

14CTAP
-C0788
57-01

혼화재를 혼입한 콘크리트의 수화가스 발생특성과 예측
및 모델화를 통한 유해성 평가에 관한 연구

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원
부

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001583-01

국토교통기술촉진연구사업

14CTAP-C078857-01

혼화재를 혼입한 콘크리트의 수화가스
발생특성과 예측 및 모델화를 통한 유해성
평가에 관한 연구
최종보고서

2016. 10. 12

주관연구기관 / 전북대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개 하여서는 아니됩니다.

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 “혼화재를 혼입한 콘크리트의 수화가스 발생특성과 예측 및 모델화를 통한 유해성 평가에 관한 연구”과제의 보고서로 제출합니다.

2016 . 7 .

주관연구기관명 : 전북대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 장 홍 석

연구원 : 소 승 영

" : 이 말 례

" : 임 용 택

" : 이 보 람

" : 김 종 원

" : 형 수 예

" : 진 태 민

보고서 요약서

과제고유번호	14CTAP-C 078857-01	해 당 단 계 연 구 기 간	14.08.27 ~ 16.08.26	단 계 구 분	14.08.27 ~ 16.08.26
연 구 사 업 명	국토교통기술촉진연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	혼화재를 혼입한 콘크리트의 수화가스 발생특성과 예측 및 모델화를 통한 유해성 평가			
	단위과제명				
연 구 책 임 자	장홍석	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 8 명 내부 : 8 명	총연구비	정부:100,000천원 계 :100,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	전북대학교 산학협력단		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	84
본 연구는 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 수화과정에서 방출되는 가스의 분석프로 세서 구성 및 재령별 그 방출 특성을 분석하며, 그 분석 데이터를 컴퓨터 및 소프트 웨어공학과 연계하여 Artificial Neural Network 알고리즘 모델에 적용 및 평가분석 한 종합적 연구임. 특히, 콘크리트 수화가스 분석 프로세서 적립과 분석, 각종 혼화 재료의 재료혼입별, 재령별 가스종류 및 발생량 평가, 다양한 변수와 수화가스 발생 특성 관계 S/W 적용 및 평가모델 도출, 재료화학 및 병리학적 자료를 통한 모델의 유해성 실태 평가 등의 연구수행을 통하여 혼화재료의 혼입에 따른 수화가스 특성, Artificial Neural Network 모델을 활용한 평가 등을 진행하였음. 본 연구를 통하여 혼화재를 혼입한 다양한 콘크리트에서 발생하는 암모니아, 휘발성유기화합물, 라돈 등의 분석 프로세서를 적립하였고 수화가스 발생량을 측정하여 ANN 모델의 다양 한 알고리즘에 적용하여 평가 분석 결론을 도출하였음. 이는 콘크리트 실내 환경 개선 분야의 선도적인 연구 성과로 기대되며, 콘크리트 수화가스의 인체에 대한 영 향을 재료화학 및 병리학적 자료를 근거로 유해성 실태 평가를 통하여 콘크리트 제 품에 대한 환경적 기준을 제시함과 동시에 주거환경 개선과 국민 건강 확보에 기여 하고자 할 수 있을 것으로 기대됨.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	콘크리트 수화가스, 실내공기, 혼화재료, 평가 및 모델링,유해성			
	영 어	Concrete hydration gas, Indoor air, Admixture, Assessment and Modeling, Risk			

요 약 문

I. 제 목

혼화재를 혼입한 콘크리트의 수화가스 발생특성과 예측 및 모델화를 통한 유해성 평가

II. 연구개발과제 개요(목적, 필요성, 범위 등을 기술)

- 연구목적

본 연구는 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 수화과정에서 방출되는 가스의 분석프로세서 구성 및 재령별 그 방출 특성을 분석하며, 그 분석 데이터를 컴퓨터 및 소프트웨어공학과 연계하여 Artificial Neural Network 알고리즘 모델에 적용 및 평가분석 한 종합적 연구임.

- 연구의 필요성

콘크리트의 강도증진과 내구성 향상 및 유동성 개선을 위해 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 사용량이 급증하고 있으나 이를 혼입한 콘크리트가 실내 거주 환경에 미치는 영향과 이에 관한 연구는 거의 전무한 실정임. 이는 콘크리트를 연구하는 대부분의 연구자들이 콘크리트의 재료적 특성에 주된 관심을 보이고, 환경에 미치는 영향은 화학, 환경학 등과 학문적 경계에 있어 큰 관심을 두지 않기 때문이며. 국내에서는 시멘트 제조과정 중에 사용한 폐기물의 사용량 증가에 따른 콘크리트 내 6가크롬 생성과 방출에 대한 연구보고와 언론에 의한 특집 방송이 있었지만, 더 시급한 방출 가스에 대한 연구는 전혀 이뤄지지 않고 있음. 콘크리트는 시멘트와 골재를 물로 혼합한 것으로 단순히 설명 되지만 현대의 콘크리트는 성능개선을 위해 많은 혼화재료를 사용하고 있기 때문에 각종 혼화재료가 콘크리트 수화 과정 또는 경화 후에 발생하는 특징과 이의 평가에 대한 연구가 시급함.

- 연구의 범위

콘크리트 수화가스 분석 프로세서 적립과 분석, 각종 혼화재료의 재료혼입별, 재령별 가스종류 및 발생량 평가, 다양한 변수와 수화가스 발생특성 관계 S/W 적용 및 평가 모델 도출, 재료화학 및 병리학적 자료를 통한 평가모델의 유해성 실태 평가 등의 연구수행을 통하여 혼화재료의 혼입에 따른 수화가스 특성, Artificial Neural Network 모델을 활용한 평가 등을 연구 범위로 함.

III. 연구개발 수행내용 및 결과(연구수행과정, 연구수행결과 등을 기술)

- 콘크리트 수화가스 분석 프로세서 적립
 - 시멘트 수화과정 중 발생하는 NH_3 분석에 가장 적합한 방법 선별
 - GC/MS를 활용한 시멘트 수화과정 중의 VOCs 분석 프로세서 정착
- 각종 혼화재료의 재료혼입별, 재령별 가스종류 및 발생량 평가
 - 혼화재료의 혼입률에 따른 재령별 암모니아 가스 분석
 - 혼화재료의 혼입률에 따른 재령별 라돈 가스 분석
 - 혼화재료의 혼입률에 따른 VOCs 정성분석
- 다양한 변수와 수화가스 발생특성 관계 S/W 적용 및 평가모델 도출
 - 재령별 수화가스 발생 특성 분석
 - 발생 가스별 및 변수에 따른 데이터 Sorting
 - 재령별 수화가스 발생 특성 분석 및 Algorithm 적용
- 재료화학 및 병리학적 자료를 통한 모델의 유해성 실태 평가
 - 분석결과 및 모델화 결과 값과 MSDS, 재료화학 및 병리학적 자료를 근거로 한 유해성 실태 평가

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

본 연구를 통하여 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 수화과정에서 발생하는 각종 수화가스는 주 사용 재료인 골재와 혼화재(Fly ash, 고로슬래그 미분말) 등의 종류와 혼입량에 따라 그 발생과 이를 통한 ANN 모델 알고리즘 적용 및 그 결과를 분석 평가하였음. 또한 이를 국제학술지 게재 및 소프트웨어 등록을 통하여 입증함.

- **국내 학술발표대회**
 - 2014 한국콘크리트학회 가을학술발표 : 콘크리트에서 발생하는 암모니아 측정프로세서
- **국제 학술발표대회**
 - 2014 International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment : Use of artificial neural network for the simulation of radon emission concentration of granulated blast furnace slag mortar
 - The 13th international nanotech symposium & Nano-convergence expo : Use of artificial neural network for the simulation of color expression of black mortar using carbon and pigment

- 2015 International Environmental Engineering Conference : Emission characteristic of ammonia in cement mortars using different sand from area of production
- International conference on Advanced Materials : A study of the simulation of radon emission concentration of fly ash mortar using artificial neural network

- 소프트웨어

- ANN OSS 알고리즘을 활용한 고로슬래그 모르타르의 암모니아가스 발생특성 평가모델
- ANN LM 알고리즘을 활용한 고로슬래그 모르타르의 암모니아가스 발생특성 평가모델

- 국제학술지논문(SCI 급)

- Journal of Nanoscience and Nanotechnology (2016, Vol 16, 5268-5273) : Use of artificial neural network for the simulation of radon emission concentration of granulated blast furnace slag mortar
- Journal of Nanoscience and Nanotechnology (2015, Vol 15, 9110-9115) : A study on the properties of carbon black mortar using granulated blast furnace slag and polymer
- Environmental Engineering Research (2016, 4/8 Accepted) : Emission characteristic of ammonia in cement mortars using different sand from area of production

V. 연구목표 달성 및 효과

목 표	내 용
시멘트 콘크리트의 수화가스 분석프로세서 적립	기존 실내공기질 평가방법을 기초로한 시멘트 콘크리트 수화가스만을 위한 분석 프로세서 적립함
각종 혼화재료의 재료혼입별, 재령별 가스종류 및 발생량 평가	다양한 혼화재료의 혼입종류 및 혼입량에 따른 수화가스 DB 구축
다양한 변수와 수화가스 발생특성 관계 S/W 적용 및 모델 도출	MATLAB 프로그램을 활용한 다양한 Algorism 적용 및 평가모델 제시
재료화학 및 병리학적 자료를 통한 유해성 실태 평가	수화가스에 종류에 따른 유해성 도출

콘크리트로부터 방출되는 수화가스에 대한 유해성 평가는 국내 레미콘 산업의 제조 공정에 영향을 미칠 수 있어 파급효과가 클 것으로 예상됨. 콘크리트 제조시 사용되는 각종 혼화재료의 개발과 연구방향에 새로운 이정표를 제시할 수도 있으며 실내공기질과 관련하면 본 연구결과는 콘크리트 수화가스로부터 자유로운 아파트 거주 문화의 새로운 트렌드를 제시 할 수 있으며, 건설업체의 새로운 마케팅 대안으로 활용할 수 있을 뿐 아니라, 유해성을 저감시킬 수 있는 천연, 인공 마감재의 개발도 촉진 시킬 수 있음. 또한 콘크리트로부터 방출되는 수화가스의 실내 최소 노출 및 허용치를 추정함으로써 콘크리트 건축물에서 생활하는 대다수 국민의 건강증진과 개선을 통해 국민의 의료비 부담을 줄일 수 있을 것으로 예상되며 국민 건강이라는 국가 내부역량의 보존에 기여할 경우 국가 경쟁력 향상과 국민의 삶의 질 향상에도 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단됨.

VI. 연구성과 활용계획

현재까지 콘크리트에 대한 연구의 방향은 콘크리트를 더욱 많이 활용하기 위한 공학적 특성 및 내구성 증진 등을 위한 것들이 대부분 이었으나, 본 연구는 기존의 콘크리트의 물성확보와 경제성을 위한 연구가 아닌 국민의 삶의 질 향상과 국민 건강 보건 증진을 목적으로 한 콘크리트 실내 환경 개선 분야의 선도적인 연구 성과로 활용이 기대됨.

- 각종 혼화재료(고로슬래그 미분말, Fly ash 등)의 혼입별, 재령별 가스발생 특성을 분석하여 콘크리트 건축물에서 발생 가능한 재령별 수화가스 예측과 방출량 추정으로 재실자의 건강을 위한 실내 환기량 산출, 건설노무자의 재령별 최소노출 및 허용치 기준설정 등의 기준 설립에 적극 활용
- 혼화재 종류에 따른 수화가스 방출 특성분석을 바탕으로 각종 전처리 방법을 통한 수화가스 저감 대안제시가 가능 할 것으로 기대되며, 이로 인한 재실자의 건강향상과 국민 의료비 부담 절감에 기여 가능 할 것으로 기대됨. 또한 이를 활용한 청정콘크리트 개발 및 관련분야의 사업 확장을 통한 경제 산업적 파급효과가 있을 것으로 판단됨.
- 본 연구는 콘크리트의 화학적 분석뿐만 아니라 실내공기질 분야와 관련이 있으므로 콘크리트 공학과 시멘트 화학 및 환경 등 그동안 재료특성에 한정되어 왔던 건축재료 분야의 연구를 다른 분야와 복합적으로 고려하여 경계학문 영역을 뛰어 넘을 수 있는 연구이며 또한 얻어진 결과로 타 연구 분야에서의 활용이 충분히 가능할 것으로 기대됨.

SUMMARY

In this study, the processor of gas analysis were configured using Air Pollution Process Test Method to conduct the qualitative and quantitative analysis of gas which occurs in the admixture aided concrete. This paper is to evaluate hydration gas concentrations emitted from cement mortar using admixture for continuous monitoring of indoor air quality. Also, to analysis the concentration of admixture, an Artificial Neural Network model is constructed in MATLAB algorism programming environment. ANNs are considered to be one of the intelligent tools and the main characteristics of them are that they have the ability to learn complex nonlinear input - output relationships, use sequential training procedures, and adapt themselves to the data. The data used in the ANN model are arranged in a format of two input parameters that cover the cement, admixture and age of samples and, an output parameter which is concentrations of hydration gas emission of specimen. This result Expect leading study to improve the environment of inner space in concrete buildings. and expect new area of study that is carried out by cooperation work with many parts.

CONTENTS

Chapter 1. introduction -----	1
1. The objective and necessity -----	1
2. The contents and scope -----	3
3. Domestic and Foreign R&D Status -----	4
4. Excellence of research and development results -----	8
 Chapter 2. The R&D processing contents and Results -----	10
1. Research carried out strategy and methodology -----	10
2. Research conducted courses and contents -----	10
 Chapter 3. The final results of research and application performance ---	71
 Chapter 4. Research objectives and effects -----	80
1. Achieve the final goal -----	80
2. Technical analysis of the effect -----	80
3. Economic Impact Analysis of the effect -----	80
4. Workforce effectiveness analysis of the effect -----	81
 Chapter 5. Application plan in R&D results -----	82
 References	

목 차

제1장 연구개발과제 개요-----	1
1. 연구개발의 목적 및 필요성-----	1
2. 연구개발의 범위, 특징-----	3
3. 관련분야의 국내외 기술개발 현황-----	4
4. 연구개발결과의 우수성 -----	8
제2장 연구개발 수행 내용 및 결과-----	10
1. 연구수행 전략 및 방법론 -----	10
2. 연구수행과정 및 내용-----	10
제3장 최종 연구성과 및 적용실적-----	71
제4장 연구목표 달성 및 효과-----	80
1. 연구개발 최종목표 달성도 -----	80
2. 연구개발 성과의 기술적 효과분석-----	80
3. 연구개발 성과의 경제적 효과분석-----	80
4. 연구개발 성과의 인력양식 효과분석-----	81
제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 -----	82

참고문헌(보고서 작성시 인용된 모든 참고 문헌을 열거)

제1장 연구개발과제 개요

1. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구의 최종 목표는 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 수화과정에서 방출되는 가스의 특성 분석 및 메커니즘 규명과 그 분석 데이터를 컴퓨터 및 소프트웨어공학과 연계하여 실제적인 가스방출 평가 모델화 개발 등을 통한 종합적 평가임. 특히, 이러한 평가 결과 및 모델을 바탕으로 콘크리트 수화가스의 인체에 대한 영향을 재료화학 및 병리학적 자료를 근거로 유해성 실태 평가를 통하여 콘크리트 제품에 대한 환경적 기준을 제시함과 동시에 주거환경 개선과 국민 건강 확보에 기여하고자 함.

최근 새집증후군과 같은 실내공기질에 관심이 높아지면서 건축마감재료가 실내 거주 환경에 미치는 영향에 대한 관심이 높아지고 있고 현대인의 경우 인공적 환경인 건축물 실내에서 생활하는 시간이 전체의 80% 이상이어서 오염물질이 제거 또는 희석되지 못하고 실내에 점차적으로 누적될 경우 재실자의 건강에 직접적인 큰 영향을 받게 됨. 이 때문에 최근 환경부에서는 “다중이용시설 등의 실내 공기질관리법”을 제정하고 2004년 5월부터 지하역사, 터미널, 도서관, 박물관, 의료시설 및 공동주택의 실내공기질을 관리를 하고 있다. 이에 따라 미세먼지, 라돈, 오존과 포름알데히드 및 휘발성 유기화합물 등에 대한 규제치가 제정되고 각종 건축재료에 대한 친환경 인증 실시로 건축 마감재를 친환경 제품으로 제조하기 위한 연구가 활발해 지고 있음.

그러나 건축물을 구축할 때 가장 많이 사용되는 콘크리트가 실내 거주 환경에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있으며 이에 대한 유해성 평가도 이루어지지 않고 있음. 이는 현재까지 콘크리트를 대체할만한 소재가 개발되지 않았을 뿐 아니라 향후 상당기간 콘크리트 사용량이 더욱 증가할 것으로 예상되는 등 건축물의 구조재료로 사용되는 콘크리트는 안전이 검증된 가장 기본적인 건축재료로 인식되어 왔기 때문이며, 지금껏 콘크리트에 관련한 연구가 대부분 강도증진, 시공성향상 등 재료의 물리적 특성에 주된 관심을 보여 왔고, 환경에 미치는 영향은 큰 관심을 두지 않았기 때문으로 판단됨.

하지만, 현재 국내인구의 60%이상이 콘크리트로 건축된 공동주택에 살고 있는 현실을 감안할 때 최근 현대인들의 생활수준 및 의식수준의 향상과 더불어 건강에 대한 새로운 요구증가로 생활환경과 밀접한 실내마감재료 이외의 콘크리트에 대한 관심이 높아졌으며, 시멘트를 기반으로 한 각종 콘크리트 환경에 대한 정성·정량적인 평가가 요구되고 있음. 이러한 배경을 바탕으로 시멘트 콘크리트에서 발생하는 각종 수화가스 특성과 재령별 가스방출 평가모델에 관한 연구의 필요성 및 중요성을 아래와 같이 요약함.

첫째, 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 수화과정에서 발생하는 수화가스에 대한 객관적 분석과 재령에 따른 발생량 등에 관한 그동안 어떠한 평가도 이루어지지

않았음. 시멘트는 물과 반응하는 수화반응을 통해 콘크리트와 같은 경화체를 이루는데 이러한 수화반응은 지속적으로 진행되며, 시멘트를 이루는 화합물들이 복잡한 화학반응을 통해 125cal/g을 방출하는 대표적인 발열반응임. 시멘트 수화반응시 열과 함께 많은 가스 생성물도 방출되어 콘크리트 특유의 냄새를 발생시키며, 이러한 가스와 냄새를 체험한 사람들에 의해 방출 가스를 시멘트 독 등으로 묘사하고 있으나 기술적인 어려움과 콘크리트에 대한 과도한 신뢰 등으로 아직까지 구체적으로 시멘트 수화과정 및 콘크리트에서의 방출 가스의 메커니즘규명과 그 발생량에 관한 결과는 보고되지 않았음.

둘째, 국내의 경우 원자재 및 유가상승으로 인하여 국내 대부분의 시멘트업계는 기존의 시멘트 원료나 연료를 대체하여 폐기물 사용을 확대하고 있으며, 1999년 환경부가 시멘트 소성로를 '소각시설'로 인정한 이후 제철소의 폐주물사, 제련 부산물인 슬래그, 하수 및 정수 슬러지 및 각종 소각재 등을 시멘트 원료로 사용하고 있는 실정임. 또한, 원료 명목으로 점토와 규석을 대신하여 들어가는 산업쓰레기이외에 폐타이어, 폐전선, 폐고무, 우레탄 등 생활주변에 발생하는 거의 모든 쓰레기들 또한 소성로의 연료로 사용하여 국내 시멘트 업체의 폐기물 재활용량은 지속적으로 증가하고 있는 추세임. 시멘트업계에서는 치밀한 관리과정을 거쳐 폐기물을 사용함으로써 일정한 품질의 시멘트를 생산하고 있고, 1,200℃ 이상의 소성로를 통과하기 때문에 거의 대부분의 폐기물이 분해 또는 산화되어 다이옥신 류 등의 유해물질이 발생되지 않는다고 하나 콘크리트제조 시 시멘트의 수화과정에서 발생할 수 있는 수화가스 및 그 유해성평가에 대한 어떠한 연구결과도 보고되지 않고 있음.

셋째, 최근 혼화재료들을 이용하여 시멘트 생산에 따른 환경부하의 감소를 목적으로 저탄소 생산과 경제성 향상을 위해 콘크리트에 혼화재료의 사용이 더욱 증가할 것으로 예상되고 있음. 즉, 콘크리트의 강도증진과 내구성 향상 및 유동성 개선을 위해 산업부산물인 플라이애시와 고로슬래그 미분말 등의 사용량이 급증하고 있으나, 이를 혼입한 모르타르 및 콘크리트에서 발생하는 각종 수화가스 및 실내 거주 환경에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 전무한 실정임.

넷째, 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 수화과정에서 발생하는 각종가스의 특성 규명과 함께 발생 수화가스에 대한 객관적인 정량분석과 평가모델 제시에 관한 연구가 진행되어야 함. 그러나 학제간 공동연구 진행의 어려움 등으로 국·내외적으로 콘크리트 수화가스에 대한 모델 평가에 관한 연구는 전무한 실정이며, 콘크리트 재료적 특성에 대한 재령별 객관적 가스방출 평가와 이에 대한 각종 시뮬레이션 및 프로그램을 통하여 시멘트 콘크리트 수화가스 발생에 대한 종합적이고 객관적인 연구가 시급함.

다섯째, 콘크리트에서 발생하는 각종 수화가스의 특성 규명과 이에 대한 방출 특성과 그 발생량 평가하여 주거환경 개선과 국민 건강 확보에 기여함이 시급함.

이에 본 연구는 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 수화과정에서 방출되는 가스의 특성 분석 및 메커니즘 규명과 그 분석 데이터를 컴퓨터 및 소프트웨어공학과 연계하여 실제적인 가스방출 평가와 모델화 등을 통하여 종합적으로 평가하고자 하였음. 또한 이러한 평가 결과를 바탕으로 콘크리트 수화가스의 인체에 대한 영향을 재료화학 및 병리학적 자료를 근거로 유해성 실태 평가를 통하여 콘크리트 제품에 대한 환경적 기준을 제시함과 동시에 주거환경 개선과 국민 건강 확보에 기여하고자 함.

2. 연구개발의 범위, 특징

표 1-1 연구개발범위

연구목표	연구 범위
■ 콘크리트 수화가스 분석 프로세서 적립 ■ 각종 혼화재료의 재료혼입별, 재령별 가스종류 및 발생량 평가	-시멘트 수화과정 중 발생하는 NH₃ 분석에 가장 적합한 방법 선별 -GC/MS를 활용한 시멘트 수화과정 중의 VOCs 분석 프로세서 정착 -라돈가스 분석 프로세서 -혼화재료를 혼입한 콘크리트의 수화가스 발생 메커니즘규명을 위한 합리적 분석방법의 정립
■ 다양한 변수와 수화가스 발생특성 관계 S/W 적용 및 평가모델 도출 ■ 재료화학 및 병리학적 자료를 통한 모델의 유해성 실태 평가	-재령별 수화가스 발생 특성 분석 -발생 가스별 및 변수에 따른 데이터 Sorting -Algorithm 적용 -재령별 수화가스 발생 특성 분석 및 모델화 -분석결과 및 모델화 결과 값과 MSDS, 재료화학 및 병리학적 자료를 근거로 한 유해성 실태 평가

3. 관련분야의 국내외 기술개발 현황

가. 국내외 관련 기술 특허 동향

표 1-2 관련 특허 동향

등록번호	명 칭	출원인
1012551920000	오염물질 자동 실험장치를 구비한 실내공기질 성능평가용 반응챔버	최항
1011609860000	실내공기 오염도 측정장치 및 이를 이용한 실내공기 제어 시스템	천기화
1011899650000	건강 위해성 감소 예측 방법 및 시스템	김윤신
1005243440000	건축자재로부터 방출되는 유해물질 측정을 위한 시험실 장치	배귀남
1013064340000	실내 공기질 위해성 통합 분석 시스템 및 방법	유창규
1009303460000	공간별 실내 공기질 검출 장치	김주성
1010184550000	휘발성 유기물의 표준 방산량 측정을 위한 표준 확산용기 및 휘발성 유기물 방산량 측정능력 평가방법	오상협

본 개발기술은 기초개발단계부터 참여한 연구진에 의해 이뤄낸 연구결과물로 다른 특허청구범위 명확화 및 구성요소의 분해, 침해 대상물의 구성요소 분해 및 문헌적 침해, 균등론을 통한 침해, 금반언 원칙의 적용에 대한 특허침해를 판단할 수 있는 기준을 명확히 구분하고 있으며, 이를 통해 선행특허 회피가 가능하리라 판단됨. 조사된 선행 특허는 기존 실내공기질 공정시험법의 실내장재료의 평가기법을 응용한 수준으로 본 연구개발에 의하여 개발될 콘크리트 수화가스 측정 전용 프로세서 및 소프트웨어를 활용한 모델화 등과 관련한 내용과 차별된다. 이에 따라 개발기술은 기존 특허기술의 침해소송 발생 소지가 매우 적으며, 특허권 분쟁을 회피할 수 있을 것으로 판단됨.

나. 국내외 시장분석 및 산업동향

과거의 기술수요는 대부분 대량생산과 경제성에 큰 비중을 두었으며, 특히 시멘트산업의 경우 또한 물리적 성질을 만족하는 경제적인 시멘트 생산에 초점을 맞추어졌다. 그러나 최근 시멘트 생산에 따른 환경부하의 감소를 위한 저탄소 녹색생산 및 경제성 향상을 위한 자원재활용과 인체 무해한 환경성 및 고부가성이 요구되고 있음.

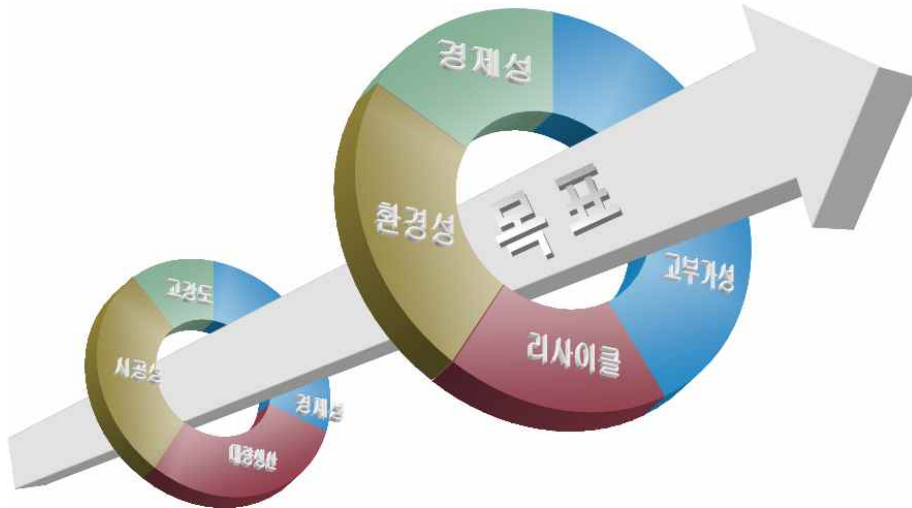


그림 1-1 건축분야의 시장분석 및 동향

(1) 시멘트 산업의 시장현황

표 1-3 시멘트 시장현황

구 분	현재의 시장규모	예상되는 시장규모
세계시장규모	19,200 억원	25,920 억원
한국시장규모	3,840 억원	5,184 억원

산출근거 : (한국양회협회, “국내 시멘트 생산 현황 기술자료”)

- 일반 시멘트 시장(포틀랜드 시멘트 + 슬래그 시멘트)

⇒ 1종 포틀랜드 시멘트(4,500만톤) + 슬래그 시멘트(500만톤) = 5,000 만톤

⇒ 5,000만톤 × 60,000원/톤 × 10%(시장 점유율) = 3,000 억원

- 특수 시멘트 시장(백색시멘트 + 지반 고화용 그라우팅재)

⇒ 백색포틀랜드 시멘트(15만톤)×200,000원/톤×30%(시장 점유율)= 90억원

⇒ 지반고화용 그라우팅재(50만톤)×300,000원/톤×50%(시장 점유율)= 750억원

⇒ 국내 특수 시멘트 시장 ; 90억원+750억원 = 840 억원

- 한국시장 규모 : 3,000억원(일반시멘트)+840억원(특수시멘트) = 3,840억원
- 세계시장 규모 : 한국시장 규모 × 2배(일본, 중동 등) = 7,680억원
- 향후 시장 규모 : 현재 시장대비 매년 5% 성장 예상

(2) 혼화재료 사용량 급증

시멘트 생산에 따른 환경부하의 감소를 위한 저탄소 생산 및 경제성 향상을 위해 시멘트 혼화재료의 사용량이 급증하고 있음. 플라이애시는 대부분 레미콘의 혼화재로 재활용 되고 있다. 98년 74만 톤에서 2001년에는 238만 톤으로 3배 이상 급속한 신장을 이루고 있고 이러한 재활용 추세는 향후에도 계속 지속되어 미연 탄소의 함량이 5% 이하인 양질의 것이나 이 이하로 정제된 것은 시멘트 혼합재용이나 레미콘 혼화재용으로 대부분 재활용 될 것임. 정부의 장기 에너지수급 계획에 의하면, 플라이애시는 온난화가스 저감계획이 구체화된 시점으로 2010년에 700만 톤 이상 산출되었으며, 이 중 500만톤이 콘크리트 혼화재로 재활용 된 것으로 추정되고 있음.

고로슬래그 미분말의 경우 향후 시멘트 혼합재와 레미콘 혼화재료의 재활용량은 제철소의 수재화 비율 증가에 따라 늘어날 것으로 예상됨. 2005년에는 수재화 비율이 60%로 상승되어, 수재의 시멘트 대체 부문에 사용량은 600만 톤을 상회했으며, 2010년에는 1,000만 톤에 이르는 것으로 발생량의 80%를 재활용 한 것으로 추정됨.

(3) 분석장비의 고급화

최근 기술의 발전과 더불어 각종 분석장비들의 고급화로 인하여 분석의 편리성 및 결과값의 정확도 향상 등으로 분석화학분야의 발전하고 있음. 특히 gas분석의 주장비인 GC/MS의 경우 아래와 같이 다양한 전처리 분석 및 포집방법에 따라 미량의 발생 가스의 정성·정량 분석이 가능함.

Curie Point Automated Purge & Trap sampler는 고체흡착관에 포집된 가스의 GC/MS 분석을 위한 전처리 장비로 아래와 같이 구성되어짐.

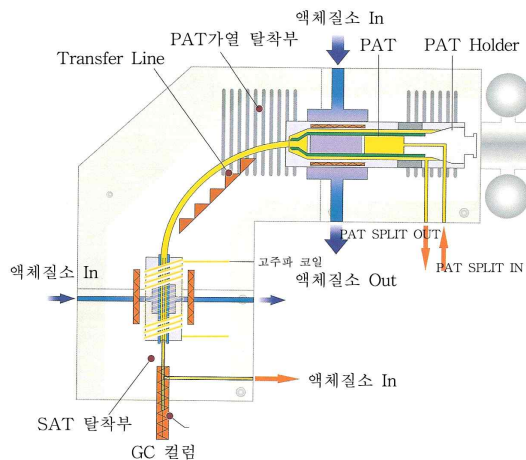


그림 1-2 Purge & Trap 내부구조

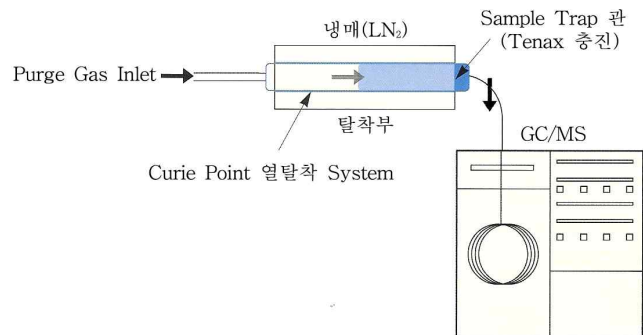


그림 1-3 Curie Point 방식을 통한 Trap

PAT 가열 탈착부 : Out Gas를 포집한 PAT관이나 직접 시료를 넣은 시료관을 장착하여, 흡착제에 Trap된 목적물에서 발생한 Out Gas 등을 가열 탈착시켜 SAT로 저하는 부분임. 또한 PAT 외부에 유기물이 붙어있는 경우에는, 그 유기물은 PAT 가열탈착부에서 제거하고 시료 자체만 주입할 수 있는 Split으로 구성되어 있음. Air Purge 종료 후, 저항가열에 의해 PAT의 Out Gas를 탈착하고, SAT부에 흡착시키고 $-99^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ (액체질소에 의한 냉각과 저항가열에 의한 가열)의 온도 설정이 가능함.

