 정확성 및 재현성 평가

5. 골재의 표면수율 측정 센서의 Mock-up 및 현장적용

가. 현장 적용 예

골재의 표면수율 측정센서는 실험실 및 현장에서 주로 사일로나 컨베이어벨트 등에 설치하여 이용될 수 있다. 콘크리트 믹서로의 이동 과정에서 골재의 수분상태는 변동성이 클 수 있기 때문에 골재 수분 측정센서의 측정 위치는 중요하다고 볼 수 있다. 기존의 골재 표면수율 측정 센서의 설치 위치별 특성을 분석하여 현장 적용성 시험에 적용하였다.

표 3.4.3 사일로 Neck 부위 설치 예

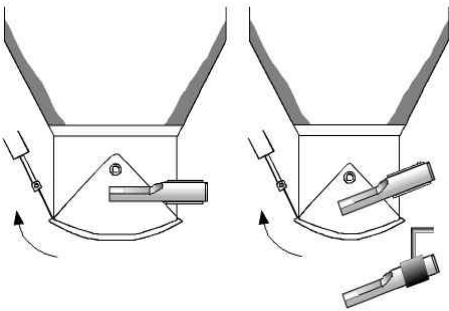
Neck of Silo or Bin	설치예
 ▪ 골재이동에 방해가 되지 않도록 설치 ▪ 센서의 측정부위에 골재가 상시 퇴적되지 않도록 소정의 경사로 설치	

표 3.4.4 사일로 Wall 부위 설치 예

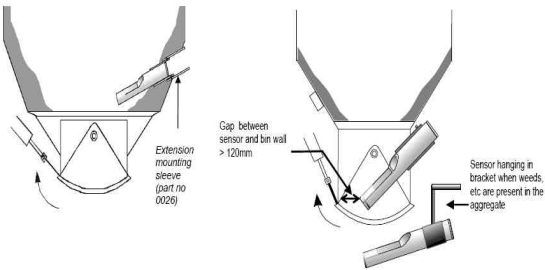
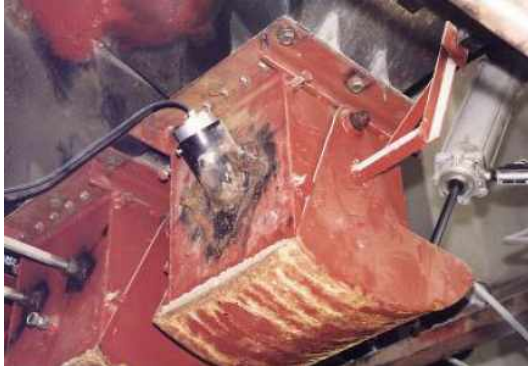
Wall of Large or small Bin	설치예
 ▪ 골재 개폐구에 방해되지 않도록 설치 ▪ 센서 설치 각도에 따른 영향 평가 필요	

표 3.4.5 사일로 하단 부위 설치 예

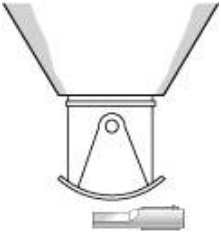
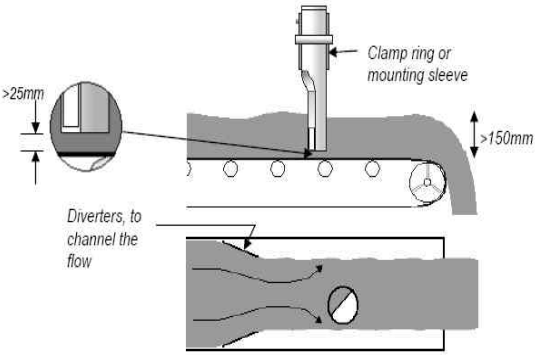
Beneath the Bin	설치예
	
▪ 골재 낙하에 대한 영향분석 필요 ▪ 골재 낙하에 방해 되지 않는 센서 각도 평가	

표 3.4.6 컨베이어 벨트 설치 예

컨베이어 벨트	설치예
	
▪ 센서와 컨베이어벨트 사이 약 25mm이상 간격유지 ▪ 골재 흐름에 방해되지 않는 설치각도 분석	

나. 잔골재 표면수율 측정 실내 Mock-up 성능평가

레미콘 현장에서는 실제 배합에 사용되는 잔골재로부터 절대건조 상태에서 습윤 상태까지의 여러 범위의 수분율을 측정하기가 어렵기 때문에, 개발된 수분측정 센서를 실제 현장에서와 동일한 조건에서 검증하기 위해 Mock-up 시험장치를 제작하였으며, 골재 호퍼 내 측정 센서의 부착 위치를 고려하여 센서의 측정값과 오븐건조 방법에 의한 잔골재의 함수율을 비교하고자 하였다.



그림 3.4.24 잔골재 표면수율 실내 Mock-up 성능장치

레미콘에서 실제 사용되는 잔골재의 함수율 및 표면수율을 파악하기 위하여 레미콘 현장의 잔골재 저장 호퍼에 본 연구에서 개발하고자 한 수분 센서를 부착하였다. 센서의 위치는 레미콘 배합을 위한 골재 계량 직전의 호퍼에서 측정하고자 하였으며, 호퍼 내에서 골재가 센서 측정면에 쌓이지 않도록 하기위해 호퍼 하단 경사면에 센서의 측정면이 30°가 되도록 하여 설치였다.



그림 3.4.25 실제 레미콘 잔골재 이송과정을 묘사한 컨베이어벨트

잔골재의 함수 상태를 세분화하여 측정하기 위해서 건조된 잔골재에 예상된 함수량

만큼 물을 추가하였으며, 추가되는 물은 믹서를 사용하여 측정하고자 하는 잔골재 전체에 분포되어 섞이도록 하였다. 잔골재의 함수 상태가 절대건조상태인 0%에서 약 1% 내외의 단계적으로 증가되도록 하여 각각 0%~10% 상태를 측정하고자 하였으며, 준비된 잔골재를 호퍼에 채우는 과정까지 반복 작업을 하였다.



그림 3.4.26 잔골재 표면수율 측정센서의 호퍼설치

골재 호퍼 내 중앙에 위치한 센서가 완전히 묻히도록 잔골재를 호퍼 상단까지 채우고 가득찬 상태를 유지하여 매회 측정하였으며, 센서측정값과 비교하기 위하여 측정 직후 호퍼 내 잔골재를 채취하여 오븐건조방법으로 함수율 및 표면수율을 시험하였다. 실제 레디믹스트 콘크리트 현장에서의 골재 저장환경을 묘사한 상태에서 개발된 센서의 현장적용성을 검토한 결과 다음 그림에서 알 수 있듯이 개발된 골재의 수분측정 센서는 골재의 수분량을 $\pm 0.5\%$ 이내로 정확히 측정하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 실제 건설현장에 적용할 수 있는 가능성이 상당히 크다고 판단된다.

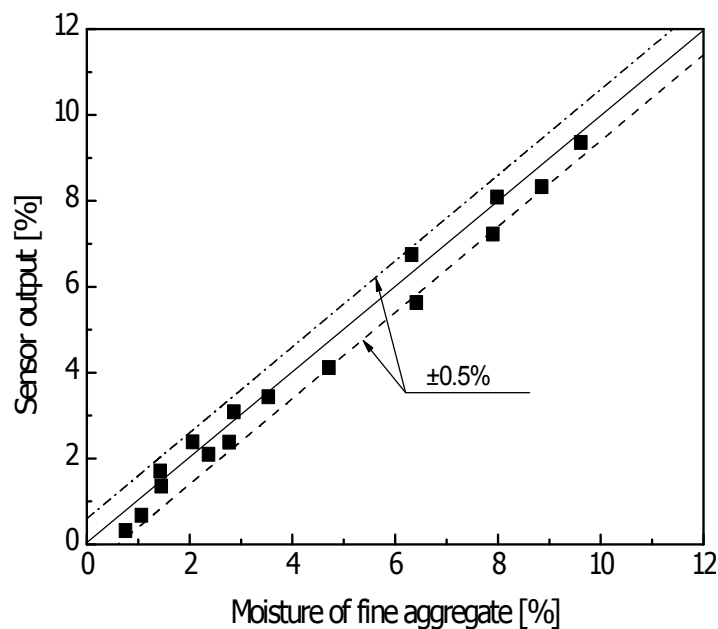


그림 3.4.27 잔골재 표면수율 Mock-up 성능평가

다. 잔골재 표면수율 측정 현장적용 평가

(1) A사 안양 레미콘 공장

잔골재 표면수율측정에 따른 현장적용 설치는 아래 그림과 같이 모래를 계량하는 계량호퍼 상단의 저장호퍼 게이트 위부분에 센서기구를 설치하여 표면수를 측정하며 최대한 모래에 수분이 정체되지 않도록 센서의 감응 부분을 수직 또는 수평이 아닌 각도(약 30도 정도)를 주어 설치하였다. 또한 레미콘 제어실뿐만 아니라 그림 3.4.34에 서와 같이 잔골재 표면수율 측정 센서 설치된 호퍼 근처에서 바로 결과를 확인 할 수 있도록 결과를 실시간으로 확인할 수 있는 패넌을 설치하였다.



그림 3.4.2 측정센서 설치 위치



그림 3.4.29 측정센서 설치 사진



그림 3.4.30 잔골재 표면수율 측정패널

다음은 2011년 11월 한달동안 측정된 결과를 나타내고 있다. 센서의 측정값과 하루에 2번 정도 잔골재를 직접 샘플링하여 건조로를 이용하여 직접적인 잔골재의 함수율을 측정하였으며, 이를 센서의 측정결과와 비교하였다.