Transfer Line : PAT 가열 탈착부와 SAT 가열 탈착부를 접속하는 배관은 불활성 처리한 Capillary tube를 사용하며 실온 $+10^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ (저항가열방식)의 설정이 가능함.

SAT 가열 탈착부 : PAT부에서 탈착시킨 Gas를 액체질소로 냉각시키면서 농축 Trap시켜, 농축 Trap시킨 분석 대상물을 Curie Point 가열방식으로 급속 가열하여 GC에 공기를 도입하는 부분임. Curie Point 가열 방식은 종래의 저항가열방식과 비교하여 Sharp한 Chromatogram을 얻을 수 있으며, 또한 SAT 전 영역을 Curie Point 가열해 Ghost와 Memory peak의 저감이 가능함.

표 1-4 Curie Point Automated Purge & Trap Sampler 분석가능 Gas list

1 Ethanol	14 1-Butanol	27 Ethylbenzene	40 Decane
2 Acetone	15 Carbon tetrachloride	28 m-Xylene	41 1,4-Dichlorobenzene
3 2-Propanol	16 1,2-Dichloropropane	29 p-Xylene	42 1,2,3-Trimethylbenzene
4 Methylene chloride	17 Bromodichloroethane	30 Styrene	43 Limonene
5 1-Propanol	18 Trichloroethylene	31 o-Xylene	44 Nonanal
6 2-Butanone	19 Isooctane	32 Noane	45 Undecanal
7 Hexane	20 Heptane	33 α -Pinene	46 1,2,4,5-Tetramethylbenzene
8 Ethyl acetate	21 4-Methyl-2-pentanone	34 3-Ethyltoluene	47 Decanal
9 Chloroform	22 Toluene	35 4-Ethyltoluene	48 Dodecane
10 1,2-Dichloroethane	23 Dibromochloroethane	36 1,3,5-Trimethylbenzene	49 Tridecane
11 2,4-Dimethylpentane	24 n-Butyl acetate	37 2-Ethyltoluene	50 Tetradecane
12 1,1,1-Trichloroethane	25 Octane	38 β -Pinene	51 Pentadecane
13 Benzene	26 Tetrachloroethene	39 1,2,4-Trimethylbenzene	52 Hexadecane

4. 연구개발결과의 우수성

가. 콘크리트 실내공기질 현안해결

현재 국내 인구의 60%이상이 콘크리트로 건축된 공동주택에 살고 있는 현실을 감안할 때 최근 현대인들의 생활수준 및 의식수준의 향상과 더불어 건강에 대한 새로운 요구증가로 생활환경과 밀접한 실내마감재료 이외의 콘크리트에 대한 관심이 높아졌으며, 시멘트를 기반으로 한 각종 콘크리트 환경에 대한 정성·정량적인 평가가 요구되고 있음. 이러한 배경을 바탕으로 시멘트 콘크리트에서 발생하는 각종 수화가스 특성과 메커니즘 규명을 통한 객관적인 데이터를 제시하며, 수화가스 평가모델 등의 보다 실용적인 결과물을 도출하여 주거환경 개선과 국민 건강 확보에 기여하고자 함.

나. 콘크리트가 무해하다는 기존지식 개선

최근 콘크리트의 강도증진과 내구성 향상 및 경쟁력 확보를 위해 산업부산물인 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 사용량이 급증하고 있으며, 이들 혼화재료들은 시멘트 생산에 따른 환경부하의 감소를 위한 저탄소 생산 및 경제성 향상을 위해 향후 생산량과 콘크리트에의 혼입량이 더욱 증가할 것으로 예상되고 있음. 그러나 이러한 혼화재의 사용으로 콘크리트의 물성증진과 단가하락 등의 기존의 통상적인 장점 이외의 혼화재료를 혼입한 콘크리트가 실내 거주 환경에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 전무한 실정임. 이에 본 연구는 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 수화과정 또는 경화 후에 실내 환경에 미치는 영향에 대한 객관적인 실험을 진행하여 기존 물성증진의 효과 이외의 혼화재료의 혼입에 따른 수화가스 발생 특성 등에 따른 지식을 객관적으로 제공하고자 함.

다. 평가모델을 통한 융합연구 자료제공

방출 가스의 양과 농도가 낮다할지라도 콘크리트에 사용되는 혼화재료의 종류와 그 양에 따라 또는 그 재령에 따라 거주자에게 피해를 입힐 수 있다고 예상되며, 이에 대한 심도 있는 연구와 그 활용을 위해 본 연구에 컴퓨터 및 소프트웨어 활용을 통한 수화가스에 대한 모델 평가를 융합 제안하게 됨. 특히, MATLAB 프로그램을 활용하여 콘크리트 재료의 혼화재료의 종류, 혼화재료의 혼입률, 물/시멘트 비, 재령일, 양생조건 등의 다양한 변수에 따른 수화가스 발생량의 관계를 다양한 모델에 적용하여 수화가스 정량분석결과를 평가하므로 의미 있는 자료를 제공할 것으로 예상된다.

라. 재료화학 및 병리학적 유해성 실태 평가자료 제공

다양한 변수에 따른 콘크리트 수화가스 측정결과와 소프트웨어 프로그램을 활용한 재령별 발생량 예측 결과 값을 기초로 재료화학적 병리학적 유해성 평가를 실시하여 혼합재료별, 재령별 수화가스 발생이 인체에 미칠 수 있는 영향 등에 대해서 유해성 평가 결과를 제공할 수 있음. 기존의 일반적인 실내공기질관련 연구의 경우 공기질을 측정·분석하는데 그쳤으나, 본 연구개발의 경우 IT 분야와 융합한 실용적인 연구를 계획하였다. MATLAB 프로그램을 활용하여 콘크리트 재료의 혼화재료의 종류, 혼화재료의 혼입률, 물/시멘트 비, 재령일, 양생조건 등의 다양한 변수에 따른 수화가스 발생량의 관계를 다양한 모델에 적용하여 수화가스 정량분석결과의 유의성을 판별 및 평가하며, 상관관계의 모델을 제시하므로 보다 실용적이며, 창의적인 연구결과도출이 가능 할 것으로 예상함.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 연구수행 전략 및 방법론



그림 2-1 연구개발 흐름도

2. 연구수행 및 결과(이론적, 실험적)

가. 수화가스 포집 프로세서 적립

(1) 기존 실험방법 분석 및 정리

포집된 가스의 샘플링하는 방법은 분석에 따라 크게 네 가지로 분리하여 각각의 실험방법에 적합한 방법을 선택하함. 첫째, 시료를 측정기에 직접 도입하여 분석하는 직접 채취법, 둘째, Tedlar bag, Canister와 같은 용기를 사용하여 유해가스 및 악취 함유 가스를 포집하는 용기포집법 셋째, 측정대상 가스를 선택적으로 흡수 또는 반응하는 용매 흡수액 같은 포집매체를 이용하는 용매포집법 넷째, 활성탄, 실리카겔과 같은 고체분말표면에 가스가 흡착하는 고체흡착관법을 활용함.

직접포집법은 일반적으로 실시간 분석기, 검지관 등의 실험방법에 적합하며, 현장에서 간편하게 측정이 요구되어질 때 이용된다. 반면, 용기포집법의 경우 bag을 활용한 방법과 대기압을 활용한 진공병(Canister)을 사용하며, 이 방법은 측정

기기를 측정 장소까지 갖고 갈 수가 없거나 소수의 측정기로서 다수의 지점에서 동시에 시료를 측정할 경우에 이용한다. 공기주머니에 의한 시료채취는 시료성분이 bag 안에서 흡착, 투과 또는 서로간의 반응에 의하여 손실 또는 변질되지 않아야 함. 용매포집매체를 이용하여 유해가스를 포집하는 방법에는 일반적으로 흡수액을 이용하는 임핀저법과 고체흡착제를 이용하는 흡착관 포집법으로 분류할 수 있다. 임핀저법은 특정 유도시약을 함유한 흡수액을 이용하는 방법으로 주로 유기용매로 된 흡수액을 사용하는데, 시료의 증발손실이 크고 취급이 쉽지 않아 포름알데히드나 아세트알데히드 같은 저분자 카르보닐계 화합물들에 사용이 제한되어 왔음. 그러나 악취물질 중 NH_3 는 흡수액을 이용한 용액흡수법이 시료채취에 주로 사용됨. 흡착관 포집법은 방향족과 같이 VOC에 대해서 상대적으로 분석의 감도를 높일 수 있고, 사용범위가 넓은 장점을 가지고 있어 폭넓게 이용되고 있음. 특히, 이 각각의 샘플링방법은 분석기기 및 실험조건 등에 따라 더욱 구체화 될 수 있으며, 실험방법의 선정에 따라 분석결과에 큰 차이를 나타냄. 따라서 실험조건에 가장 적합한 방법을 선택하는 것이 분석의 정확도와 신뢰도를 높일 수 있으며, 본 절에서는 이러한 이론적 지식을 바탕으로 시멘트 모르타르 및 콘크리트에서 발생하는 각종 가스의 종류에 따라 가장 적합한 포집과 샘플링방법을 선별하고자 함.

(2) 실내오염공정시험법을 응용한 수화가스 장비구성

- ① 형태 : 방출시험챔버는 재료에서 발생하는 가스와 접하게 되는 모든 부분을 표면이 잘 연마된 스테인리스로 제작되었으며, 용적은 20ℓ를 원칙으로 하였음. 방출시험챔버는 내부의 공기가 균일하게 혼합할 수 있도록 설계하였으며, 원칙적으로 구성 부품의 분리가 가능하여 세정, 가열처리가 용이하도록 하였음.
- ② 기밀성 : 방출시험챔버는 제어되지 않는 외기가 유입되지 않도록 하기 위하여 기밀상태를 유지하여야 함. 또한, 내부는 대기압보다 다소 높은 기압으로 조작하고, 시험장소에 따른 영향을 저감할 수 있어야 함. 방출시험챔버는 초과압력 1,000Pa에 1분간의 공기가 새는 양이 챔버용적의 0.1% 미만이거나 공기누출량이 급기량의 1% 미만이면 충분한 기밀성이 있는 것으로 봄.
- ③ 공기의 공급장치와 혼합장치 : 방출시험챔버는 일정표면에서 방출되는 가스의 포집을 위하여 시험편 고정틀과 같은 보조장치가 필요하며, 시료에서 방출된 가스를 원활히 채취 할 수 있도록 상하에 흡입 및 출구 밸브를 두었음. 또한, 시료 채취시 하부를 통하여 들어온 Carrier 가스가 챔버내에서 전체적으로 순환할 수 있도록 타공판과 같은 장치를 설치하여 순환을 좋게 하였음.

(3) 전체 프로세서 구성

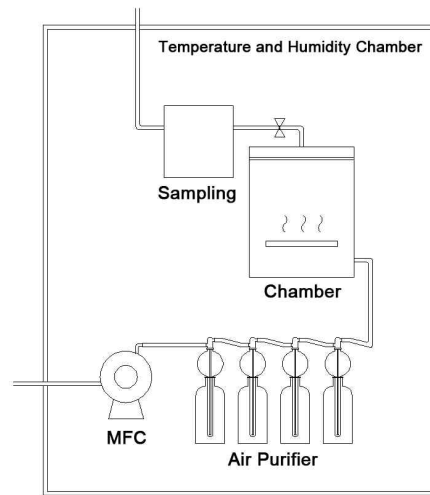


그림 2-2 흡착포집 프로세서

시멘트 콘크리트 수화가스 포집 프로세서의 구성은 시험체에서 발생하는 각종 가스의 정성·정량 분석을 목적으로 방출시험 챔버내의 공기농도, 통과한 공기유량 및 시험편의 표면적을 구하여 시험대상 시험체의 단위면적당 발생가스의 방출량을 결정하도록 구성한 것임.

표 2-1 샘플링 방법에 따른 분석방법

Sampling Method	시험기기	분석기기 및 방법	분석가스
직접 분석법	실시간 측정기	검지관법, 실시간 분석	VOCs, 포름알데히드, CO ₂ , CO, S ₂ , 등 각종 가스
용기 포집법	Canister, Tedlar bag	GC/MS, 악취관능법	악취측정, VOCs
용매 포집법	임편저법	분광광도계	NH ₃
고체흡착법	Purge & Trap 법	GC/MS	VOCs, 포름알데히드 (콘크리트 수화가스)
	SPME	GC/MS	VOCs(혼화제)

나. NH_3 분석 프로세서 적립

본 연구는 대기오염공정시험법의 NH_3 분석방법과 소형챔버법을 이용하여 보다 신뢰성 있는 NH_3 포집 및 분석 프로세서를 구성하고자 하였음. 각종 시험체의 종류 및 양생조건 등의 변화에도 대응 가능한 샘플링 프로세서를 구성하고자 하였으며, NH_3 의 포집 가능한 흡수액을 활용하여 임핀저의 용매포집법을 구성함.

(1) 사용재료

- ① 붕산, 황산암모늄, 페놀, 펜타시아노 니트로실 암모늄철(III)산 나트륨, 차아염소산 나트륨 용액, 수산화칼슘, 인산수소나트륨 12수화물 등의 시약
- ② 표준용액 : 0.295g의 황산암모늄(ammonium sulfate)을 증류수로 1ℓ 까지 보정하며 100배 희석(1ml = 1μl ammonia)
- ③ 강알칼리 용액 : 1N의 수산화나트륨 용액

(2) 실험과정

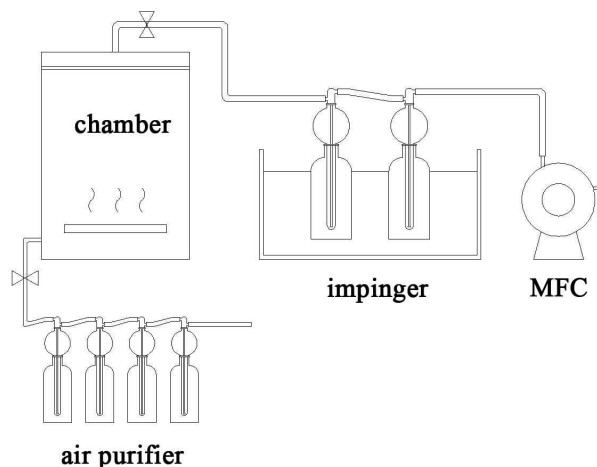


그림 2-3 암모니아 흡착포집 프로세서

- ① NH_3 포집 및 분석 프로세서는 KS M 2098 배기가스 중의 암모니아 분석방법을 바탕으로 하였으며, 임핀저 프로세서를 구성하였다. 가스 포집시 완전한 밀폐가 요구되므로 소형챔버를 활용하여 기체를 포집되도록 하였으며 포집된 NH_3 는 밀도차이로 상층부로 누적되며 분석을 위한 샘플링 시 누출되지 않고 샘플링이 되도록 곳곳에 밸브를 설치하였음.
- ② 소형챔버 내에 NH_3 표준용액 5ml을 투입한 뒤 1N 수산화나트륨 용액 5ml를 투여하여 챔버를 25℃에서 3시간 양생하여 정량의 표준가스를 만들었음.

- ③ 각각의 흡수병에 25ml, 15ml의 흡수액을 넣어 2개의 흡수병을 직렬로 연결한 뒤 시료를 주입한 챔버를 흡수병에 연결한 뒤 MFC 펌프를 이용해 1.5ℓ/min의 유량으로 총 25ℓ로 공기를 흡입하여 흡수액에 포집하였음. 흡입량은 소형 챔버가 20ℓ인 점을 고려하여 발생한 가스가 전량 흡수액에 포집될 수 있도록 약 5ℓ의 순수공기를 주입하였음. 포집 후 2개의 흡수병의 흡수액을 합하여 50ml 메스플라스크에 옮기고, 다시 흡수병의 내부를 포집용액으로 씻은 용액을 옮겨 전량을 50ml로 함. 이 용액 7ml를 시험관에 옮겨 분석용 시료용액으로 사용하였음.
- ④ 만들어진 시료용액에 페놀-펜타시아노 니트로실철(III)산 나트륨 용액 3ml을 가해 잘 섞은 후 차아염소산나트륨 용액 3ml를 가한 후 볼텍스 믹서로 혼합하여 제조한 용액을 담은 Tube를 물 중탕기에서 25~30℃로 1시간 발색시킨 뒤 UV흡광광도계를 이용하여 파장 640nm에서 흡광도를 측정하였음.

(3) 결과 및 고찰

- ① 흡광광도 분석 : 강도 I_o 되는 단색광속이 농도 C , 길이 l 되는 용액층을 통과하면 이 용액에 빛이 흡수되어 입사광의 강도가 감소함. 통과한 직후의 빛의 강도 I_t 와 I_o 사이에는 램버어트 비어(Lambert-Beer)의 법칙에 의하여 다음의 관계가 성립함.
- ② I_t 와 I_o 의 관계에서 $I_t/I_o = t$ 를 투과도, 이 투과도를 백분율로 표시한 것 즉, $t \times 100 = T$ 를 투과 퍼센트라 하고 투과도의 역수의 상용대수 즉 $\log(1/t) = A$ 를 흡광도라 함. 램버어트-비어의 법칙은 대조액층을 통과한 빛의 강도를 I_o , 측정하려고 하는 액층을 통과한 빛의 강도를 I_t 로 했을 때도 똑같은 식이 성립하기 때문에 정량분석이 가능함.

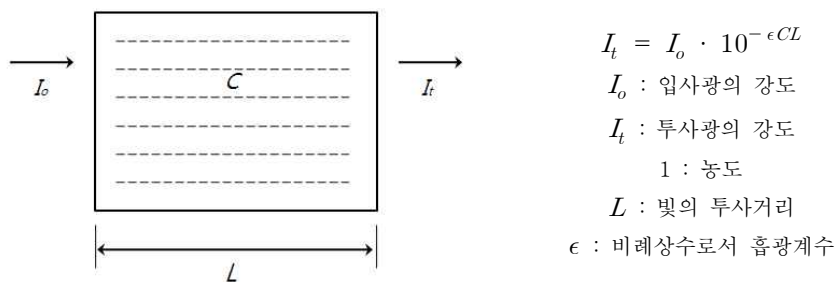


그림 2-4 흡광도 분석방법

- ③ 흡광도를 이용한 램버어트-비어의 법칙을 식으로 표시하면 $A = \epsilon CL$ 이 되므로 농도를 알고 있는 표준액에 대하여 흡광도를 측정하고 흡광계수(ϵ)를 구해 농

으면 시료액에 대해서도 같은 방법으로 흡광도를 측정함으로써 정량 할 수 있음. 그러나 실제로 ϵ 를 구하는 대신 농도가 다른 몇 가지 표준액을 사용하여 시료액과 똑같은 방법으로 조작하여 얻은 검량선으로부터 시료중의 목적성분을 정량함.



그림 2-5 흡광광도계

- ④ 흡광광도 분석방법으로 정량분석을 하려면 미리 흡광도와 시료성분의 농도와 의 비례와 같은 시료에 대한 흡광도의 재현성을 검토하여야 하며, 본 실험의 경우 인도페놀법을 활용한 암모니아 표준용액의 검정곡선은 그림과 같음.

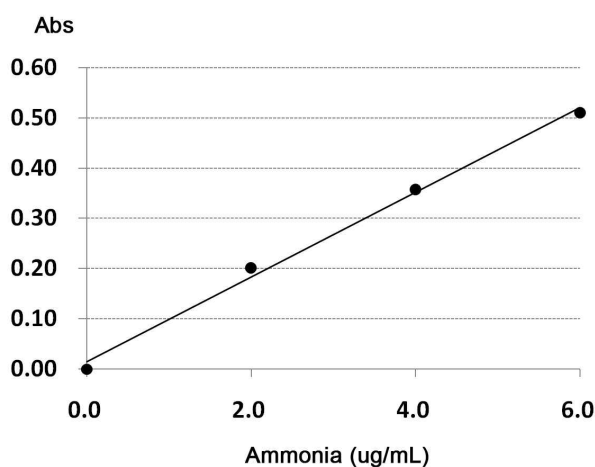


그림 2-6 표준 검정곡선

- ⑤ 관계식

$$C_1 = \frac{5A}{V \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P}{760}}$$

$$C = C_1 \times \frac{22.4m^3}{17kg}$$

C_1 : 대기중의 암모니아 농도($\mu g/\ell$)

C : 대기중의 암모니아 농도(mg/cm^3)

A : 분석용 시료용액중의 암모니아량($\mu\ell$)

V : 유량계에서 측정한 흡입가스량(ℓ)

t : 유량계의 온도($^{\circ}C$)

P : 시료 포집시의 대기압(mmHg)

흡수액법을 활용한 NH₃ 포집과 흡광광도법을 이용한 NH₃ 정량분석의 경우 소수점 이하의 ppb 단위의 분석이 가능하며, MFC 펌프를 이용하여 원하는 양의 시료 포집과 분석이 가능하여 콘크리트 수화과정에서 발생하는 가스 분석에 가장 적합한 방법으로 판단됨.

다. NH₃ 분석 프로세서 적립 II

NH₃ 검출법은 이온전극법, 중화적정법, 검지관법, 흡수액법(인도페놀법, 네슬러법) 등으로 나눌 수 있으며, 이온전극법과 중화적정법은 고체물질의 함유된 NH₃ 검출에는 적합하나 발생가스의 정량법으로 사용하기 어렵음.

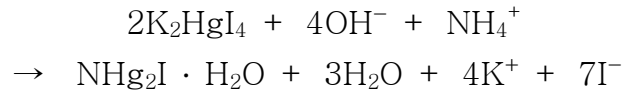
일반적으로 발생한 NH₃의 검출법으로는 검지관법과 흡수액을 이용한 인도페놀법과 네슬러법이 많이 쓰이나 일반적으로 대기오염공정시험법의 인도페놀법이 NH₃의 정량분석에 많이 쓰이고 있음. 그러나 검지관법의 경우 측정은 간편하나 소수점 이하의 측정이 불가능하며, 한국산업안전공단에 명시되어 있는 네슬러법의 경우 인도페놀법에 비하여 분석시간이 단축되며 일정수준의 높은 정도분석이 가능한 장점이 있음에도 불구하고 아직 그 활용성이 낮은 것으로 나타났음.

표 2-2 암모니아 분석방법 비교

항목	네슬러법	인도페놀법
관련법	한국산업안전보건공단	대기오염공정시험법
흡수액	황산 2.82ml을 증류수에 넣어 1ℓ로 용해	붕산5g을 증류수에 넣어 1ℓ로 용해
발색시약	네슬러 시약(Nessle's reagent)	페놀-펜타시아노 니트로실 철(III)산 나트륨 차아염소산 나트륨 용액 +차아염소산 나트륨용액
UV 흡광도	440nm	630nm
발색시약 투여후 경과시간	10분	1시간
흡착방법	임핀저세트와 MFC Pump를 이용하여 1.5ℓ/min의 유량으로 총 25ℓ로 공기를 흡입	

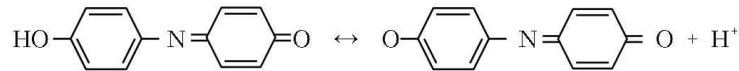
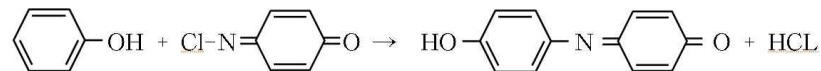
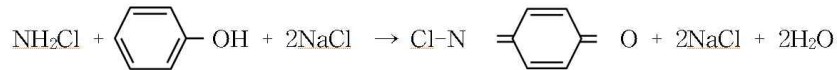
(1) 네슬러법

NH₃의 검출은 네슬러법을 이용하여 시료에서 발생하는 NH₃가 네슬러시약과 반응하였을 때 NH₃의 농도가 열을 경우에는 황색으로, 농도가 진할 경우에는 황갈색으로 침전을 생성함으로써 확인할 수 있으며 그 화학식은 아래와 같음.



(2) 인도페놀법

암모니아의 검출은 인도페놀법을 이용하여 시료에서 발생하는 NH₃가 발색시약과 반응하였을 때 NH₃의 농도가 진할 경우에는 보라색으로 침전물을 생성함으로써 확인할 수 있으며, 그 화학식은 아래와 같음.



$$C_1 = \frac{5A}{V \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P}{760}}$$

$$C = C_1 \times \frac{22.4\text{m}^3}{17\text{kg}}$$

C₁ : 대기중의 암모니아 농도(μg/l)

C : 대기중의 암모니아 농도(mg/cm³)

A : 분석용 시료용액중의 암모니아량(μl)

V : 유량계에서 측정한 흡입가스량(l)

t : 유량계의 온도(℃)

P : 시료 포집시의 대기압(mmHg)

(3) 네슬러법과 인도페놀법의 비교

일반적으로 10ppm이하의 저농도에서 대기오염공정시험법의 인도페놀법이 정확성이 높은 것으로 알려져 있으며, 본 실험의 경우 20 l 챔버와 150×150×40mm의 모르타르 시편의 크기를 고려할 경우 저농도의 NH₃ 검출에서 정확성이 높은 인도페놀법이 적합할 것으로 사료되었음.

라. 모르타르의 라돈가스분석 프로세서 적립

주요 실내오염 물질중 하나인 라돈은 자연계에 널리 존재하는 자연방사능으로 우라늄광, 토양, 시멘트, 콘크리트, 모래 등의 건축자재 및 지하수 등에 함유되어 있음. 라돈은 α 붕괴에 의하여 라듐의 낭행종(Radon daughter)을 생성하는데 이 낭행종이 폐에 흡입되면 폐암의 발생위험율을 높이는 것으로 보고되어 라돈이 인체에 매우 유해한 것으로 추정되므로 외국에서는 주택내 실내 라돈농도에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음. 라돈은 무색·무미·무취의 불활성 가스로 집을 지을 때 사용하는 시멘트, 모래, 건축 자재에 함유되어 있어 일반적으로 콘크리트에서 상당량의 라돈이 방출되는 것으로 알려져 있고 이에 본 연구는 일반 모르타르이외에 혼화재 혼입에 따른 모르타르에서 발생 가능한 라돈가스의 방출 유무와 그 정도를 측정하였음.

(1) 라돈측정 기기 프로세서

라돈의 측정 장비는 측정기간 동안의 라돈농도 변동치를 측정할 수 있는 연속모니터측정기와 같은 전원이 필요한 자동(active) 측정 장비와, 일정기간동안 측정 장소에 설치한 후, 덮개를 열어 라돈농도를 측정하는 연속모니터측정기를 제외한 모든 전원이 필요 없는 수동(Passive) 측정 장비로 나눌 수 있음. 본 연구는 아래 연속모니터 측정기를 이용하여 각 시험체의 라돈가스를 측정하였음.



그림 2-7 라돈가스 분석기

표 2-3 라돈가스 분석기 세부사항

항목	내 용
측정범위	0.1~999pCi/L
측정정도	± 1 pCi/L 또는 측정치의 25%이내 (24시간 적산시)
측정방식	확산식 집합형 검출기
기 타	미국 EPA 승인품

(2) 시험체 제작

라돈 측정용 시험체는 아래 배합표와 같이 고로슬래그를 활용한 배합비율로 타설하여 만들었음. 특히 실험 시 오차를 배제하기 위하여 일반 건축물의 시공과정과 동일하게 시공하였으며 거푸집 탈형을 위한 박리제와 누수방지를 위하여 조인트 부분에 그리스는 생략하고 라돈 측정용 시험체는 30×30×25cm 두께 5cm의 형상으로 계획하였으며 재료 자체만의 라돈을 측정 할 수 있도록 하였음.

표 2-4 라돈측정용 모르타르 배합표

Type	GBFS	Cement	Aggregate	W/C
Mortar	-	1,000	2,450	50%
GBFS-20	200	800		
GBFS-40	400	600		
GBFS-60	600	400		

(3) 라돈측정 단계

라돈측정방법은 단계적으로 1, 2차 측정을 실시하였고 1차 측정은 현재 라돈의 농도가 높은지, 낮은지에 대한 신속한 판단을 목표로 하며, 대상 시설의 주 사용 목적 및 주 활용공간에서 8시간 연속 측정하는 것을 원칙으로 하였음. 1차 측정 결과가 0.148Bq/L (4pCi/L)미만일 경우는 2차 측정이 필요 없으나, 이 이상인 경우는 장기측정법을 이용하여 2차 측정을 실시하였음.

(4) 결과 및 고찰

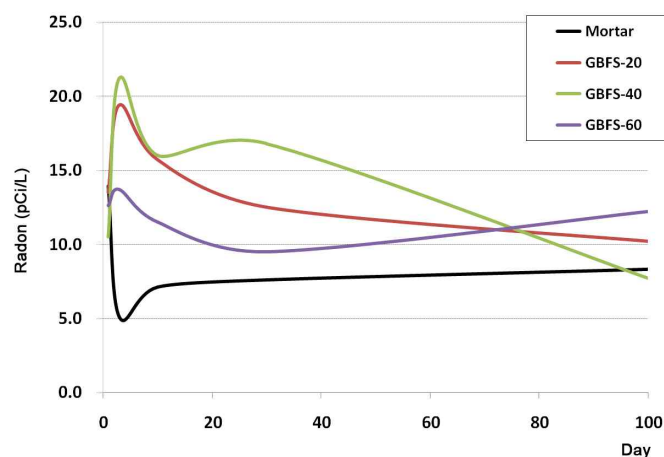


그림 2-8 고로슬래그 모르타르 라돈측정 결과

라돈의 측정 장비는 측정기간 동안의 라돈농도 변동치를 측정할 수 있는 연속 모니터측정기로 각각의 시험체를 측정한 결과 고로슬래그 혼입물에 따라 그 분석량이 차이를 나타내었음.

마. VOCs 분석 프로세서 구성 (시료포집 방법)

극미량물질에 대한 계측의 복잡성을 감안할 때, 측정 및 분석과정에서 정밀성과 정확성을 유지하기 위한 계측기술의 개선이 요구되고 있음. 그러나 여러 가지 정도관리를 위한 노력에도 불구하고, 동일한 대상 성분이나 시료에 대한 측정결과가 상이하게 나타나는 경우가 종종 발생함. 또한, 같은 조건으로 분석을 시도하더라도 분석기기의 종류에 따른 분석효율의 차이를 경험한다. 환경시료에 대한 객관적이고 정확한 분석을 위해, 정도관리(Quality assurance : QA)에 대한 시도는 매우 중요한 의미를 지닌다. 정도관리의 과정은 분석에 대한 계획, 분석과정의 관리, 분석결과에 대한 객관적 평가, 측정기기 및 표준물질에 대한 관리 등을 포괄적으로 포함할 수 있어야 함.

객관적인 분석자료를 도출하기 위한 단계적인 측정과정 중에서 시료의 채취방식에 대한 선택은 분석오차의 생성에 가장 크게 기여함. 대기 중 VOC의 채취법은 (1) 흡착제 등의 채취매개(adsorption tube)를 사용하는 방법, (2) 시료를 특수재질로 제조 후 코팅처리한 캐니스터(Canister)와 테들러 백(Tedlar bag)과 같은 용기를 사용하는 방식이 있음. 그리고 그 외에도 현장에서 시료의 채취와 분석을 병행하는 실시간 분석(on-line)시스템을 사용하는 경우도 있다. 또한, 최근에는 재현성의 상대적 불안정에도 불구하고, VOC의 분석에 고체상 미량 추출방식(Solid-phase microextraction sampler:SPME)과 같은 응용기법도 폭넓게 활용하고 있음.

본 연구에서는 수화초기에 발생하는 VOC분석의 특성을 채취방식의 차이라는 관점에서 평가하고자 하였고 이를 위해 동일한 대상시료를 테들러백과 흡착관 방식을 동시에 적용하여 채취하고 각각의 채취 방식에 기초한 분석오차를 상대적인 관점에서 평가하여 적합한 방법을 선택하고자 하였음.

(1) 시료 채취방법 선정

시멘트 모르타르 배합은 KS 표준규격에 의하여 바인더 : 잔골재 비를 1 : 2.45로 선정하였고, 원재료들이 충분히 혼합되도록 건비빔한 후, 물을 가해 모르타르 믹서로 1분 30초 동안 비빔하여 시험체를 제조하였음. 제조된 시험체를 일정 면적의 홀더에 타설 후 20L 소형챔버에 3시간동안 밀봉하여 각각의 포집방법으로 분석하였음.

(2) 캐니스터를 이용한 시료 채취

진공 배기된 캐니스터를 챔버의 주입구에 연결하여 단순히 밸브를 열어 시료를 채취하며, 이 경우에는 용기의 용적만큼 시료 공기가 채워지게 되므로 분석 시에는 진공으로 시료 기체를 뽑아내어 분석을 하게 됨. 장시간 동안 공기를 채취하

는 경우에는 캐니스터에 천천히 시료가 주입될 수 있도록 주입구와 압력 조절 밸브를 달아 시료 공기를 일정하게 채취가 가능하여 가스게이지를 통하여 유량조절이 가능함. 6L 이상의 많은 양을 채취하길 원하거나, 정압(Positive pressure)으로 시료기체를 분석기에 주입하기를 원하는 경우에는 시료 채취장치에 펌프(Air pump)를 부착하여 2기압 정도의 압력으로 용기에 충전하여 2배 용량의 시료 채취를 하기도 하나 본 실험에서 대기압으로 캐니스터 용적만큼 시료를 흡입함.

(3) 고체흡착관을 이용한 시료채취

이 방법은 고체분말표면에 기체가 흡착되는 것을 이용하는 방법으로 채취장치는 실내공기질 공정시험방법에 의하여 그림과 같이 흡착관, 흡인펌프 및 유량계와 같은 원리로 구성함.

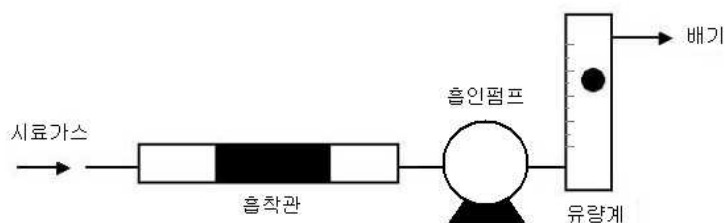


그림 2-9 고체흡착관 흡착방법

흡착관은 유리로 된 관에 측정대상 성분에 따라 흡착제를 선택하고 각 흡착제의 파과부피(Breakthrough volume)를 고려하여 충전한 후에 사용하나, 흡착관은 시판되고 있는 J사의 별도규격 제품을 사용하였다. 일반적으로 각 흡착제는 반드시 지정된 최고온도범위와 기체유량에 따라 사용되어야 하며, 흡착관은 사용하기 전에 반드시 안정화(Conditioning)단계를 거쳐야 하며, 확인된 흡착관은 외부 공기로부터 오염이 되지 않도록 밀폐용 마개와 PTFE 패물(ferrules)을 이용하여 막아서 보관하였음. 흡착관 뒤에 저용량 MFC 펌프를 작동시킨 후, 유량을 100mL/min으로 안정되게 조정하고 30분간 채취하였음. 총 시료 채취량의 확인은 MFC 펌프를 통하여 확인하며 유량의 안정성을 파악하기 위해 시료채취 전후의 유량을 비교하여 10% 이내인가를 확인하였다. 또한 채취 후 1시간 이내에 분석이 가능하지 못하여 흡착관의 마개를 닫고 알루미늄호일 등으로 밀봉한 후, 분석시까지 4℃ 냉장 보관하였음.

(4) 시료 분석방법 선정

- 캐니스터

① 농축방법 : 캐니스터 용기에 포집한 시료를 분석하기 위해서는 농축과정을 거

쳐서 기체크로마토그래프 컬럼에 주입하여야 한다. 농축방법은 6구전환밸브(6-port switching valve)를 사용하는 농축루프를 액체질소로 냉각하여 시료의 농축이 일어나게 한다. 액체질소는 -196°C 의 저온이므로 거의 모든 성분의 농축이 일어나게 되며, 시료중의 공기성분도 농축이 일어나게 된다.

- ② 분석방법 : 농축루프를 가열하여 시료를 탈착시켜 분석컬럼으로 주입한 후, 기체크로마토그래프와 질량분석계를 작동하였으며 컬럼선단에서 재농축하여 시료 주입폭을 작게하여 분리도를 높일 수 있으나 본 실험에서는 생략하였다.

- 고체흡착관 분석

고체흡착관은 일정량의 흡착제가 충전된 흡착관에 시료를 채취하여 열탈착하고, 다시 저온농축관에서 재 농축한 후, 2단 열탈착하여 고성능캐필러리컬럼을 이용한 기체크로마토그래프에 의해 분석대상물질을 분리하고 질량분석계(MS)로 분석하는 방법을 활용하여 분석하였음.

- ① 퍼지용 기체 : 흡착관을 열탈착하기 전에 운반기체를 사용하여 실내공기온도에서 흡착관과 각 시료가 흐르는 유로를 퍼지시킨다. 이러한 것은 시료를 건조시켜주고 분석대상물질과 흡착제의 산화를 방지하여 분석결과의 신뢰성을 높여주고 분석 컬럼의 수명을 연장시켜준다. 퍼지용 기체는 99.99% 이상의 순도의 초고순도 헬륨을 사용하였음.
- ② 시료분할(Splitting) : 시료의 양이 많거나 민감한 검출기를 사용할 경우, 그리고 고농도(10 ppb이상)시료에서 수분의 간섭으로 인한 컬럼과 검출기의 피해를 최소화하기 위해 분할(Splitting) 주입을 실시하며 100:1의 분할법을 선택하였음.
- ③ 시료의 탈착 : 시료를 채취한 흡착관은 오염되지 않은 장갑을 사용하여 마개를 제거한 후, 열탈착 장치에 장착한다. 이때, 흡착관내의 수분을 제거하기 위해서 흡착관을 시료채취 반대방향으로 연결하여 탈착시켰음. 다음 흡착관을 흡착제의 종류에 따른 운반기체 유량과 가열온도를 설정하여 시료가 완전히 이송될 수 있도록 탈착하고, 탈착된 시료는 -10°C 이하의 저온농축관으로 이송됨. 저온농축관으로 이송된 시료를 다시 가열탈착한 후 시료를 적당히 분할하여 분리컬럼의 유량을 조정하고 기체크로마토그래프로 이송하고 저온농축 및 열탈착 시 온도설정 조건은 사용하는 흡착제나 분석대상물질에 따라서 설정할 수 있음.
- ④ 컬럼 : 비극성 컬럼으로 유리 재질로 된 관의 내벽에 고정상이 결합된 컬럼을

사용하였으며, 컬럼의 길이는 충분한 분해능을 갖기 위해 일반적으로 30~60 m 길이의 내경은 0.25~0.53 mm인 것을 사용하는 것을 원칙으로 함. 본 연구에서는 분석에 가장 적합한 것으로 판단되는 624컬럼을 사용하였음.

⑤ 질량분석계 : 질량분석계(MS)는 휘발성유기화합물의 분포상황의 파악과 규명에 필수적인 방법으로 스캔모드(Scan mode)에서 ppb 수준의 대상물질에 대한 확인과 분석이 가능하며, 선택이온모드에서는 이보다 높은 감도로도 분석이 가능하며 분석조건은 표와 같음.

⑥ 운반기체 : 기체크로마토그래프의 이동상으로 기체크로마토그래프로 주입된 시료를 컬럼과 질량분석계로 옮겨주는 역할을 하며, 비활성의 건조하고 순수한(99.99%이상) 헬륨을 이용하였음.

(5) 실험결과 및 고찰

표 2-5 VOCs 흡착방법 비교

	공기채집법	흡착관법
장 점	• Breakthrough가 야기되지 않음. • 열탈착이 필요하지 않음. • 반복분석이 가능함. • Artifact가 형성되지 않음.	• 열탈착장치가 필요함 • 수분에 대한 영향이 적음. • 극성물질과 비극성물질의 포집가능.
단 점	• 시료가 오염되기 쉬움. • 비극성물질에만 적용가능. • Sample volume에 한계가 있음. • 수분에 대한 영향이 있음. • 분석을 위한 농축이 필요함.	• Breakthrough가 야기됨. • Artifact가 형성됨. • 분석의 기회가 제한되어 있음. • C₂이하의 저분자물질 포집에는 부적합.

캐니스터법은 채취된 공기시료를 여러 번 반복 분석이 가능하나, 흡착튜브법의 경우에는 한번 탈착하면 재분석이 불가능하므로 분석의 재현성을 확인하기 위해서는 2개 이상의 흡착관을 사용하여 반복분석을 수행하여야 한다. 이 경우 각 흡착관의 균질성이 확립되지 않으면, 흡착관의 조건이 분석 재현성에 영향을 주게 됨. 그러므로 측정 재현성과 반복성의 면에서는 흡착튜브에 의한 분석법이 캐니스터법에 비하여 차이가 날 수 밖에 없는 단점이 있음.

흡착제를 사용하는 흡착관 채취방식은 궁극적으로 열탈착 장치(Thermal Desorber: TD)로 탈착을 유도하여 분석할 수 있음. 이러한 방식은 선농축의 형식으로 채취한 시료의 전량을 가스크로마토그래피로 주입하므로, 저농도로 존재하는 성분을 분석하는 것이 가능하고 또한, 적정 기간까지 흡착관을 반복적

으로 재사용하는 것도 가능함. 그러나 백을 이용한 채취방식과는 달리, 1개의 흡착관은 1회로 분석의 횟수가 제한되는 단점이 있다. 테들러백 방식은 다른 형태의 용기채취방식에 비해 사용 및 관리가 손쉽기 때문에 VOC시료의 채취에 널리 사용하고 있음. 백에 채취한 고농도 시료는 2차적인 처리과정이 없이 바로 GC로 분석하는 것이 가능함. 저농도 시료의 경우, 저온농축 열탈착 시스템으로 GC에 주입하여 분석할 수도 있으나 백 방식은 시료 내에 포함되어 있는 수분에 의한 오차의 발생 또는 VOC 성분들 간의 화학적 결합에 의한 흡착손실(sorptive loss)과 같은 영향을 받을 수 있다. 또한, 보관 및 분석기간 동안에도 시료의 손실이 증가하는 것과 같은 오차요인 등이 나타나기도 함.

캐니스터 또는 테들러백의 포집으로 인한 분석은 반드시 농축과정이 필요하며 시멘트 수화가스의 VOCs를 검출하기에 많은 문제점을 가지고 있는 것으로 판단되었음. 특히 초기 시멘트 모르타르의 경우 일정정도의 수분이 존재하므로 저온에서 수분의 응축으로 관로가 막힐 수 있으며, 캐니스터의 용량한계로 전체 발생가스량의 포집이 불가능하였음.

그러나 수분이 존재하지 않는 재령이 지난 시멘트 콘크리트는 일부 물질이 분석되었으며, 상대적으로 고분자화합물은 테들러백 방식에서 현저하게 안정도가 떨어지는 것을 확인하였음.

바. VOCs 분석 프로세서 구성 및 혼화재 모르타르 분석

VOC 성분분석은 실험의 목적에 따라 기기적 측정을 하기 이전에 시료를 적절한 방법을 통하여 최적의 측정조건을 만드는 과정이 필요하며 측정에 알맞은 조건이 되도록 처리하는 것이 가장 중요함. 이러한 시료의 전처리 목적은 분석대상물질의 분리 및 농축, 시료 내 간섭물질의 제거 및 감소, 시료 매트릭스의 제거, 향상된 분석을 위한 시료 전처리로 볼 수 있으며 다양한 시료전처리 방법들 중 본 연구와 크게 관련이 있는 Purge & Trap 방법을 활용하여 시멘트 수화과정 중에 발생하는 가스를 측정 평가하여 적합한 방법을 선택하고자 함.

VOCs의 분석을 위한 전처리 방법은 대부분 시료를 농축시키는 방법으로 액체-액체 추출법(liquid-liquid extraction, LLE), 가스 추출법(gas extraction or static headspace extraction, HSE), 고체상 추출법(solid phase extraction, SPE), 막 추출법(membrane extraction, ME), 그리고 직접 주입법(direct injection aqueous, DIA) 등이 있음. 그러나 상기의 전처리방법은 반드시 농축과정이 필요하며 대기가스상의 VOCs를 검출하기에 많은 문제점을 가지고 있음. 이에 본 연구에서는 유기 용매를 전혀 사용하지 않고 분석 실험에 의한 이차 오염등을 막을 수 있는 퍼지앤트랩 응축법(purge and trap condensation, P&T)를 활용하여 적합한 측정 프로세서를 정립하고자 하였음.

(1) 발생가스의 저장방법선정

일반적으로 건축자재로부터 방출되는 화학물질을 포집하는 방법은 소재측정법,

데시케이터법, 방출시험챔버법 등으로 구분할 수 있다. 그러나 소재측정법의 경우 건축자재를 분쇄하여 그 성분을 측정하는 방법으로 건축자재를 구성하는 화학물질을 분석하는데 사용할 수는 있지만, 실내 공기 중에 방출되는 오염물질을 파악하기에는 곤란한 방법이다. 또한 데시케이터법은 포름알데히드 농도측정에 한정되며 이 방법은 건축자재의 양면과 측면으로부터 방출되는 농도를 측정하게 되므로 일반적인 실내공간에서의 방출특성과는 차이가 있어 두 시험방법 모두 일반적으로 표면에서 방출되는 화학물질의 농도를 측정하는 방법으로는 적절하지 않은 것으로 평가되었음. 이에 건축자재의 시편을 이용하여 오염물질 방출강도를 파악하는 방출시험 챔버법을 선정하여 시멘트-모르타르의 일정표면적에서 일정시간 동안 방출되는 가스를 포집할 수 있도록 구성하였음.

(2) 기체 Sampling 방법 선정

기체상태의 물질을 분석하는 과정에서 대상물질을 샘플링하는 방법은 크게 2가지로 구분할 수 있다. 하나는 플라스틱나 에어백, 또는 적절한 용기에 공기를 직접 샘플링하는 공기채집 방법이며, 다른 하나는 기체상태의 물질이 흡수제나 흡착제를 통과하는 동안 매개체에 흡수 또는 흡착되어 축적시키는 방법임. 공기채집 방법은 샘플링 시간이 불과 몇 초에서 수분 정도가 소요되며, 최대농도를 파악할 경우나 농도의 분포가 시간에 따라 일정한 경우에 적용하기 알맞은 방법이나, 특정한 화학물질을 분리하여 측정하지 않는 한 이러한 측정방법으로 낮은 농도의 VOCs 물질을 검출하기에는 어느 정도 한계가 있음. 또한 오염물질의 농도가 시간에 따라 변화하는 경우나 공기중의 농도가 매우 낮을 경우, 장시간 동안의 평균 농도를 파악하고자 할 경우에는 적당하지 않으며, 이때에는 측정 대상물질을 흡수용액에 용해시키거나 흡착제와의 반응을 유도하여 고정시키고 이를 실험실에서 분리, 분석하여 샘플링시간 동안의 평균농도를 측정하는 방법으로 흡착제를 이용하는 방법이 적절함.

(3) 고체 흡착제의 선정

흡착제이용법은 우리나라 공정시험방법 및 미국 EPA TO-17에 규정된 방법으로 SS나 Glass재질로 만들어진 흡착관에 적절한 흡착제를 충전하여 시료를 포집한 다음 용매로 추출하거나 열탈착을 이용해서 분석하는 방법임. 이는 기존의 Canister를 사용하여 기체를 연속포집 및 분석하는데 있어 어려움을 해결하기 위하여 개발된 방식이라고 볼 수 있었음. 비교적 분자량이 크고 휘발성이 낮은 semi-volatile VOCs의 경우 안정되게 포집이 가능하고 오염물질의 농도가 시간에 따라 변화하는 경우나, 장시간 동안의 평균 농도를 파악하고자 할 경우 바람직한 것으로 알려져 있다. 일반적으로 유해가스의 포집에 사용되는 흡착제는 흡착 보유능력이 큼과 동시에 흡착된 시료를 100% 탈착시킬 수 있는 특징을 가져야 하며, 사용하는 흡착제의 종류와 성능에 따라 포집 대상물질이 다르게 나타나므로 분석에 적합한 흡착제 선정이 필요함. 흡착제의 종류는 재질에 따라 고분자흡착제와 탄소계 흡착제 등으로 분류되며, 피흡착제의 물리화학적 특성 즉, 휘발

성, 극성, 용해성에 따라 흡착 강도가 다른데 초기 수화반응과정에 발생하는 기체 성분의 시료포집은 공기채집법을 대신하여 수분의 영향을 받지 않는 소수성의 고체흡착제를 활용한 흡착튜브포집법이 실험의 정확성을 높이기 위해 적합한 것으로 사료되었음.

이에 본 연구에서는 다른 흡착제에 비하여 흡착효율을 떨어지나 물에 대한 친화력이 작아 대기중의 수분으로 인한 영향을 크게 줄일 수 있는 Tenax계의 흡착제를 선정하였음. 또한 가스 포집에 있어서 Tenax계의 흡착제 중 2,6-diphenyl-p-phenylene oxide 구조의 내열성수지인 Tenax-TA에 23% 함침시킨 혼합충전제인 Tenax-GR흡착제를 선택하였다. 이는 기존의 Tenax-TA 흡착제에 비하여 알킬벤젠 및 VOCs 물질에 대한 흡착이 가능하며, 가스 포집의 대상 범위를 높일 것으로 사료되었기 때문임.

표 2-6 고체흡착관 비교

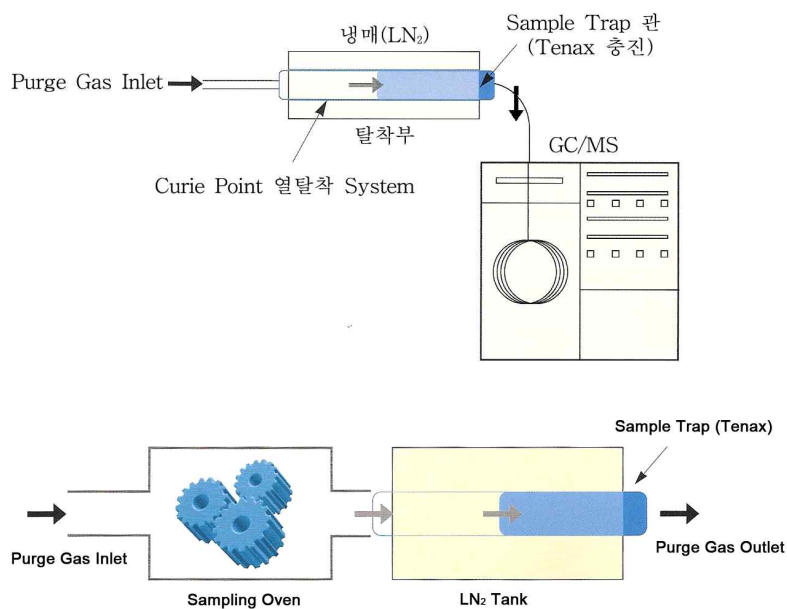
충진제명	구조	측정대상물질
Tenax-TA	2,6-diphenyl-p-phenylene oxide 구조의 내열성수지 표면적 35m ² /g 끓는점 100℃ ~ 400℃, n-C ₆ ~ n-C ₂₆	알코올 류, 아민류, 중휘발성극성화합물, 대기중의 유기물질
Tenax-GR	Tenax-TA에 23% 함침시킨 혼합충전제 표면적 35m ² /g 끓는점 100℃ ~ 450℃, n-C ₇ ~ n-C ₃₀	Tenax-TA포집물질+알킬벤젠, VOCs

일반 흡착제의 경우 그 충전량이 많을 경우 탈착과정에서 불완전한 탈착이 일어날 수 있어 충전제의 양을 0.2~0.5g을 사용하여 미량의 Out Gas를 손실할 수밖에 없는 구조적인 모순이 있었음. 그러나 Purge & Trap Sampler의 직렬 유로 구성으로 Dead Volume을 줄이고 Curie Point 가열방식으로 탈착부 전 영역을 일시에 고르게 가열함으로 불완전 탈착을 줄이므로, 충전량을 2.5g으로 늘려 실제 분석시 미량의 저비점 화합물도 손실 없이 Trap 할 수 있도록 하였음.

(4) 탈착방법 선정

흡착관을 사용하여 포집했을 때는 흡착된 시료의 탈착과정이 필요하며, 탈착방법으로는 용매추출법과 열탈착법이 주로 이용되고 있음. 용매추출법은 흡착된 VOCs를 CS₂등의 유기용매를 이용하여 추출한 다음 GC에 주입하여 분석하는 방법으로 사용되는 용매가 인체에 유해하고 저농도에 대한 탈착효율이 낮으며 감도가 낮아 분석방법으로 적합하지 않다. 반면 열탈착법은 용매추출법에 비해 분석 감도가 뛰어나므로 일반 대기중에 저농도로 존재하는 VOCs의 분석에 이용될 수

있으며, 탈착과정의 자동화가 쉽고, 흡착튜브의 탈착효율을 쉽게 확인할 수 있어 시멘트모르타르의 수화과정 상 발생 가능한 유기화합물에 대한 분석으로 가장 적합한 것으로 사료되었다. 이에 가스포집을 위해 선정하였던 Tenex-GR 흡착관의 열탈착을 위한 Curie Point Automated Purge & Trap sampler 분석 프로세서를 구성하였음.



*분석기기는 J사의 가열탈착장치를 사용

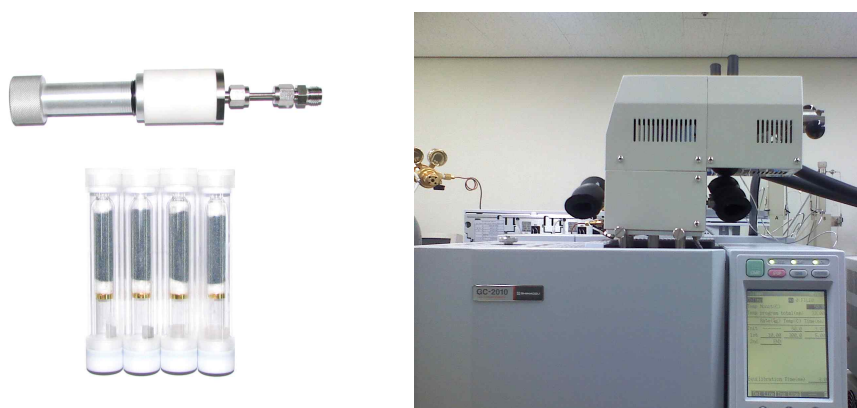


그림 2-10 VOCs 고체흡착관 분석 프로세서

각각의 표준시료의 Peak Match 결과는 90이상의 Quality를 나타내었으며, MS의 라이브러리를 통하여 분석 시료물질의 CAS Number와 화학식까지도 예측 가능하였음. 또한 각각의 Peak에 대한 면적값이 도출되어 검량선 작성 후 정량분석도 가능할 것으로 판단되었음.

(5) Fly ash 모르타르의 재령별 VOCs 정성분석

혼화재료의 혼입에 따른 시멘트 모르타르의 VOCs의 발생 특성을 확인하기 위하여 Fly ash를 혼입한 모르타르의 재령별 VOCs를 측정하고자 하였음. 이에 시멘트 콘크리트의 VOCs 분석 프로세서를 활용하여 일정공간에 타설된 Fly ash 모르타르에서 발생하는 각종 VOCs의 재령별 방출특성을 확인하였음.

- ① 분석용 시료 및 샘플링방법 : 시멘트 모르타르 배합은 KS 표준규격에 의하여 시멘트 : Fly ash : 잔골재 비를 0.5 : 0.5 : 2.45로 선정하였고, 원재료들이 충분히 혼합되도록 건비빔한 후, 물(W/C 50%)을 가해 모르타르 믹서로 1분 30초 동안 비빔하여 모르타르를 제조하였음. 제조된 모르타르는 각각 부하율을 $25\text{m}^3/\text{m}^3(\pm 10\%)$ 으로 정량하여 일정 표면적 ($120 \times 120 \times 15\text{mm}$)의 시험체를 타설 후 각각 3시간, 3일, 10일, 30일, 1년 양생기간에 챔버에 밀봉하여 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 5\%$ 항온·항습 보관하여 가스시료를 챔버내에 포집하였다. 3시간동안 발생한 가스를 MFC 펌프를 활용하여 $300\text{m}\ell/\text{min}$ 의 유량으로 총 5ℓ 를 Tenax-GR 흡착관에 흡착하였음.

② GC/MS Purge & Trap 분석조건

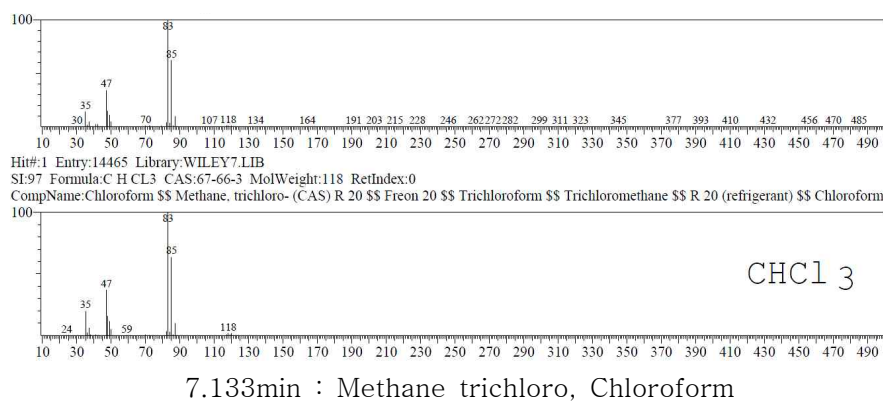
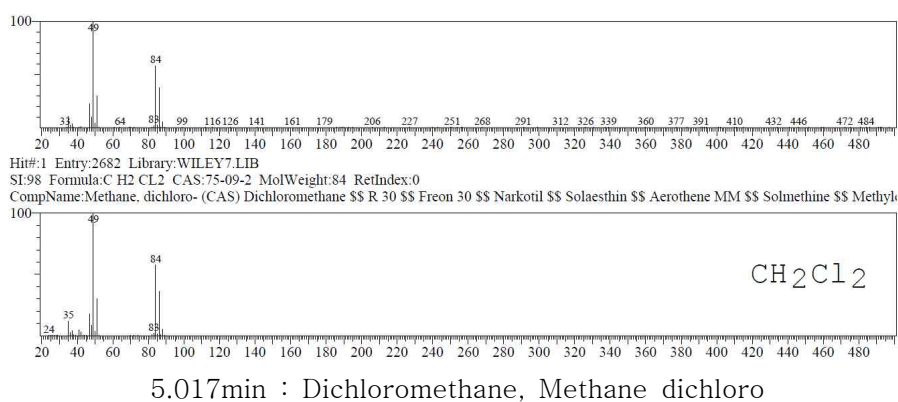
표 2-7 GC/MS 분석조건

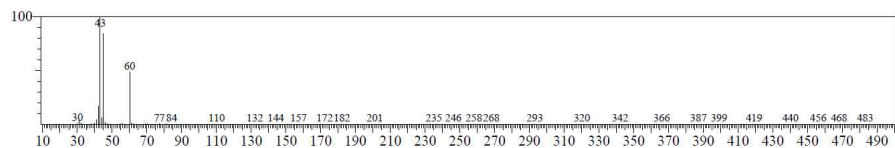
항 목	설정 값
주입기 온도	280°C
운반기체	He, $1.0\text{ m}\ell/\text{min}$
컬럼	DB-624 캐필러리컬럼 Length $30\text{m} \times \text{Dia } 0.25\text{mm} \times \text{Film } 0.25\mu\text{m}$
온도 프로그램	$40^\circ\text{C}(3\text{min Hold}) - 10^\circ\text{C}/\text{min to } 260^\circ\text{C}(5\text{min Hold})$ (모든 목표화합물이 용리될 때 까지)

항 목	설정 값
인터페이스 온도	250°C
이온원 온도	200°C
이온화 방법	전자이온화(70 eV)
질량범위	스캔, $m/z\ 35\text{ to } m/z\ 300$

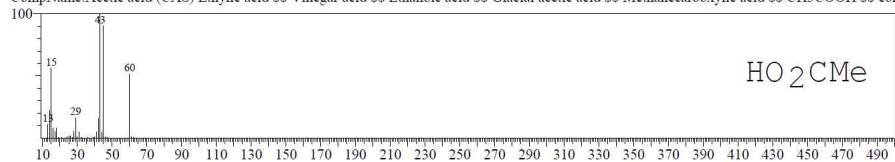
	Load	Air Purge	P u r g e & Trap	Stand by	Desorp	Analy
Time(min)		1	30	1	3	29
P.S (ml/min)	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
S.S (ml/min)	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
PAT (℃)	30	30	280	80	80	80
Cryo (℃)	-40	-40	-40	1	1	1

③ GC/MS Purge & Trap 분석결과

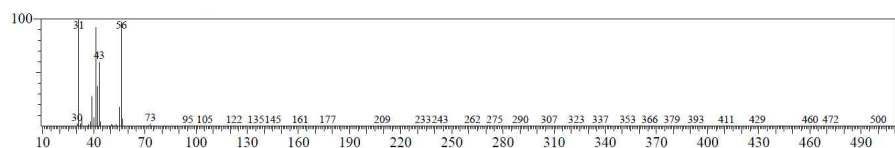




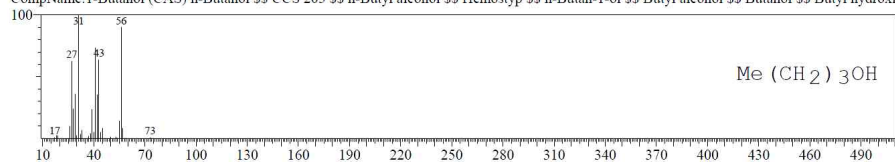
Hit#1 Entry:628 Library:WILEY7.LIB
 SI:98 Formula:C2 H4 O2 CAS:64-19-7 MolWeight:60 RetIndex:0
 CompName:Acetic acid (CAS) Ethylic acid \$\$ Vinegar acid \$\$ Ethanoic acid \$\$ Glacial acetic acid \$\$ Methanecarboxylic acid \$\$ CH3COOH \$\$ cor



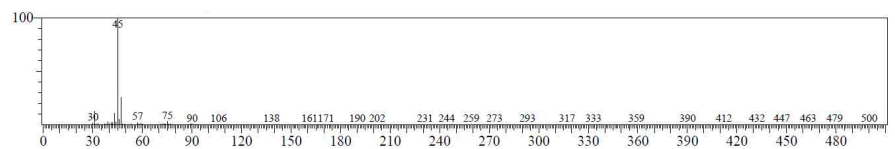
8.017min : Ethylic acid, Acetic acid



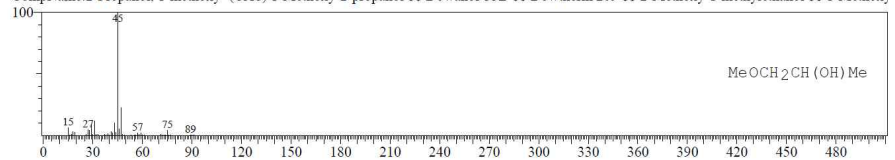
Hit#1 Entry:1766 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C4 H10 O CAS:71-36-3 MolWeight:74 RetIndex:0
 CompName:1-Butanol (CAS) n-Butanol \$\$ CCS 203 \$\$ n-Butyl alcohol \$\$ Hemostyp \$\$ n-Butan-1-ol \$\$ Butyl alcohol \$\$ Butanol \$\$ Butyl hydroxi