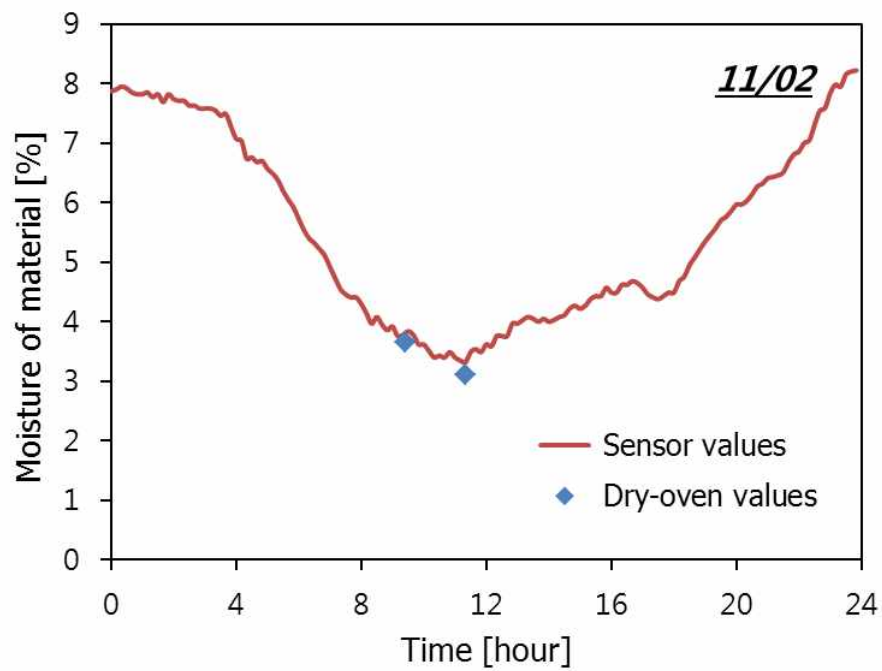


그림 3.4.31 11월 2일 잔골재 표면수율 측정결과

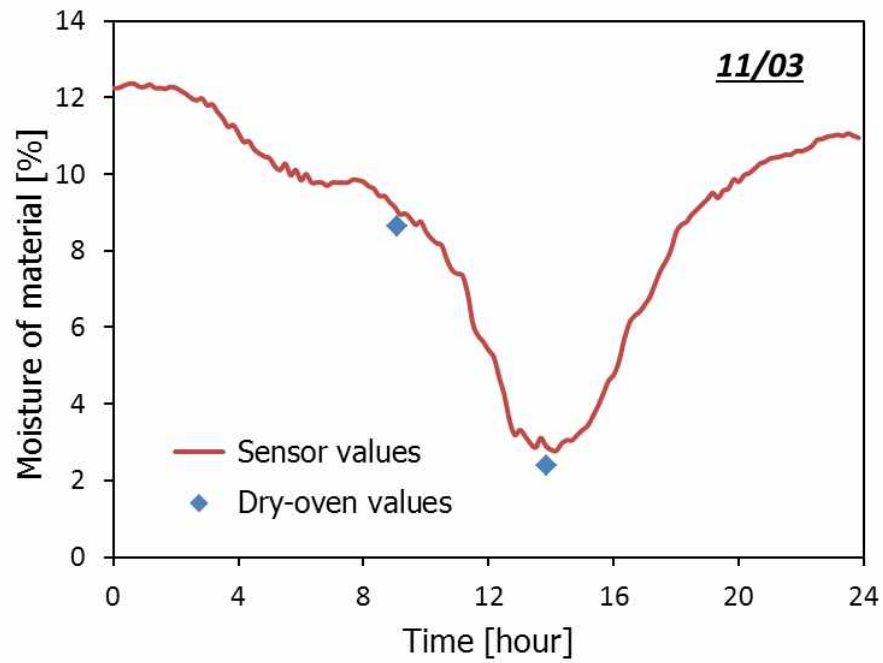


그림 3.4.32 11월 3일 잔골재 표면수율 측정결과

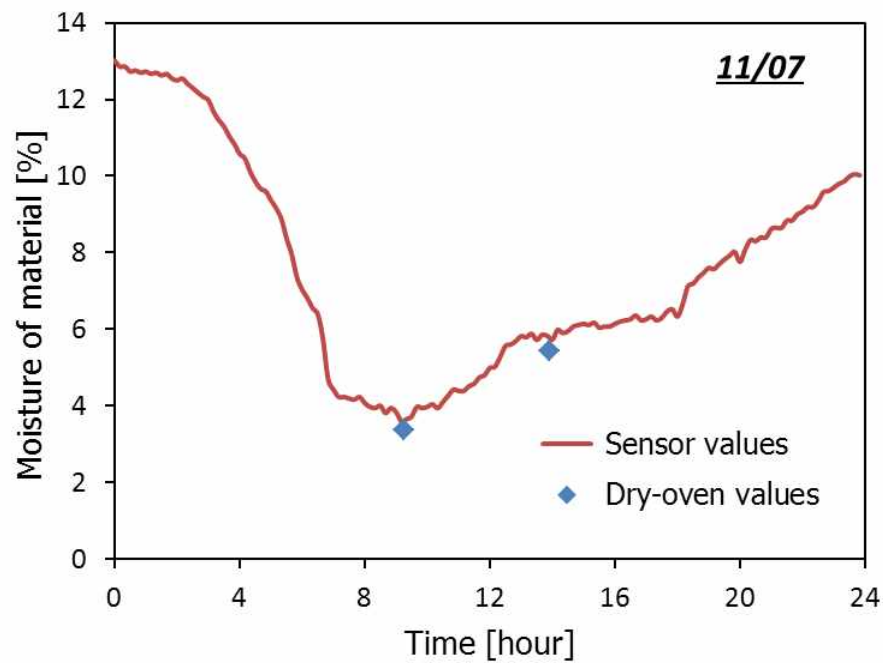


그림 3.4.33 11월 7일 잔골재 표면수율 측정결과

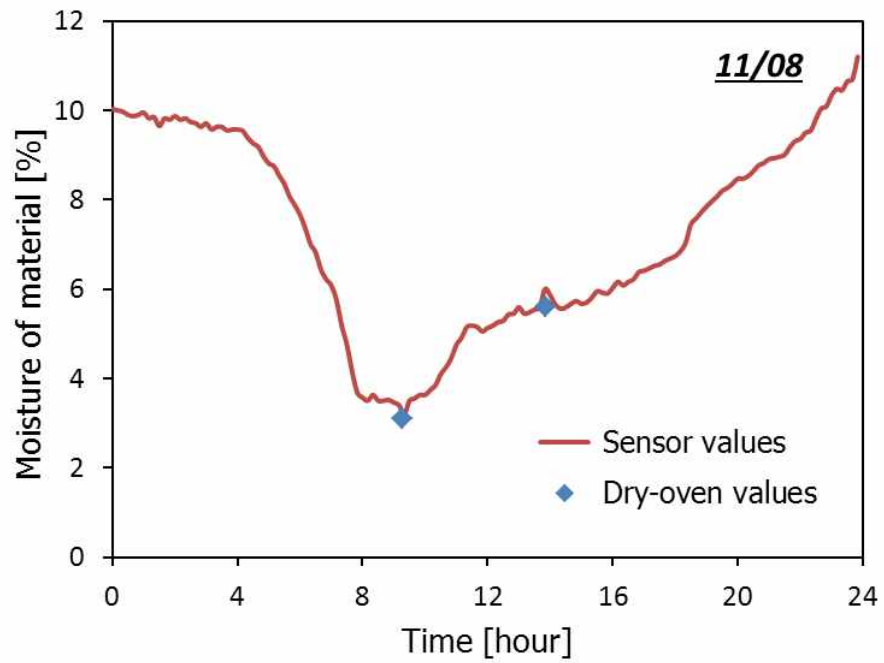


그림 3.4.34 11월 8일 잔골재 표면수율 측정결과

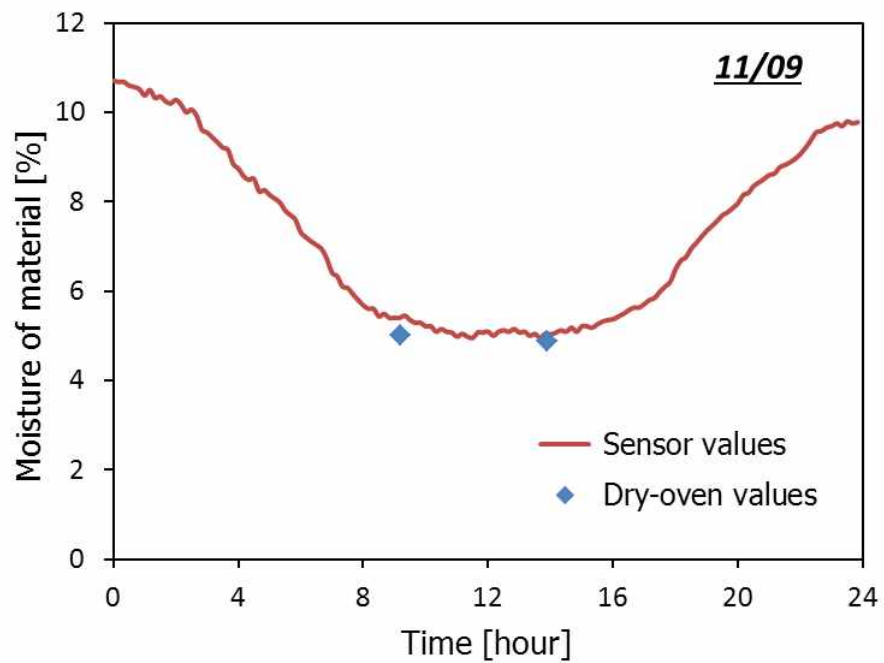


그림 3.4.35 11월 9일 잔골재 표면수율 측정결과

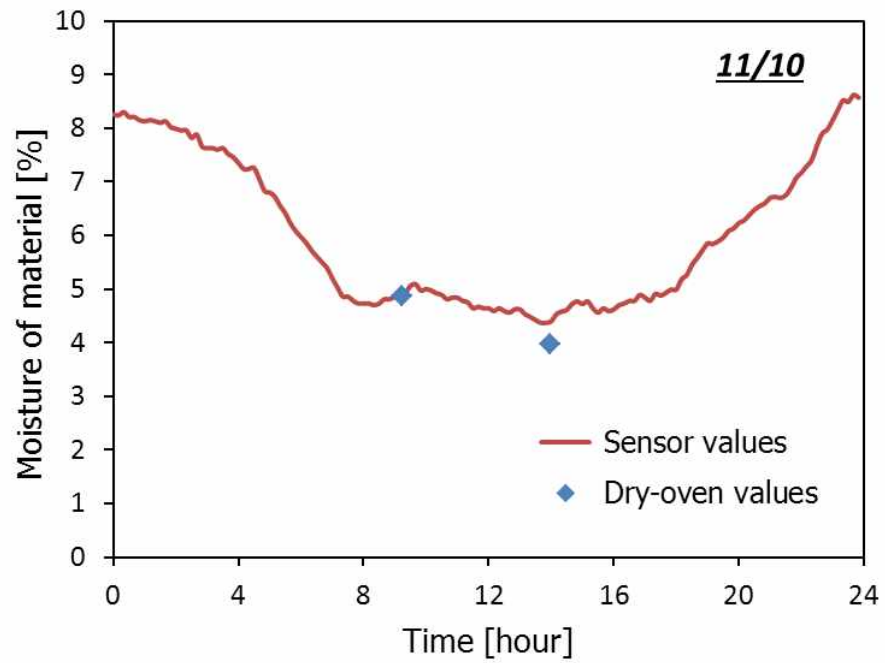


그림 3.4.36 11월 10일 잔골재 표면수율 측정결과

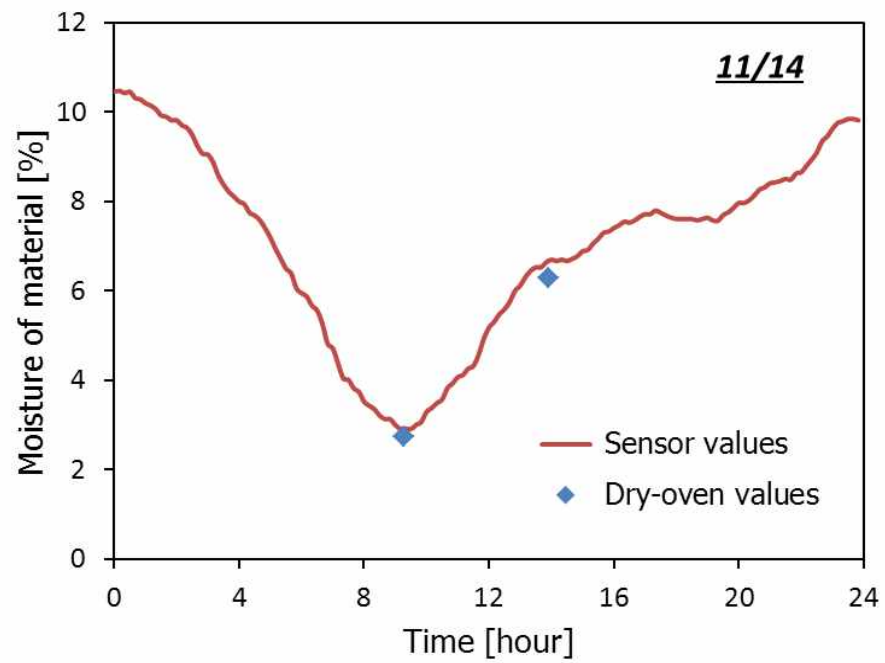


그림 3.4.37 11월 14일 잔골재 표면수율 측정결과

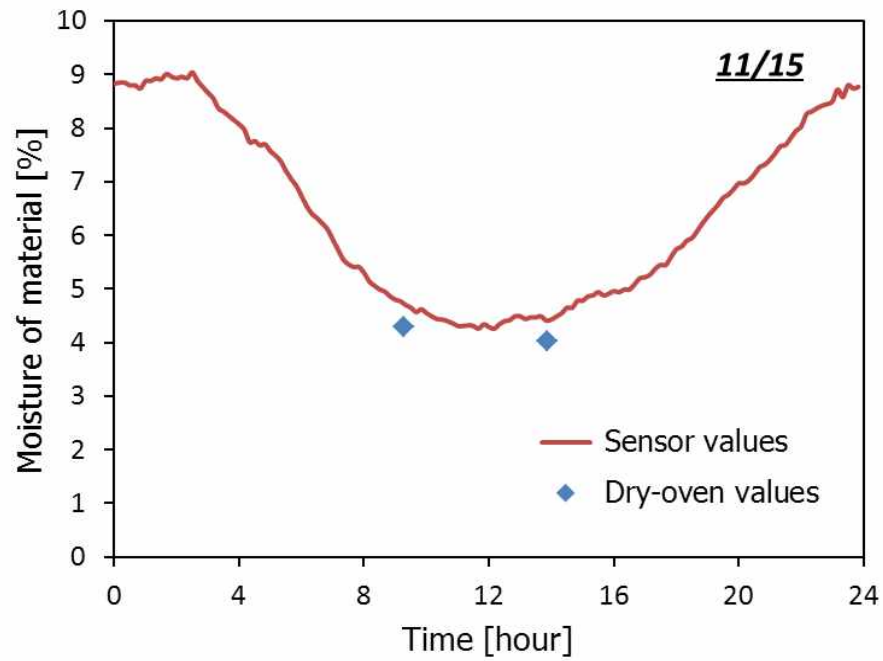


그림 3.4.38 11월 15일 잔골재 표면수율 측정결과

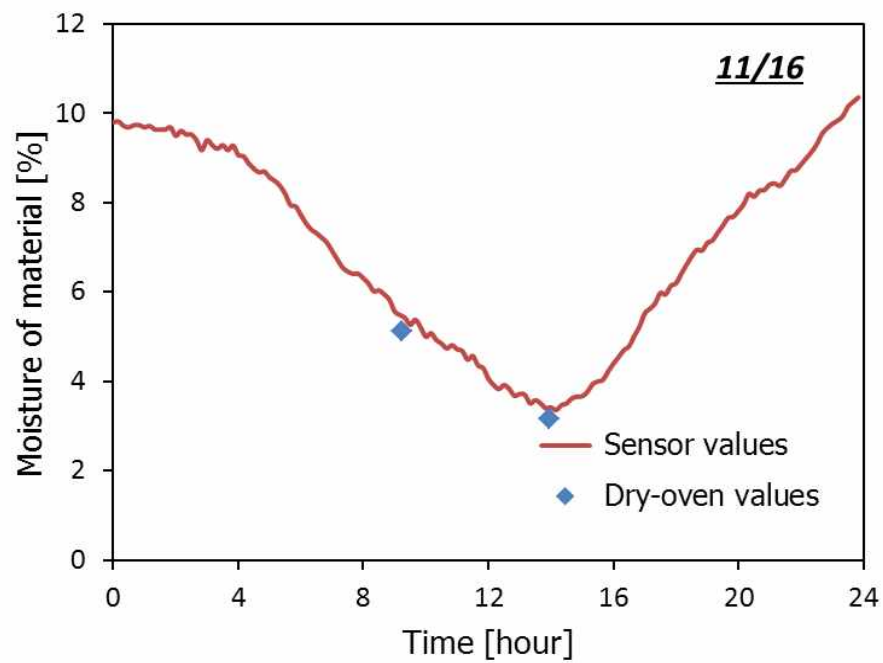


그림 3.4.39 11월 16일 잔골재 표면수율 측정결과

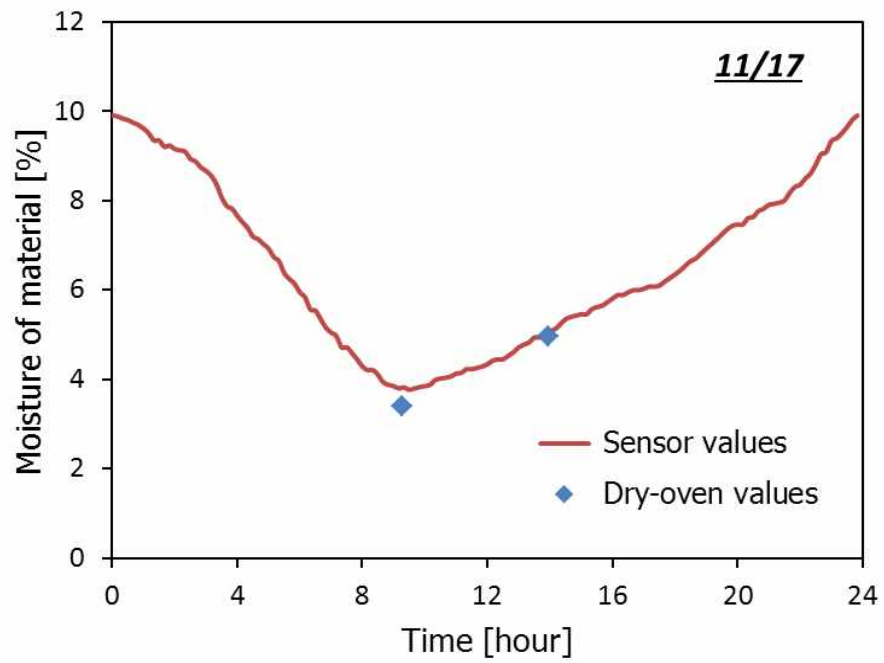


그림 3.4.40 11월 17일 잔골재 표면수율 측정결과

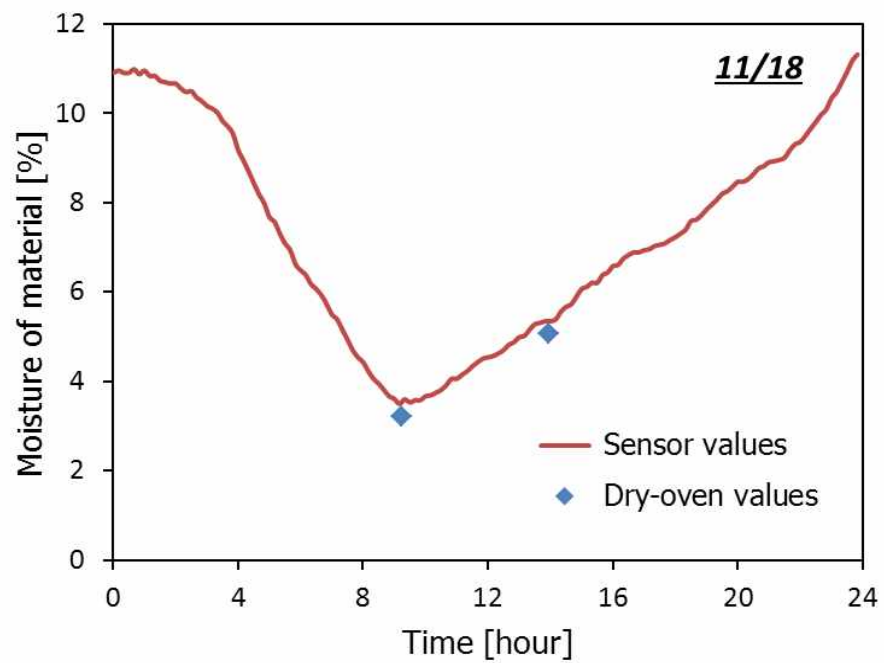


그림 3.4.41 11월 18일 잔골재 표면수율 측정결과

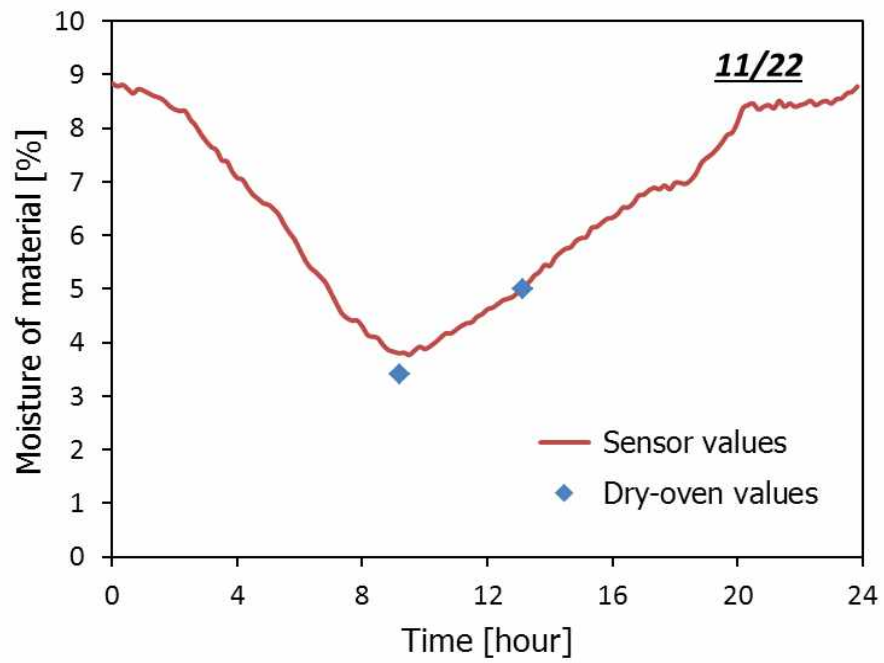


그림 3.4.42 11월 22일 잔골재 표면수율 측정결과

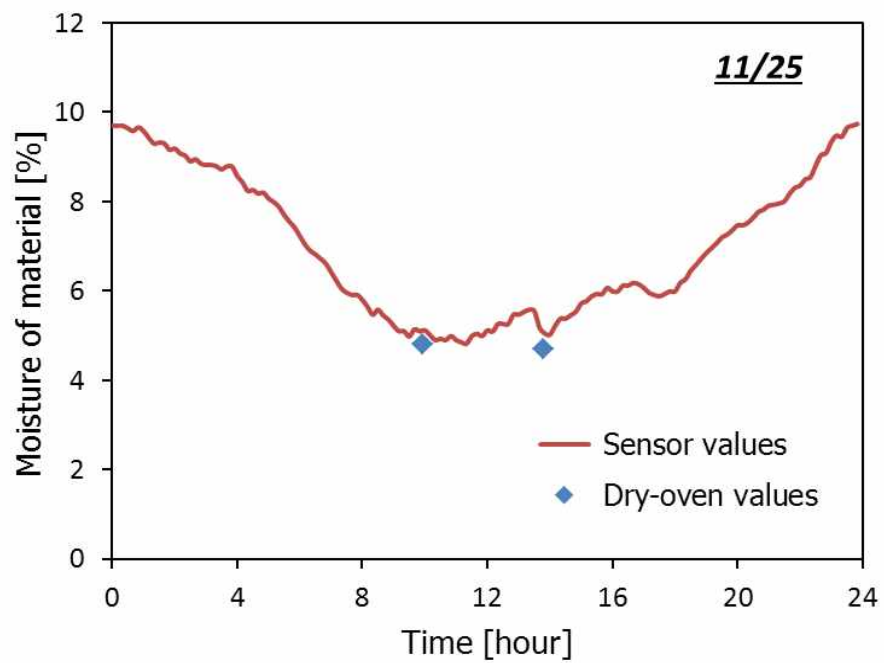


그림 3.4.43 11월 25일 잔골재 표면수율 측정결과

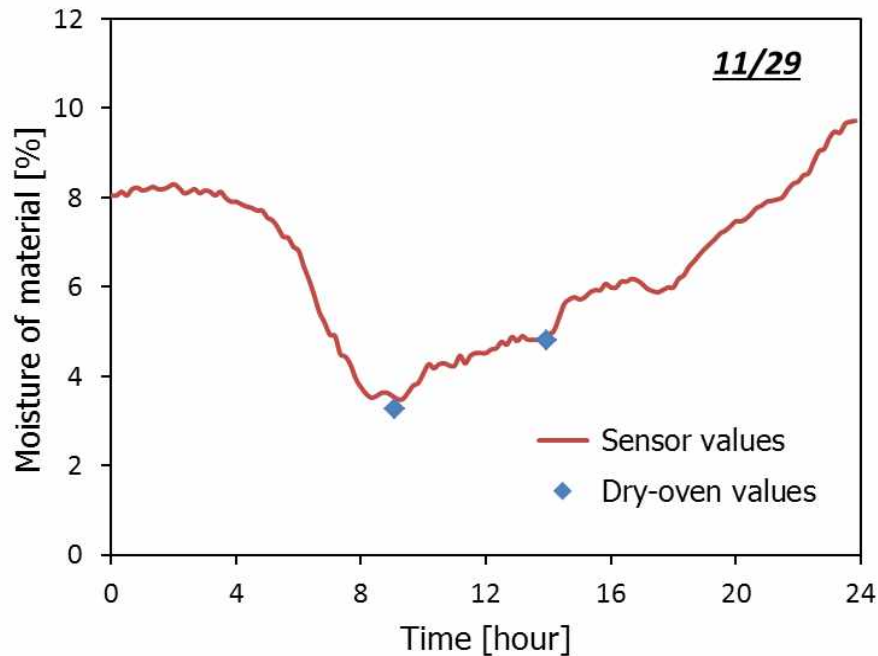


그림 3.4.44 11월 29일 잔골재 표면수율 측정결과

다음 그래프는 2011년 11월25일 잔골재 표면수율 측정자료와 해당하는 날짜의 시간대별 기온에 대한 기상청 자료를 상호 비교한 것이다. 그래프에서 보는 바와 같이 잔골재의 표면수율은 하루 24시간 동안 상당히 많이 변화하고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 레미콘 공장 가동시간 영역대인 오전 8시부터 오후 6시 까지는 3~6% 정도로 비교적 안정적인 값을 보여주고 있다. 이러한 영향은 두 가지 측면에서 설명될 수 있는 것으로 판단된다. 첫 번째로 대기온도의 영향이다. 그래프에서 보는 바와 같이 대기의 온도가 증가할수록 잔골재의 표면수율은 감소하고 대기온도가 감소할수록 잔골재의 표면수율은 증가한다. 이는 온도 상승에 의해 상대습도는 감소하고 온도하강에 의해 상대습도는 증가하여 잔골재의 표면수율에 직접적인 영향을 줄 수 있는 것이다. 두 번째 요소는 잔골재 표면수율 측정센서의 측정위치이다. 이번 현장적용의 레미콘 공장에서는 호퍼내부 하단부에 설치하였기 때문에 레미콘 출하시간이 아닌 경우에는 호퍼가 잠겨 있다. 따라서 센서 위로 상당량의 잔골재가 쌓이게 된다. 이러한 잔골재의 적층은 센서에 작용하는 압력을 올리게 되어 상기에서 설명된 다짐의 정도를 변화하게 하여 함수율 측정값에 변화를 주게 된다. 또한 상층부의 수분이 점차로 하부로 모이게 되어 호퍼 하층부에 함수율을 높이게 되는 결과를 초래한다.

이러한 대기환경조건 및 센서 측정 위치에 따라 잔골재 표면수율은 시간별로 다른 결과를 나타내게 된다. 이러한 점을 고려하여 레미콘 공장에서는 배합을 적절히 수정하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 통합자동시스템에 이러한 특성을 반영하여야 한다.

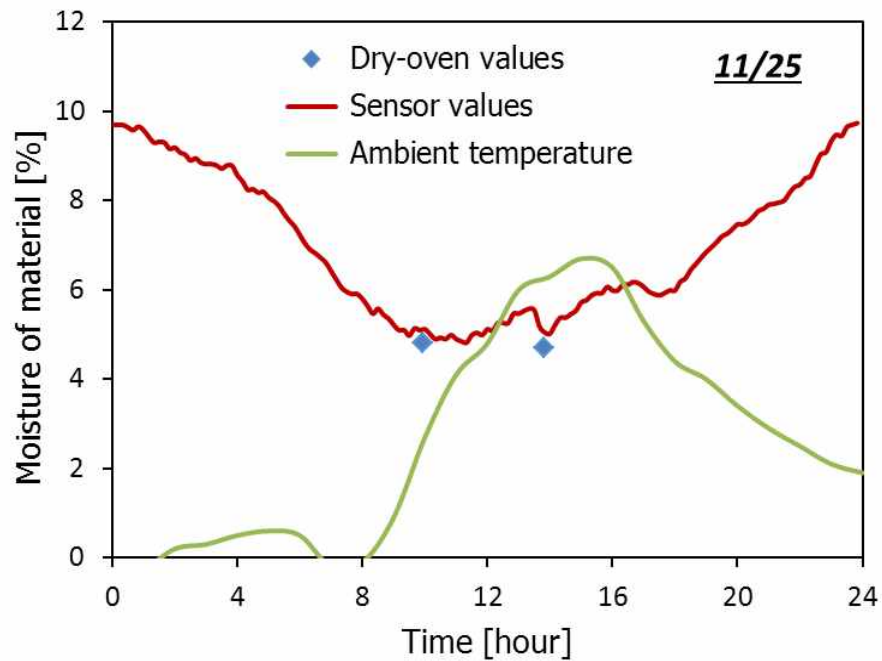


그림 3.4.45 잔골재 표면수율 측정결과와 대기온도와의 관계

A사 안양 레미콘 공장에 설치된 잔골재 표면수율 측정센서와 동일 시간대의 샘플링에 의한 건조법의 결과를 상호 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 현장에서 측정센서에 의해 산출된 잔골재의 표면수율이 건조법에 의한 표면수율보다 약간 높게 나타나는 경향은 있지만 상관성은 상당히 높게 나타났다. 건조법에 의한 잔골재 표면수율의 값을 참값으로 보면 본 연구에서 개발된 잔골재 표면수율 측정센서의 정확도는 대체적으로 $\pm 2.5\%$ F.S.에 들어오는 것을 확인할 수 있었다.

잔골재 표면수율 측정센서의 초기 검량선 작성 시 이러한 점을 고려한다면 보다 높은 정확도를 보여줄 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 초기 목표 값인 $\pm 5\%$ F.S.을 고려한다면 이는 상당히 높은 정확성을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

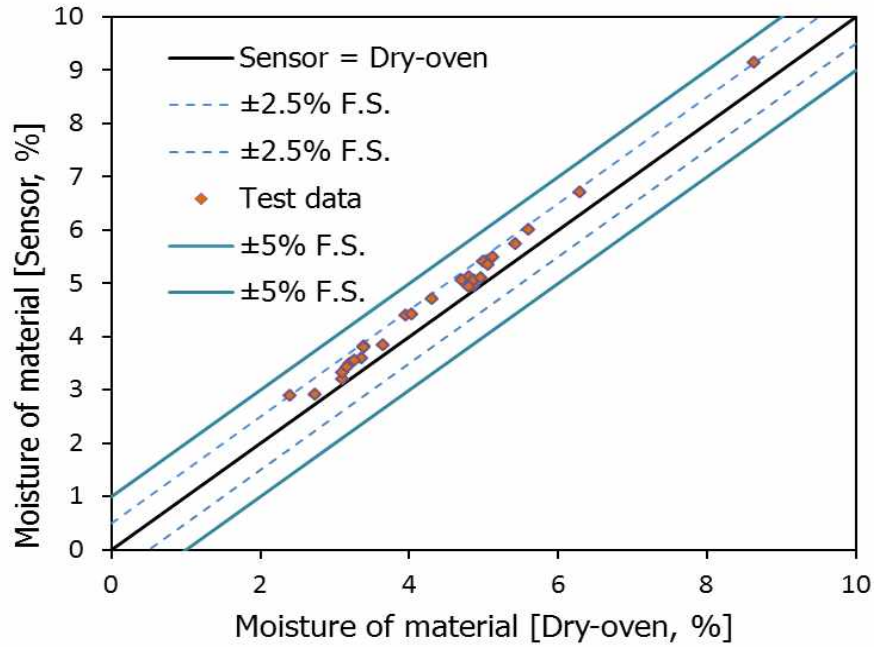


그림 3.4.46 현장적용 잔골재 표면수율 측정결과 정확성

(2) B사 송도 레미콘 공장

A사 안양 레미콘 공장의 잔골재 표면수율 현장측정은 만족할 만한 결과를 보여주고 있다. 하지만 각 레미콘 현장에 따라 이러한 설비 및 환경이 조금씩 다르기 때문에 이러한 점에 대해 신뢰성을 높이기 위해 B사 송도 레미콘 공장에 현장적용을 추가적으로 계획하여 진행 중에 있다. 현재 B사 송도 레미콘 공장에 측정센서를 설치하고 있으며, 검량선 작업을 함께 진행 중에 있다.



그림 3.4.47 B사 송도 레미콘 공장전경



그림 3.4.48 표면수율 측정센서 설치 호퍼



그림 3.4.49 잔골재 표면수율 측정 패널

제 5절 통합품질 자동화 시스템 개발

1. 개 요

레미콘 생산품질 자동화를 위한 통합관리 시스템은 레미콘 생산 공장의 생산효율화를 높일 뿐만 아니라 이에 수반되는 품질의 신뢰성 또한 향상시킬 수 있다. 다음 그림에서 보는 바와 같이 레미콘 공장에서는 수요처로부터 목표 성능에 맞는 콘크리트 시방배합을 받게 된다. 하지만 레미콘 공장에서 관리하고 있는 잔골재의 경우 그 수분 상태가 기후 및 환경에 따라 달라지고, 배합수로 사용되는 회수수의 농도 역시 시간, 온도 등에 따라 변화하기 때문에 시방배합대로 배합을 할 수 없게 된다.

따라서, 레미콘 생산업자는 이러한 점을 고려하여 잔골재의 수분상태와 회수수의 농도를 실시간으로 모니터링 할 필요가 있으며, 실시간 계측 자료로부터 콘크리트 배합설계를 실시간으로 수정할 수 있어야 한다. 이러한 회수수 고형분과 잔골재 표면수율에 대해 통합 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템은 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

- 불량 레미콘 발생 저감 기술 확보(불량 레미콘 발생율 30%감소)
- 레미콘 폐수 사용 효율성 확대
- 레미콘 품질 변동 최소화 기술 확보
- 레미콘 생산에 따른 생산자와 수요자간의 신뢰도 향상

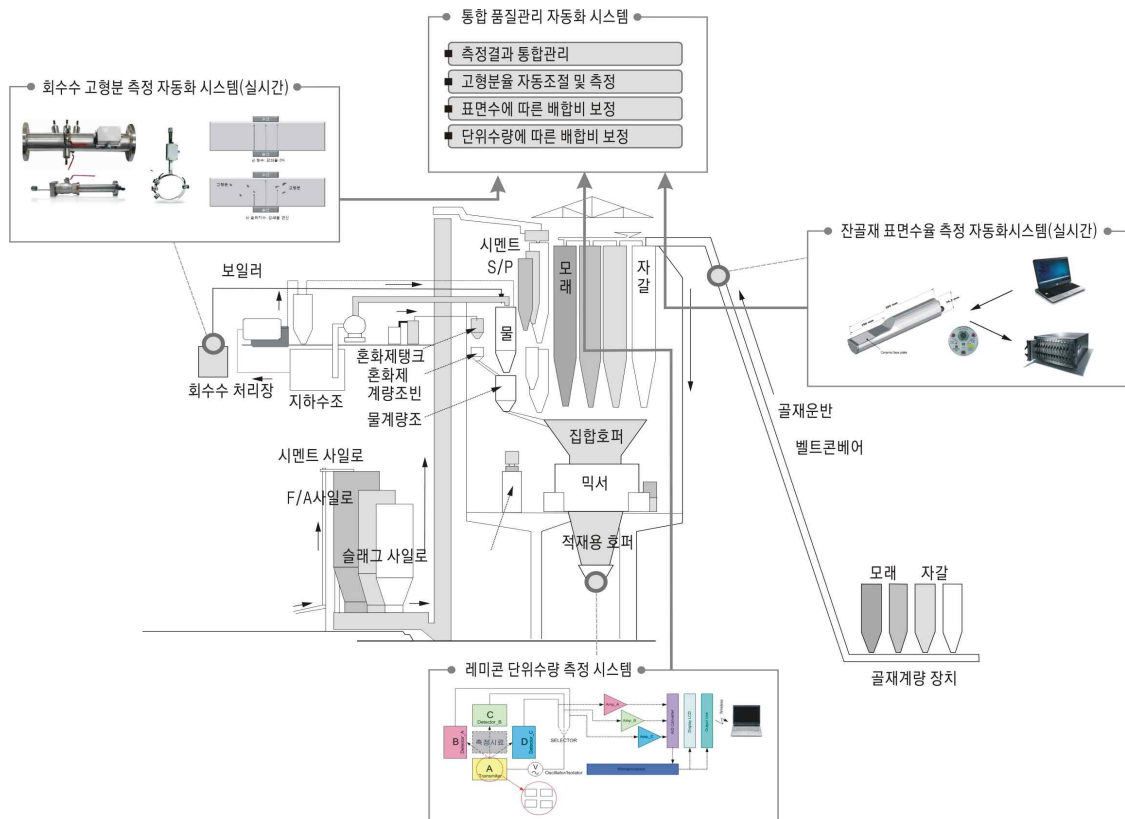


그림 3.5.1 통합품질 자동화시스템 개략도

2. 레미콘 통합품질 자동화 시스템

다음 그림에서 보는 바와 같이 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템에 의해 잔골재의 표면수율을 실시간으로 측정한다. 이러한 측정에 있어 오차를 최소화하기 위해 약 3초간 지속적으로 결과를 측정하며, 데이터 필터링에 의해 산발적으로 발생하는 피크의 값들을 제외한 뒤 평균값을 산정한다. 이러한 값을 블루투스(Bluetooth) 방식에 의해 통합제어실에 무선 송출한다. 미리 알고 있는 잔골재의 흡수율과 실시간으로 측정된 송출된 값에 의해 잔골재의 수분상태를 정확히 파악하여 단위수량을 다음 같이 보정한다.

$$W1 = W - \Delta W = S(Ms - As) / 100 \quad (1)$$

여기서, W는 시공배합의 단위수량, W1은 잔골재 표면수율에 의해 보정된 단위수량, ΔW 는 잔골재 표면수율에 실시간 측정값에 따라 보정되어야 할 단위수량(kg/m^3), S는 잔골재량(kg/m^3), Ms는 실시간으로 측정된 잔골재의 표면수율(%), As는 잔골재의 흡수율(%)을 나타낸다.