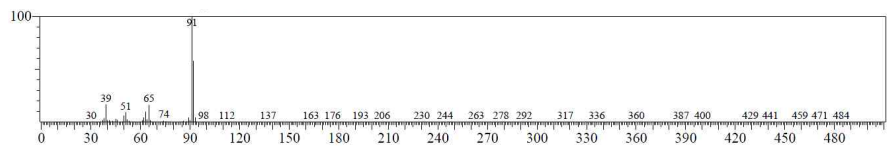
8.650min : n-Butanol, 1-Butanol



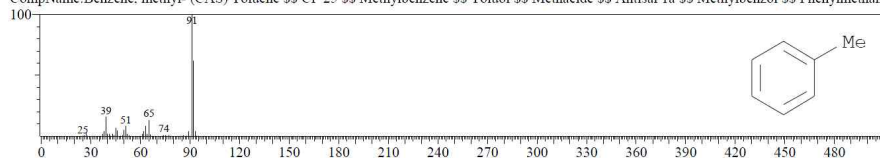
Hit#1 Entry:4450 Library:WILEY7.LIB
 SI:98 Formula:C4 H10 O2 CAS:107-98-2 MolWeight:90 RetIndex:0
 CompName:2-Propanol, 1-methoxy- (CAS) 1-Methoxy-2-propanol \$\$ Dowanol-33B \$\$ Dowtherm 209 \$\$ 2-Methoxy-1-methylethanol \$\$ 1-Methoxy



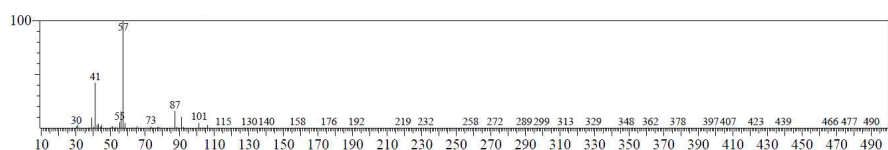
8.717min : 1-Methoxy-2-propanol, 2-Propanol



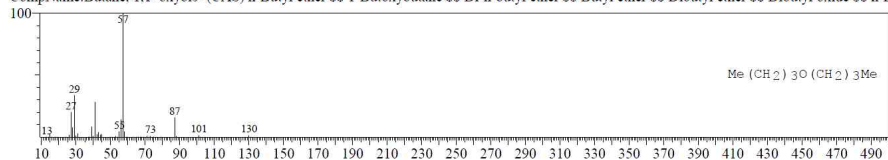
Hit#:1 Entry:4670 Library:WILEY7.LIB
 SI:98 Formula:C₇H₈ CAS:108-88-3 MolWeight:92 RefIndex:0
 CompName:Benzen, methyl- (CAS) Toluene \$\$ CP 25 \$\$ Methylbenzene \$\$ Toluol \$\$ Methacide \$\$ Antisal 1a \$\$ Methylbenzol \$\$ Phenylmethane



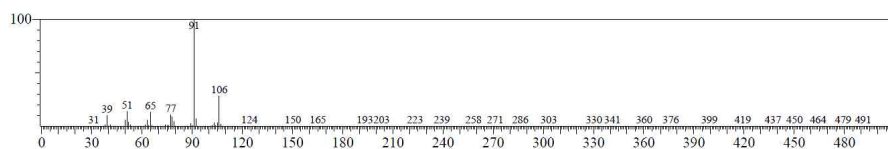
10.620min : Toluene



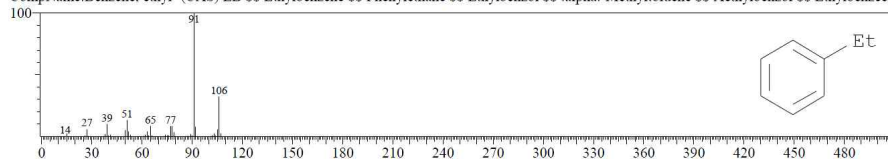
Hit#:1 Entry:22113 Library:WILEY7.LIB
 SI:93 Formula:C₈H₁₈O CAS:142-96-1 MolWeight:130 RefIndex:0
 CompName:Butane, 1,1'-oxybis- (CAS) n-Butyl ether \$\$ 1-Butoxybutane \$\$ Di-n-butyl ether \$\$ Butyl ether \$\$ Dibutyl ether \$\$ Dibutyl oxide \$\$ n-



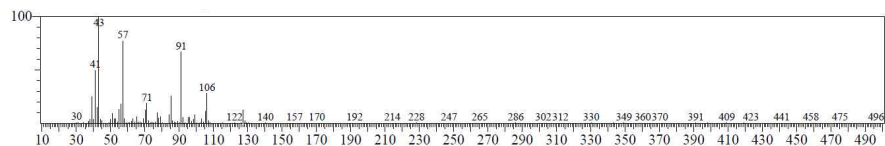
12.792min : n-Butyl ether, Butane



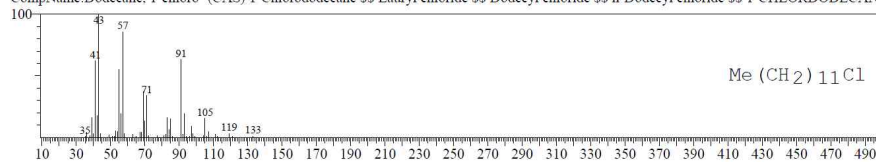
Hit#:1 Entry:8877 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C₈H₁₀ CAS:100-41-4 MolWeight:106 RefIndex:0
 CompName:Benzen, ethyl- (CAS) EB \$\$ Ethylbenzene \$\$ Phenylethane \$\$ Ethylbenzol \$\$.alpha.-Methyltoluene \$\$ Aethylbenzol \$\$ Ethylbenzene



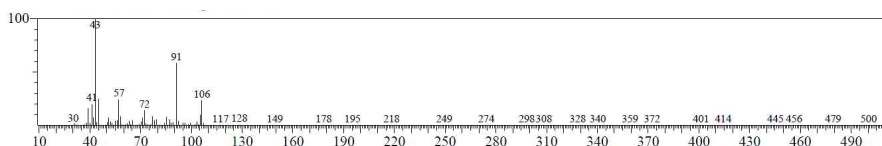
12.842min : Ethyl benzene, Benzene, ethyl-1



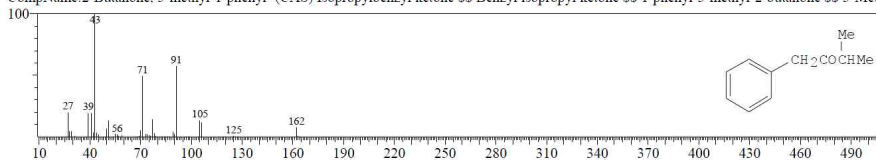
Hit#1 Entry:100593 Library:WILEY7.LIB
 SI:83 Formula:C12 H25 Cl CAS:112-52-7 MolWeight:204 RetIndex:0
 CompName:Dodecane, 1-chloro- (CAS) 1-Chlorododecane \$\$ Lauryl chloride \$\$ Dodecyl chloride \$\$ n-Dodecyl chloride \$\$ 1-CHLORDODECAN :



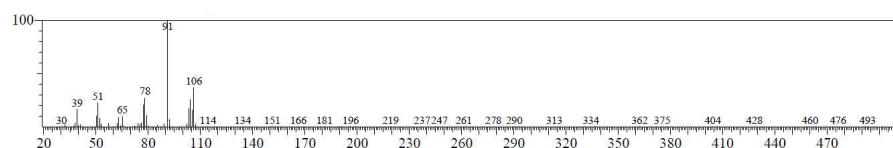
13.017min : 1-Chlorododecane, Dodecane



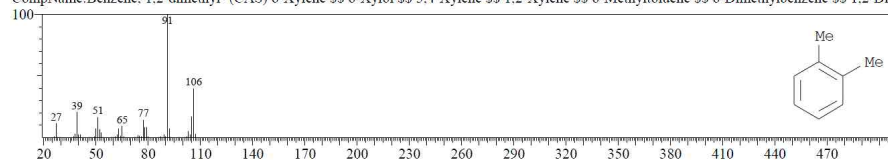
Hit#1 Entry:51638 Library:WILEY7.LIB
 SI:80 Formula:C11 H14 O CAS:2893-05-2 MolWeight:162 RetIndex:0
 CompName:2-Butanone, 3-methyl-1-phenyl- (CAS) Isopropylbenzyl ketone \$\$ Benzyl isopropyl ketone \$\$ 1-phenyl-3-methyl-2-butanone \$\$ 3-Methyl-2-butanone, 1-phenyl-



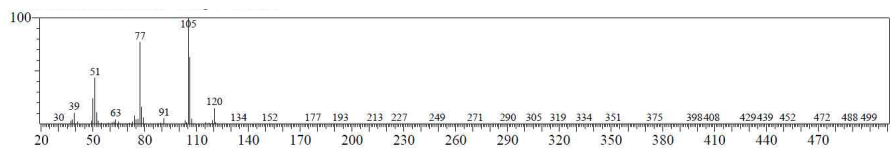
13.033min : Isopropylbenzyl ketone



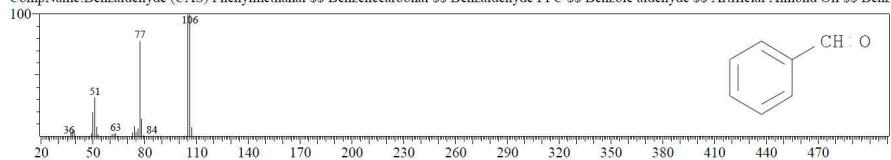
Hit#1 Entry:8894 Library:WILEY7.LIB
 SI:91 Formula:C8 H10 CAS:95-47-6 MolWeight:106 RetIndex:0
 CompName:Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS) o-Xylene \$\$ o-Xylol \$\$ 3,4-Xylene \$\$ 1,2-Xylene \$\$ o-Methyltoluene \$\$ o-Dimethylbenzene \$\$ 1,2-Dimethylbenzene



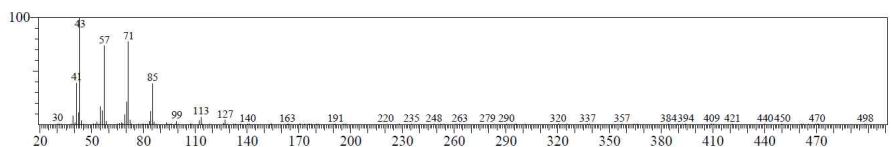
13.633min : o-Xylene, Benzene 1,2-dimethyl



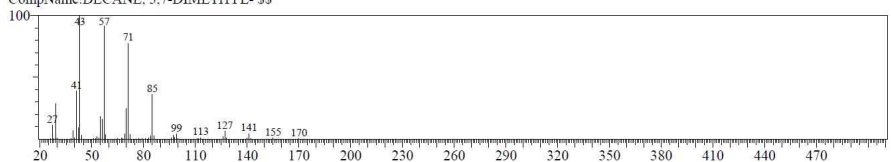
Hit#:1 Entry:8863 Library:WILEY7.LIB
 SI:90 Formula:C7 H6 O CAS:100-52-7 MolWeight:106 RetIndex:0
 CompName:Benzaldehyde (CAS) Phenylmethanal \$\$ Benzenecarbonal \$\$ Benzaldehyde FFC \$\$ Benzoic aldehyde \$\$ Artificial Almond Oil \$\$ Benz



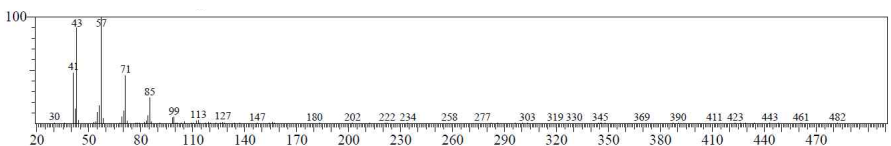
15.714min : Benzaldehyde



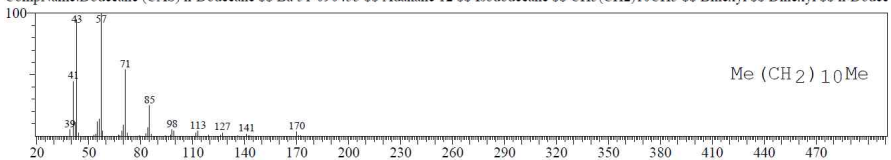
Hit#:1 Entry:60761 Library:WILEY7.LIB
 SI:95 Formula:C12 H26 CAS:17312-54-8 MolWeight:170 RetIndex:0
 CompName:DECANE, 3,7-DIMETHYL- \$\$



16.275min : Decane, 3,7-Dimethyl



Hit#:1 Entry:61336 Library:WILEY7.LIB
 SI:95 Formula:C12 H26 CAS:112-40-3 MolWeight:170 RetIndex:0
 CompName:Dodecane (CAS) n-Dodecane \$\$ Ba 51-090453 \$\$ Adakane 12 \$\$ Isododecane \$\$ CH3(CH2)10CH3 \$\$ Bihexyl \$\$ Dihexyl \$\$ n-Dodec



17.000 min : n-Dodecane, Dodecane

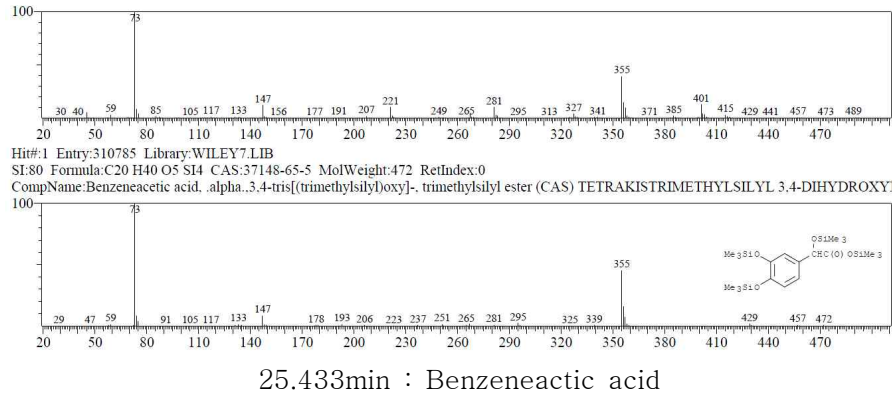


그림 2-11 Fly ash 모르타르의 재령별 VOCs 정성분석

Fly ash를 혼입한 모르타르는 가장 다양한 종류의 VOCs가 분석되었으며, 보통 포틀랜드 시멘트 모르타르에서 분석되지 않았던 Methane, Methane trichloro이 재령 초기에 분석되었으며, 1,3,5-trioxane과 trichloro methane과 같은 휘발성 유기화합물도 분석되었음. Fly ash를 혼입한 모르타르의 수화과정에서 발생하는 다양한 휘발성유기화합물 중 Ethylic acid, 1-Methoxy-2-popropanol, Decane, 2-Ethylhexanol, Dodecane의 물질은 일반 OPC 모르타르와 동일하게 재령이 지날수록 Peak의 정도와 면적은 감소하였음.

(6) GBFS 모르타르의 재령별 VOCs 정성분석

혼화재료의 혼입에 따른 시멘트 모르타르의 VOCs의 발생 특성을 확인하기 위하여 GBFS를 혼입한 모르타르의 재령별 VOCs를 측정하고자 하였음. 이에 시멘트 콘크리트의 VOCs 분석 프로세스를 활용하여 일정공간에 타설된 GBFS 모르타르에서 발생하는 각종 VOCs의 재령별 방출특성을 확인하였음.

- ① 분석용 시료 및 샘플링방법 : 시멘트 모르타르 배합은 KS 표준규격에 의하여 시멘트 : Fly ash : 잔골재 비를 0.5 : 0.5 : 2.45로 선정하였고, 원재료들이 충분히 혼합되도록 건비빔한 후, 물(W/C 50%)을 가해 모르타르 믹서로 1분 30초 동안 비빔하여 모르타르를 제조하였음. 제조된 모르타르는 각각 부하율을 $25\text{m}^2/\text{m}^3 (\pm 10\%)$ 으로 정량하여 일정 표면적 ($120 \times 120 \times 15\text{mm}$)의 시험체를 타설 후 각각 3시간, 3일, 10일, 30일, 1년 양생기간에 챔버에 밀봉하여 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 5\%$ 항온·항습 보관하여 가스시료를 챔버내에 포집하였다. 3시간동안 발생한 가스를 MFC 펌프를 활용하여 $300\text{mL}/\text{min}$ 의 유량으로 총 5L 를 Tenax-GR 흡착관에 흡착하였음.

② GC/MS Purge & Trap 분석조건

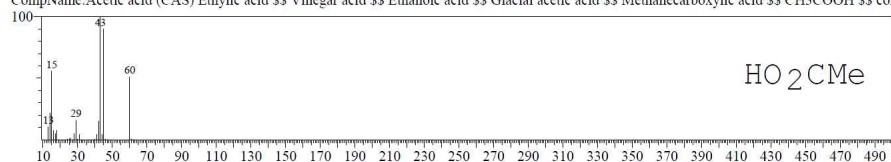
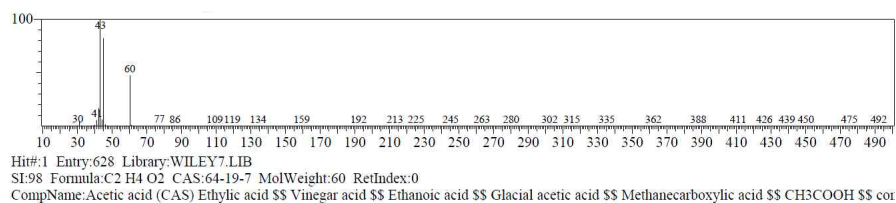
표 2-8 GC/MS 분석조건

항 목	설 정 값
주입기 온도	280℃
운반기체	He, 1.0 ml/min
컬럼	DB-624 캐필러리컬럼 Length 30m × Dia 0.25mm × Film 0.25μm
온도 프로그램	40℃(3min Hold) - 10℃/min to 260℃(5min Hold) (모든 목표화합물이 용리될 때 까지)

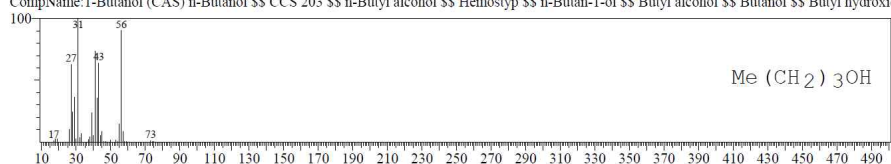
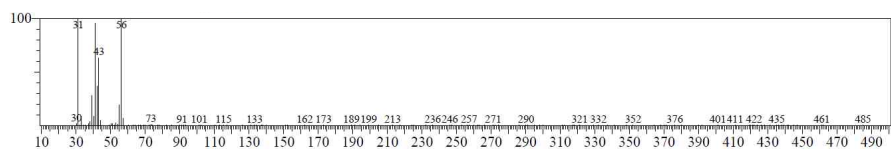
항 목	설 정 값
인터페이스 온도	250 ℃
이온원 온도	200 ℃
이온화 방법	전자이온화(70 eV)
질량범위	스캔, m/z 35 to m/z 300

	Load	Air Purge	Purge & Trap	Stand by	Desorp	Analy
Time(min)		1	30	1	3	29
P.S (ml/min)	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
S.S (ml/min)	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
PAT (℃)	30	30	280	80	80	80
Cryo (℃)	-40	-40	-40	1	1	1

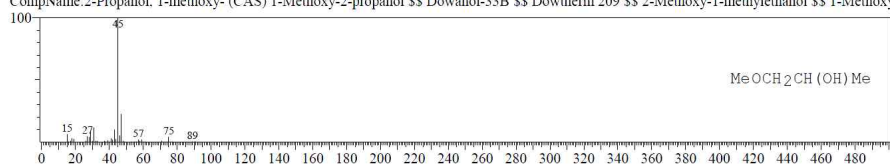
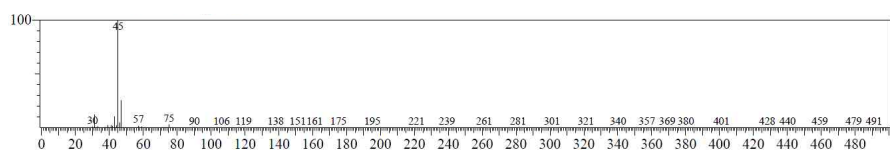
③ GC/MS Purge & Trap 분석결과



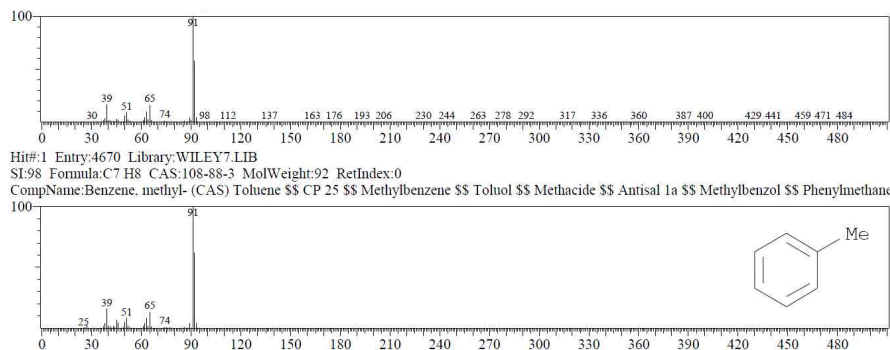
8.083min : Ethylic acid, Acetic acid



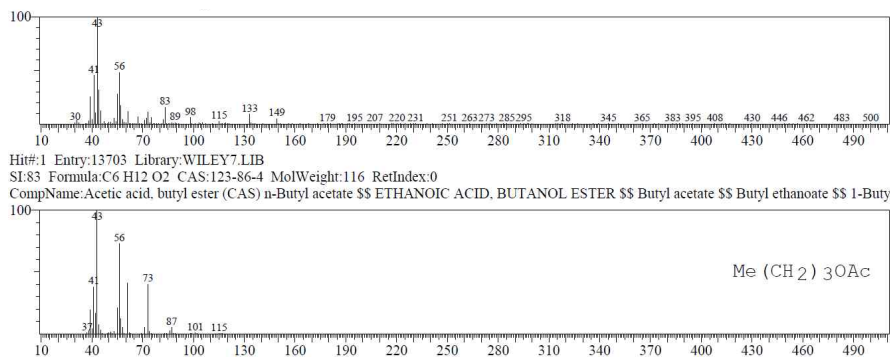
8.633min : n-Butanol, 1-Butanol



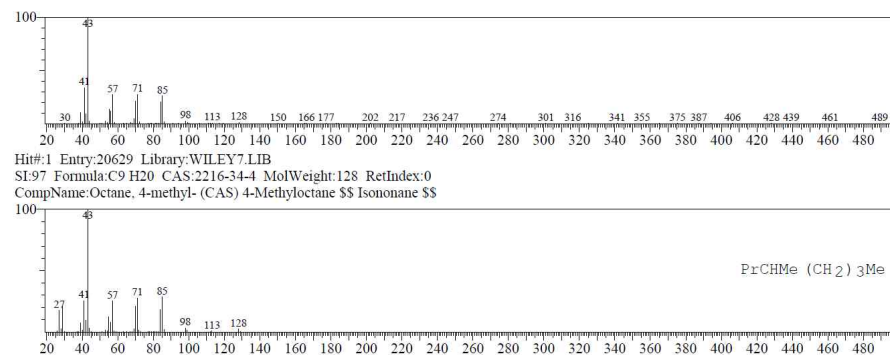
8.700min : 1-Methoxy-2-propanol, 2-Propanol



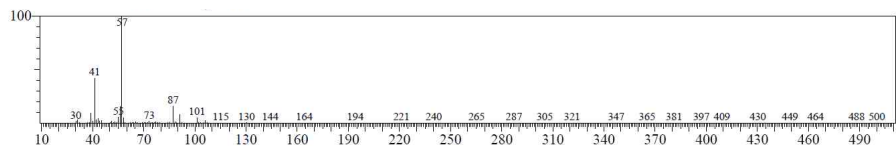
10.620min : Toluene



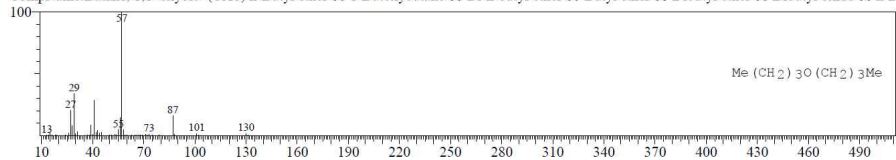
11.667min : n-Butyl acetate, Acetic acid



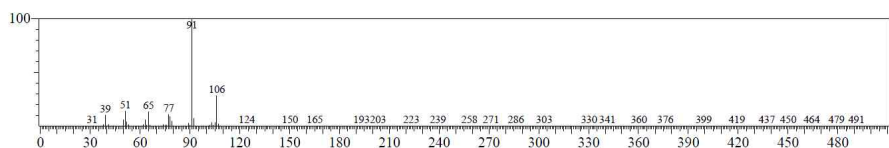
12.258 min : 4-methyloctane, Octane



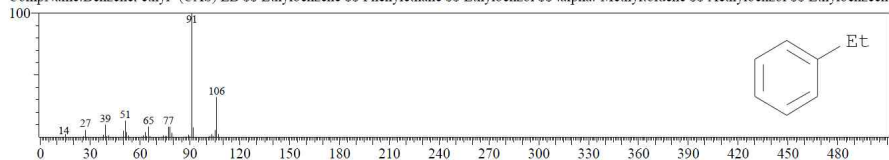
Hit#:1 Entry:22113 Library:WILEY7.LIB
 SI:94 Formula:C8 H18 O CAS:142-96-1 MolWeight:130 RefIndex:0
 CompName:Butane, 1,1'-oxybis- (CAS) n-Butyl ether \$ 1-Butoxybutane \$ Di-n-butyl ether \$ Butyl ether \$ Dibutyl ether \$ Dibutyl oxide \$ n-E



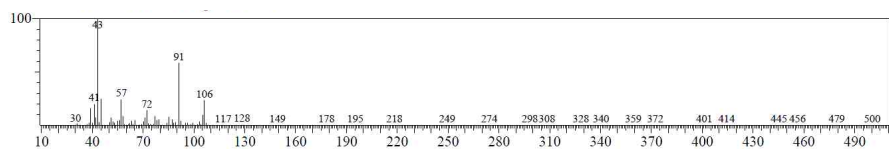
12.792 min : n-Butyl ether, Butane



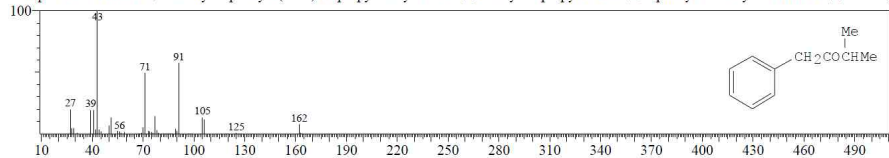
Hit#:1 Entry:8877 Library:WILEY7.LIB
 SI:96 Formula:C8 H10 CAS:100-41-4 MolWeight:106 RefIndex:0
 CompName:Benzene, ethyl- (CAS) EB \$ Ethylbenzene \$ Phenylethane \$ Ethylbenzol \$.alpha.-Methyltoluene \$ Aethylbenzol \$ Ethylbenzeen



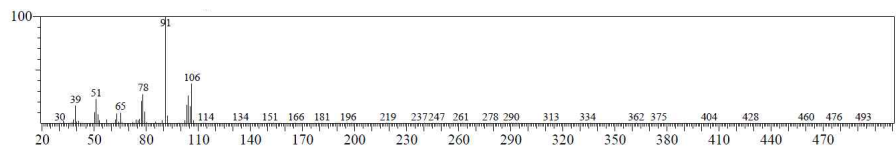
12.842min : Ethyl benzene, Benzene, ethyl- 1



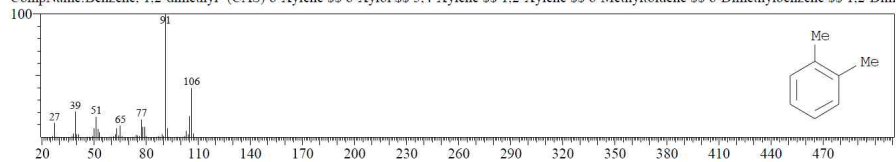
Hit#:1 Entry:51638 Library:WILEY7.LIB
 SI:80 Formula:C11 H14 O CAS:2893-05-2 MolWeight:162 RefIndex:0
 CompName:2-Butanone, 3-methyl-1-phenyl- (CAS) Isopropylbenzyl ketone \$ Benzyl isopropyl ketone \$ 1-phenyl-3-methyl-2-butanone \$ 3-Meth



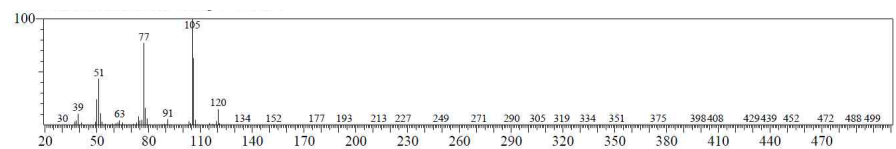
13.033min : Isopropylbenzyl ketone



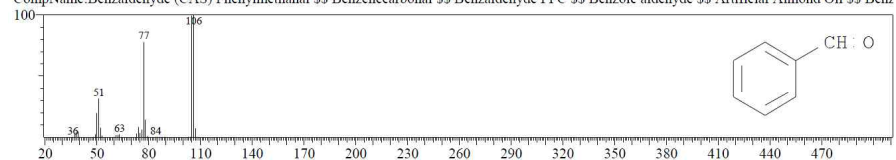
Hit#:1 Entry:8894 Library:WILEY7.LIB
 SI:91 Formula:C8 H10 CAS:95-47-6 MolWeight:106 RetIndex:0
 CompName:Benzen, 1,2-dimethyl- (CAS) o-Xylene \$\$ o-Xylol \$\$ 1,2-Xylene \$\$ o-Methyltoluene \$\$ o-Dimethylbenzene \$\$ 1,2-Dim



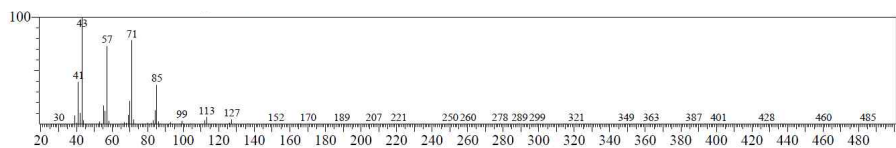
13.633min : o-Xylene, Benzene 1,2-dimethyl



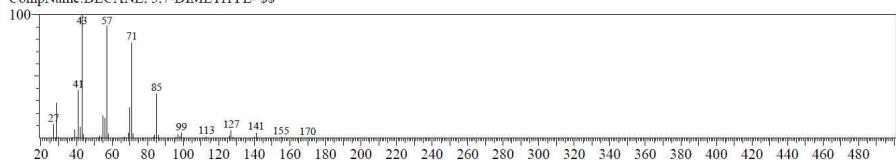
Hit#:1 Entry:8863 Library:WILEY7.LIB
 SI:90 Formula:C7 H6 O CAS:100-52-7 MolWeight:106 RetIndex:0
 CompName:Benzaldehyde (CAS) Phenylmethanal \$\$ Benzenecarbonal \$\$ Benzaldehyde FFC \$\$ Benzoic aldehyde \$\$ Artificial Almond Oil \$\$ Benz



15.714min : Benzaldehyde



Hit#:1 Entry:60761 Library:WILEY7.LIB
 SI:95 Formula:C12 H26 CAS:17312-54-8 MolWeight:170 RetIndex:0
 CompName:DECANE, 3,7-DIMETHYL- \$\$



16.275min : Decane, 3,7-Dimethyl

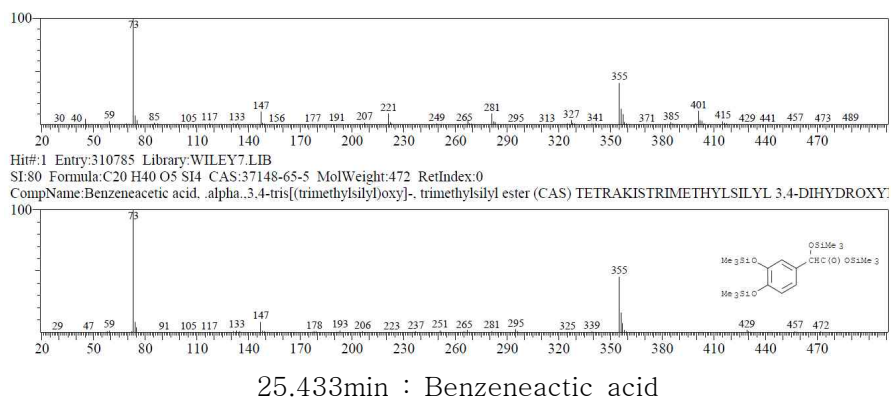
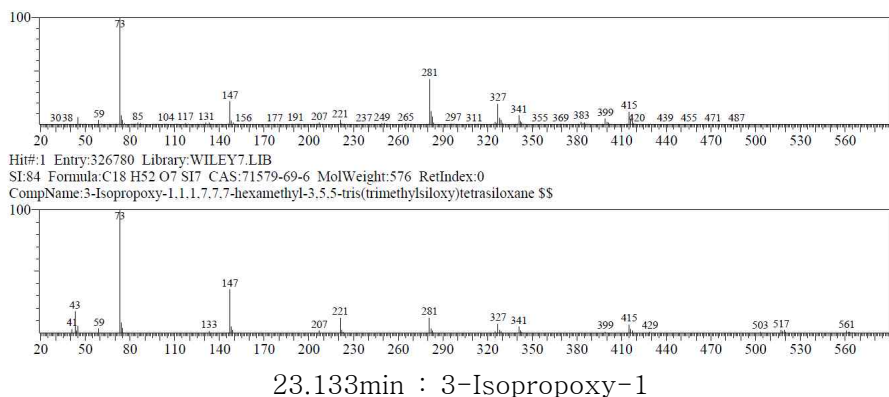
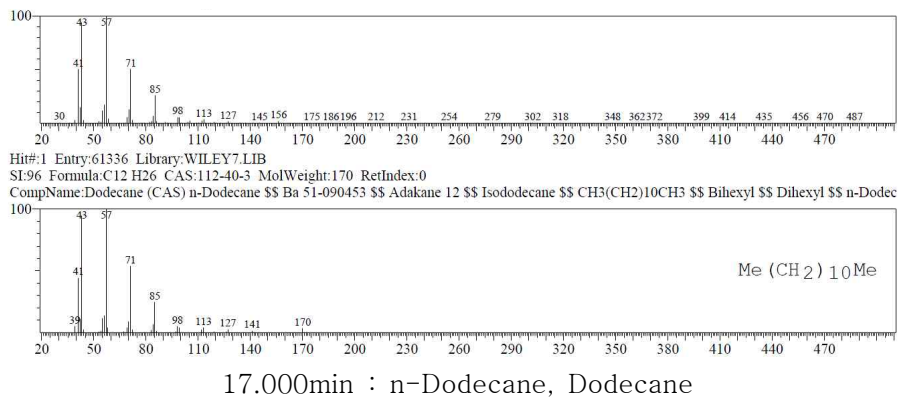


그림2-12 GBFS 모르타르의 재령별 VOCs 정성분석

GBFS를 혼입한 모르타르에서 OPC 모르타르에서 분석되지 않았던 Dodecane, 3-Isopropoxy-1과 같은 휘발성이 미약한 물질들이 재령 전반에 걸쳐 분석되었음. GBFS를 혼입한 모르타르의 VOCs의 경우 상기 2~3가지의 물질이외에 OPC 모르타르에서 분석되었던 휘발성유기화합물과 거의 유사하였음.

사. 인공신경망을 활용한 모델분석 기법연구

(1) 원리 및 개요

신경 시스템에서 가장 기본적인 단위는 뉴런 (neuron) 이라는 세포이다. 각각의 뉴런은 신경시스템에서 여러가지 기능적인 역할을 담당함. 뉴런의 크기나 형태는 여러가지가 있지만 기본적으로는 세포체와 세포체로부터 나온 많은 돌기로 구성되어 있음. 뇌는 다수의 뉴런이 서로 연결된 신경망으로 구성되어 있다. 뉴런의 기본적인 기능은 정보의 수용, 연산처리, 출력의 전송 등의 3 가지임. 뉴런간의 정보교환은 모두 시냅스를 통해 행해지며 정보의 전달방향은 항상 한쪽 방향임.

인공신경망의 뉴런과 생물학적인 뉴런과의 차이는 매우 큼. 우선, 생물학적인 뉴런은 주위의 뉴런들과 고밀도의 연결을 가짐. 두뇌에서의 경우 한 개의 뉴런은 1,000 개에서 100,000 개의 다른 뉴런들과 연결되어 있다. 인공신경망에서는 이것의 1% 가량의 연결성도 현재 수준으로는 원활하게 처리하기 어렵고. 또한 생물학적인 뉴런들은 본래부터 전기화학적 (electro-chemical) 인 신호전달이다. 즉 뉴런들 사이의 연결강도는 전기적인 신호에만 의존하는 것이 아니고 전기적인 신호와 화학적인 신호들에 의해 조정됨. 현재까지 이러한 전기화학적 신경망의 모델링은 거의 없었음.

인공신경망에서는 이러한 전기화학적 신호전달 대신에 뉴런과 뉴런 사이에 수치적 가중치 (numerical weight) 를 줌. 이 가중치는 뉴런 사이의 연결특성과 영향 강도를 결정한다. 뇌는 하드웨어적으로 느린 성질을 신경망이 가지고 있는 병렬분산성을 통하여 다량의 정보를 안정적으로 처리하고 있음. 뇌의 처리속도가 느린 뉴런을 이용하여 현재의 컴퓨터로 처리하기 힘든 패턴인식을 짧은 시간에 수행할 수 있는 것은 고도의 병렬 분산성 때문이다. 인간의 정보처리 시스템은 하드웨어적 및 소프트웨어적으로 병렬 분산 처리를 하고 있으며 계층적 구조를 가지고 있다고 생각됨. 따라서 뇌를 표본으로 한 신경망의 일반적인 모델로서 각 계층 내에서 각각의 모듈이 서로 상호 결합된 계층적인 병렬 분산 처리 시스템이 타당할 것으로 판단됨.

(2) 인공신경망의 구조

기본적인 인공신경망 구조는 한 개의 입력층 (input layer), 은닉층 (hiddenlayer), 한 개의 출력층 (output layer)의 구조이며 입력층과 출력층의 뉴런의 수는 각각 입력변수와 출력변수의 수와 같게 함. 은닉층 안의 뉴런의 최적의 수는 광범위한 테스트를 거쳐 결정됨. (Matthias, 2001). 특히 은닉층이 한 개의 층만 존재하지만, 더 많은 수의 은닉층이 있다면 정확도는 더 높아질 수 있음. 입력층의 각 unit 에 입력 변수값을 주면 이 신호는 각 unit 에서 변환되어 중간층 (또는 은닉층) 에 전달되고 최후에 출력층에서 신호를 출력하게 됨. 이 출력값과 목표값을 비교하여 차이를 줄여나가는 방향으로 연결강도 (또는 가중치 와 편

심치) 를 조절하고 상위층에서 역전파하여 하위층에서는 이를 근거로 다시 자기층의 연결강도를 조정해 나가게 됨.

(3) 인공신경망의 학습

인공신경망 구조가 정해지면, 가중치 (weight), 편심치 (bias) 값은 알려진 입력값과 출력값을 사용하여 구해야 하며, 이러한 과정을 학습 (learning) 이라고 함. 또한 은닉층의 뉴런수도 학습을 통하여 오차값을 가장 적게 할 수 있는 최적 개수를 찾아야 함. 인공신경망에 의한 예측치와 알려진 실험치와의 평균오차 (MSE) 가 가장 작도록 하는 구조에서 얻어진 가중치가 정해지면, 예측치 ($\hat{a}$) 와 실험치 (a) 간의 상관계수 (correlation coefficient)를 구할 수 있고 이 상관계수 (R^2) 는 다음과 같이 구해짐.

아. 가중치분석을 통한 입력변수와 출력변수간 중요도 해석

인공신경망 기법의 장점중의 하나는 입력변수와 출력변수간 비선형적 관계에 대한 민감도 (sensitivity) 또는 중요성 (importance) 을 쉽게 해석할 수 있다는 것임. 이 해석은 가중치 (weight) 와 편심치 (bias) 를 함께 이용하면서 수행될 수 있음. 입력변수와 출력변수간의 상대적 중요성을 가중치만을 이용하여 평가할 수 있는 간단한 방법은 은닉층과 출력층사이의 연결가중치를 각각의 입력변수에 대하여 분할하는 것임.

암모니아 방출량 예측모델의 경우, Input layer (입력층) 에 들어가는 입력값은 2 가지 정보로서 시멘트, 고로슬래그의 양이다. Hidden layer (중간층) 에서는 입력값, 가중치 (weight), 편심치 (bias) 를 이용하여 계산하고 전환함수 (transfer function) 을 거쳐 출력층에 값을 전달함. 여기에서 사용되는 전환함수는 sigmoid function 이다. Output layer (출력층) 로 출력될 출력값으로는 암모니아 가스의 봉산용액의 포집 정도를 나타내는 Abs 값으로 하여 함수로 구성됨.

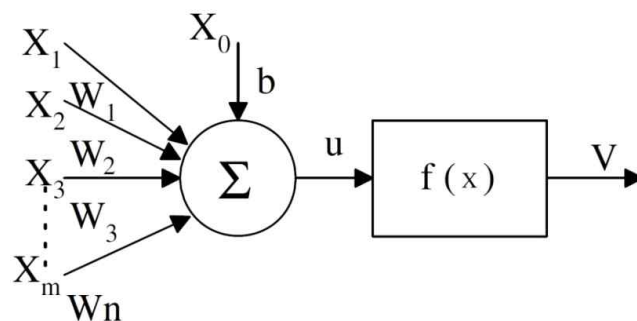


그림 2-13 ANN 알고리즘 모식도

자. 고로슬래그 모르타르의 암모니아가스 방출 ANN 모델 선정

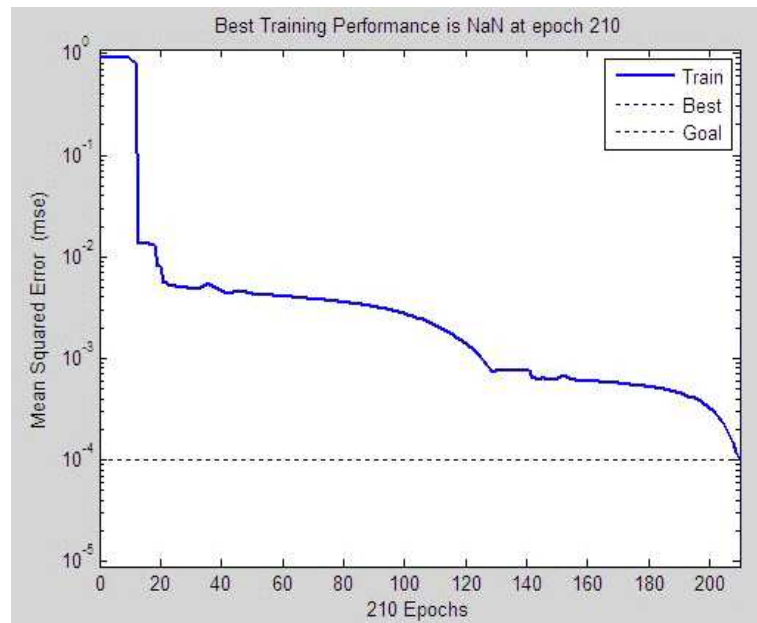
(1) 재령별 암모니아 가스 데이터

표 2-9 고로슬래그 모르타르 암모니아 측정결과

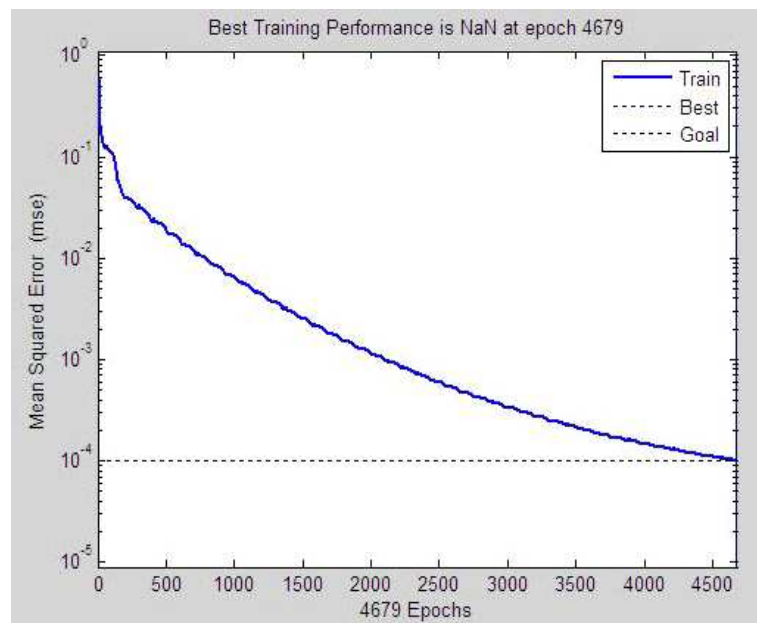
	Type	Absorbance (Abs)	Ammonia (ml)	Specimen ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-h}$)
1-day	OPC Mortar	0.1417	2.70	83.1
	GBFS-20	0.2675	6.00	296.6
	GBFS-40	0.3444	8.00	425.9
	GBFS-60	0.7730	19.10	1143.9
3-day	OPC Mortar	0.320	7.30	380.7
	GBFS-20	0.669	16.40	969.3
	GBFS-40	1.059	26.60	1629.1
	GBFS-60	2.405	61.60	3893.1
10-day	OPC Mortar	0.319	3.82	402.6
	GBFS-20	0.943	11.29	1369.4
	GBFS-40	1.69	20.28	2531.5
	GBFS-60	1.873	22.43	2810.4
30-day	OPC Mortar	0.302	3.55	367.2
	GBFS-20	0.505	5.93	675.6
	GBFS-40	0.557	6.54	754.5
	GBFS-60	0.588	6.90	801.6

본 연구에서는 암모니아 방출량에 영향을 줄 수 있는 입력변수와 이에 따른 암모니아 방출량을 예측할 수 있는 실험데이터에 근거하여 구한 출력값을 훈련집합으로 정하였음. 이 훈련집합은 학습을 통해 정해진 가중치와 편심치의 신뢰성을 판단할 확인집합으로 남겨놓는다. 훈련집합과 확인집합의 구분은 난수를 발생시켜 무작위로 선택함. 학습을 통해 정해진 가중치와 편심치로 계산된 값과 실험값으로 계산된 확인집합을 비교하여 상관계수 (R^2)를 구하고, 개발된 인공신경망 모델의 신뢰성을 판단하였음.

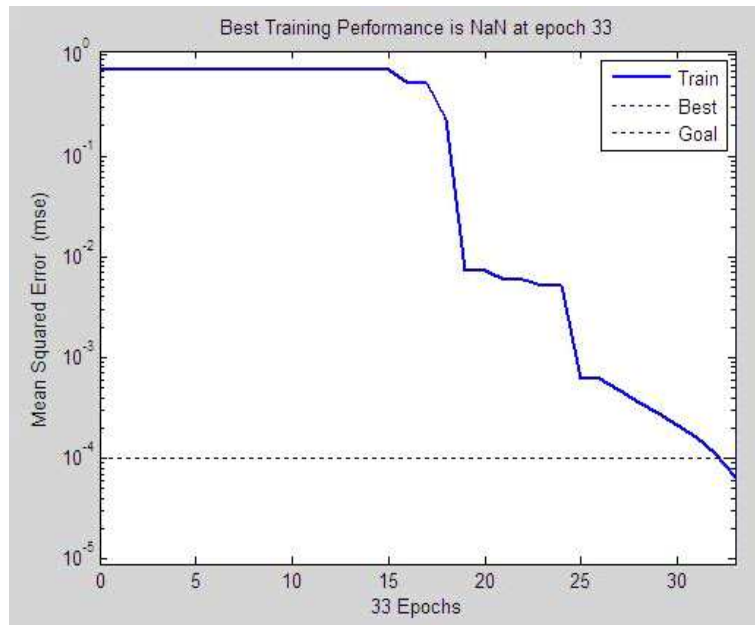
(2) 알고리즘 적용



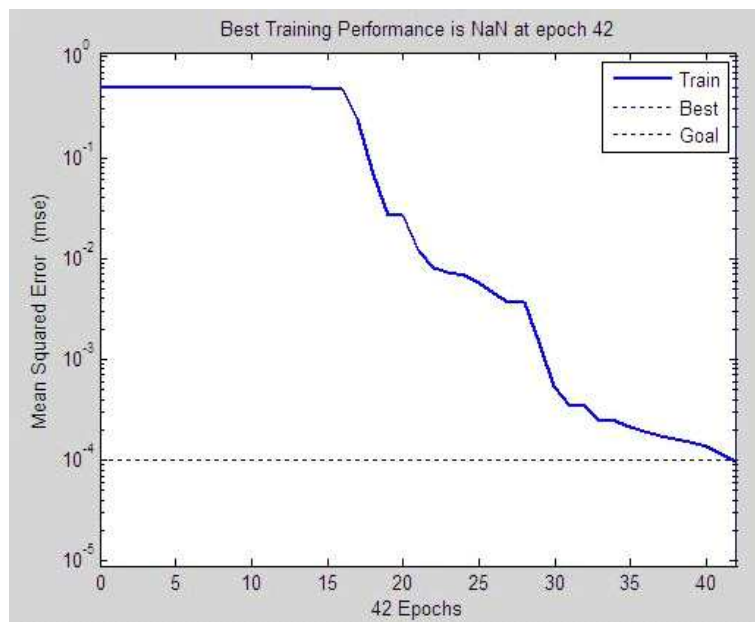
< 1-day >



< 3-day >

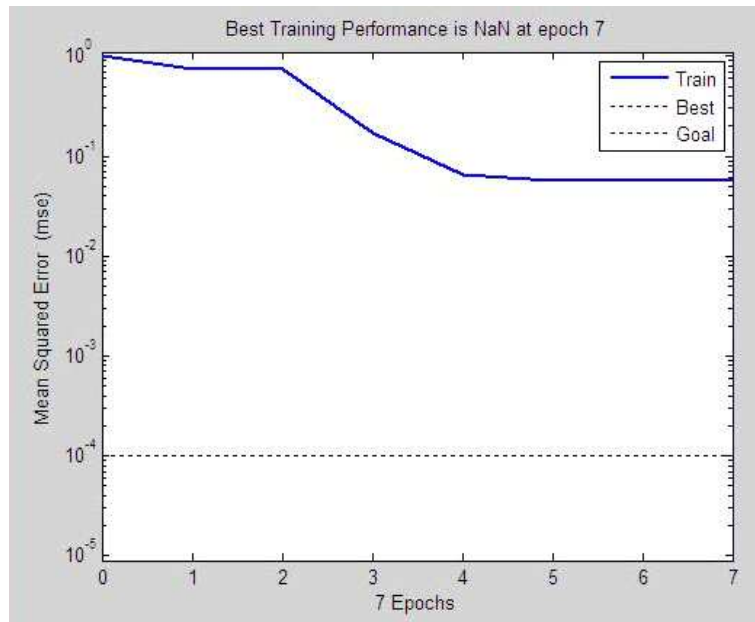


< 10-day >

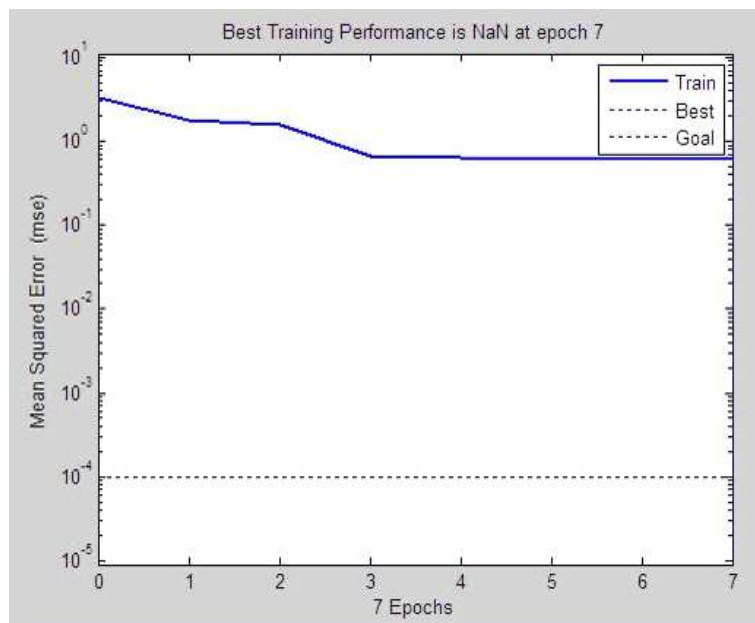


< 30-day >

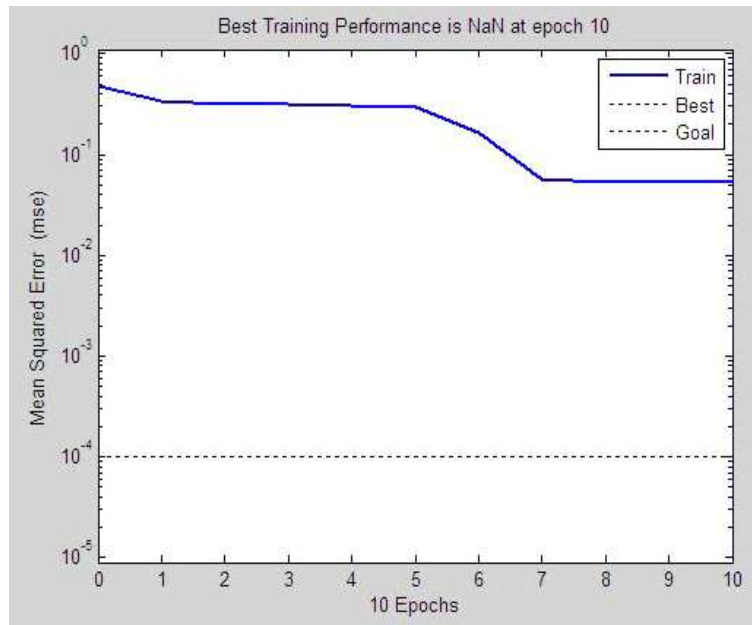
그림 2-14 One step secant backpropagation algorithm



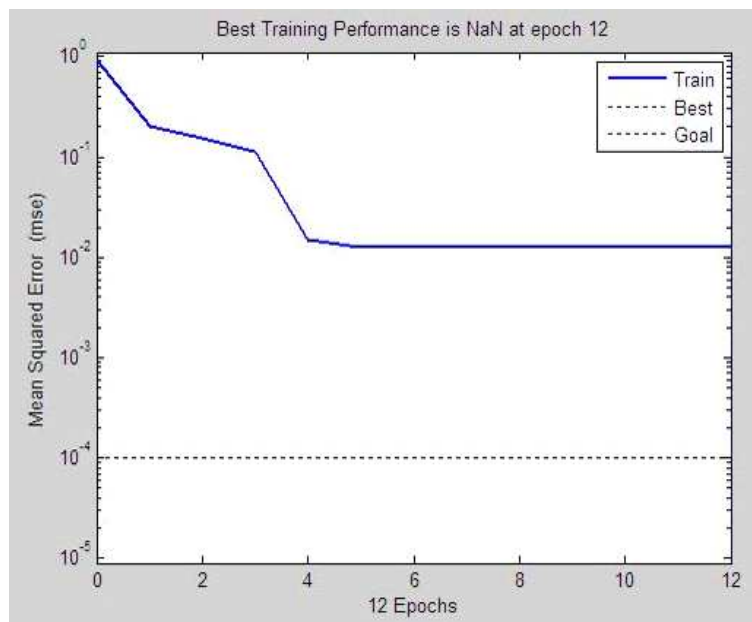
< 1-day >



< 3-day >

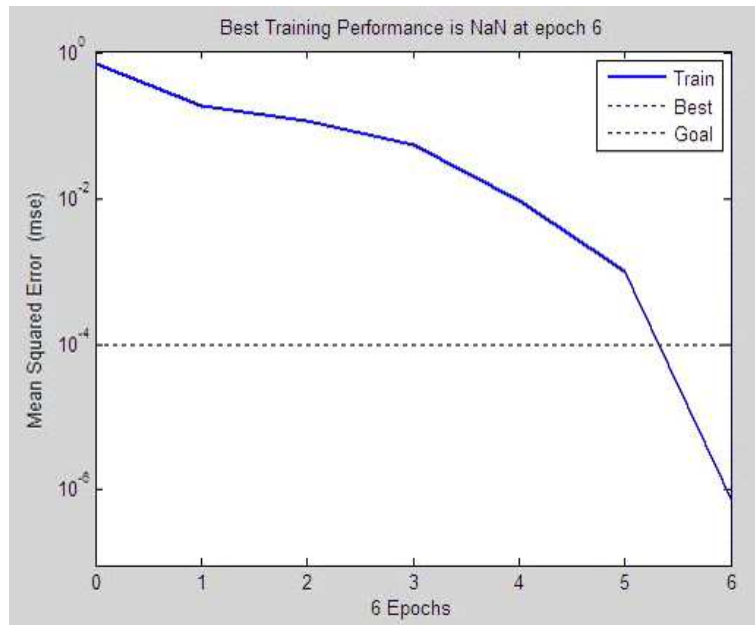


< 10-day >

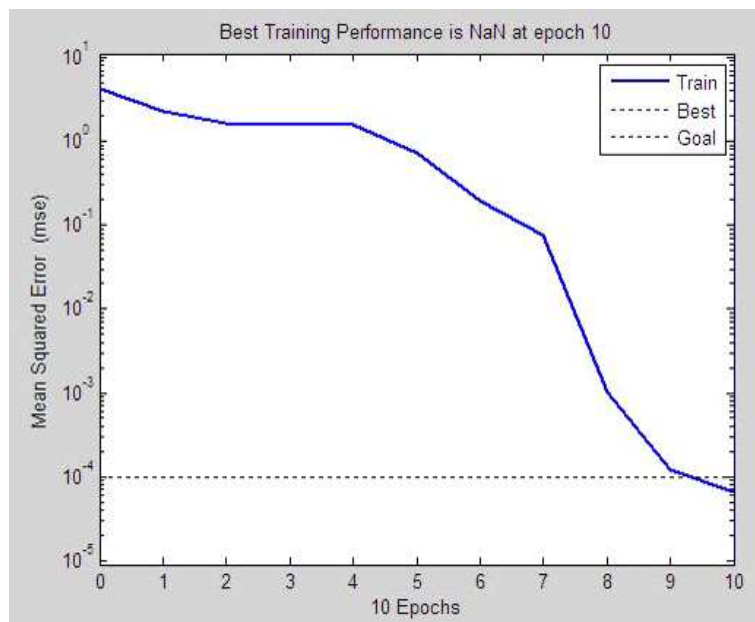


< 30-day >

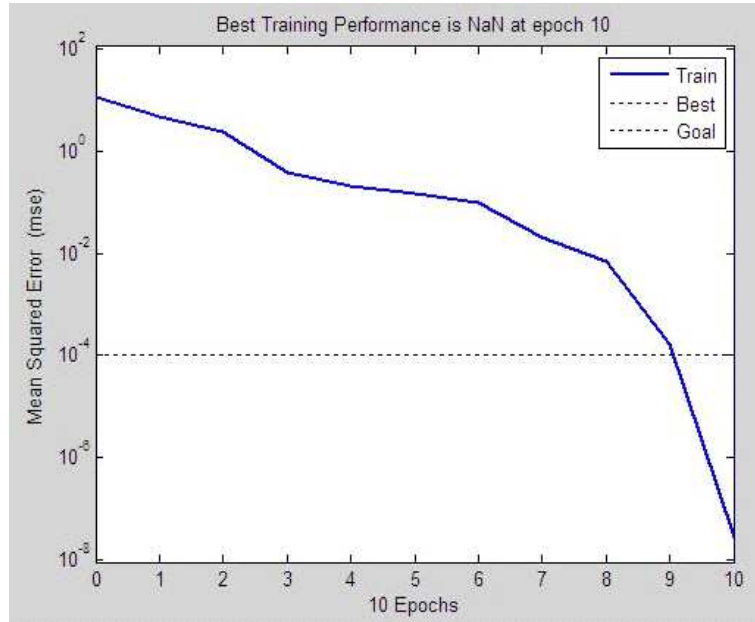
그림 2-15 BFGS quasi-Newton backpropagation algorithm



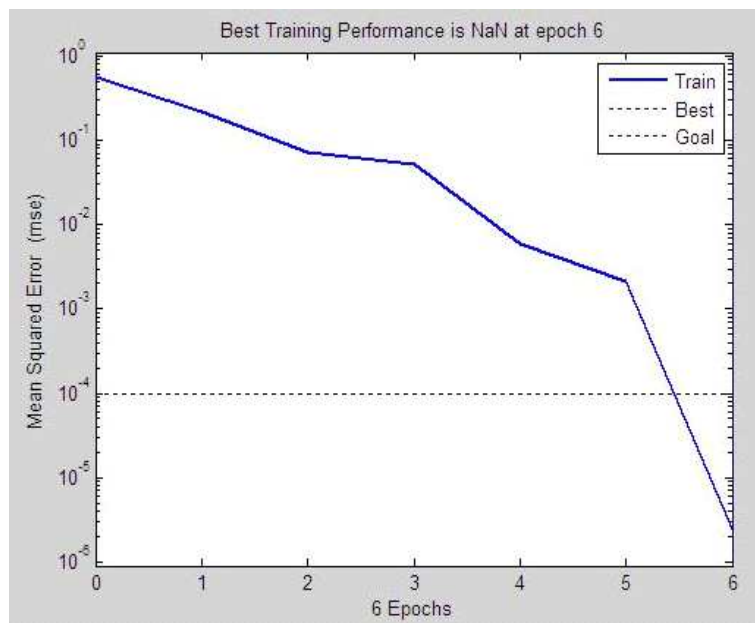
< 1-day >



< 3-day >



< 10-day >



< 30-day >

그림 2-16 Levenberg-Marquardt algorithm

(3) 알고리즘 선택

상기 다양한 알고리즘을 적용한 ANN 모델의 결과 Levenberg-Marquardt algorithm 이 본 연구에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 고로슬래그 혼입률에 따른 암모니아 발생가스의 상관관계가 유의적임을 확인하였음.