회수수 농도 측정 자동화 시스템을 통해 측정된 슬러지 농도값과 단위 결합재량 및 1m^3 배합에 사용하는 슬러지수 질량을 활용하여 아래 식에 따라 단위 슬러지 고형분율을 산정할 수 있다. 이와 같은 고형분율은 레미콘 현장에서 중요한 품질관리 항목으로 본 과제를 통하여 고형분율에 따른 최적 슬러지수/청수 투입 시스템을 개발하고자 한다.

$$P = \frac{Ss}{B} \times 100$$

$$Ss = \frac{Ws \times Cs}{100}$$

여기에서

P: 단위 슬러지 고형분율(%)

B: 단위 결합재량(kg)

Ss: 슬러지 고형분량(kg)

Ws: 1m^3 배합에 사용하는 슬러지수 질량(kg)

Cs: 슬러지 농도(%)

본 과제를 통해 개발된 품질관리 자동화 시스템은 1차적으로 현장에서 측정된 농도값을 무선 송수신모듈을 통해 출하실로 전송하고, 사용자가 배합조건 입력을 입력하면 자동적으로 슬러지 고형분율과 최적의 슬러지/청수 투입 조건이 아래 그림과 같은 Panel에 표시된다.

그림 3.5.2 회수수 품질 관련 입력 및 출력 정보

우선 레미콘 현장에서 고형분율 기준 3%를 만족하는 조건에서 슬러지수를 최대한 많이 사용하고자 하는 경우를 위하여 현장에서 측정한 슬러지수 농도값을 무선으로 전송하고 사용자가 배합조건(단위결합재량, 물/결합재비)을 입력하면 최대 슬러지수 투입 가능량과 최소 청수 투입 요구량을 제시할 수 있는 품질관리 자동화 시스템을 개발하였다. 최소 청수 투입량 결정시 KS F 4009 레디믹스트 콘크리트의 “배합 시 회수수 중에 함유된 슬러지 고형분은 물의 질량에는 포함되지 않는다.”는 규정을 고려해야 한다. 즉 측정된 슬러지 농도를 활용하여 배합시 사용된 슬러지 고형분량을 구하고 이에 해당하는 양의 청수를 투입하여야 한다. 개발된 품질 관리 자동화 시스템을 활용하면 슬러지 농도가 20%인 레미콘 현장에서 배합비가 단위 결합재량 380kg/m^3 , 물/결합재비 0.5인 경우 최대 슬러지수 투입 가능량 57kg/m^3 , 최소 청수 투입 요구량 144kg/m^3 이라는 결과를 얻을 수 있다. 위의 경우 배합정보에 따른 총 필요수량은 190kg/m^3 이지만 슬러지수를 단위 슬러지 고형분율 3% 기준을 만족하며 최대 로 사용할 수 있는 57kg/m^3 투입할 경우 청수는 유입되는 슬러지 고형분량(11kg/m^3)에 해당하는 만큼 추가적으로 필요하기 때문에 총 144kg/m^3 ($133\text{kg/m}^3 + 11\text{kg/m}^3$)이 투입되어 결과적으로 201kg/m^3 (슬러지수 $57\text{kg/m}^3 +$ 청수 144kg/m^3)이 투입되어야 한다. 지금까지 설명한 시스템은 단위 슬러지 고형분율 기준을 만족하는 상태에서 최대한 많은 양의 슬러지수를 배합에 활용하기 위하여 최적조건(최대 슬러지수 투입량/최소 청수 투입량)을 개발한 것이고, 이와는 다른 정보를 원하는 사용자들에 대응하기 위한 시스템을 개발하였다. 단위결합재량과 물/결합재비가 정해지고 투입하고자 하는 단위 슬러지수의 양도 정해진 현장의 경우 예상되는 단위 슬러지 고형분율, 슬러지 고형분량 및 슬러지수 투입에 따른 요구되는 청수량 정보가 필요하다. 개발된 시스템을 활용할 경우 결합재량, 물결합재비, 투입 예정 슬러지수 질량을 입력할 경우 이에 해당되는 예상 슬러지 고형분량, 예상 단위 슬러지 고형분율 및 예상 슬러지수 투입에 따른 필요 청수량 정보가 제공된다. 예를 들어 결합재량 380kg/m^3 , 물/결합재비가

0.5인 배합에 현장에서 측정된 슬러지 농도가 15%인 슬러지수를 50kg/m^3 투입 예정인 경우 해당 사항을 개발 시스템에 입력하면 단위 슬러지 고형분을 2.0%, 슬러지 고형분량 8kg/m^3 , 슬러지수 투입에 따른 필요 청수량 148kg/m^3 이라는 정보를 제공한다. 이와 같은 경우는 고형분을 기준 3% 이하인 경우이며, 배합조건과 슬러지수 농도가 위에서 가정한 조건과 동일하지만 슬러지수 투입 예정량이 80kg/m^3 로 30kg/m^3 증가시킬 경우 예상 고형분율은 3.2%로 KS 기준을 벗어나게 된다. 이러한 시스템에서는 현장에서 연속적으로 측정되어 무선으로 전송되는 슬러지수 농도(15%)와 사용자가 기입한 배합조건(결합재량 380kg/m^3 , 물/결합재비 0.5)에 따라 자동적으로 고형분율 기준(3% 이하)에 맞는 최대 슬러지수 투입 가능량(76kg/m^3) 정보도 동시에 제공하기 때문에 사용자가 증가시킬 수 있는 슬러지수 양(16kg/m^3)과 감소시켜야 하는 슬러지수 양(4kg/m^3)을 실시간으로 확인할 수 있다.

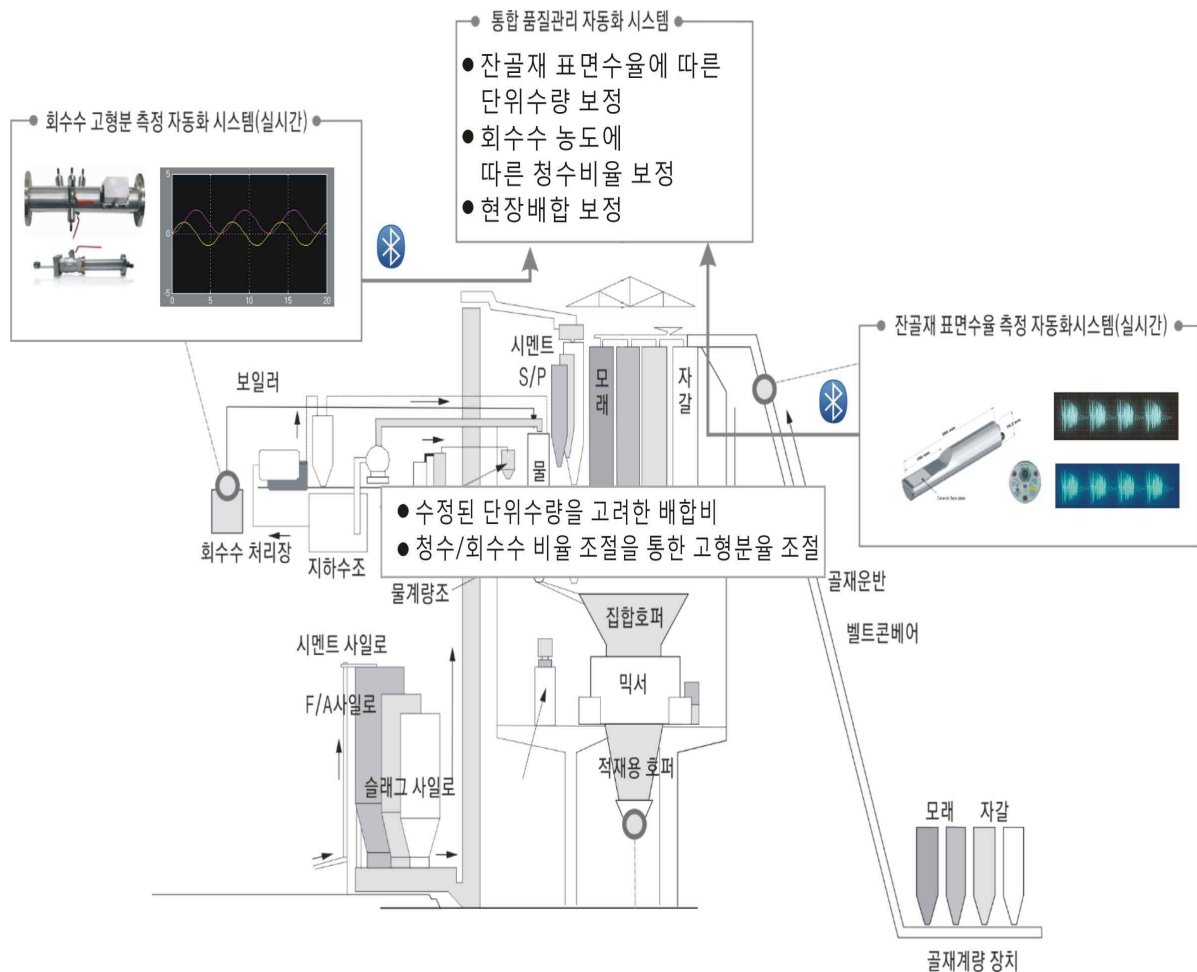


그림 3.5.3 통합품질 시스템 알고리즘



(a) 잔골재



(b) 회수수

그림 3.5.4 측정신호 송신부



그림 3.5.5 측정신호 수신부



그림 3.5.6 통합제어시스템

제 6절 연구개발결과

1. 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 자료 조사결과 대부분 회수수 처리설비는 갖추고 있으나 활용이 미흡하며, 표면수율의 자동측정은 몇몇 업체를 제외하고 이루어지지 않고 있는 실정으로 생산을 위해서 활용되고 있지 않음. 콘크리트의 단위수량 측정에 대한 관심은 증대하고 있으나, 장비의 소요 비용, 정합성 및 불편함 등으로 인해 활용이 저조한 실정임.

2. 회수수 고형분 측정 자동화 시스템 개발

- (1) 국내외 회수수 고형분 측정 시스템 관련 자료에 대한 조사를 통해 주요 방법별 특성을 분석하였음.
- (2) 초음파 감쇄율/유도 인덕턴스와 회수수 농도와의 관계식을 통해 고형분을 추정식을 도출하였음.
- (3) 측정부의 이물질 고착 저감을 위한 세정장치의 효과 분석을 통하여 회수수 자동화 시스템에 고압 air 세정부를 적용하였음.
- (4) 회수수 샘플링 방식별 농도 측정 특성을 평가하여 침적형 방식, 수중 펌프 방식 및 Main 배관 유도 방식 등 회수수 최적 샘플링 시스템 기술을 개발하고 최종적으로 시스템 설계에 적용하였음.
- (5) 실내 실험을 통해 유도 인덕턴스 측정 시스템과 건조법을 비교한 결과 5~40% 농도 영역대에서 안정적으로 측정 가능한 것으로 나타남. 이러한 결과를 바탕으로 레미콘 현장에 적용 가능할 것으로 판단됨.
- (6) 개발된 유도 인덕턴스 농도 측정 방식, Main 배관 유도 샘플링 방식을 적용한 회수수 농도 측정 시스템에 대한 레미콘 현장 성능평가(2011년 10월~12월) 결과 $\pm 5\%$ F.S(F.S=30%) 이내로 나타남. 향후 개발된 회수수 농도 측정 시스템이 현장에 적용될 경우 최적의 청수/회수수 투입이 가능하여 레미콘 품질 향상에 이바지 할 것으로 판단됨.

3. 레미콘 단위수량 측정 시스템 개발

- (1) 국내외 기술 현황 자료를 획득하였으며, 측정 방법별 특성을 분석한 결과 정전용량법과 에어미터법이 현장적용에 가장 적합한 것으로 분석됨.
- (2) 단위수량과 정전용량과의 관계식을 통해 단위수량 추정식을 도출하여 정전용량법의 단위수량 측정시스템을 개발하였으며, 단위수량 변동성 및 측정 정확도를 평가한 결과 동등이상의 결과를 나타내었다.
- (3) 정전용량법의 단점을 고려한 단위수량 측정시스템을 개발[에어미터법] 하여 공기량과 단위수량을 동시에 측정할 수 있는 품질관리 시스템을 확보하였다.
- (4) 에어미터법에 의한 단위수량 측정 시스템의 성능평가결과 정전용량법과 유사한 단위수량 추정 오차를 갖는 것으로 나타났으며, 개발제품의 변동오차에 따른 시뮬레이션 결과 공기량과, 골재의 밀도 및 단위수량의 측정오차가 가

장 큰 변동요인임을 확인하였다.

- (5) 개발 시제품에 대한 현장 평가 결과 추정오차는 -1.4~3.4%의 범위를 나타내고 있으며, 단위수량 추정값은 +10% F.S의 정밀도를 갖는 것으로 나타났다.

4. 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발

- (1) 표면수율 측정시스템에 대한 국내외 기술 현황 자료의 획득과 측정방법에 따른 시스템의 특성을 분석하였음.
- (2) 마이크로파의 출력 및 신호방식을 결정을 통한 전기적 신호값과 수분의 관계식을 평가하여 표면수율 추정식을 도출하였음.
- (3) 센서 모듈 및 제어부 설계를 통한 시스템을 개발하였으며 설치 방식에 따른 기구적 설계를 검토하였음.
- (4) 잔골재 표면수율 변동성에 따른 검량선 분석을 통해 개발된 자동화 시스템과 현재 해외에서 적용되고 있는 시스템과의 비교평가를 통해 동등이상의 성능을 확보하였음.
- (5) 실내 Mock-up 성능평가를 통하여 잔골재 표면수율 측정센서의 현장적용성을 검토하였으며, 센서측정값과 비교하기 위하여 측정 직후 호퍼 내 잔골재를 채취하여 오븐건조방법으로 함수율 및 표면수율을 시험하였으며 $\pm 0.5\%$ 이내로 정확히 측정하는 것으로 나타났음. 이러한 결과를 바탕으로 실제 건설현장에 적용할 수 있는 가능성이 상당히 크다고 판단된다.
- (6) A사 안양 레미콘 공장, B사 송도 레미콘 공장에 현장적용 실험을 수행하였다. 현재 A사의 경우는 10월 말부터 현재까지 지속적으로 모니터링을 하고 있으며, 직접 시료를 샘플링하여 센서의 정밀도를 확인하고 있다. B사의 경우 현재 시료설치 및 측정을 위한 검량선 작업을 진행 중이며 지속적으로 계측을 진행할 계획이다. A사의 안양 공장의 11월 한달 동안의 잔골재 표면수율 계측 데이터를 분석한 결과, 본 연구에서 개발된 잔골재 표면수율 측정센서는 실제 레미콘 배합을 실시간으로 보정할 수 있는 신뢰적인 측정 값을 나타내고 있는 것으로 확인되었으며, 이의 확대 적용은 향후 레미콘 공장의 출시 제품의 신뢰성을 상당히 향상 시킬 수 있는 계기가 될 것으로 판단된다.