차. 고로슬래그 모르타르의 라돈가스 방출 ANN 모델 선정

(1) 재령별 라돈가스 데이터

표 2-10 고로슬래그 모르타르 라돈 측정결과

Day	Type	24h AVG	24h AVG (EPA Protocol)
3-day	OPC Mortar	4.6	5.1
	GBFS-20	16.7	19.4
	GBFS-40	18.6	21.2
10-day	OPC Mortar	6.2	7.1
	GBFS-20	13.9	15.7
	GBFS-40	14.7	16.0
30-day	OPC Mortar	6.8	7.6
	GBFS-20	11.2	12.5
	GBFS-40	14.6	16.8
100-day	OPC Mortar	7.7	8.3
	GBFS-20	9.3	10.2
	GBFS-40	11.2	12.2

(2) ANN 모델 구성

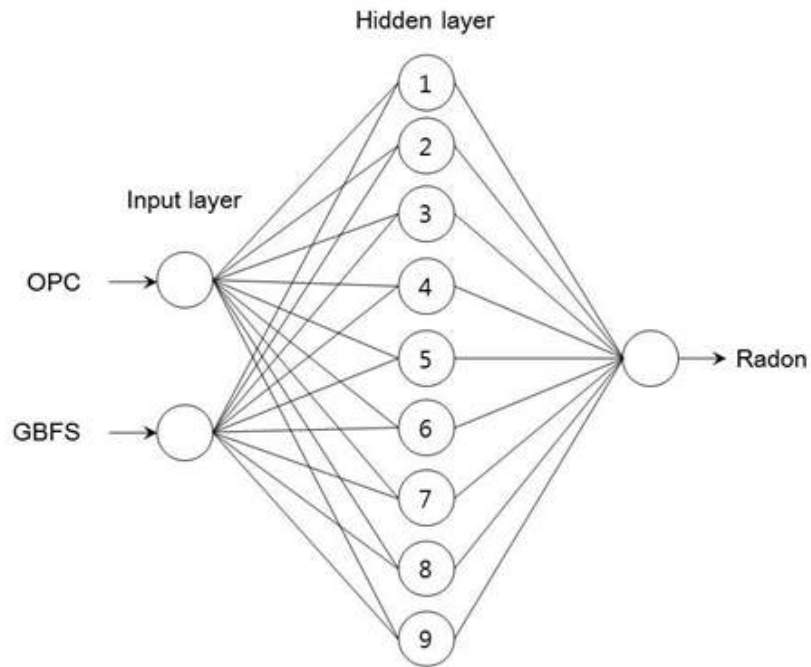
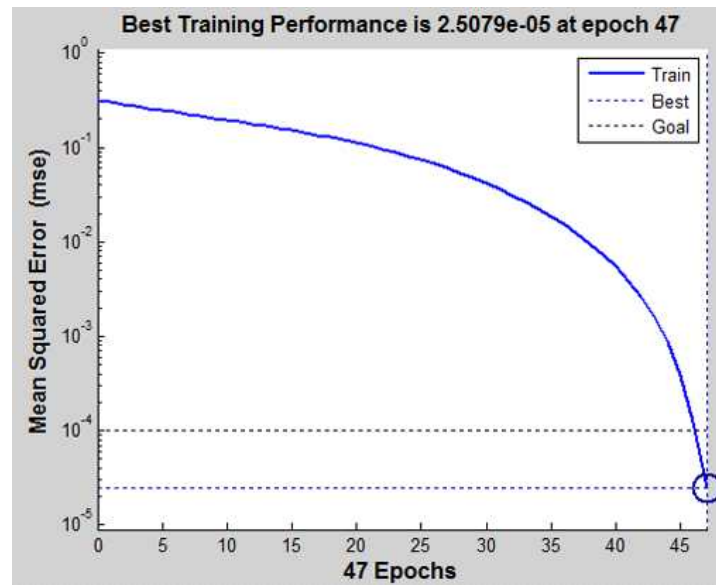


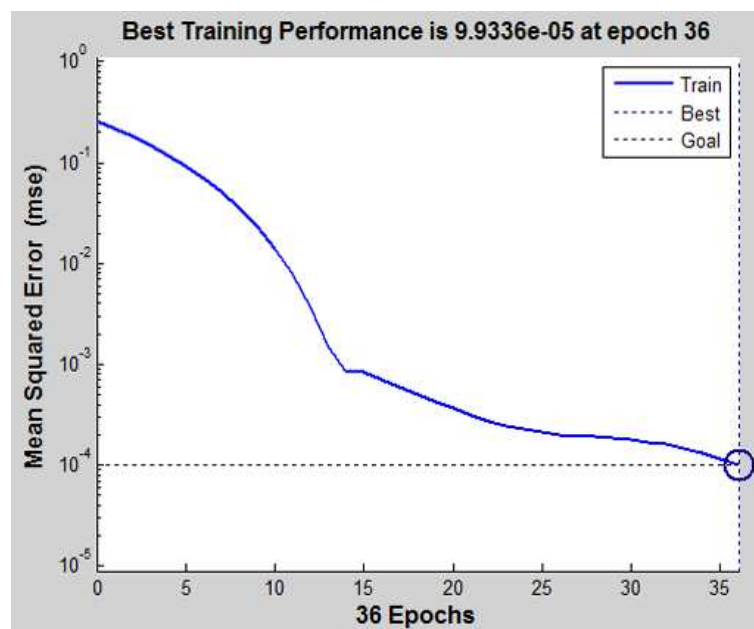
그림 2-17 알고리즘 모델 구성도

본 연구에서는 라돈 방출량에 영향을 줄 수 있는 입력변수와 이에 따른 라돈 방출량을 예측할 수 있는 실험데이터에 근거하여 구한 출력값을 훈련집합으로 정함. 학습을 통해 정해진 가중치와 편심치로 계산된 값과 실험값으로 계산된 확인 집합을 비교하여 상관계수 (R^2)를 구하고, 개발된 인공신경망 모델의 신뢰성을 판단함.

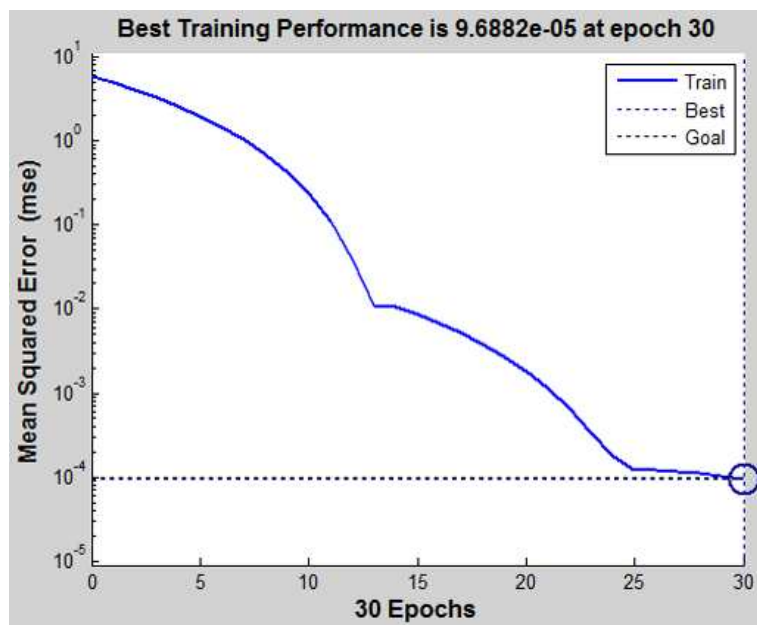
(3) 알고리즘 적용



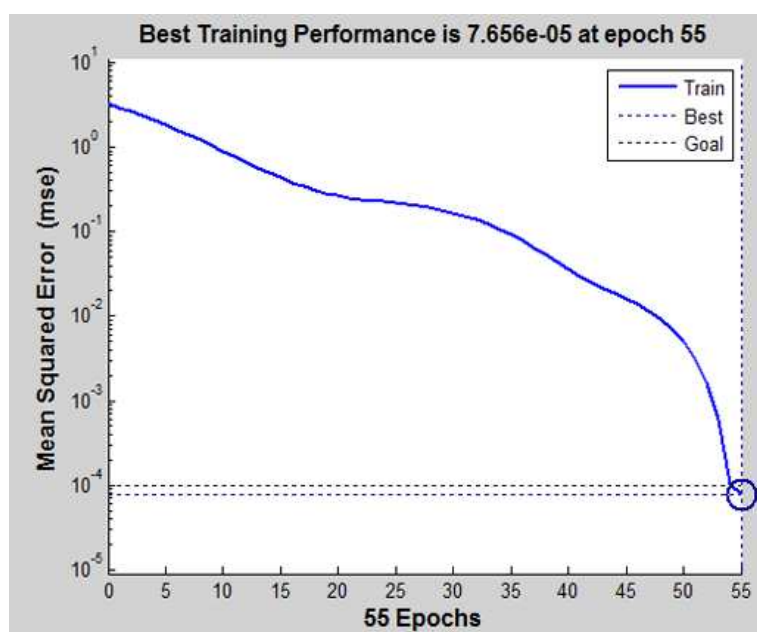
< 3-day >



< 10-day >

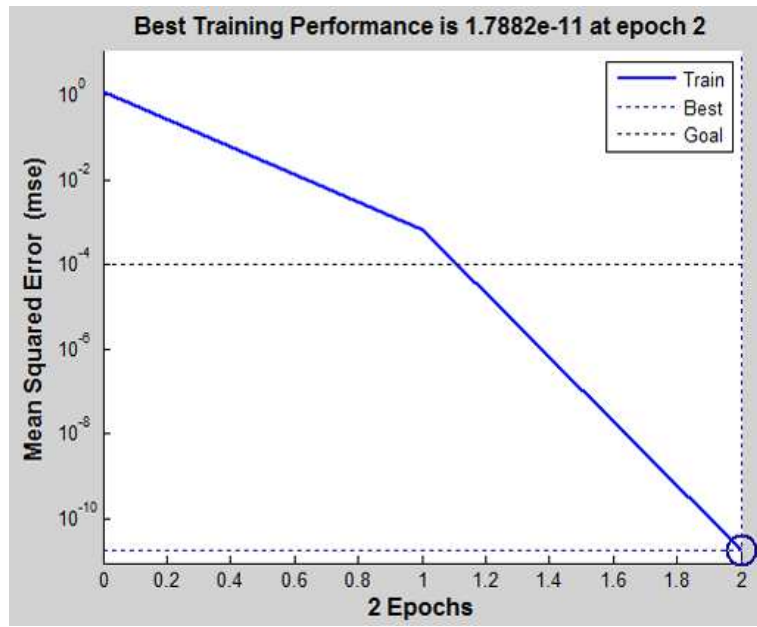


< 30-day >

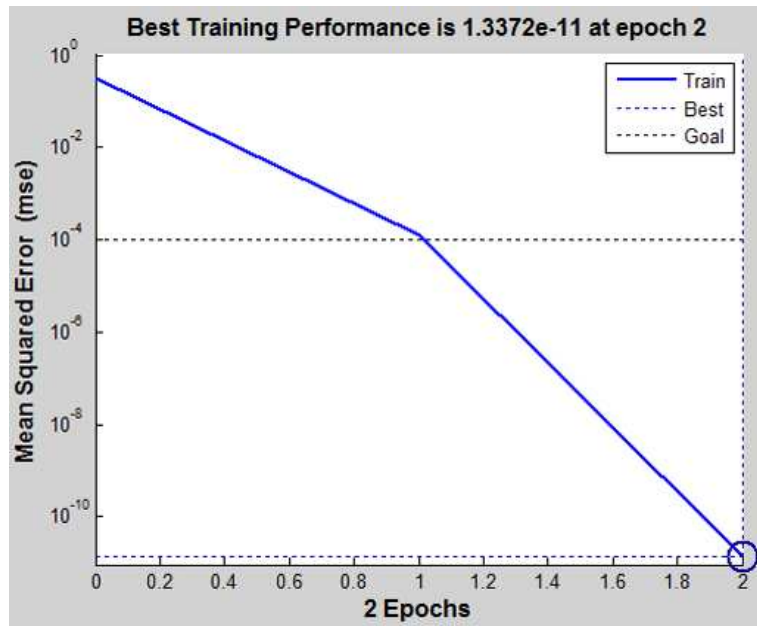


< 100-day >

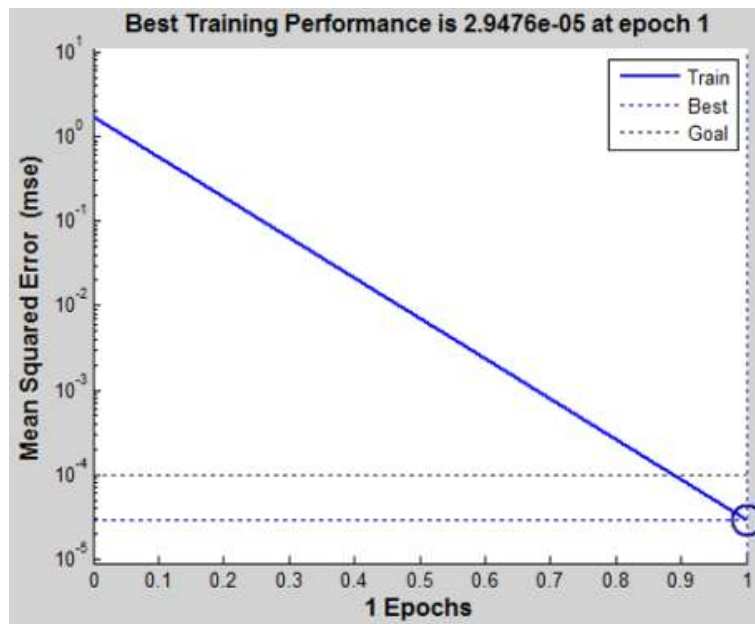
그림 2-18 variable learning rate gradient descent algorithm



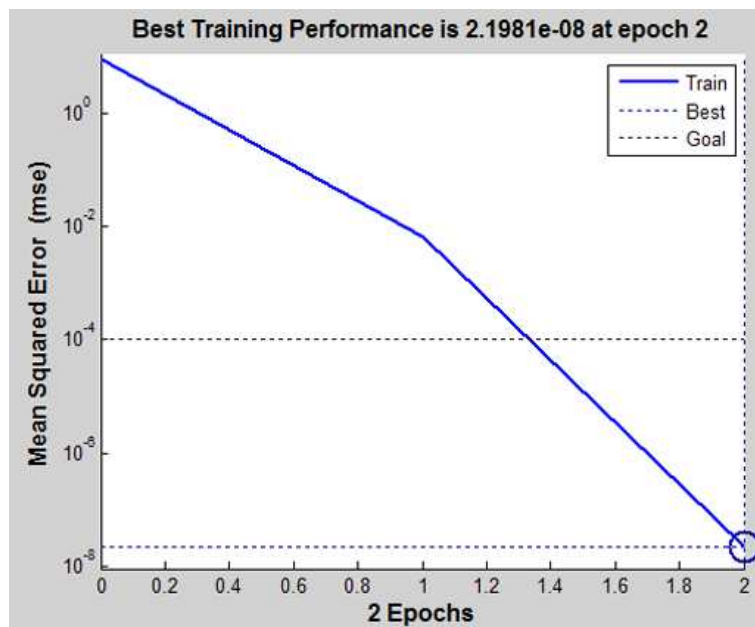
< 3-day >



< 10-day >

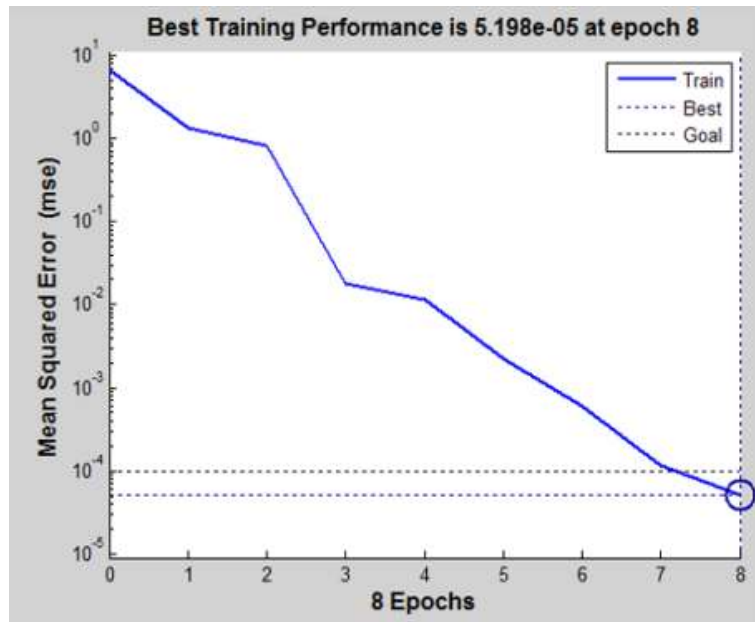


< 30-day >

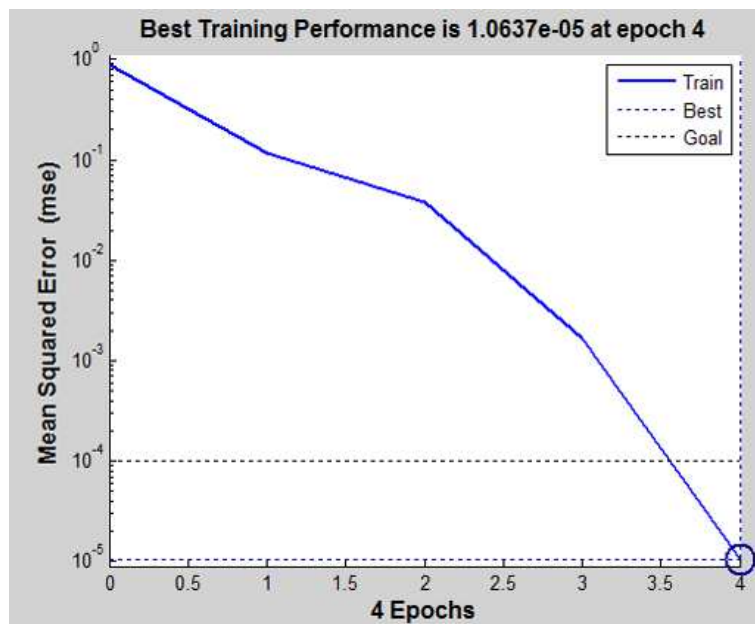


< 100-day >

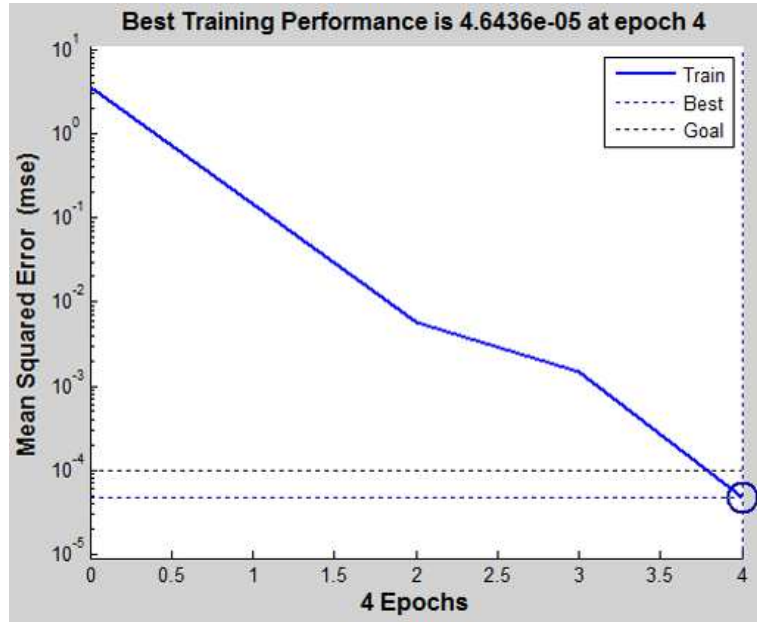
그림 2-19 Levenberg-Marquardt



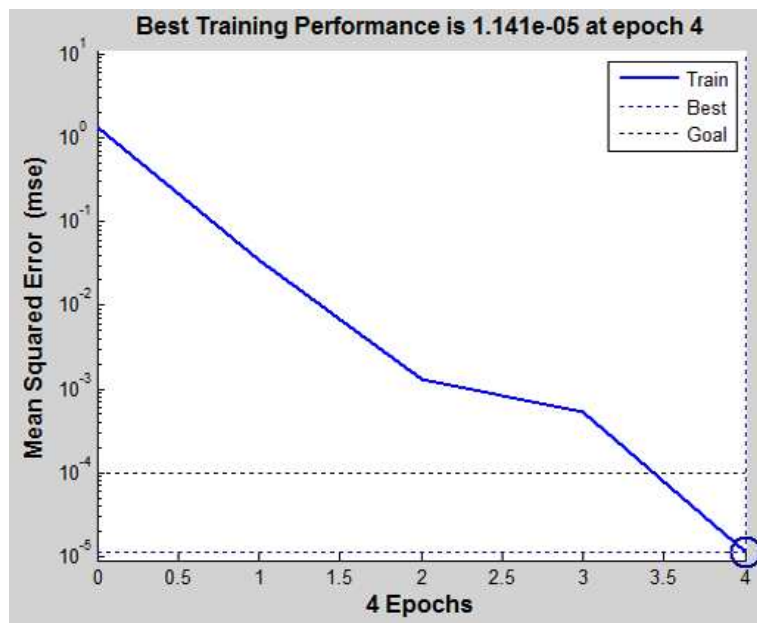
< 3-day >



< 10-day >



< 30-day >



< 100-day >

그림 2-20 One Step Secant backpropagation algorithm

(4) 알고리즘 선택

상기 다양한 알고리즘을 적용한 ANN 모델의 결과 Levenberg-Marquardt algorithm 이 본 연구에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 고로슬래그 혼입률에 따른 암모니아 발생가스의 상관관계가 유의적임을 확인하였음.

카. Fly ash 모르타르의 암모니아가스 방출 ANN 모델 선정

(1) 재령별 암모니아 데이터

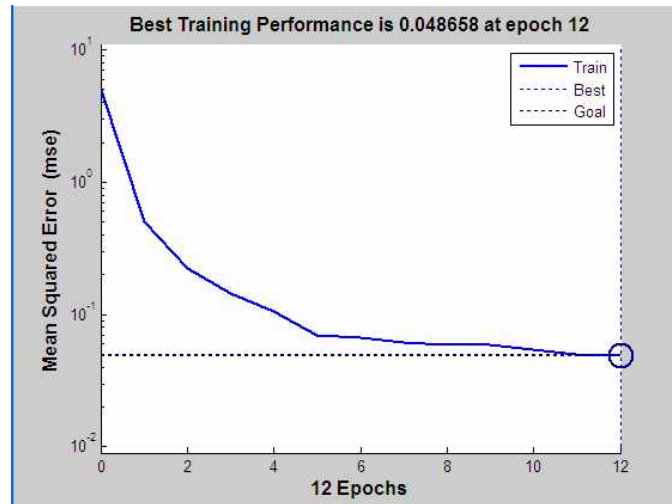
표 2-11 Fly ash 모르타르 암모니아 측정결과

	Type	Absorbance (Abs)	Ammonia (ml)	Specimen (ug/m ³ -h)
1-day	OPC Mortar	0.14	1.663	123
	Fly-20	0.313	3.719	387
	Fly-40	0.694	8.246	970
	Fly-60	0.871	10.349	1240
3-day	OPC Mortar	0.279	3.341	339
	Fly-20	0.32	3.832	402
	Fly-40	0.797	9.545	1137
	Fly-60	1.379	16.515	2033
10-day	OPC Mortar	0.368	4.238	454
	Fly-20	0.455	5.240	583
	Fly-40	0.517	5.954	675
	Fly-60	0.558	6.426	736
30-day	OPC Mortar	0.187	2.158	187
	Fly-20	0.145	1.673	124
	Fly-40	0.164	1.892	152
	Fly-60	0.198	2.285	203

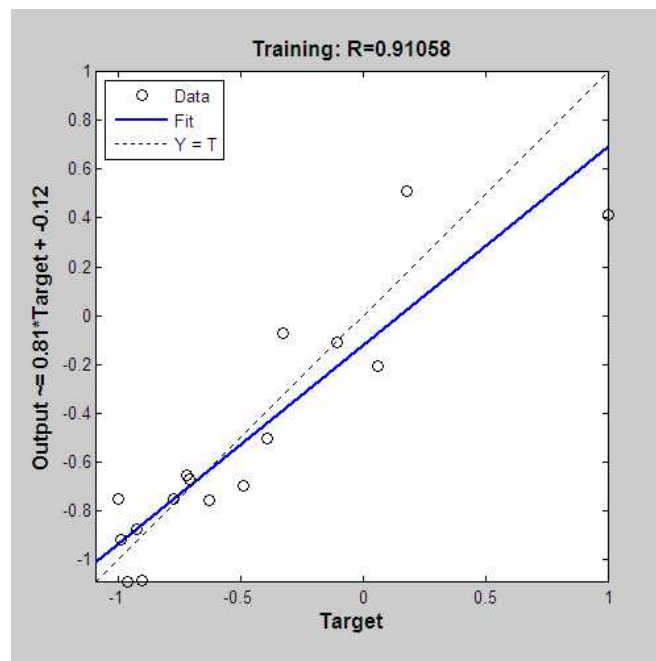
본 연구에서는 라돈 방출량에 영향을 줄 수 있는 입력변수와 이에 따른 라돈 방출량을 예측할 수 있는 실험데이터에 근거하여 구한 출력값을 훈련집합으로 정함. 학습을 통해 정해진 가중치와 편심치로 계산된 값과 실험값으로 계산된 확인 집합을 비교하여 상관계수 (R^2)를 구하고, 개발된 인공신경망 모델의 신뢰성을 판단함.

(2) 알고리즘 적용

The input variables include OPC Mortar, Fly and day time, the output is Abs

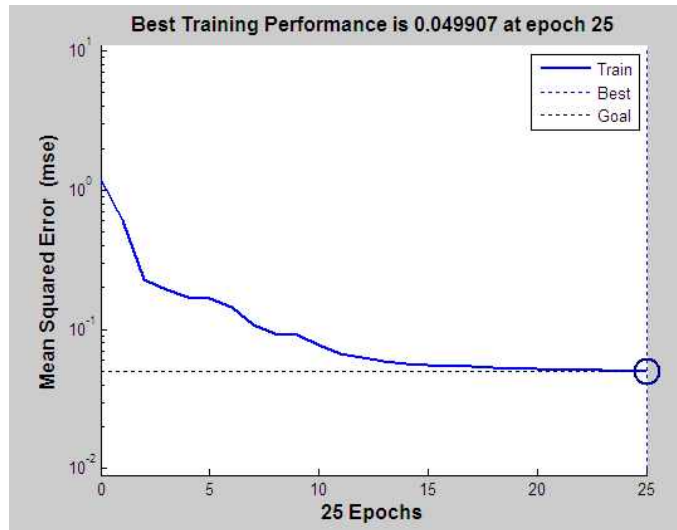


<Performance>

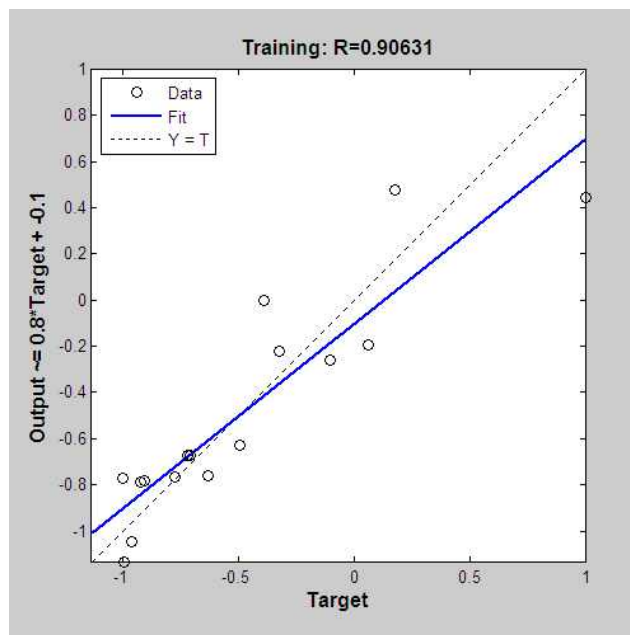


<Regression>

그림 2-21 One step secant backpropagation algorithm

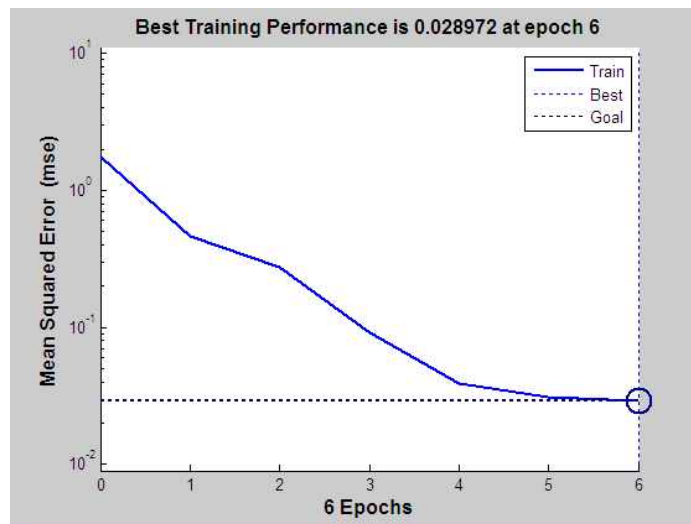


<Performance>

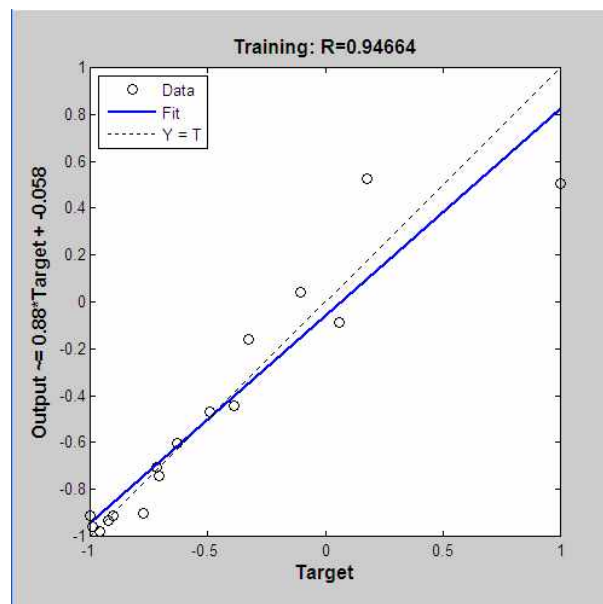


<Regression>

그림 2-22 BFGS quasi-Newton backpropagation algorithm



<Performance>



<Regression>

그림 2-23 Levenberg-Marquardt algorithm

(3) 알고리즘 선택

상기 다양한 알고리즘을 적용한 ANN 모델의 결과 Levenberg-Marquardt algorithm 이 본 연구에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 고로슬래그 혼입률에 따른 암모니아 발생가스의 상관관계가 유의적임을 확인하였음.

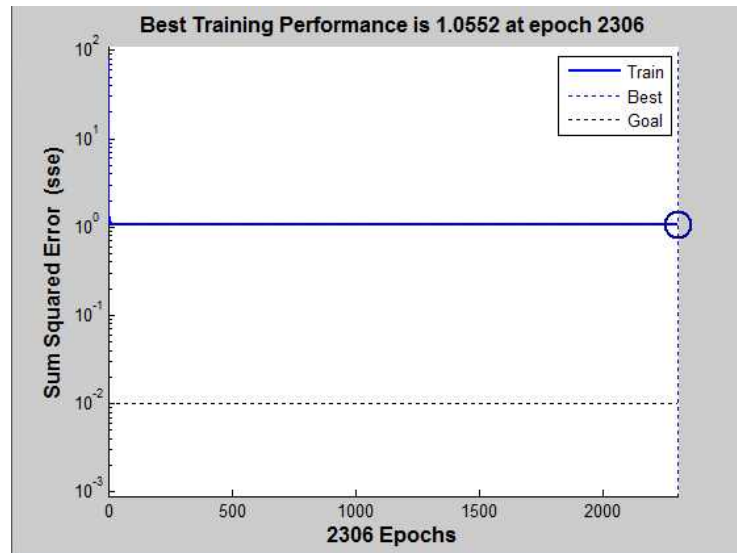
타. Fly ash 모르타르의 라돈가스 방출 ANN 모델 선정

(1) 재령별 라돈가스 데이터

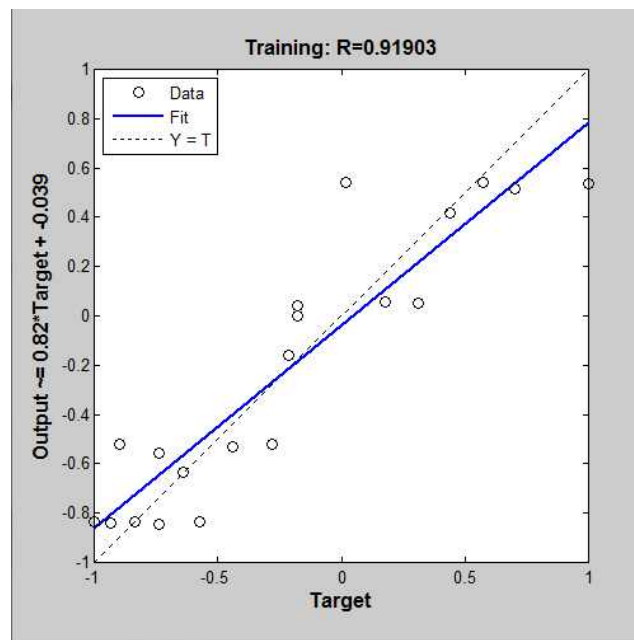
표 2-12 Fly ash 모르타르 라돈 측정결과

Day	Type	24h AVG
3-day	OPC Mortar	5.9
	Fly ash-20	6.4
	Fly ash-40	5.0
10-day	Fly ash-60	3.3
	OPC Mortar	7.0
	Fly ash-20	6.8
30-day	Fly ash-40	3.1
	Fly ash-60	2.8
	OPC Mortar	8.9
100-day	Fly ash-20	5.0
	Fly ash-40	4.5
	Fly ash-60	4.4

(2) 알고리즘 적용

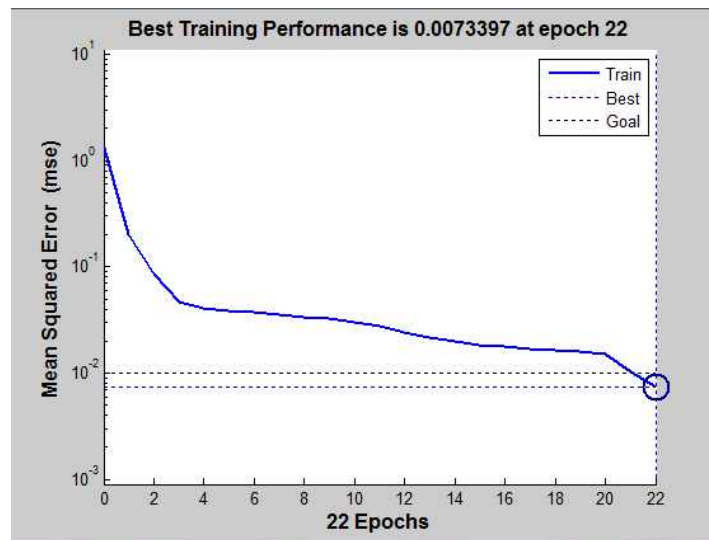


<Performance>

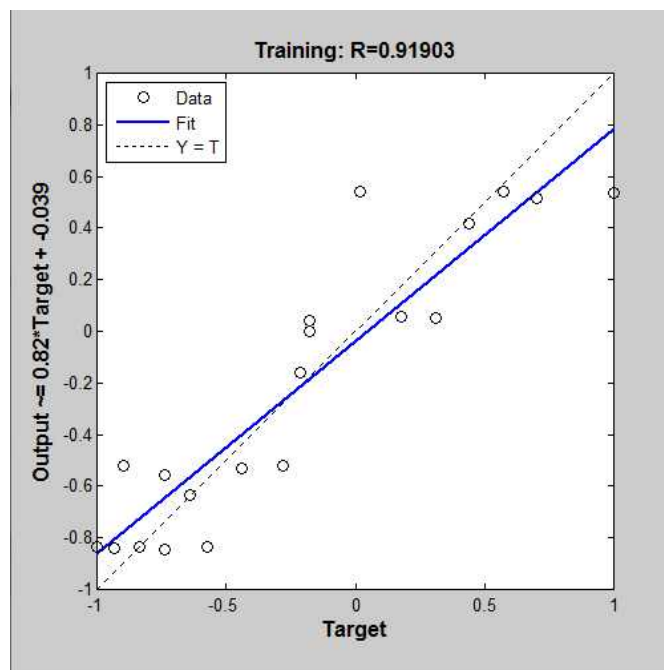


<Regression>

그림 2-24 Bayesian Regulation backpropagation algorithm

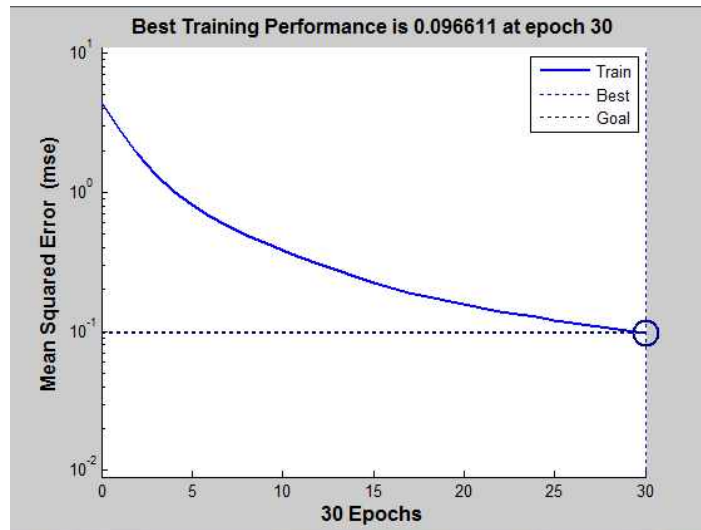


<Performance>

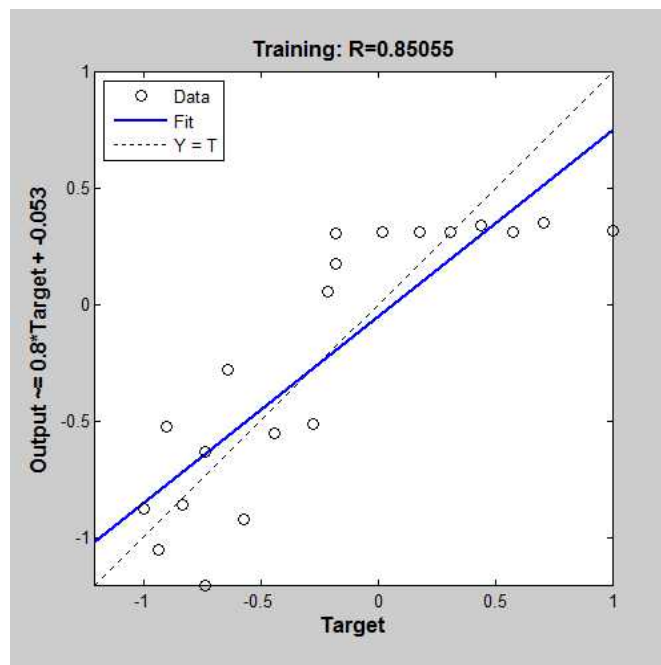


<Regression>

그림2-25 Levenberg Marquardt backpropagation algorithm



<Performance>



<Regression>

그림 2-26 Gradient descent with momentum and adaptive learning rate
backpropagation algorithm

(3) 알고리즘 선택

상기 다양한 알고리즘을 적용한 ANN 모델의 결과 Levenberg-Marquardt algorithm 이 본 연구에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 고로슬래그 혼입률에 따른 암모니아 발생가스의 상관관계가 유의적임을 확인하였음.

파. 위해성 평가이론

위해성 평가는 환경에 존재하는 유해 환경오염물질의 노출에 따라 발생할 수 있는 인간의 건강과 환경생태계에 미치는 나쁜 영향의 정도를 확률적으로 추정하기 위한 목적으로 수행됨. 특히, 이러한 위해성 평가는 환경적 유해인자에 노출되었을 경우, 발생 가능한 영향을 정성 또는 정량적으로 추정하기 위하여 위해성 평가를 기반으로 시작됨. 본 연구에서는 시멘트 콘크리트의 수화과정에서 발생하는 수화가스의 위해성 평가를 위하여 위해성 평가단계 및 평가방법 등에 관한 이론적 특성을 파악하며, 본 연구에 가장 적합한 위해성 평가 실험방법 도출과 결과분석에 활용하고자 함.

(1) 실내공기질 위해성 평가

위해성 평가는 유해물질 노출에 따른 나쁜 건강영향을 이야기하는 요인을 평가하는 것임. (Risk assessment is the systematic evaluation of the factors that might result in an adverse human health effects resulting from hazard). 어떤 독성물질이나 위험상황에 노출되어 나타날 수 있는 개인 혹은 집단의 건강피해 확률을 추정하는 과학적인 과정이며, 사람이 환경적 위험에 노출되었을 경우 발생 가능한 영향을 정성 또는 정량적으로 추정하는 과정으로 영향 또는 피해를 계량적으로 평가하고 이를 전달하는 것임. 위해성 평가는 일반적으로 인간건강 위해성 평가(huaman health), 생태학적 위해성 평가(ecological), 산업장 위해성 평가(industrial), 환경 위해성 평가(environmental)로 구분할 수 있음.

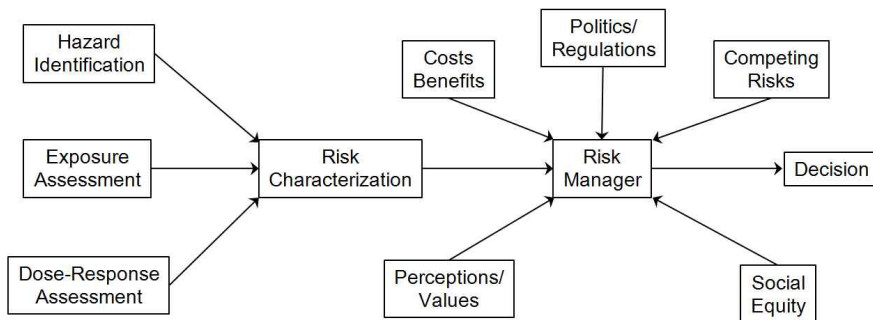


그림2-27 위해성 개념도

유해성(hazard)이란 장해를 야기할 수 있는 물질이나 행동을 일컬으며 위해의 근원이라고 정의함. 위해성(risk)은 유해인자의 특정농도나 용량에 노출된 개인 또는 집단에게 악영향 결과가 발생할 확률(probability) 또는 가능성(likelihood)으로 정의함. 사람이 환경적 유해인자에 노출되었을 경우 발생 가능한 영향을 정성 또는 정량적으로 추정하는 과정이다. 위해성과 유해성의 관계를 식으로 표현하면 다음과 같음.

$$\text{위해성(risk)} = \text{유해성(hazard)} \times \text{노출량(exposure)}$$

실내공기의 중요성과 그에 따른 건강영향을 고려할 때 유용하게 평가할 수 있는 도구가 위해성 평가이다. 위해성의 개념은 실내공기오염을 포함한 환경관리 분야에 집중되어 있다. 어떻게 ‘충분히 안전한’ 개발 과정이 선택될 수 있는가? ‘충분히 안전한’ 개발이란 환경과 조화되는 개발 또는 환경, 경제의 조화를 유지하는 지속 가능한 개발(sustainable development)이다. 즉, 건강영향의 위해를 받을 수 있는 사람들뿐만 아니라 위해를 야기한 사람들과 그것의 관리 및 책임이 있는 정책결정자들은 예상하지 못한 부작용을 허용수준으로 낮추거나 최소화시키는 것이다. 실내환경에서 수용 가능한 위해성과 허용 가능한 개발 또는 위해성을 감소시키기 위한 비용 수준이 어느 정도의 균형(trade-off)을 유지하는 것은 중요함.

위해성 평가방법이 가장 보편적으로 받아들여지고 있는 것은 미국 국가연구위원회(National Research Council, NRC)에 의해 고안된 위해성 확인(hazard identification), 용량-반응 평가(dose-response assessment), 노출평가(exposure assessment) 및 위해성 결정(risk characterization)의 주요 4단계임.

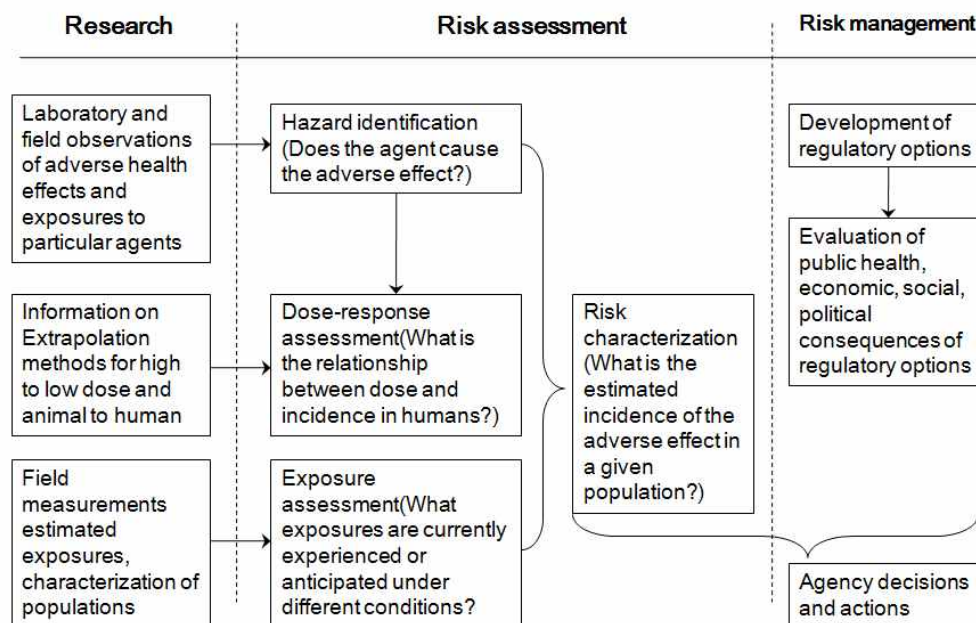


그림 2-28 위해성 및 관리

(2) 유해성 확인(hazard identification 또는 assessment)

위해성 평가의 첫 번째 단계로 부정적 건강영향을 야기하는 환경의 물리적, 화학적, 생물학적 인자를 확인하는 것임. 유해를 확인하는 것은 정성적 과정으로, 유해인자의 부정적 건강영향은 일반적으로 발암 또는 비발암으로 구분함. 발암 영향은 동물 또는 인간에게 종양(암)의 증가를 일으키며, 비발암은 기관 손상, 신경계손상, 기형아 출산, 성장 문제 등을 말함.

① 용량(노출량)-반응평가(dose-response assessment)

모든 물질은 일정 용량(노출량)에서는 독성을 나타낼 수 있기 때문에 독성학자들의 주된 목적은 노출 수준의 안전과 불안전의 경계를 구분하는 것임. 예를 들면, 금속에는 필수금속(essential metal)과 오염금속(contaminated metal)이 있고 생체 내에서 유익하게 작용하며 어떤 기능에 빼놓을 수 없는 것이라고 할 때는 필수금속이라 하고, 그 외의 금속은 오염금속이라고 한다. 필수금속도 과잉상태가 되면 신체에 기능장해를 가져올 수 있음.

용량-반응평가는 유해인자의 흡수된 양과 건강영향 관계를 특정 짓는 과정으로, 동물의 생물검정(bioassay : 어떠한 물질의 시험 유기체에 대한 결과를 이의 기준유기체에 대한 결과와 비교함으로써 당해물질의 상대적인 유해성을 결정하는 것)이 독성 정보의 가장 일반적인 자료원이다. 인간에 대한 용량-반응관계는 2가지 주요 외삽(extrapolations)을 요구함. 첫째, 고노출 상태에서 관찰된 영향이 저노출 상태를 유효하게 예측할 때 사용됨. 둘째, 동물실험에서 관찰된 영향이 인간의 영향을 예측하는데 사용됨.

용량-반응평가는 인체가 유해물질의 특정용량에 노출되었을 경우, 유해한 영향이 발생할 확률이 어느 정도인가를 추정하는 과정으로, 유해인자(환경오염물질, 실내오염물질 등)에 대한 인체영향을 역치존재 유무에 기본 가정을 두고 발암물질 혹은 비발암물질로 구분함.

② 노출평가(exposure assessment)

노출은 인간이 유해 환경오염물질(유해인자)과 접촉하는 것이며 여기서 접촉은 다음의 2가지 의미가 있음. 첫째, 시각적으로 볼 수 있는 사람의 외부 즉, 피부, 입, 콧구멍이며, 둘째, 피부, 폐, 위장과 같이 흡수가 일어나는 교환 경계임. 이런 다른 정의의 모호함 때문에 미국환경청(1992)에서는 첫째의 시각적 외부 경계를 노출의 정의로 결정함.

이런 정의에서 노출평가란 환경오염물질(유해인자) 접촉의 양적 또는 질적 평가임. 접촉에는 강도, 빈도 및 기간, 노출 경로(피부, 경구, 호흡기), 흡수율이 연관되며, 실제적으로 접촉을 통하여 유입되는 양(용량, dose)과 인체에 흡수되는 양(내부용량, internal dose)임.

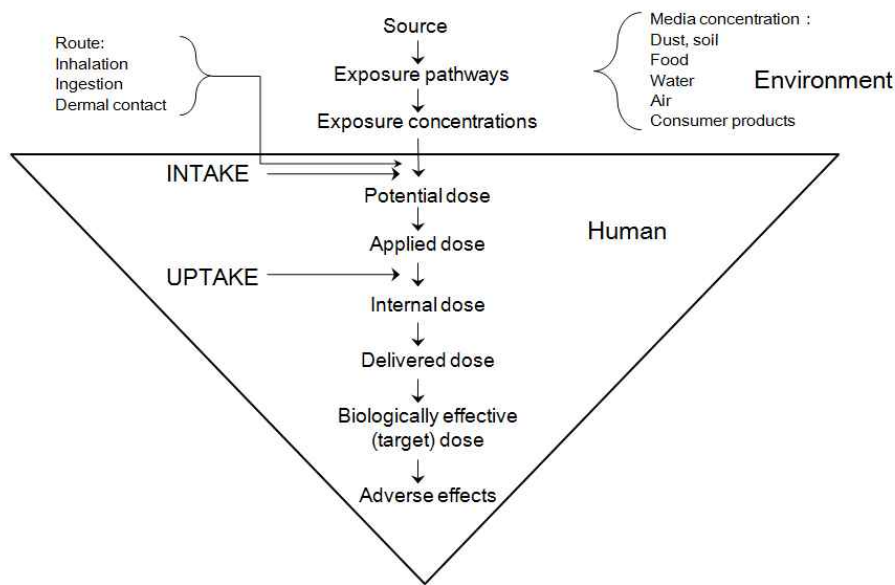


그림 2-29 노출평가 법

사회적 관점에서 노출을 연구한 Faber(2002)는 환경정의(environmental justice) 개념에서 저소득층과 산업장 근로자가 유해 화학물질에 고노출(high exposure)되는 것으로 보고하며 쾌적한 환경을 누리는 것도 불평등할 수 있음을 나타내었다. 또한, 사회적 약자이며 민감 집단인 유아, 어린이, 노인, 임산부, 장애인의 노출을 고려해야 함.

③ 위해도 결정(risk characterization)

위해도 결정은 목적 유해인자에 용량-반응평가 및 노출평가 단계에서 도출된 정보를 종합하는 과정으로 대상 인구집단이 평가 대상물질에 노출되어 악영향이 발생할 확률을 결정하는 것임. 위해성 평가 방법은 인체 노출량 산정 후 물질을 발암성·비발암성 유해물질로 구분하여 위해도를 산정하는 것임.

(3) 소 결

위해성 평가는 환경에 존재하는 유해 환경오염물질의 노출에 따라 발생될 수 있는 인간의 건강과 환경생태계에 미치는 나쁜 영향의 정도를 확률적으로 추정하기 위한 목적으로 수행됨. 위해성 평가방법이 가장 보편적으로 받아들여지고 있는 것은 미국 국가연구위원회(National Research Council)에 의해 고안된 위해성 확인(hazard identification), 용량-반응 평가(dose-response assessment), 노출평가(exposure assessment) 및 위해성 결정(risk characterization)의 주요 4단계임. 위해성 평가를 위한 다양한 방법과 절차를 선정하여 보다 객관적인 환경적 위해성 노출평가를 분석할 수 있음.

하. 종합결론

본 연구는 혼화재를 혼입한 모르타르의 수화과정에서 발생하는 각종가스와 그 유해성 평가를 목적으로 콘크리트 수화가스 분석 프로세서 구성 및 그 발생특성과 ANN 알고리즘 평가를 진행한 결과 다음과 같은 결론을 얻음.

- (1) 대기오염공정시험법 등의 공정시험방법과 챔버법을 응용하여 혼화재료(고로슬래그 미분말, Fly ash 등)를 혼입한 모르타르의 재령별 수화가스(암모니아, VOCs, 라돈) 포집 및 분석 프로세서의 구성하였음.
- (2) 각종 분석 프로세서를 활용하여 각각의 혼화재료를 비율에 따라 혼입한 모르타르의 재령별 암모니아, 라돈, VOCs 등의 수화가스를 분석하여 재령별, 면적별, 각각의 방출가스를 측정하고 유해성 정도를 확인함.
- (3) Mat Lap 프로그램을 활용하여 ANN 알고리즘(One step secant backpropagation, BFGS quasi-Newton backpropagation, Levenberg-Marquardt 등)에 각종 수화가스의 혼화재료의 혼입률 및 재령별 분석결과 데이터를 선별 및 적용하여 각각의 분석결과를 평가하고, 최적의 알고리즘을 선별하였음.

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

1. 국내 학술발표대회

관련 그림 / 사진	콘크리트에서 발생하는 암모니아 측정 프로세서 The Process of Hydration Ammonia Gas Released from Cement Concrete 김흥식* 박다임* 이보원* 임용택* 소승영** Jung, Hongsik Park, dae him Lee, Bo nam Lim, Yong Tack Soh, Seung Young ABSTRACT The focus of this paper is to make the measuring process the emission of hydration gas from cement concrete. The capture and analysis processor of NH₃ were configured using Air Pollution Process Test Method and Indoor Air Quality Test Method to conduct the qualitative and quantitative analysis of gas which occurs in the concrete. 요약 콘크리트 수화 초기에 발생하는 NH₃의 보다 정밀한 정량분석을 위한 포집 및 분석장비를 도출하고자 실내공기질시험방법 및 대기오염공정시험방법을 기초로 소정클라와 임빈계 및 UV 흡광광도계를 활용하여 수화과정에서 발생하는 가스포집 및 분석 프로세서를 구형하였으며 시멘트 콘크리트에서 발생하는 NH₃ 가스의 소수일 이하의 ppb 단위의 분석이 가능하였다. 1. 서론 현재 국내 인구의 60%이상이 콘크리트로 건축된 공동주택에 살고 있는 현실을 감안할 때 최근 현대인들의 생활수준 및 의식수준의 향상과 더불어 건강에 대한 욕구는 요구중가로 생활환경과 밀접한 실내공기질에 대한 콘크리트에 대한 관심이 높아졌으며, 시멘트를 기반으로 한 각종 콘크리트 환경에 대한 정성·정량적인 평가가 요구되고 있다. 이에 본 연구는 콘크리트 수화 초기에 발생하는 NH₃의 보다 정밀한 정량분석을 위한 프로세서를 도출하고자 실내공기질 시험방법 및 대기오염공정시험방법을 기초로 수화과정에서 발생하는 가스포집 및 분석 프로세서를 구형하고자 한다. 2. 실험 방법 및 사용재료 본 연구는 오서의 보통포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하 OPC)와 잔골재로는 주골진 표준사를 사용하였으며, NH₃ 포집 및 분석 프로세서는 KS M 2008 대기가스 중의 암모니아 분석방법을 바탕으로 하여, 방산 흡수액과 임빈계를 활용하여 그림 1과 같이 구성하였다. * 정회원, 전북대학교, 건축공학부 ** 정회원, 전북대학교, 건축공학부, 교수(BCITF) 한국콘크리트학회 2014 가을 학술대회 논문집 747
정의(설명)	콘크리트에서 발생하는 암모니아 측정 프로세서
개별성과	콘크리트에서 발생하는 암모니아 측정 프로세서 도출을 통한 혼화재료 혼입에 따른 암모니아 발생량 측정 (한국콘크리트학술대회)
성과달성 책임자 (소속기관)	장홍석(전북대학교)
소요기간	'14.09 ~ '14.10 (2개월, 1년차)

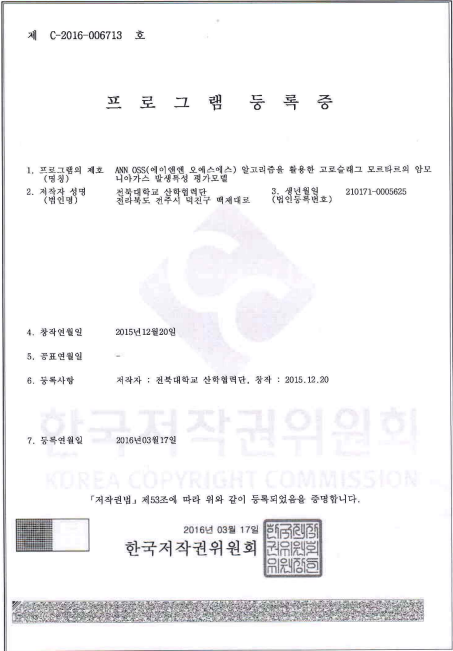
2. 국제 학술발표대회

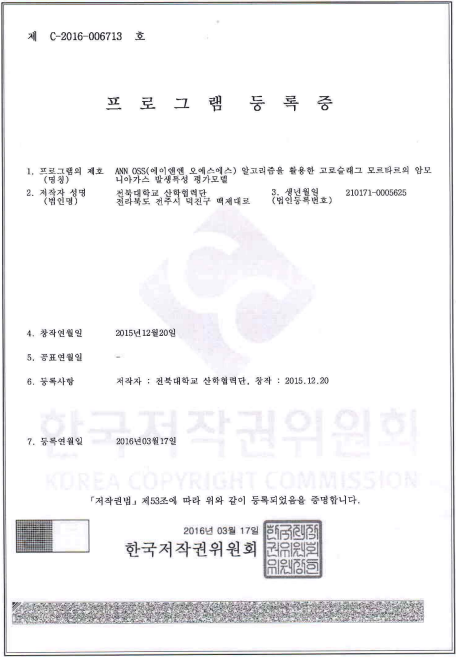
관련 그림 / 사진	Use of artificial neural network for the simulation of color expression of black mortar using carbon and pigment Hongseok Jang¹, Xing Shuli², Malrey Lee² and Seungyoung So^{1*} ¹ Research Center of Industrial Technology, Department of Architectural Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Jeonlabuk-do 561-756, South Korea ² School of Electronics and Information Engineering (AEIT), Chonbuk National University, Jeonju, Jeonlabuk-do 561-756, South Korea Fax: +82-(63)-270-3573 E-mail address: archiso@jbnu.ac.kr Among the many kinds of construct-materials, concrete, which has the high-strength and durability, is sufficient as structure-material. But concrete is not generally used on an outer surface because the color of concrete is very monotonous [1]. But colored concrete is able to make various colors which a user and an architect require with various pigments in White Portland Cement (WPC). Pigments are used in permanent coloring of concrete with colors different from the natural color of the cement or the aggregates with mixing WPC [2]. In this study, an artificial neural networks study was carried out to predict the color evaluation of black mortar using carbon and pigment. A data set of a laboratory work, in which a total of 9 mortars were produced, was utilized in the Artificial Neural Networks (ANNs) study. The mortar mixture parameters were nine different carbon and pigment ratios. Each mortar was measured at ten locations on the surface and averaged. Color can be evaluated by measurements of tristimulus values L*, a* and b*, represented in the chromatic space CIELAB. The L* value is a measure of luminosity (0 darkness), from completely opaque (0) to completely transparent (100); a* is a measure of redness (-a* greenness) and b* of yellowness (b* blueness). ANN model is constructed, trained and tested using these data. The data used in the ANN model are arranged in a format of two input parameters that cover the carbon, pigment and age of samples and, an output parameter which is the color parameters of the black colored mortar. The results showed that ANN can be an alternative approach for the predicting the color parameters using mortar ingredients as input parameters. ACKNOWLEDGEMENT This research was supported by a grant (14CTAP-C078857-01) from infrastructure and transportation technology promotion research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government. Following are results of a study on the "Leaders Industry university Cooperation" Project, supported by the Ministry of Education, Science & Technology (MEST). References 1. H. S. Jang, Y. T. Lim, H. S. So and S. Y. So, <i>Science of advanced materials</i> 7 (2015) 2. S. N. Anthony, Beaty and G. P. Raymond, <i>Cement Concrete Res.</i> 17 (1995)
정의(설명)	Use of artificial neural network for the simulation of color expression of black mortar using carbon and pigment
개별성과	수화가스 분석을 위한 알고리즘 사전평가를 위하여 기존 혼합재료를 혼합한 모르타르의 물성평가 결과에 ANN 알고리즘 적용성 평가 (IUMRS-ICAM 2015 국제학술발표)
성과달성 책임자 (소속기관)	장홍석(전북대학교)
소요기간	'15.01 ~ '15.06 (6개월, 1년차)

관련 그림 / 사진	A study of the simulation of radon emission concentration of fly ash mortar using artificial neural network Hong-seok Jang^{1,*}, Bo-ram Lee¹, Xing Shuli², Malrey Lee² and Seung-young So³ <i>¹ Department of Architectural Engineering, Chonbuk National University, Jeonju-si, South Korea</i> <i>² Center for Advanced Image and Information Technology, School of Electronics & Information Engineering, Chonbuk National University, Jeonju-si, South Korea</i> <i>³ The research center of industrial technology, Department of architectural engineering, Chonbuk national University, Jeonju-si, South Korea</i> jadolli@naver.com ABSTRACT In this study, an artificial neural networks study was carried out to predict the quantity of radon of Fly ash cement mortar. A data set of a laboratory work, in which a total of 3 mortars were produced, was utilized in the Artificial Neural Networks (ANNs) study. The mortar mixture parameters were three different Fly ash ratios (0%, 20%, 40%, 60%). Measurement radon of moist cured specimens was measured at 3, 10, 30, 100, 365 days by sensing technology for continuous monitoring of indoor air quality (IAQ). ANN model is constructed, trained and tested using these data. The data used in the ANN model are arranged in a format of two input parameters that cover the cement, Fly ash and age of samples and, an output parameter which is concentrations of radon emission of mortar. The results showed that ANN can be an alternative approach for the predicting the radon concentration of Fly ash mortar using mortar ingredients as input parameters. KEYWORDS ANN model, Fly ash mortar, Radon, simulation ACKNOWLEDGEMENT This research was supported by a grant (14CTAP-C078857-01) from infrastructure and transportation technology promotion research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.
정의(설명)	A study of the simulation of radon emission concentration of fly ash mortar using artificial neural network
개별성과	Fly ash를 혼입한 모르타르의 재령별, 혼입률에 따른 라돈의 발생 특성과 이의 결과를 ANN 모델에 적용하여 분석결과를 평가한 국제학술발표대회 논문
성과달성 책임자 (소속기관)	장홍석(전북대학교)
소요기간	'15.3 ~ '15.09 (6개월, 1년차)

관련 그림 / 사진	Emission characteristic of ammonia in cement mortars using different sand from area of production Hong-Seok Jung, Young-Tae Lim, Seung-Young So* Department of Architectural Engineering, Chonbuk National University, 567 Daekje-daero deokjin-gu, Jeonju-si, South Korea * The research Center of Industrial Technology, Department of Architectural Engineering, Chonbuk National University, 567 Daekje-daero deokjin-gu, Jeonju-si, South Korea INTRODUCTION One recent study from Japan has shown that NH_3 and VOC can be emitted from concrete¹⁾. And when visiting underground spaces that have poor ventilation or building that are surrounded by cement concrete, we can detect a pungent odor as the unique smell of concrete. This odor is caused by the various gases occurring by the hydration process of cement concrete (or mortar), while the amount and types of gas depend on the composite materials and environmental factors such as moisture, temperature etc. The focus of this paper is to improve the emission test method for cement mortar using the chamber and to measure the emission of NH_3 from cement mortar using different sand. And to analyze the relationship between the amount of organic matter and NH_3 contained in the sand as well as the emission of NH_3 from cement concrete using different sand from area of production. MATERIALS AND METHODS Material Ordinary Portland Cement (OPC) as specified in KS L 5201 (Portland cement, 2006) was used in the manufacture of all concrete. For the purpose of this study, 4 types of sand sample were collected from different areas of production Experimental method Measurement of ammonia NH_3 concentration was determined via spectrometric method. The NH_3 in gas stream should be first absorbed in boric acid (H_3BO_3) solution, in which NH_3 reacts with hypochlorite to form chloramines. Chloramines then react with phenol to form the intermediate, named monochloro quinonimine. Finally, this intermediate couples with a second phenolic molecule to form indophenols blue Measurement and calculation of ammonium ion The concentration of NH_4^+ in the sand was measured in accordance with KS I ISO 14256-1 (Soil quality - Determination of nitrate, nitrite and ammonium ion in field-moist soils by extraction with potassium chloride solution - Part 1: Manual method, 2009). RESULTS AND DISCUSSION Fig. 1 shows the concentration of NH_3 released from cement concrete cured for 1 hour in the environmental chamber using an ammonia detecting tube. The concentration of NH_3 of the M-3 using river aggregate is about 7.8ppm, which was more than 4 times that of the using land aggregate.
정의(설명)	Emission characteristic of ammonia in cement mortars using different sand from area of production
개별성과	골재의 성상에 따른 다양한 종류의 골재의 모르타르 적용시 발생하는 암모니아의 발생량을 재령에 따라 평가 (International environmental engineering conference 국제 학술발표대회)
성과달성 책임자 (소속기관)	장홍석(전북대학교)
소요기간	'15.6 ~ 15.10 (4개월, 2년차)