제 4장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

제 1절 연구목표 및 달성 여부

번호	세부 연구 목표	달성내용	달성도 (%)
1	■ 국내외 자료 수집 및 분석	- 레미콘 품질관리를 위한 국내외 현황 및 문제점을 파악하였음. - 국외에서 적용되는 품질관리 장비의 효용성 및 활용 현황을 분석하였음	100
2	■ 기존 제품 분석을 통한 개선점 도출	- 기존 제품의 성능 평가를 통한 목표성능의 도출 및 해당 제품의 개선점을 분석하였음. - 기존 제품의 재현성 및 정확도 평가 항목을 도출하였음.	100
3	■ 회수수 고형분 측정 자동화 시스템 개발	- 센서의 전기적 신호와 고형분율에 따른 관계식의 도출로 고형분 검량선을 산출하였음. - 고형분율에 따른 전기적 신호를 발생시키는 센서와 검량선에 따라 구동하는 하드웨어를 제작하였음.	100
4	■ 레미콘 단위수량 측정 시스템 개발	- 센서모듈 및 제어부의 설계를 통한 측정 하드웨어를 개발하였음. - 단위수량 측정을 위한 측정시료내의 관계식에 의해 단위수량 검량선을 산출하였음. - 배합조건별 단위수량 측정 성능을 평가 및 분석하였음.	100
5	■ 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발	- 마이크로파의 전기적 신호값과 수분의 관계식을 도출하였으며, 표면수율 검량선을 도출하였음. - 표면수율 센서와 검량선 산출에 따른 하드웨어를 제작하였음 - 습윤 조건별 표면수율 성능을 평가 및 분석하였음.	100
6	■ 통합 품질관리 자동화 시스템 개발	- 측정결과의 분석 및 종합적인 통보시스템 개발 - 고형분율에 따른 청수 투입시스템 개발 - 잔골재 표면수율에 따른 배합비 보정시스템 개발	100
7	■ 시작품 제작, 설치 및 파일럿 테스트	- 현장적용을 위한 시작품 제작 - 시작품설치 및 현장 모니터링	100
8	■ 최종보고서 작성	연구계획에 따른 기술적 성과물을 정리하여 특허출원, 논문제출, 최종 보고서를 작성하였음.	100

1. 연구개발결과의 주요 성능

가. 회수수 고형분 측정 자동화 시스템

평가항목 (주요성능 Spec)		단위	세계최고 수준 (보유국/보유기업)	연구개발전 국내수준	개발제품 측정치
고형분측정범위		%	0.0~20.0 (영국/MOBREY) Sample 측정기기	없음	0~30 %
고형분 측정	정확도	± % F.S	± 5 %	없음	± 5 %
	재현성	± % F.S	± 3 %	없음	± 5 %

나. 레미콘 단위수량 측정 시스템

평가항목 (주요성능 Spec)		단위	세계최고 수준 (보유국/보유기업)	연구개발전 국내수준	개발제품 측정치
측정대상		-	모르타르 (일본/KETT)	없음	콘크리트
단위수량 측정	정확도	kg/m ³	±10 kg/m ³	없음	±10 kg/m ³
	재현성	± % F.S	± 5 %	없음	± 5 %
측정방식		펄스	고주파	없음	Air-meter법
측정시간		sec	60sec 이하	없음	60sec이하

다. 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템

평가항목 (주요성능 Spec)		단위	세계최고 수준 (보유국/보유기업)	연구개발전 국내수준	개발제품 측정치
표면수 측정범위		%	0.0~20.0 (영국/Hydronix)	없음	0~20 %
표면수율 측정	정확도	± % F.S	± 5 %	없음	± 2.5 %
	재현성	± % F.S	± 5 %	없음	± 2.5 %
센서세정		-	없음	없음	없음

라. 레미콘 생산 품질관리 자동화 판넬

평가항목 (주요성능 Spec)	세계최고 수준 (보유국/보유기업)	연구개발전 국내수준	개발제품 측정치
측정결과 통보	없음	없음	잔골재 표면수율, 회수수 고형분, 단위수량의 측정결과의 종합적 통보
고형분율에 따른 청수투입시스템	없음	없음	고형분율 3%이상 초과시 자동으로 청수의 투입 및 고형분율 실시간 재측정
잔골재표면수율에 따른 배합비 변경	없음	없음	잔골재 표면수율에 따른 단위수량 및 잔골재량 보정
단위수량 결과에 따른 배합비 보정	없음	없음	단위수량 결과에 따른 단위수량 보정

제 2절 관련분야의 기여도

레미콘 생산과 관련된 법령은 현재 국토해양부의 건설기술관리법, 지식경제부의 KS F 4009, 환경부의 수질환경보전법 시행규칙 등으로 대부분 육성정책보다는 규제를 강화하는 정책위주로 이루어져 있으나 향후 본 연구를 통해 개발된 시스템이 국가 육성 정책과 맞물려 보편화되고 활성화 될 수 있는 정책적 뒷받침이 이루어진다면 지속적으로 이슈화 되고 있는 불량레미콘의 생산 근절에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 회수수 고품분 측정 자동화 시스템 개발

레미콘 제조시 발생한 레미콘의 세척 폐수는 혼합수 및 세척용수로서 100% 전량 활용하도록 법제화 되어 있으며, 고품분 함유량을 지속적으로 모니터링 할 수 있는 회수수 고품분 측정 자동화 시스템의 개발은 콘크리트의 품질관리에 큰 효과를 기대할 수 있다.

- 세척폐수의 품질 변동 및 배합설계에 차질이 없도록 실시간 모니터링으로 콘크리트의 품질관리에 매우 효과적임.
- 레미콘 세척폐수의 사용으로 수돗물(정수)의 사용을 대체가능하며 이 때 절약되는 금액은 연간 약 64억원이며, 특히 폐수 대체로 인한 이산화탄소 감축량이 5,385t에 달하는 등 환경부하 저감뿐만 아니라 경제성 확보 등 이중효과를 기대할 수 있음.

2. 레미콘 단위수량 측정 시스템 개발

레미콘 제조에 사용되는 물은 콘크리트 경화를 위한 수화반응과 용이한 운반, 타설, 다짐 등을 위해서 콘크리트 제조에 필수불가결한 재료이다. 그러나 필요 이상의 물이 가수되면 건조수축과 내부 공극률을 증대시켜 콘크리트의 강도 및 내구성에 심각한 저해요인이 됨에 따라 콘크리트 제조 시 각별한 주의가 요구되나 공급자(레미콘)의 설비 부족 및 미숙한 품질관리, 사용자(시공사)의 레미콘 공급계약과 상이한 품질의 콘크리트 요구, 관리자(감독관)의 정량적 품질관리시스템 미비 등과 같은 문제점 도출로 단위수량의 관리가 이루어지지 않고 있어 불량 레미콘 관련 언론보도가 지속적으로 보도되고 있는 실정임. 이에 콘크리트 구조물의 고품질화 및 레미콘 품질관리의 신뢰성을 구조적으로 향상시키고 국내 건설현장의 레미콘 품질관리에 실용적으로 적용할 수 있는 레미콘 단위수량 측정기기 개발을 통해 다음과 같은 문제점의 해결이 기대된다.

- 레미콘 에지데이터 배차시 잔수처리를 하지 않아 새로 수급되는 레미콘에 가수 효과 발생

- B.P에서 레미콘 에지테이터에 콘크리트 수급 후 호퍼에 묻은 콘크리트를 물로 세척하는 과정에서 내부로 물이 유입되어 가수됨
- 레미콘 공급계약과 상이한 품질의 콘크리트를 요구(계약은 슬럼프 8cm로 하고 납품은 15cm 또는 18cm로 요구)함에 따라 공급자 쪽에서 단가를 고려한 저품질의 콘크리트 납품 유도
- 현재 레미콘 품질을 확인하는 항목은 공기량, 슬럼프, 압축강도, 염화물함유량 4개 항목이 전부이며, 이러한 항목만으로는 주문 발주한 레미콘의 배합물량이 정확하게 지켜지는가에 대한 정량적인 품질관리가 불가능한 상태

3. 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템

잔골재의 표면수는 양질의 레미콘을 생산하는데 있어 품질변동의 다양한 요인 중 주요한 항목 중의 하나로서 레미콘의 품질에 지대한 영향을 미치는 단위수량과 밀접한 관계가 있다. 현장에서 레미콘 생산 시 품질을 구조적으로 향상시키고 수요자와 공급자의 신뢰를 향상시킬 수 있는 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템의 개발은 다음과 같은 문제를 해소할 것으로 기대됨.

- 골재의 반입 시 및 저장 상태에 따른 표면수의 변동값을 지속적으로 측정함으로써 발생하는 인력 부족 및 작업의 번거로움으로 매번 측정이 곤란함.
- 오퍼레이터는 모터에 작용하는 부하량과 경험치를 통해 레미콘의 유동성을 조절함으로써 요구되는 성능을 만족시킬 수 있도록 설계된 레미콘 제조가 어려움.
- 외산장비의 무분별한 사용으로 실효성 문제와 수천만원에서 1억원 상당의 고가 장비로 보급에 문제가 있는 실정임.
- 레미콘 업체뿐만 아니라 2차 제품의 생산현장에서도 골재 표면수의 지속적인 모니터링으로 생산 제품의 품질 향상은 물론 제품의 품질기준 확보를 위한 과도한 원재료의 사용 억제가 기대됨.

제 5장 연구개발 성과 및 활용계획

1. 연구결과의 활용방안

본 과제의 연구결과인 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템의 적극적인 현장적용 활용을 위해서는 관련 레미콘과 관련된 법령인 국토해양부의 건설기술관리법, 지식경제부의 KS F 4009, 환경부의 수질환경보전법 시행규칙 등 대부분 육성정책보다는 규제를 강화하는 정책위주로 향후 개발이 되는 시점에서 본 과제를 통해 개발된 장비가 국가 육성정책과 맞물려 보편화되고 활성화 될 수 있는 정책적 뒷받침이 반드시 필요가 있음.

이를 위해서는 무엇보다도 한국산업표준인 레미콘의 생산규격과 원재료 관리, 시험 방법 등에 대하여 폭넓은 기준을 마련하고 있는 “KS F 4009 심사기준”에 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템의 사용을 권장하고, 건설기술관리법의 “레미콘·아스콘품질 관리지침”과 “레미콘 현장배치플랜트 설치 및 관리에 관한 지침”에서도 레미콘의 품질을 한 단계 상승시킬 수 있는 품질관리 자동화 시스템의 사용이 가능하도록 지침의 변경이 요구됨.

레미콘 산업의 품질관리 자동화 시스템의 개발을 통해 콘크리트 2차 제품(벽돌, 블록, ALC 등)생산 및 수질의 농도 측정관련 산업에 미치는 파급 효과가 있을 것으로 사료됨. 단, 레미콘 생산 품질관리 자동화시스템의 품질관리 매뉴얼의 작성을 위해서는 레미콘 생산과 관련된 한국레미콘공업협회 등 국내·외 협회 및 레미콘 업체와의 상호 긴밀한 연계·협력이 필요

2. 기대성과 및 파급효과

가. 기술적 측면

- 국내 유일의 장비개발을 통한 관련 기술의 리더적 위상 확보로 선진국의 기술 이전 기피현상 및 규제회피 극복
- 레미콘 세척폐수의 재 자원화, 레디믹스트 콘크리트 품질변동의 최소화, 불량 레미콘 생산 방지화 기술 확보
- 안정적 레미콘 생산 관리 시스템 구축으로 불량 레미콘 발생을 저감시키는 환경부하 저감형 녹색기술 확보(이산화탄소 발생량 143,411t 저감)
- 변동 재료에 적극적으로 대처할 수 있는 레미콘 품질 변동최소화 기술 확보
- 레미콘 배합설계 및 품질 조기판정시스템 기술 확보

나. 사회 경제적 측면

- 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템의 시장 창출
(국내시장: 408억원, 세계시장: 7,050억원)
- 국내외적으로 생산되고 있지 않은 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 개발로 1,276억원의 수출 효과 기대
- 레미콘의 친환경, 저탄소, 녹색성장의 시대적 역할에 부응하고, 환경부하를 저감시키는 안정적 레미콘 생산품질관리 자동화 시스템을 통한 약 319억원 규모의 생산성 향상(불량레미콘 발생으로 인한 생산성 저하 방지효과)
- 레미콘 품질 불량에 의한 철거비 등의 사회적 비용 절감
- 레미콘 조기품질에 영향을 미치는 레미콘 폐수의 품질확보로 부실공사 방지로 공급자와 사용자간의 불필요한 분쟁비용 절감
- 폐수로 분류되어 있는 레미콘 폐수의 효율적인 전량 사용으로 환경부하 저감 효과(64억원의 수돗물 대체 효과, 이산화탄소 감축량 5,385ton)
- 레미콘 품질의 안정성을 도모하여 공급자(레미콘), 시공자, 관리자간의 대외 신뢰도 향상

3. 연구결과의 활용계획

가. 연구성과

(1) 기술적 성과

- 특허

순번	출원/등록 구분	특허 명칭	출원일	출원번호
1	출원	에어미터에 의한 단위 공기량 측정을 이용한 생 콘크리트의 단위수량 측정방법	2010.10.21	2010-0102828
2	출원	다중 위상차 마이크로파를 이용한 농도 측정방법 및 장치	2010.10.25	2010-0103802
3	출원	다중 위상차 마이크로파를 이용한 수분량 측정방법 및 장치	2010.10.25	2010-0103803
4	출원	유도 인덕턴스를 이용한 콘크리트 회수수 농도측정기 및 이를 이용한 농도 측정방법	2011.10.24	2011-0108735
5	출원	생 콘크리트의 단위 공기량 측정을 이용한 단위수량측정방법	2011.10.24	2011-0108737
6	출원	정전용량장식이 추가된 생콘크리트의 단위 공기량 측정을 이용한 단위수량측정방법	2011.10.24	2011-0108738

(2) 학술적 성과

- 국내외 학술지 게재

순번	SCI(E)/일반학술지 구분	학술지명	논문제목	게제일
1	일반학술지	한국안전학회 KOSOS	마이크로웨이브를 이용한 콘크리트 잔골재 표면수율 측정 자동화	게제 예정

- 국내외 학술회의 발표

순번	국내/국외 구분	학술회의 명칭	학술회의 개최국명	발표일
1	국내	2010년 한국콘크리트 가을학술대회 (레미콘 단위수량 측정 시스템의 측정 품질의 안정성 평가)	한국	2010. 11. 5
2	국내	2011년 한국콘크리트 봄학술대회 (마이크로파를 이용한 표면수율 자동 측정시스템)	한국	2011. 5. 11

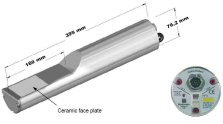
나. 활용계획

(1) 개발장비의 제작 및 설치비용

(단위 : 만원)

품 목		제작금액	설치금액	합계금액	비 고
① 회수수고형분 측정자동화	센서부	750	600	2,150	회수수 Tank 상부 B/P 공급 Line에 설치.
	제어부	800			
② 레미콘 단위수량 측정	디지털 에어메타, 측정 정밀저울, 분석 토트북	1,200	100	1,300	단품 납품이며 사용설명 시 반드시 현장방문
③ 잔골재 표면수율	센서부	800	500	1,900	현장의 B/P 골재호퍼 중 1개를 선택하여 설치.
	제어부	600			
④ 통합 품질관리 자동화 판넬	산업용 PC, 관리 Program 판넬 외함	600	100	700	레미콘 B/P 판넬과 연계하여 구성
전 체 합 계 비 용				6,050	①③↔④ 무선통신. ② 직접입력 사용

(2) 국내외 기존 장비들과의 비교자료

품 목	기존제품 모델 및 제조사	비 고
① 회수수고형분 측정 자동화	없 음	- Sample을 추출하여 측정하는 장비는 있으나 실시간으로 회수수의 고형분을 측정하는 장비는 없음.
② 레미콘 단위수량 측정	 W-checker(일본)	- 측정방법 : 단위용적 질량법 - 측정원리 : 이론 단위용적 질량과 콘크리트의 실측 단위용적 질량의 차이를 이용하여 단위수량 및 공기량 측정
	 HI-300(Kett)(일본)	- 측정방법 : 정전용량법 - 측정원리 : 고주파 주파수로 물질의 유전율과 수분량의 변화를 이용하여 단위수량 측정
③ 잔골재 표면수율	 Hydronix(영국)	- 측정원리 : 마이크로 웨이브식 센서를 사용하여 각 배치의 수분치를 측정
	 LIEBHERR(독일)	- 측정원리 : 고주파를 이용한 콘크리트내 수분 자동 측정
④ 통합 품질관리 자동화 판넬	없 음	- 레미콘 B/P 판넬의 프로그램에 일부 회수수고형분을 수기 입력하여 사용하는 경우는 있음.

(3) 활용대상 및 계획

품 목	요소기술의 상용화 대상, 형태	일 정
① 레미콘 단위수량 측정	· 질량과 공기량을 측정하여 단위용적 질량을 계산하여 단위수량을 측정 · KS규격 Air meter법에 의한 측정 · 수동 Pumping없이 Auto 공기유입 · IP LINE의 자동설정 · 분해능 0.1 kpa의 Air-meter와 1 g 의 Balance로 정확한 측정기술 · 공기량측정 시 주수법에 의한 불필요한 상부 캐핑작업	2011년 과제기간 중 개발 완료하여 2011년 10월부터 판매하였으며 2012년도에는 제품설명회, 전시회, 직접 영업을 통한 홍보로 하반기에는 많은 수요가 발생하리라 예상.
② 회수수 고형분 측정자동화	· 회수수의 실시간 측정 가능한 센서부(유도인덕턴스) 및 측정부 제작기술 · 유도전류에 의한 유도전압 신호에 따른	

	농도 연산계산식 도출 기술 (자속밀도의 변화는 Faraday 법칙에 의한 유도기전력 및 전류 발생) · 레미콘 생산 회수수의 재활용시 정확한 측정 가능한 표준화된 panel 제작 기술	2012년도 4월까지 test 및 6월까지 보완, 조치, 마무리하여 7~8월부터는 설치, 판매 가능하도록 상용화 계획이며 사용자로부터 구두주문을 받은 상태임. 2013년도에는 본격적인 홍보와 영업활동으로 많은 수효를 기대함.
③ 잔골재 표면수율	· 표면수율의 연산 모니터링 표시방법 및 측정기기 제작기술 · 현장설치(다양한 현장조건)에 따른 적용 방법 기술	
④ 레미콘 생산 품질관리 자동화 판넬	· B/P 출하판넬과 연동된 품질관리 자동화 표준판넬의 개발 및 현장적용 · 회수수에 따른 청수투입 Program 잔골재 표면수율 및 단위수량에 따른 배합비 Program 의 개발	

다. 참여기업의 현황분석

기업명	매출액	고용인	연구과제 결과물의 활용
대운계기산업(주)	38억	32인	· 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템의 보급 및 품질개선, 기술보완 · 현장 적용성 평가를 통한 시공/품질관리 시스템 매뉴얼 활용

라. 참여기업별 연계방안 및 추진전략

대운계기산업(주)는 레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템 개발의 공동연구기관으로서 참여하며, 회수수 고품분 측정 자동화, 레미콘 단위수량 측정 시스템, 잔골재 표면수율 측정 자동화 시스템 개발, 통합 품질관리 자동화 시스템 개발과 개발된 장비의 파일럿 테스트를 실시하고 최종시작품을 제작한다. 또한 품질관리 자동화 시스템 매뉴얼과 개발 장비 관련 특허도 출원한다.

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안								
			기업 활용	장비 활용	교육 연계	기술 상담	정보 제공	기술 지도	기술 이전	공동 연구	창업 지원
1	대운계기산업(주)	레미콘 생산 품질관리 자동화 시스템	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
합계			1	1	1	1	1	1		1	

제 6장 참고문헌

1. 한국 산업표준, KS F 4009(레디믹스트 콘크리트), 2003
2. 대한건축학회, 건축공사표준시방서, 2004
3. 일본건축학회, 건축공사표준시방서, 2003
4. 한천구, 슬러지의 효율적인 활용, 레미콘·아스콘·골재, 2002,10
5. 한국건설기술연구원, 레미콘 회수수 안정화 시스템의 성능평가 및 활용기반 구축, 2003
6. 문한영, 신승호, 최재진, 레드믹스트 콘크리트 공장에서 발생하는 폐수의 재활용에 관한 고찰, 한국레미콘 공업학회지, 제21호, 1989.
7. 송철영, 레미콘 회수수 이용에 대한 고찰, 제7회 레미콘 기술세미나, 한국레미콘공업협동조합, 1991.10, pp, 11~16
8. 엄태선, 유성원, 레미콘 폐수 슬러지의 재활용 연구, 제7회 레미콘 기술세미나, 한국레미콘 공업협동조합, 1991.10, pp, 17~22
9. 박귀동, 레미콘 공장 폐수 재활용 방안, 제7회 레미콘 기술세미나, 한국레미콘공업협동조합, 1991.10, pp, 23~48
10. 정웅선, 윤기원, 한천구, 반호용, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 기초적 연구 설문조사를 중심으로, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol.12, No. 1, 1992.4 pp.393~396
11. 윤기원, 류현기, 한천구, 반호용, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 기초적 연구 발생량 및 성분조사를 중심으로, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 13, No. 1, 1993.4, pp.409~412
12. 이상육, 김기철, 윤기원, 류현기, 한천구, 반호용, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 기초적 연구(I) 제1보 : 사용용수 및 슬러지 함유량 변화에 따른 모르타의 역학적 특성, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 13, No.1, 1993.4, pp.379~382
13. 김기철, 이상육, 윤기원, 류현기, 한천구, 반호용, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 기초적 연구(I) 제2보, 모르타 배합비 및 방치시간 변화에 따른 모르타의 역학적 특성, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 13, No.1, 1993.4, pp.383~386
14. 김기철, 이상육, 윤기원, 류현기, 한천구, 반호용, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 기초적 연구(I) 제3보, 사용용수 변화에 따른 모르타의 내구, 투수 및 열전도특성, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 13, No.2, 1993.4, pp.387~390
15. 한천구, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 기초적 연구(II) 제1보, 굳지않은 콘크리트의 성질, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 14, No.1, 1994.4, pp.535~538
16. 한천구, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 기초적 연구(II) 제2보, 경화 콘크리트의 역학적 특성, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 14, No.1,

1994.4, pp.539~542

17. 17. 한천구, 반호용, 류현기, 윤기원, 이상육, 김기철, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 연구(I) 회수수 이용도의 설문조사 및 발생된 회수수의 성상에 관하여, 한국레미콘공업협회, 통권 제37호, 1993.10, pp.31~38
18. 한천구, 반호용, 류현기, 윤기원, 이상육, 김기철, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 연구(II) 시멘트 모르타 적용실험을 중심으로, 한국레미콘공업협회, 통권 제38호, 1994.1, pp.41~52
19. 한천구, 반호용, 류현기, 윤기원, 이상육, 김기철, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 연구(III) 콘크리트 적용실험을 중심으로, 한국레미콘공업협회, 통권 제 38호, 1994.4 pp.30~39
20. 한천구, 회수수의 정의 및 굳지 않은 콘크리트의 품질에 미치는 영향, 레미콘·아스콘·골재, 2002,7
21. 한천구, 회수수가 경화 콘크리트의 품질에 미치는 영향 및 사용기준, 레미콘·아스콘·골재, 2002,8
22. 한천구, 레미콘 회수수 관련 설비관리, 레미콘·아스콘·골재, 2002,9
23. 정웅선, 레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 연구, 청주대학교 산업경영대학원, 석사학위논문, 1993.
24. 노재호, 이한봉 ; 레미콘 공장 회수수의 재활용, 한국레미콘 공업학회지, 1990.6, pp.54~65
25. 박기청, 레미콘 폐수 및 폐기물 처리시설 투자와 경제 효과, 한국레미콘 기술학회지, 제29호, 1991.
26. 김맹기, 레미콘 공장에 대한 세척수의 회수재이용 설비의 규정 및 해설(일본 콘크리트 회수수 연구위원회보고서), 1991, pp.36~71
27. 한국 레미콘 공업협회, 1991년도 레미콘 통계년보, 1992.
28. 최재진, 콘크리트 기술요점, 한국 레미콘 공업협회, 1990.
29. 최재진, 콘크리트 품질문제의 유형과 대책, 한국 레미콘 공업협회, 1988.
30. 김무한, 신현식, 김문한, 건축재료학, 문운당, 1991.
31. 일본 콘크리트 공학협회, 콘크리트 변형, 기술당, 1975.
32. 한천구, 레미콘 품질관리, 기문당, 2002
33. 한천구, 한민철, 기온과 콘크리트, 기문당, 2002
34. 김광화, 김기정, 이문환, 이세현, 한천구, 안정화제를 사용한 회수수의 고형분량 및 방치시간에 따른 시멘트 모르타의 특성, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 23, No. 2, 2003.10
35. 김기정, 김광화, 이문환, 이세현, 한천구, 회수수 안정화제를 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 23, No. 2, 2003.10
36. 김광화, 김기정, 이문환, 이세현, 한천구, 회수수 안정화제 종류 및 혼입율 변화에 따른 시멘트 모르타르의 특성, 한국콘크리트학회 학술발표논문집 제 15권 제 2호, 2003.11
37. 김호림, 우종완, 한민철, 류현기, 한천구, 회수수에 당류계 안정화제를 처리한 시멘트

- 모르터의 특성, 대한건축학회학술발표논문집, 제 24권 제 1호, pp243~246, 2004. 4. 24
38. 문학룡, 김호림, 우종완, 한민철, 한천구, 회수수에 처리되는 당류계 안정화제의 혼입을 변화가 콘크리트의 품질에 미치는 영향, 대한건축학회학술발표논문집, 제 24권 제 1호, pp247~250, 2004. 4. 24
 39. 김호림, 김경민, 우종완, 한민철, 한천구, 당류계 안정화제 종류 및 혼입율 변화에 따른 회수수사용 콘크리트의 품질특성, 한국콘크리트학회학술발표논문집, 제 16권 제 1호, pp.660~663, 2004. 5
 40. 김호림, 우종완, 한민철, 윤기원, 류현기, 한천구, W/C 및 당류계 안정화제 혼입율 변화에 따른 회수수 사용 콘크리트의 특성에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문, 제 24권 제 2호, pp.419~422, 2004. 10
 41. 우종완, 한천구, 회수수에 당류계 안정화제를 처리한 콘크리트의 특성에 관한 연구, 대한건축학회지회연합회논문집, 제 6권 제 4호, pp.77~84, 2004. 11
 42. 福島和將, 岡澤智, 大川裕, 安定化劑を添加したスラッジを用いたコンクリートの基本性状について(高性能AE減水劑を用した場合検討), 日本建築學會學術講演梗概集材料施工, 2000
 43. 日本コンクリート學協會, 回收水研究委員會報告書 - 生コンクリート工場における回收水 利用に關する研究, 1975.3
 44. 辻千宏 瀧田安浩, 井孝晏, 峯秀和, スラッジ水を用いたコンクリートに關する研究(その 6 構造体コンクリートへの適用), 日本建築學會學術講演梗概集 材料施工, 2000
 45. 신현목, 전찬기, 이수철, 콘크리트 품질의 조기 판정에 관한 연구(I), 대한토목학회 학술발표회 개요집, 1983
 46. 한천구, 반호용, pH-Meter에 의한 콘크리트 강도 조기판정에 관한 기초실험연구, 청주대학교 산업과학연구, Vol. 1 No. 1, 1983
 47. 한천구, 콘크리트 강도의 조기판정에 관한 연구, 충남대학교 대학원 박사학위논문, 1988
 48. 김광화, 김영득, 황인성, 한천구, 김광서, 단위수량이 콘크리트의 특성에 미치는 영향, 대한건축학회 추계학술발표논문집, 제22권 제2호, pp. 351~354, 2002. 10
 49. 한천구, 황인성, 김광서, 김영득, 단위수량이 굳지않은 콘크리트의 특성 및 내구성에 미치는 영향, 대한건축학회논문집, 제19권 4호, pp.129~136, 2003. 4
 50. 정재동, 굳지않은 콘크리트의 단위수량 시험법, 콘크리트 학회지 제 10권, 3호, 1998.
 51. 김영득, 문학룡, 황인성, 한천구, 김광서, 콘크리트의 단위수량 추정에 미치는 배합 및 혼화재료의 영향, 대한건축학회 추계학술발표논문집, 제22권 제2호, pp. 331~334, 2002.
 52. 김용로, 정양희, 최일호, 김효락, 이도범, 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기술 개발 및 활용 현황, 한국콘크리트학회지 제17권 제5호, 2005. 9, pp.58~64
 53. 김용로, 정양희, 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기술 현황 및 적용성 검토, 대림기술정보 2005년 가을호, pp.43~54
 54. 김용로, 정양희, 최일호, 이도범, 굳지 않은 콘크리트 단위수량 측정 기법의 정밀성에

- 관한 실험적 연구, 대한건축학회 2005년도 학술발표대회논문집, 2005. 10. pp.113~116
55. 김용로, 정양희, 최일호, 김효락, 이도범, 굳지 않은 콘크리트 단위수량 추정기법의 성능 검토에 관한 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2005. 11, pp.367~370
 56. 日本コンクリート工學協會, フレッシュコンクリートの單位水量迅速測定及び管理システム 調査研究委員會報告書, 2004. 6
 57. 日本建築學會 材料施工委員會 콘크리트試驗法小委員會, 콘크리트의試驗方法에關するシンポジウム報告集, 2003. 11
 58. 이도현, 콘크리트 품질 조기판정 방법의 동향, 한국콘크리트학회지 제10권 3호, 1998. 6, pp. 5~12
 59. ASTM C 1079-87 : Standard Test Methods for Determining the Water Content of Freshly Mixed Concrete
 60. 友澤 史紀ほか, 高周波加熱裝置を用いたフレッシュコンクリートの單位水量簡易迅速試驗法の開發, 日本建築學會構造系論文報告集, 第400号, 1989. 6, pp.1~7
 61. 豊福俊泰, フレッシュコンクリートの單位水量の早期迅速試験法に關する研究, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.11, No.1, 1989
 62. 小林 茂敏, フレッシュコンクリートの單位水量迅速判定法に關する實驗的検討, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.12, No.1, 1990
 63. 丸嶋紀夫ほか, 水中質量法によるフレッシュコンクリートの單位水量試験方法の研究, 日本建築學會學術講演梗概集, 1997. 9, pp. 619~620
 64. 江守 秀次, フレッシュコンクリートの單位水量迅速推定法に關する研究, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.19, No.1, 1997
 65. 田村 博ほか, RI水分計を用いたポンプ配管中のコンクリートの水量連續モニタリング, 日本コンクリート工學年次論文報告集, Vol.20, No.1, 1998, pp.125~130
 66. 丸嶋 紀夫, 水中質量法によるフレッシュコンクリートの單位水量試験方法, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.20. No.2, 1998
 67. 鬼頭 昌之, マイクロ波式オフライン水分計のフレッシュコンクリート單位水量管理への適用, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.20. No.2, 1998
 68. 増田隆ほか, ラジオアイソトープ水分計によるフレッシュコンクリートの單位水量の早期迅速試験法に關する研究, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.13, No.1, 1991
 69. 瀬古繁喜ほか, RI水分計によるフレッシュコンクリート中の單位水量測定に關する研究, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.19, No.1, 1997
 70. 若松岳ほか, 現場におけるフレッシュコンクリートの單位水量管理方法に關する提案, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.20, No.2, 1998
 71. 田中秀和ほか, 高温加熱による單位水量迅速判定方法の検討, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.20, No.2, 1998

72. 杵掛文夫 ほか, 静電容量型水分計によるフレッシュコンクリートの単位水量推定, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.20, No.2, 1998
73. 立松和彦 ほか, 實施工時におけるフレッシュコンクリートの単位水量管理結果およびその考察, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.21, No.2, 1999
74. 豊田千曉 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量推定方法, 日本建築學會年次大會梗概集, 2000. 9, pp.697~698
75. 湯淺昇 ほか, コアを用いたコンクリートの単位水量試験方法の検討, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.22, No.1, 2000
76. 瀬古繁喜 ほか, RI水分計による単位水量連續測定方法に関する検討, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.22, No.2, 2000
77. 片平 博, フレッシュコンクリートの単位水量迅速推定法の提案, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.22. No.1, 2000
78. 中村 博之, 減壓乾燥方法を用いたフレッシュコンクリートの単位水量・水セメント比の推定について, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.22. No.2, 2000
79. 辻本 一志 ほか, フレッシュコンクリートの高周波乾燥法による単位水量の迅速測定に関する基礎實驗, 日本建築學會學術講演梗概集, 2000. 9, pp. 141~142
80. コンクリート単位水量測定器・普及促進委員會: コンクリート単位水量測定器によるコンクリート水セメント比管理要領(案), 2001. 3
81. 千歩 修, 浜 幸雄 ほか, 静電容量式水分計によるフレッシュコンクリートの単位水量管理方法の検討, 日本コンクリート工學協會年次論文集, 2001, pp.331~336
82. 荒井 正直 ほか, RIコンクリート水分計による単位水量管理手法の現場適用例, 日本建築學會學術講演梗概集, 2001. 9, pp. 361~362
83. 加藤淳司 ほか, 高周波加熱乾燥法による単位水量推定値に及ぼすウェットスクリーニング手法の影響, 日本建築學會年次大會梗概集, 2002. 9, pp.949~950
84. 山田雅裕 ほか, フレッシュコンクリート中の単位水量推定方法に関する研究 その1.實驗概要および高周波加熱乾燥法におけるウェットスクリーニングによる影響, 日本建築學會年次大會梗概集, 2002. 9, pp.951~952
85. 川幡榮治 ほか, フレッシュコンクリート中の単位水量推定方法に関する研究 その2.中性子 水分計法に関する検討, 日本建築學會年次大會梗概集, 2002. 9, pp.953~954
86. 上西隆 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量測定方法に関する研究 その1 研究概要およびモルタル實驗の計畫, 日本建築學會年次大會梗概集, 2002. 9, pp.955~956
87. 藺井孫文 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量測定方法に関する研究 その2 モルタル 實驗の結果(結合水率), 日本建築學會年次大會梗概集, 2002. 9, pp.957~958
88. 山崎裕一 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量測定方法に関する研究 その3 モ

- ルタル実験の結果(単位水量測定誤差), 日本建築學會年次大會梗概集, 2002. 9, pp.959~960
89. 起橋孝徳 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量測定方法に関する研究 その4 コンクリートを対象とした単位水量測定実験, 日本建築學會年次大會梗概集, 2002. 9, pp.961~962
90. 平弘毅 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量測定方法に関する研究 その5 検証実験, 日本建築學會年次大會梗概集, 2002. 9, pp.963~964
91. 今本啓一 ほか, 高周波加熱乾燥法によるコンクリートの推定単位水量と耐久性状の關係に関する一検討, 日本建築學會年次大會梗概集, 2003. 9, pp.607~608
92. 菱沼頌夫 ほか, 中性子水分計を用いた単位水量測定法の開発 その1 測定の原理および基礎実験, 日本建築學會年次大會梗概集, 2003. 9, pp.609~610
93. 山田雅裕 ほか, 中性子水分計を用いた単位水量測定法の開発その2. 現場への適用性, 日本建築學會年次大會梗概集, 2003. 9, pp.611~612
94. 藺井孫文 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量測定試験の現場適用, 日本建築學會年次大會梗概集, 2003. 9, pp.615~616
95. 袴谷秀幸 ほか, 単位容積質量法による単位水量測定の測定精度に関する研究その1 実験概要 および試料採取の影響, 日本建築學會年次大會梗概集, 2003. 9, pp.617~618
96. 西山直洋 ほか, 単位容積質量法による単位水量測定の測定精度に関する研究 その2 調査条件 および経時変化の影響, 日本建築學會年次大會梗概集, 2003. 9, pp.619~620
97. 坂輝彦 ほか, 高周波加熱乾燥法を用いたフレッシュコンクリートの単位水量推定試験に関する実験ウェットスクリーニングを手ふるいとした場合, 日本建築學會年次大會梗概集, 2003. 9, pp.621~622
98. 渡辺 健 ほか, RI水分・密度計によるコンクリートの単位水量測定に関する基礎的研究, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.25, No.2, 2003
99. 山田 雅裕 ほか, 中性子水分計を用いたコンクリートの単位水量測定技術の検討, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.25, No.2, 2003
100. 和田高清 ほか, 単位容積質量法による単位水量測定の測定精度に関する研究 その3 試料採取方法による影響および現場適用の概要, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.249~250
101. 端直人 ほか, 単位容積質量法による単位水量測定の測定精度に関する研究 その4 現場適用時の品質管理結果, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.251~252
102. 松田拓 ほか, F_c100N/mm^2 クラスの高強度コンクリートの品質管理 その2:単位水量, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.517~518
103. 池永博威 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量共通試験 その1 実験概要, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.583~584

104. 今本啓一 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量共通試験 その2 各機器のポテンシャルと材料的誤差要因の影響評価, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004 . 9, pp.585~586
105. 荒井正直 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量共通試験 その3 室内練りコンクリート試験, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.587~588
106. 並木哲 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量共通試験 その4アジテータ車での測定, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.589~590
107. 谷口秀明 ほか, フレッシュコンクリートの単位水量の迅速測定における測定精度の検討, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.593~594
108. 立山創一 ほか, 静電容量法による単位水量の測定結果, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.595~596
109. 杉山英祐 ほか, エアメータによる単位水量推定法の超高强度コンクリートへの適用, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.597~598
110. 辻大二郎 ほか, 建築工事におけるラジオアイソトープ水分計による単位水量管理, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.599~600
111. 江口一之 ほか, 實施工に適用したエアメータ法と電子レンジ法による単位水量測定結果の比較, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.601~602
112. 高尾 昇 ほか, 高周波加熱法による迅速単位水量測定方法に関する一提案, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.26, No.1, 2004
113. 辻本 一志 ほか, 単位水量の迅速推定における試料のサンプリングの誤差及び偏りについて, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.26, No.1, 2004
114. 全國生コンクリート工業組合連合會, フレッシュコンクリートの単位水量迅速推定方法(高周波加熱法) ZKT-210, 2002
115. 片平 博 ほか, 国土交通省モデル工事における単位水量測定結果, フレッシュコンクリートの単位水量迅速測定及び管理システムに関するシンポジウム論文集, 2002. 12, pp.87~90
116. 瀬古 繁喜 ほか, 建設現場におけるラジオアイソトープ水分計による生コンの単位水量連続測定, 日本建築學會年次大會梗概集, 2002. 9, pp.965~966
117. 辻本 一志, 高周波加熱による単位水量迅速推定の信頼性について, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.25, No.2, 2003
118. 株式會社マルイ, 迅速生コンの単位水量計 W-Checker 技術資料, 2003. 11
119. 片平 博 ほか, エアメータ法による単位水量推定法の精度と現場測定結果, 第12回生コン技術大會研究發表論文集, 2003, pp.113~118
120. 長井 義徳 ほか, 濃度差法によるフレッシュコンクリート中の単位水量測定に関する

- 實驗, 日本建築學會年次大會梗概集, 2003. 9, pp.613~614
121. 日本國土交通省, レディミクストコンクリート單位水量測定要領(案), 2004. 3
122. 杉山雅 ほか, フレッシュコンクリートの單位水量の各種測定方法に関する比較實驗, 日本 建築學會年次大會梗概集, 2004. 9, pp.591~592
123. 後藤 年芳, 電量滴定式塩分計を用いた塩分濃度差法による單位水量測定方法と測定例, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.26, No.1, 2004
124. ケット科學, 生コン單位水量測定器 HI-300 技術資料, 2005. 6
125. M.C. Heaton, Removal of Effluent and Water Re-Cycling in Concrete Works, Advances on Ready Mixed Concrete Technology, Pergamon Press, 1976.
126. Florida Department of Transportation, Recycling Water in Ready-mixed Concrete Operation, 1999
127. A.M. Neville, Properties of Concrete, Third Edition, Pitman, 1981.7

[부록]

- 회수수 고품분 측정 시스템 매뉴얼
- 레미콘 단위수량 측정 시스템 매뉴얼
- 잔골재 표면수율 측정 시스템 매뉴얼
- 공인기관 성적서(레미콘 단위수량 품질시험)
- 기술실시계약 절차

1. 회수수 고품분 측정기 시스템 매뉴얼

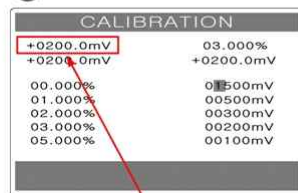
- 회수수 고품분 측정기 사용설명 및 교정절차 -

1) 준비물

- 시멘트 분말가루 준비
- 일반 수도 수 준비
- 저울 준비
- 측정 통 준비(원형통 30ℓ 이상 되는 용기)
- 수중 펌프 준비(1마력 이상되는 슬러지용 펌프)
- 교반기 준비
- 원형 막대봉 준비(두께가 5ℓ~10ℓ 이내 이며 길이가 대략 40cm 정도 되는 봉)

2) 실험을 위한 측정기의 교정 방법

- 교정시 기록해야 할 전압 값이 표시되는 위치입니다.
-  key를 누면 아래 화면으로 진입하게 됩니다.



교정시 기록해야 할 전압값

[제로교정]

- 측정통을 준비 한다.
- 측정통에 저울로 계량한 물을 채운다.
- 측정통에 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 측정통에 수중 펌프를 삽입하여 펌프를 작동 시킨다.
- 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 측정기 센서 홀더를 통해 물이 유입 되는지를 확인 한다.
- 센서 홀더로 물이 유입되고 약 5분 후에 측정기에서 지시하는 전압 값을 노트에 기록한다.

[스판교정]

- 제로교정을 제외하고 4단계의 스파를 설정하여 측정시의 오차를 줄일 수 있다.
- 스파 교정의 목표 값은 사용자가 측정기를 운용하고자하는 목표 값을 기준으로 상한 하한값 또는 최대 목표 값을 적절하게 구간을 정해 실행한다.

예) 측정기의 최대 목표값 20%

CALIBRATION	
+1000.0mV	10.000%
20.000%	00000mV
15.000%	00500mV
10.000%	01000mV
05.000%	01500mV
00.000%	02000mV

- 측정통을 준비 한다.
- 측정통에 저울로 계량한 물을 채운다.
- 측정통에 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 측정통에 수중 펌프를 삽입하여 펌프를 작동 시킨다.
- 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 물의 무게 대비 시멘트 분말 가루의 무게를 %로 계산하여 저울로 무게를 정량을 계량하여 측정통에 서서히 조금씩 투입한다.
- 측정기 센서 홀더를 통해 유입되는 교정 시료를 확인 한다.
- 원형 막대봉으로 투입한 시멘트 분말 가루가 묻치지 않도록 잘 저어준다.
- 센서 홀더로 교정시료가 유입되고 약 10분 후에 측정기에서 지시하는 전압 값을 노트에 기록 한다.
- 스파 교정의 4단계를 위 순서대로 반복하여 모든 교정을 실행하여 각각의 전압값과 교정목표 값을 노트에 기록한다.

3) 교정값을 측정기에 입력하기

- 교정 절차에서 얻어진 교정 목표값과 전압값을 아래의 교정 데이터 입력모드에 진입 후 노트에 기록된 자료를 입력한다.

CALIBRATION	
+1000.0mV	10.000%
20.000%	00000mV
15.000%	00500mV
10.000%	01000mV
05.000%	01500mV
00.000%	02000mV

교정 목표값 입력란

교정시 전압값 입력란

4) 검증 절차

[제로 측정값 확인]

- 측정통을 준비 한다.
- 측정통에 저울로 계량한 물을 채운다.
- 측정통에 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 측정통에 수중 펌프를 삽입하여 펌프를 작동 시킨다.
- 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 측정기 센서 홀더를 통해 물이 유입 되는지를 확인 한다.
- 센서 홀더로 물이 유입되고 약 5분 후에 측정기에서 지시하는 측정값을 확인한다.

[중간 50% 측정값 확인]

- 측정통을 준비 한다.
- 측정통에 저울로 계량한 물을 채운다.
- 측정통에 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 측정통에 수중 펌프를 삽입하여 펌프를 작동 시킨다.
- 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 물의 무게 대비 시멘트 분말 가루의 무게를 50%로 계산하여 저울로 무게를 정량을 계량하여 측정통에 서서히 조금씩 투입한다.
- 측정기 센서 홀더를 통해 유입되는 교정 시료를 확인 한다.
- 원형 막대봉으로 투입한 시멘트 분말 가루가 뭉치지 않도록 잘 저어준다.
- 센서 홀더로 교정시료가 유입되고 약 10분 후에 측정기에서 지시하는 측정값을 확인한다.
- 이때 측정기에서 지시하는 측정값이 목표값 대비 오차가 $\pm 5\%$ 이내여야 한다.

[최대값의 90% 측정값 확인]

- 측정통을 준비 한다.
- 측정통에 저울로 계량한 물을 채운다.
- 측정통에 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 측정통에 수중 펌프를 삽입하여 펌프를 작동 시킨다.
- 교반기를 장착하여 교반기를 작동 시킨다.
- 물의 무게 대비 시멘트 분말 가루의 무게를 90%로 계산하여 저울로 무게를 정량을 계량하여 측정통에 서서히 조금씩 투입한다.
- 측정기 센서 홀더를 통해 유입되는 교정 시료를 확인 한다.
- 원형 막대봉으로 투입한 시멘트 분말 가루가 뭉치지 않도록 잘 저어준다.
- 센서 홀더로 교정시료가 유입되고 약 10분 후에 측정기에서 지시하는 측정값을 확인한다.
- 이때 측정기에서 지시하는 측정값이 목표값 대비 오차가 $\pm 5\%$ 이내여야 한다.

5) 검증 결과

- 검증은 3점을 기준으로 실행하면 모든 결과의 오차값이 $\pm 5\%$ 이내여야 하면 그값을 지속적으로 유지해야 한다.

2. 레미콘 단위수량 측정 시스템 매뉴얼

단위수량 측정장치 사용설명

DS-1000W



배합등록하기(시방배합 입력)

1. 배합등록 탭에서 신규등록을 클릭합니다.
2. 사업장, 계약자, 공사명 배합번호를 입력합니다.
3. 배합표를 입력할 때에는 각각의 항목에서 마우스를 클릭하면 입력할 수 있습니다.
4. 배합은 시방배합을 입력합니다.
5. 입력이 끝나면 저장버튼을 누릅니다.

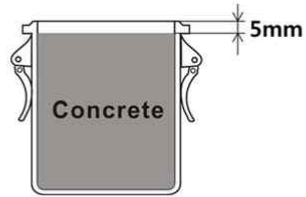
< 배합등록 화면 >

6. 저장된 항목은 리스트 맨위에 생성됩니다. 이부분을 더블 클릭하여 판정하면으로 불러옵니다.

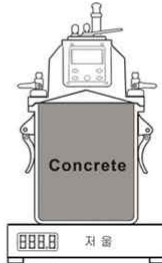
측정하기

1. 판정화면에서 슬럼프와 온도를 입력합니다.
(슬럼프와 온도는 측정치에 영향을 미치지 않지만 프린터 내용에는 표시됩니다.)

2. 하부용기에 콘크리트를 채웁니다. (채우는 방법 KS F 2421 참고)
콘크리트가 넘치지 않게 상면에서 5mm 정도 남기고 채웁니다.
그리고 상면 마감을 하지 않습니다.



3. 상부 덮개를 덮고 저울에 올립니다.
저울 수치가 안정되면 "용기+콘크리트"의 적용버튼을 누릅니다.

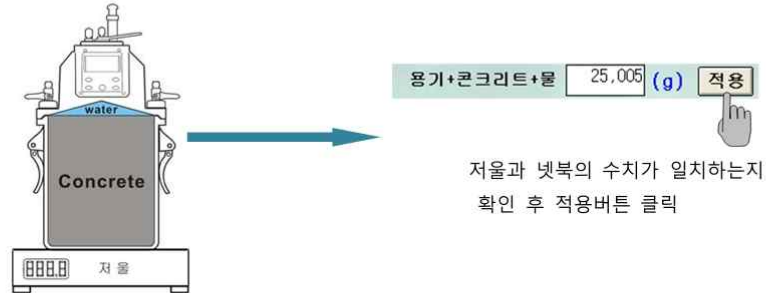


저울과 넷북의 수치가 일치하는지
확인 후 적용버튼 클릭

4. IN밸브에 급수 통을 꽂고 OUT밸브에 배수 튜브를 꽂습니다.
5. 비커를 이용해서 급수통에 물을 채워주세요.
주의: 물이 중간에 끊어지지않게 충분히 물을 채워주세요
6. 배수 밸브로 물이 나올 때 망치로 5회 부드럽게 두들겨 줍니다.
7. 급수통의 남아있는 물을 플라스틱 봉으로 막고 IN->OUT 순서로 밸브를 잠급니다.
8. 급수 통을 뺍니다.
9. 배수튜브를 뺍니다.



10. 에어미터에 묻은 물을 깨끗이 닦아준 다음 저울에 계량합니다.
11. 저울 수치가 안정되면 "용기+콘크리트+물"의 적용버튼을 누릅니다.



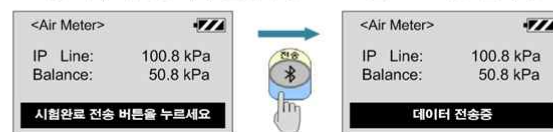
9. 에어미터 전원을 켭니다.
10. 유입버튼을 누르고 IP라인(초기압력)이 설정될때까지 기다려 주세요.
좀더 빨리 공기유입을 하고 싶다면 수동 펌프를 같이 사용해 주세요.
배터리 잔량이 없다면 유입버튼을 누르지 말고 수동펌프로만 공기유입을 해주세요.



11. IP Line이 설정되면 시험레바를 10초간 누르세요.



12. 시험이 완료되면 전송 버튼을 눌러주세요.
초기압력과 평형압력이 단위수량 프로그램으로 전송 됩니다.



13. 측정 버튼을 누르면 결과가 표시됩니다.
인쇄를 하려면 저장을 먼저 해야 합니다.
저장된 자료는 조회 탭에서 다시 볼 수 있습니다.



관리기준

(1) 단위수량 측정기의 허용오차범위

- 단위수량 측정기 자체의 정밀도는 $\pm 5\text{kg/m}^3$ 이하로 한다.

(2) 콘크리트 생산공정에서 단위수량 허용오차범위

- 재료 밀도 변화, 계량오차, 표면수 변동 등을 고려하여 생산공정에서 발생하는 단위수량의 최대 허용오차범위는 $\pm 15\text{kg/m}^3$ 이하로 한다.

(3) 단위수량 관리기준

- 측정기의 오차 및 생산공정에서 허용 변동폭을 고려하여 2 개 오차의 최대조건이 동시에 발생할 수 있는 확률은 적기 때문에 통계적으로 누적오차를 고려하면 다음과 같다.

$$S_a = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + \dots + S_n^2}$$

여기서, S_a : 누적오차, $S_1, \dots, S_n$: 각 변동요인에 따른 오차

따라서, 누적오차는

$$S_a = \sqrt{5^2 + 15^2} = \pm 15.8\text{kg/m}^3 = \pm 15\text{kg/m}^3$$

- 추정 단위수량이 $\pm 15\text{kg/m}^3$ 이하인 경우 콘크리트의 품질은 안정한 것으로 판단하고 구조물에 타설한다.

- 1 회 시험결과가 $\pm 15\text{kg/m}^3$ 을 넘고 $\pm 20\text{kg/m}^3$ 범위에 있는 경우에는 1 회에 한하여 재 시험할 수 있으며, 추정단위수량은 두개의 측정값중 작은 값으로 한다.

- 2 회 의 시험에도 불구하고 추정단위수량이 시험결과가 $\pm 15\text{kg/m}^3$ 을 넘고 $\pm 20\text{kg/m}^3$ 범위에 있는 경우에는 품질관리 담당자는 단위수량 변동원인을 조사하고 배치플랜트에 개선을 지시한다. 단, 당해 배치의 콘크리트 운반차는 구조물에 타설한다.

- 다만, 설계 단위수량에 대하여 $\pm 15\text{kg/m}^3$ 이하가 될 때까지 운반차 3 대마다 단위수량 추정시험을 실시한다.

- 추정 단위수량이 $\pm 20\text{kg/m}^3$ 를 넘는 경우 1 회에 한하여 재시험할 수 있으며, 추정단위 수량은 두개의 측정값 중 작은 값으로 한다.

- 2 회 시험에도 불구하고 추정단위수량이 $\pm 20\text{kg/m}^3$ 를 넘는 경우 당해 콘크리트는 폐기하고 품질관리 담당자는 단위수량 변동원인을 조사하고 배치플랜트에 개선을 지시한다.

- 다만, 매 운반차에 대하여 단위수량 시험을 실시하고 설계 단위수량에 대하여 $\pm 20\text{kg/m}^3$ 이하인 것을 확인하여 타설한다. 또한 설계단위 수량에 대하여 $\pm 15\text{kg/m}^3$ 이하가 될 때까지 운반차 3 대마다 단위수량 추정시험을 실시한다.

3. 잔골재 표면수율 측정 시스템 매뉴얼

- 잔골재 표면수율 측정기 사용설명 및 교정절차 -

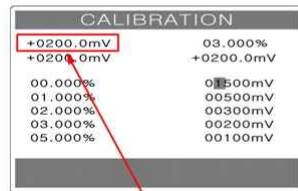
1) 준비물

- 완전 건조된 모래를 준비
- 일반 수도 수
- 저울
- 측정 통 (가로 세로 높이가 각각 300mm 정도 되는 용기)
- 작은 모종 삽.

2) 실험을 위한 측정기의 교정 방법

- 교정시 기록해야 할 전압 값이 표시되는 위치입니다.

-  key를 누면 아래 화면으로 진입하게 됩니다.



교정시 기록해야 할 전압값

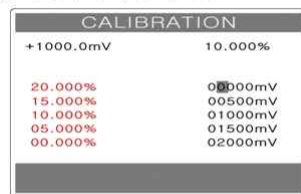
[제로교정]

- 물기가 없는 측정통을 준비 한다.
- 저울에 24시간 완전 건조된 모래의 무게를 측정하여 채운다.
- 모래가 들어있는 통에 센서를 수직을 기준으로 약 45° ~ 60° 로 센서를 눌러 삽입한다.
- 센서를 삽입한 후 약 5분 정도 시간이 경과한 후 측정기에서 지시하는 전압값을 노트에 기록한다.

[스판교정]

- 제로교정을 제외하고 4단계의 스팅을 설정하여 측정시의 오차를 줄일 수 있다.
- 스팅 교정의 목표 값은 사용자가 측정기를 운용하고자하는 목표 값을 기준으로 상한 하한값 또는 최대 목표 값을 적절하게 구간을 정해 실행한다.

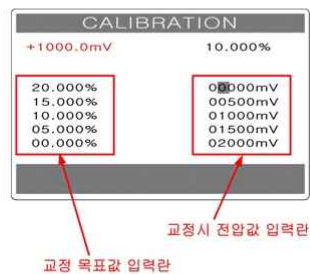
예) 측정기의 최대 목표값 20%



- 제로교정이 끝난 측정 통에서 센서를 분리한다.
- 측정통에 들어 있는 모래 무게 대비 % 비율로 물을 첨가한 후 삽을 이용하여 잘 섞어 준다.
- 약 10분 정도 수분이 안정되면 센서를 제로교정 때와 같이 수직을 기준으로 약 45°~ 60°로 센서를 눕혀 삽입한다.
- 센서를 삽입한 후 약 5분 정도 시간이 경과한 후 측정기에서 지시하는 전압 값과 교정 목표값을 노트에 기록한다.
- 스판 교정의 4단계를 위 순서대로 반복하여 모든 교정을 실행하여 각각의 전압값과 교정목표값을 노트에 기록한다.

3) 교정값을 측정기에 입력하기

- 교정 절차에서 얻어진 교정 목표값과 전압값을 아래의 교정 데이터 입력모드에 진입 후 노트에 기록된 자료를 입력한다.



4) 검증 절차

[제로 측정값 확인]

- 물기가 없는 측정통을 준비 한다.
- 저울에 24시간 완전 건조된 모래의 무게를 측정하여 채운다.
- 모래가 들어있는 통에 센서를 수직을 기준으로 약 45°~ 60°로 센서를 눕혀 삽입한다.
- 센서를 삽입한 후 약 5분 정도 시간이 경과한 후 측정기에서 지시하는 측정값을 확인한다.

[중간 50% 측정값 확인]

- 물기가 없는 측정통을 준비 한다.
- 저울에 24시간 완전 건조된 모래의 무게를 측정하여 채운다.
- 모래의 무게 대비 물을 10%를 첨가한 후 삽을 이용하여 잘 섞어 준다.
- 모래가 들어있는 통에 센서를 수직을 기준으로 약 45°~ 60°로 센서를 눕혀 삽입한다.
- 센서를 삽입한 후 약 10분 정도 시간이 경과한 후 측정기에서 지시하는 측정값을 확인한다.
- 이때 측정기에서 지시하는 측정값이 목표값 대비 오차가 $\pm 5\%$ 이내여야 한다.

[최대값의 90% 측정값 확인]

- 물기가 없는 측정통을 준비 한다.
- 저울에 24시간 완전 건조된 모래의 무게를 측정하여 채운다.
- 모래의 무게 대비 물을 90%를 첨가한 후 삽을 이용하여 잘 섞어 준다.
- 모래가 들어있는 통에 센서를 수직을 기준으로 약 45°~ 60°로 센서를 눌러 삽입한다.
- 센서를 삽입한 후 약 10분 정도 시간이 경과한 후 측정기에서 지시하는 측정값을 확인한다.
- 이때 측정기에서 지시하는 측정값이 목표값 대비 오차가 $\pm 5\%$ 이내여야 한다.

5) 검증 결과

- 검증은 3점을 기준으로 실행하면 모든 결과의 오차값이 $\pm 5\%$ 이내여야 하면 그값을 지속적으로 유지해야 한다.

4. 공인기관 성적서(레미콘 단위수량 품질시험)

품질시험 · 검사성적서

시 료 명 : 굵지얇은 콘크리트 단위수량 측정(Model : DS 1000W)

시험채취장소 : 공 련

성표이용목적 : 신축성 검증시험용

공 사 명 : 공 련

발 주 자 : 공 련

시 공 자 : 공 련

의 회 만 주 소 : 경기도 시흥시 죽간동 238-7 D.S.계측기술원

성 명 : 사 인 호

발 급 번 호 : KCQT2011 - 3582

합 수 일 자 : 2011년 07월 27일

귀하가 품질시험 · 검사 의뢰한 위 자료에 대하여는 아래 시험방법에 의하여 시험 · 검사한 결과를 다음과 같이 회신하오니 참고하시기 바랍니다.

시험 · 검사종목		단 위	시험 · 검사방법	시험 · 검사결과		
				설계수량	측정값	차 이
굵지얇은 콘크리트 단위수량	$f_{ck} : 27 \text{ MPa}$	kg/m^3	단위 유적질량법 (Model : DS 1000W)	156.0	156.2	+ 0.2
	$f_{ck} : 45 \text{ MPa}$			160.0	161.6	+ 1.6
	$f_{ck} : 4.5 \text{ MPa}$			150.0	152.3	+ 2.3
	소크리트 ($f_{ck} : 4.5 \text{ MPa}$)			216.0	214.8	- 1.2

- 계속 -

책임기술자 : 신 도 철

[감리감독·건축품질시험기술사, 자격증번호 99159050013M]

2011년 08월 02일

에스지에스건설시험연구원장

주 소 : 경기도 불암시 서한면 마두리 14-22

유의사항 : 책임기술자의 이름이 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

전화번호(031)869-0900

This document is issued by the Client's Laboratory. The Company makes no further commitment of Service provided product.

This document is issued by the Laboratory of Building Information and provides Service provided product.

This document is issued by the Laboratory of Building Information and provides Service provided product.

총 2 페이지 중 1 페이지

SGSPAPER

11556623

품질시험 · 검사성적서



SGS

< 콘크리트 배합표 >

배합구분	G _{max} (mm)	W/B (%)	S/a (%)	단위 재료 사용량 (kg/m ³)							Slump (mm)	Air (%)	단위 용적 량량 (kg/m ³)
				결합재 (B)		물 (W)	잔골재 (S)	굵은 골재 (G)	혼화재				
				시멘트	플라이 애시				A	B			
f _{ck} 27 MPa ^{※1)}	25	45	45	346	-	156	792	971	0.6	-	150	6.2	2,269
f _{ck} 45 MPa ^{※2)}	20	32	42	500	-	160	681	944	0.6	-	140	3.9	2,347
f _{ck} 4.5 MPa ^{※3)}	30	43	36	280	70	150	629	1122	0.3	0.005	40	4.7	2,312
웃크리트 ^{※4)}	10	45	65	490	-	216	1046	570	0.8	-	95	4.7	2,250

- ※ 주 1) 사용 혼화재 : 고성능 AE감수제 (폴리카르복산계), 결합재 x 0.6%(용량부)
- ※ 주 2) 사용 혼화재 : 고성능 AE감수제 (폴리카르복산계), 결합재 x 0.6%(용량부)
- ※ 주 3) 사용 혼화재 : 고성능 AE감수제 (폴리카르복산계), 결합재 x 0.3%(용량부), AE제(비축재) x 0.005%
- ※ 주 4) 사용 혼화재 : 고성능 유동화제 (나프탈렌계), 결합재 x 0.8%(용량부)
- ※ 배합계산 적용 용적 : 1층(f_{ck} 27MPa), 고강도(f_{ck} 45 MPa), 도랑 콘크리트(f_{ck} 4.5 MPa)=940 l, 웃크리트 : 985 l 적용
- ※ 사용재료별 적용 밀도값

물	잔골재	굵은골재 (10mm)	굵은골재 (20mm)	굵은골재 (25mm)	굵은골재 (30mm)	보통시멘트	플라이애시 (Type 2용)
1.00	2.61	2.64	2.62	2.62	2.62	3.15	2.20

시료 채취자 : 공 한
시료채취일자 : 공 한

- 공 -

이 시험 · 결과는 당초 의뢰서 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.



This document is issued on the basis of data supplied by the Client and is not to be used for any other purpose without the prior written consent of the Client. The Client is responsible for the accuracy of the data supplied and for the validity of the results.

This document is not to be used for any other purpose without the prior written consent of the Client. The Client is responsible for the accuracy of the data supplied and for the validity of the results. The Client is responsible for the accuracy of the data supplied and for the validity of the results.

총 2 페이지 중 2 페이지

SGSPAPER
11556624



5. 기술실시계약 절차

1) 고정기술료

■ 징수방법 및 절차



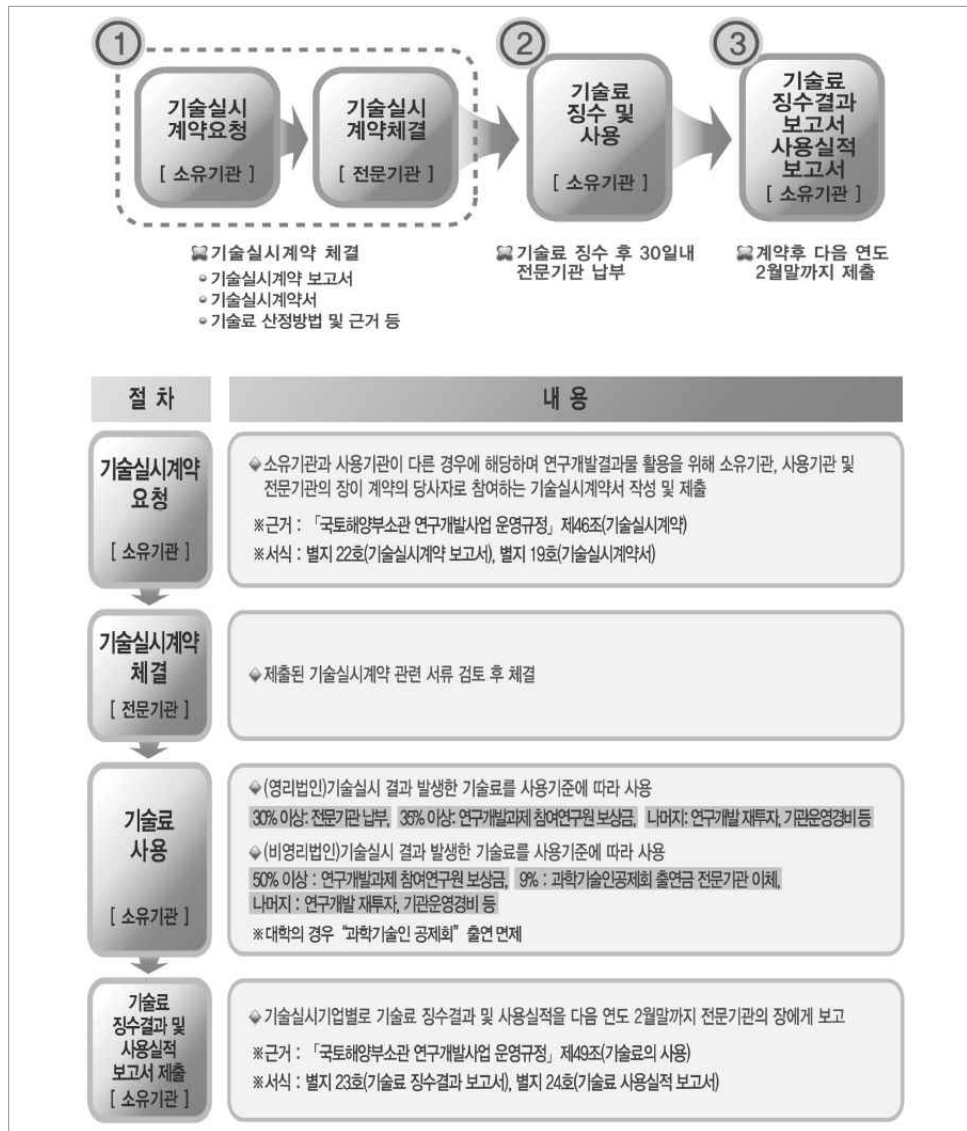
■ 관련서류

기술실시계약 관련 서식은 기본적으로 국토해양기술 연구개발사업 관리지침의 표준서식에 따라 작성한다.

구 분		서 식
감면신청	중소기업 사용	- 기술료 감면 신청서(별지 25호) - 기술료 감면 의견서 - 중소기업 확인서(기술 사용기관 기준) - 기술료 산정방법 및 근거(별도 서식 없음) - 이전대상 기술의 소유를 증빙할 수 있는 서류(특허출원 또는 등록증 등)
	조기납부	- 기술료 감면 신청서(별지 25호) - 기술료 감면 의견서 - 기술실시계약 체결 서류
계약체결		- 기술실시 계약 보고서(별지 22호) - 기술실시 계약서(별지 19호) - 기술료 산정방법 및 근거(별도 서식 없음) - 이전대상 기술의 소유를 증빙할 수 있는 서류(특허출원 또는 등록증 등)

2) 경상기술료 또는 혼합기술료

■ 징수방법 및 절차



■ 관련서류

기술실시계약 관련 서식은 기본적으로 국토해양기술 연구개발사업 관리지침의 표준서식을 활용하여 작성한다.

구 분	서 식
계약체결	- 기술실시 계약 보고서(별지 22호) - 기술실시 계약서(별지 19호) - 기술료 산정방법 및 근거(별도 서식 없음) - 이전대상 기술의 소유를 증빙할 수 있는 서류(특허출원 또는 등록증 등)

※ 관련 문의: 한국건설생활환경시험연구원(KCL) 선행기술팀 이봉춘 02-2102-2762