3. 소프트웨어 등록

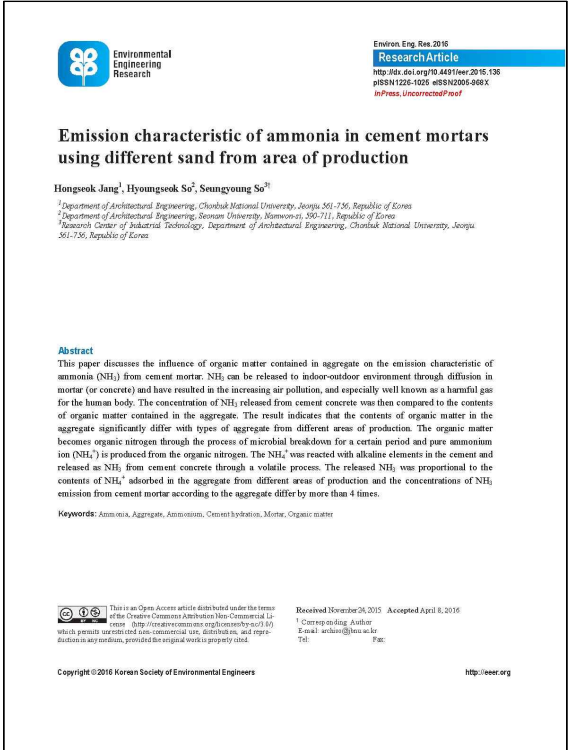
관련 그림 / 사진	
정의(설명)	ANN OSS 알고리즘을 활용한 고로슬래그 모르타르의 암모니아가스 발생특성 평가모델
개별성과	고로슬래그 혼입에 따른 암모니아가스 재량별 발생량과 이를 활용한 ANN OSS 알고리즘 적용 및 분석 (소프트웨어 등록)
성과달성 책임자 (소속기관)	장홍석(전북대학교)
소요기간	'15.6 ~ '15.12 (6개월, 2년차)

관련 그림 / 사진	
정의(설명)	ANN LM 알고리즘을 활용한 고로슬래그 모르타르의 암모니아가스 발생특성 평가모델
개별성과	고로슬래그 혼입에 따른 암모니아가스 재령별 발생량과 이를 활용한 ANN LM 알고리즘 적용 및 분석 (소프트웨어 등록)
성과달성 책임자 (소속기관)	장홍석(전북대학교)
소요기간	'15.6 ~ '15.12 (6개월, 2년차)

4. 국제 학술지 논문

관련 그림 / 사진	The image shows the front cover of a journal article. At the top left is the ASP logo. The title 'A Study on the Properties of Carbon Black Mortar Using Granulated Blast Furnace Slag and Polymer' is prominently displayed. Below the title are the authors' names: Hong-Seok Lang¹, Yi-Hyeon Jacon², and Seung-Young So^{3,*}. The affiliations of the authors are listed below their names. The abstract follows, starting with 'White Portland Cement (WPC) and inorganic pigment have been used in colored concrete, but there are some physical problems such as increases in efflorescence, and poor workability and low economicity.' The keywords are 'Carbon Black Mortar, Methyl Cellulose, GBFS, Color Evaluation.' At the bottom, there is a small section titled '1. INTRODUCTION'.
정의(설명)	A Study on the Properties of Carbon Black Mortar Using Granulated Blast Furnace Slag and Polymer
개별성과	고로슬래그 혼입에 따른 모르타르의 물성변화 확인 (Journal of nanoscience and nanotechnology, SCI 논문)
성과달성 책임자 (소속기관)	장홍석(전북대학교)
소요기간	’15.08 ~ ’15.10 (6개월, 2년차)

관련 그림 / 사진	
정의(설명)	Use of Artificial Neural Network for the Simulation of Radon Emission Concentration of Granulated Blast Furnace Slag Mortar
개별성과	Fly ash를 혼입한 모르타르의 재령별, 혼입률에 따른 라돈의 발생 특성과 이의 결과를 ANN 모델에 적용하여 분석결과 평가 (Journal of nanoscience and nanotechnology, SCI 논문)
성과달성 책임자 (소속기관)	장홍석(전북대학교)
소요기간	'15.08 ~ '16.04 (10개월, 2년차)

관련 그림 / 사진	
정의(설명)	Emission characteristic of ammonia in cement mortars using different sand from area of production
개별성과	골재의 성상에 따른 다양한 종류의 골재의 모르타르 적용시 발생하는 암모니아의 발생량을 재령에 따라 평가 (Engineering environment research, SCI급)
성과달성 책임자 (소속기관)	장홍석(전북대학교)
소요기간	'15.12 ~ '16.05 (6개월, 2년차)

제4장 연구목표 달성 및 효과

1. 연구개발 최종목표 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
시멘트 콘크리트의 수화가스 분석프로세서 적립	100	기존 실내공기질 평가방법을 기초로한 시멘트 콘크리트 수화가스만을 위한 분석 프로세서 적립함
각종 혼화재료의 재료혼입별, 재령별 가스종류 및 발생량 평가	100	다양한 혼화재료의 혼입종류 및 혼입량에 따른 수화가스 DB 구축
다양한 변수와 수화가스 발생특성 관계 S/W 적용 및 평가모델 도출	100	MATLAB 프로그램을 활용한 다양한 Algorism 적용 및 평가모델 제시
재료화학 및 병리학적 자료를 통한 모델의 유해성 실태 평가	100	수화가스에 종류에 따른 유해성 도출

2. 연구개발 성과의 기술적 효과분석

본 연구는 콘크리트의 화학적 분석뿐만 아니라 실내공기질 분야와 관련이 있으므로 콘크리트 공학과 시멘트 화학 및 환경 등 그동안 재료특성에 한정되어 왔던 건축재료 분야의 연구를 다른 분야와 복합적으로 고려하여 경계학문 영역을 뛰어넘을 수 있는 연구임. 또한 얻어진 결과로 타 연구 분야에서의 활용이 충분히 가능할 것으로 기대되며 본 연구 수행을 통해 영역이 크게 다른 학문분야의 성과가 집적된 공동연구가 이루어질 수 있으며 새로운 학문분야로의 발전이 크게 기대됨.

특히 최근 국민들의 의식수준의 향상과 더불어 친환경에 대한 다양한 요구와 학문적 중요성이 증대되고 있으며 관련하여 친건강성, 친환경성에 관한 다양한 연구와 개발이 진행되고 있음. 이에 본 연구와 관련한 시멘트 콘크리트 및 혼화재를 혼입한 콘크리트의 수화가스 발생 특성과 유해정도 결과를 활용하여 주거환경에 대한 다양한 실내공기질 및 환경공학연구와 수의병리학적인 추가 연구로서의 활용 및 활용이 가능함.

또한, 현대사회에서 건축재료로 가장 많이 사용되는 콘크리트에서 발생하는 각종 수화가스 중 대부분을 차지하는 NH_3 와 유해성이 높은 VOCs 등의 방출 메커니즘을 규명하고 그 저감 방안 제시로 주거환경 개선과 국민 건강 확보에 기여 할 수 있음. 특히 최근 그 사용량이 급격히 증가하고 있는 플라이애시, 고로슬래그 미분말, 실리카흙 등의 혼화재료가 콘크리트의 수화가스 생성에 미치는 영향에 대한 결과를 바탕으로 유해가스 방출을 저감시킬 수 있는 재료 기술적 개발에 본 연구의 활용이 가능함.

3. 연구개발 성과의 경제적 효과분석(시장창출, 고용창출 등)

콘크리트로부터 방출되는 수화가스에 대한 유해성 평가는 국내 레미콘 산업의 제조 공정에 영향을 미칠 수 있어 파급효과가 클 것으로 예상됨. 콘크리트 제조시 사용되는 각종 혼화재료의 개발과 연구방향에 새로운 이정표를 제시할 수도 있으며 실내공기질과 관련하면 본 연구결과는 콘크리트 수화가스로부터 자유로운 아파트 거주 문화의 새로운 트렌드를 제시 할 수 있으며, 건설업체의 새로운 마케팅 대안으로 활용할 수 있을 뿐 아니라, 유해성을 저감시킬 수 있는 천연, 인공 마감재의 개발도 촉진 시킬 수 있음. 또한 콘크리트로부터 방출되는 수화가스의 실내 최소 노출 및 허용치를 추정함으로써 콘크리트 건축물에서 생활하는 대다수 국민의 건강증진과 개선을 통해 국민의 의료비 부담을 줄일 수 있을 것으로 예상되며 국민 건강이라는 국가 내부역량의 보존에 기여할 경우 국가 경쟁력 향상과 국민의 삶의 질 향상에도 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단됨.

4. 연구개발 성과의 인력양성 효과분석

본 연구는 콘크리트의 화학적 분석뿐만 아니라 실내공기질 관련, 면역학 분야와 관련이 있으므로 콘크리트 공학과 시멘트 화학 등 많은 분야의 연구가 동시에 진행되고 통합되어야 함. 따라서 석사급 및 박사급 학생들의 적극적인 참여가 가능하며 과제 수행을 통해 학위 취득자를 양성할 수 있을 것으로 예상되고 또한 본 과제를 수행함으로써 현재 요구되는 학문간 공유와 융합을 건축공학과 IT공학이라는 전혀 다른 두 전공 사이에 이룰 수 있고, 단계별로 분산된 연구성과를 검토하고 토론함으로써 연구원들에게 단일 분야의 지식이 아니라 콘크리트 등 건축재료 분야 및 IT 분야와 관련된 복합적인 지식의 축적이 가능할 것으로 판단됨.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

현재까지 콘크리트에 대한 연구의 방향은 콘크리트를 더욱 많이 활용하기 위한 공학적 특성 및 내구성 증진 등을 위한 것들이 대부분 이었으나, 본 연구는 기존의 콘크리트의 물성확보와 경제성을 위한 연구가 아닌 국민의 삶의 질 향상과 국민 건강 보건 증진을 목적으로 한 콘크리트 실내 환경 개선 분야의 선도적인 연구 성과로 활용이 기대됨.

- 각종 혼화재료(고로슬래그 미분말, 플라이 애쉬 등)의 혼입별, 재령별 가스발생 특성을 분석하여 콘크리트 건축물에서 발생 가능한 재령별 수화가스와 방출량 추정으로 재실자의 건강을 위한 실내 환기량 산출, 건설노무자의 재령별 최소노출 및 허용치 기준설정 등의 기준 설립에 적극 활용
- 혼화재 종류에 따른 수화가스 방출 특성분석을 바탕으로 각종 전처리 방법을 통한 수화가스 저감 대안제시가 가능 할 것으로 기대되며, 이로 인한 재실자의 건강향상과 국민 의료비 부담 절감에 기여 가능 할 것으로 기대됨. 또한 이를 활용한 청정콘크리트 개발 및 관련분야의 사업 확장을 통한 경제 산업적 파급효과가 있을 것으로 판단됨.
- 본 연구는 콘크리트의 화학적 분석뿐만 아니라 실내공기질 분야와 관련이 있으므로 콘크리트 공학과 시멘트 화학 및 환경 등 그동안 재료특성에 한정되어 왔던 건축재료 분야의 연구를 다른 분야와 복합적으로 고려하여 경계학문 영역을 뛰어 넘을 수 있는 연구이며 또한 얻어진 결과로 타 연구 분야에서의 활용이 충분이 가능할 것으로 기대됨.
- 본 연구를 통하여 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 수화과정에서 발생하는 각종 수화가스는 주 사용재료인 골재와 혼화재(Fly ash, GBFS) 및 혼화제 등의 종류와 혼입량에 따라 그 발생과 이를 통한 ANN 모델 알고리즘 적용 및 그 결과를 분석 평가하였음. 그러나 발생 수화가스가 인체에 미칠 수 있는 영향 등을 실험동물의 수화가스 노출 평가 등을 통한 보다 실증적인 실험이 추가로 요구되며 이외에 미시적인 접근방법으로 세포단위의 분석이 가능한 면역학적 접근을 통하여 세부적면역반응 유도능에 대한 평가, allergy 반응 등과 같은 보다 미시적인 위해성 평가에 관한 연구가 향후 필요하며 이러한 결과 ANN 신규모델 등에 적용하여 보다 객관적이며 신뢰성 높은 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 유해성 평가 도출이 필요할 것으로 판단됨

참 고 문 헌

- 1) 국립환경연구원, “실내공기질 공정시험방법 도출 연구”, p.37, 2004.
- 2) 김재관, “시멘트 몰탈 및 콘크리트 혼화제 첨가제로서 배연탈질 석탄회의 재활용 특성”, 한국폐기물학회지, Vol. 19, No. 7, pp.864-873, 2002.
- 3) 공중이용시설 실내환경 관리방안 연구, 보건사회부, 보고서, 1993
- 4) 서울시 지하철 환경개선 방안 연구, 서울특별시 지하철공사, 보고서, 1998
- 5) 실내공간의 VOCs 특성 및 제어방안에 대한 기초조사, 환경부, 보고서, 2001
- 6) 지하생활공간 공기오염 저감방안 연구, 서울특별시, 1997
- 7) 환경부, “실내공기질공정시험방법”, 환경부고시 제 2004-80호, 2004.
- 8) 국립환경연구원, “실내공기질 공정시험방법 도출 연구”, 2004.
- 9) Marcl, F., David,,LJ., Melissam, L., Nancy, JB, “Automated measurements of ammonia and nitric acid in indoor and outdoor air”, Environ Sci technol, pp.2114-2119, 2003.
- 10) Bai, Z., Dong, Y., Wang, Z., Zhu, T. “Emission of ammonia from indoor concrete wall and assessment of human exposure”, Environ Int. 32(3), pp.303-311, 2006.
- 11) Sisovic, A., Sega, K., Kalinic, N. “Indoor/outdoor relationship of ammonia concentrations in selected office buildings”, Sci Total Environ 61, pp.73-77, 1987.
- 12) Z. Bai., Y. Bong., Z. Wang., T.Zhu, “Emission of ammonia from indoor concrete wall and assessment of human exposure”, Environment International 32, pp.303-311, 2006.
- 13) Spencer, AB., Gressel, MG., “A hazard and operability study of anhydrous ammonia application in agriculture”, Am Ind Hyg Assoc J 54, pp.671-677, 1993.
- 14) Bluysen, P. M. et al., “European Indoor Air Quality Audit Project in 56 Office Buildings”, Indoor air, V.6 no.4, pp.221-238
- 15) Bruce A. Tichenor et al., “Organic Emissions from Consumer products and Building materials to the indoor Environment”, JAPCA, Vol. 38, no.3, pp.264-268, 1988.
- 16) De Aquino Neto, F. R. et al., “Assessment of indoor and outdoor TVOC in a renovated office in Rio de janeiro”, Brazill, Indoor air quality and climate, pp.352-357, 1999.

[부 록]

[illegible]

[별첨1]

자체평가 의견서

1. 과제현황

			과제코드			
사 업 명		국토교통기술촉진연구사업				
과 제 명		혼화재를 혼입한 콘크리트의 수화가스 발생특성과 예측 및 모델화를 통한 유해성 평가				
연 구 기 관		전북대학교		연 구 책 임 자		장홍석
연 구 기 간 연 구 비 (천원)	연 차	기 간	정 부 출 연 금	기 업 부 담 금	정 부 외 출 연 금	계
	1차연도	14.08.27 -15.08.26	50,000			50,000
	2차연도	15.08.27 -16.08.26	50,000			50,000
	3차연도					
	4차연도					
	5차연도					
	계		100,000			100,000
참 여 기 업						
상 대 국		상대국 연구기관				

2. 작 성 일 : 2016.07.20

3. 연구책임자

소 속	직 위	성 명
전북대학교	연구원	장홍석

4. 연구책임자 확인

본인은 평가대상 과제의 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 이 자료가 전문가 및 전문기관 평가시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다

확 약	
-----	--

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성 및 창의성

본 연구는 현대사회에서 건축재료로 가장 많이 사용되는 콘크리트에서 발생하는 각종 수화가스방출 특성과 그 메커니즘을 규명하고, 그 방생량을 예측 및 모델화함으로 콘크리트 제품의 환경적 기준 제시 및 국민 건강 확보에 기여하고자 함을 그 목표로 한다. 특히, 최근 그 사용량이 급격히 증가하고 있는 플라이애시, 고로슬래그 미분말, 실리카흄 등의 혼화재료가 콘크리트의 수화가스 생성에 미치는 영향을 연구·분석함은 물론 실내의 수화가스 방출량, 방출기간 등을 측정하여 콘크리트 재료적 특성에 대한 재령별 가스방출 평가와 이에 대한 각종 시뮬레이션 및 예측프로그램을 통하여 시멘트 콘크리트 수화가스에 대한 종합적이고 객관적인 예측과 모델을 제시하는데 연구의 목적이 있으며 아래와 같이 기존의 연구개발과 차별성을 담고 있다.

- ① 콘크리트 실내공기질 현안해결 - 현재 국내 인구의 60%이상이 콘크리트로 건축된 공동주택에 살고 있는 현실을 감안할 때 최근 현대인들의 생활수준 및 의식수준의 향상과 더불어 건강에 대한 새로운 요구증가로 생활환경과 밀접한 실내마감재료 이외의 콘크리트에 대한 관심이 높아졌으며, 시멘트를 기반으로 한 각종 콘크리트 환경에 대한 정성·정량적인 평가가 요구되고 있다. 이러한 배경을 바탕으로 시멘트 콘크리트에서 발생하는 각종 수화가스 특성과 메커니즘 규명을 통한 객관적인 데이터를 제시하며, 수화가스 예측 모델 등의 보다 실용적인 결과물을 도출하여 주거환경 개선과 국민 건강 확보에 기여하고자 한다.
- ② 콘크리트가 무해하다는 기존지식 개선 - 최근 콘크리트의 강도증진과 내구성 향상 및 경쟁력 확보를 위해 산업부산물인 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 사용량이 급증하고 있으며, 이들 혼화재료들은 시멘트 생산에 따른 환경부하의 감소를 위한 저탄소 생산 및 경제성 향상을 위해 향후 생산량과 콘크리트에의 혼입량이 더욱 증가할 것으로 예상되고 있다. 그러나 이러한 혼화재의 사용으로 콘크리트의 물성증진과 단가하락 등의 기존의 통상적인 장점이외의 혼화재료를 혼입한 콘크리트가 실내 거주 환

경에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다. 이에 본 연구는 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 수화과정 또는 경화 후에 실내 환경에 미치는 영향에 대한 객관적인 실험을 진행하여 기존 물성증진의 효과 이면의 혼화재료의 혼입에 따른 수화 가스 발생 특성 등에 따른 지식을 객관적으로 제공하고자 한다.

- ③ 예측모델을 통한 융합연구 자료제공 - 방출 가스의 양과 농도가 낮다할지라도 콘크리트에 사용되는 혼화재료의 종류와 그 양에 따라 또는 그 재령에 따라 거주자에게 피해를 입힐 수 있다고 예상되며, 이에 대한 심도 있는 연구와 그 활용을 위해 본 연구에 컴퓨터 및 소프트웨어 활용을 통한 수화가스에 대한 예측모델 평가를 융합 제안하게 되었다. 특히, MATLAB 프로그램 등을 활용하여 콘크리트 재료의 혼화재료의 종류, 혼화재료의 혼입률, 물/시멘트 비, 재령일, 양생조건 등의 다양한 변수에 따른 수화가스 발생량의 관계를 다양한 모델에 적용하여 수화가스 정량분석결과를 예측하므로 의미 있는 자료를 제공할 것으로 예상된다.

- ④ 재료화학 및 병리학적 유해성 실태 평가자료 제공 - 다양한 변수에 따른 콘크리트 수화가스 측정결과와 소프트웨어 프로그램을 활용한 재령별 발생량 예측 결과 값을 기초로 재료화학적 병리학적 유해성 평가를 실시하여 혼화재료별, 재령별 수화가스 발생이 인체에 미칠 수 있는 영향 등에 대해서 유해성 평가 결과를 제공할 수 있다.

기존의 일반적인 실내공기질관련 연구의 경우 공기질을 측정·분석하는데 그쳤으나, 본 연구개발의 경우 IT 분야와 융합한 실용적인 연구를 계획하였다. MATLAB 프로그램 등을 활용하여 콘크리트 재료의 혼화재료의 종류, 혼화재료의 혼입률, 물/시멘트 비, 재령일, 양생조건 등의 다양한 변수에 따른 수화가스 발생량의 관계를 다양한 모델에 적용하여 수화가스 정량분석결과의 유의성을 판별 및 예측하며, 상관관계의 모델을 제시하므로 보다 실용적이며, 창의적인 연구결과 도출이 가능 할 것으로 예상된다.

2. 연구개발결과의 파급효과

1) 해당분야 학문발전의 기여효과

본 연구는 콘크리트의 화학적 분석뿐만 아니라 실내공기질 분야와 관련이 있으므로 콘크리트 공학과 시멘트 화학 및 환경 등 그동안 재료특성에 한정되어 왔던 건축재료 분야의 연구를 다른 분야와 복합적으로 고려하여 경계학문 영역을 뛰어 넘을 수 있는 연구이다. 또 한 얻어진 결과로 타 연구분야에서의 활용이 충분히 가능할 것으로 기대된다. 따라서 본 연구 수행을 통해 영역이 크게 다른 학문분야의 성과가 집적된 공동연구가 이루어질 수 있으며 새로운 학문분야로의 발전이 크게 기대된다.

2) 기술적, 경제·산업적 측면

콘크리트로부터 방출되는 수화가스에 대한 유해성 평가는 국내 레미콘 산업의 제조 공정에 영향을 미칠 수 있어 파급효과가 클 것으로 예상된다. 콘크리트 제조시 사용되는 각종 혼화재료의 개발과 연구방향에 새로운 이정표를 제시할 수도 있다. 실내공기질과 관련하면 본 연구결과는 콘크리트 수화가스로부터 자유로운 아파트 거주 문화의 새로운 트렌드를 제시할 수 있으며, 건설업체의 새로운 마케팅 대안으로 활용할 수 있을 뿐 아니라, 유해성을 저감시킬 수 있는 천연, 인공 마감재의 개발도 촉진시킬 수 있다. 또한 콘크리트로부터 방출되는 수화가스의 실내 최소 노출 및 허용치를 추정함으로써 콘크리트 건축물에서 생활하는 대다수 국민의 건강증진과 개선을 통해 국민의 의료비 부담을 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 국민 건강이라는 국가 내부역량의 보존에 기여할 경우 국가 경쟁력 향상과 국민의 삶의 질 향상에도 큰 도움을 줄 수 있다.

3) 연구수행 과정을 통한 연구 인력 양성 효과 등

본 연구는 콘크리트의 화학적 분석뿐만 아니라 실내공기질 관련, 면역학 분야와 관련이 있으므로 콘크리트 공학과 시멘트 화학 등 많은 분야의 연구가 동시에 진행되고 통합되어야 한다. 따라서 석사급 및 박사급 학생들의 적극적인 참여가 가능하며 과제 수행을 통해 학위 취득자를 양성할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 본 과제를 수행함으로써 현재 요구되는 학문간 공유와 융합을 건축공학과 IT공학이라는 전혀 다른 두 전공사이에 이룰 수 있고, 단계별로 분산된 연구성과를 검토하고 토론함으로써 연구원들에게 단일 분야의 지식이 아니라 콘크리트 등 건축재료 분야 및 IT 분야와 관련된 복합적인 지식의 축적이 가능할 것으로 예상된다.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

현재까지 콘크리트에 대한 연구의 방향은 콘크리트를 더욱 많이 활용하기 위한 공학적 특성 및 내구성 증진 등을 위한 것들이 대부분이었으나, 본 연구는 기존의 콘크리트의 물성확보와 경제성을 위한 연구가 아닌 국민의 삶의 질 향상과 국민 건강 보건증진을 목적으로 한 콘크리트 실내 환경 개선 분야의 선도적인 연구 성과로 활용이 기대됨.

- 각종 혼화재료(고로슬래그 미분말, 플라이 애쉬, 실리카 흙 등)의 혼입별, 재령별 가스발생 특성을 분석하여 콘크리트 건축물에서 발생 가능한 재령별 수화가스 예측과 방출량 추정으로 재실자의 건강을 위한 실내 환기량 산출, 건설노무자의 재령별 최소노출 및 허용치 기준설정 등의 기준 설립에 적극 활용
- 혼화재 종류에 따른 수화가스 방출 메커니즘 규명을 바탕으로 각종 전처리 방법을 통한 수화가스 저감 대안제시가 가능 할 것으로 기대되며, 이로 인한 재실자의 건강향상과 국민 의료비 부담 절감에 기여 가능 할 것으로 기대된다. 또한 이를 활용한 청정콘크리트 개발 및 관련분야의 사업 확장을 통한 경제 산업적 파급효과가 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 콘크리트의 화학적 분석뿐만 아니라 실내공기질 분야와 관련이 있으므로 콘크리트 공학과 시멘트 화학 및 환경 등 그동안 재료특성에 한정되어 왔던 건축재료 분야의 연구를 다른 분야와 복합적으로 고려하여 경계학문 영역을 뛰어 넘을 수 있는 연구이다. 또 한 얻어진 결과로 타 연구 분야에서의 활용이 충분히 가능할 것으로 기대된다.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

본 연구책임자는 콘크리트로 건축된 건축물의 실내공간이 거주자의 건강에 미치는 영향을 평가하기 위해 시멘트 수화과정과 경화콘크리트에서 발생하는 가스에 대한 선행연구를 수행하였다. 특히, 최근 그 사용량이 급격히 증가하고 있는 플라이애시, 고로슬래그 미분말, 실리카흙 등의 혼화재료가 콘크리트의 수화가스 생성에 미치는 영향을 연구·분석함은 물론 실내의 수화가스 방출량, 방출기간 등을 측정하여 콘크리트 재료적 특성에 대한 재령별 가스방출 평가와 이에 대한 각종 시뮬레이션 및 예측프로그램을 통하여 시멘트 콘크리트 수화가스에 대한 종합적이고 객관적인 예측과 모델을 제시하는데 연구의 목적이 있으며, 이를 달성하기 위해서 컴퓨터 소프트웨어에 관한 전문적인 분

야의 연구진 참여가 필요하였다. 이에 본 연구 책임임자는 성공적인 연구를 위해 그동안 많은 연구 경험을 갖춘 전문적인 연구원들과 함께 본 연구를 공동 기획하였으며 모델링 분야에서 많은 국책 연구과제를 수행한 경험이 있고 풍부한 연구인력과 다수의 논문을 발표한 바 있는 이말레 교수진과 상호보완하며 연구를 성실히 진행하고 있다

5. 공개발표된 연구개발성과(논문·지적재산권·발표회 개최 등)

○ 국내학술발표대회

- 2014 한국콘크리트학회 가을학술발표 : 콘크리트에서 발생하는 암모니아 측정프로세서

○ 국제학술발표대회

- 2014 International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment : Use of artificial neural network for the simulation of radon emission concentration of granulated blast furnace slag mortar
- The 13th international nanotech symposium & Nano-convergence expo : Use of artificial neural network for the simulation of color expression of black mortar using carbon and pigment
- 2015 International Environmental Engineering Conference : Emission characteristic of ammonia in cement mortars using different sand from area of production
- International conference on Advanced Materials : A study of the simulation of radon emission concentration of fly ash mortar using artificial neural network

○ 논문(SCI 급)

- Journal of Nanoscience and Nanotechnology (2016, Vol 16, 5268-5273) : Use of artificial neural network for the simulation of radon emission concentration of granulated blast furnace slag mortar (2014 ENGE)

- Journal of Nanoscience and Nanotechnology (2015, Vol 15, 9110-9115) : A study on the properties of carbon black mortar using granulated blast furnace slag and polymer
- Environmental Engineering Research (2016, 4/8 Accepted) : Emission characteristic of ammonia in cement mortars using different sand from area of production

○ 소프트웨어

- ANN OSS 알고리즘을 활용한 고로슬래그 모르타르의 암모니아가스 발생특성 평가모델
- ANN LM 알고리즘을 활용한 고로슬래그 모르타르의 암모니아가스 발생특성 평가모델

II. 연구목표 달성도

번호	세 부 연 구 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
1	시멘트 콘크리트의 수화가스 분석프로세서 적립	시멘트 콘크리트에서 발생하는 다양한 종류의 가스 분석 프로세서를 구성하여 재령별, 종류별 정성·정량 분석 가능하도록 함.	100
2	각종 혼화재료의 재료혼입별, 재령별 가스종류 및 발생량 평가	혼화재료의 혼입량에 따른 재령별 수화가스 분석 및 데이터 수집	100
3	다양한 변수와 수화가스 발생특성 관계 S/W 적용 및 예측모델 도출	MATLAB 프로그램을 활용한 다양한 Algorithm 적용 및 모델 제시	100
4	재료화학 및 병리학적 자료를 통한 예측모델의 유해성 실태 평가	수화가스에 종류에 따른 유해성 도출	100

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

현재까지 콘크리트에 대한 연구의 방향은 콘크리트를 더욱 많이 활용하기 위한 공학적 특성 및 내구성 증진 등을 위한 것들이 대부분 이었으나, 본 연구는 기존의 콘크리트의 물성확보와 경제성을 위한 연구가 아닌 국민의 삶의 질 향상과 국민 건강 보건증진을 목적으로 한 콘크리트 실내 환경 개선 분야의 선도적인 연구 성과로 활용이 기대됨.

특히, 본 연구를 통하여 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 수화과정에서 방출되는 다양한 종류의 가스의 특성을 분석하였으며, 각종 가스의 메커니즘 규명과 분석 데이터를 기초로 컴퓨터 및 소프트웨어공학과 연계하여 실제적인 가스방출 예측모델 적용 중에 있다. 이러한 평가 결과를 바탕으로 콘크리트 수화가스의 인체에 대한 영향을 재료화학 및 병리학적 자료를 근거로 유해성 실태 평가를 통하여 콘크리트 제품에 대한 환경적 기준을 제시함과 동시에 주거환경 개선과 국민 건강 확보에 기여 가능 할 것으로 판단됨.

또한, 본 연구는 콘크리트의 화학적 분석뿐만 아니라 실내공기질 분야와 관련이 있으므로 콘크리트 공학과 시멘트 화학 및 환경 등 그동안 재료특성에 한정되어 왔던 건축재료 분야의 연구를 다른 분야와 복합적으로 고려하여 경계학문 영역을 뛰어 넘을 수 있는 연구이며, 또한 얻어진 결과로 타 연구 분야에서의 활용이 충분이 가능할 것으로 기대됨.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

현재까지 콘크리트에 대한 연구의 방향은 콘크리트를 더욱 많이 활용하기 위한 공학적 특성 및 내구성 증진 등을 위한 것들이 대다수임. 그러나 최근 현대인들의 생활수준 및 의식수준의 향상과 더불어 건강에 대한 새로운 요구증가로 생활환경과 밀접한 실내마감재료 이외의 콘크리트에 대한 관심이 높아졌으며, 시멘트를 기반으로 한 각종 콘크리트 환경에 대한 정성·정량적인 평가 및 쾌적한 실내공간에 대한 요구가 증대되고 있음.

이러한 사회적 배경을 바탕으로 최근 시멘트 콘크리트에서 발생하는 각종 수화가스 특성과 노출 유해성 평가에 대한 연구가 진행되기 시작하는 단계에 있으며, 본 연구는 콘크리트에서 발생하는 각종 수화가스방출 특성과 메커니즘을 규명하고, 그 메커니즘 분석 등을 통한 실제적인 가스방출 예측과 모델화 등을 통하여 종합적으로 평가하여 사회이슈 및 과학적 난제 해결에 기여할 수 있는 분야로 이러한 전제조건을 바탕으로 평가를 요청함.

3. 연구개발결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

▪ 각종 혼화재료(고로슬래그 미분말, 플라이 애쉬, 실리카 흙 등)의 혼입별, 재령별 가스발생 특성을 분석하여 콘크리트 건축물에서 발생 가능한 재령별 수화가스 예측과 방출량 추정으로 재실자의 건강을 위한 실내 환기량 산출, 건설노무자의 재령별 최소노출 및 허용치 기준설정 등의 기준 설립에 적극 활용

▪ 혼화재 종류에 따른 수화가스 방출 메커니즘 규명을 바탕으로 각종 전처리 방법을 통한 수화가스 저감 대안제시가 가능 할 것으로 기대되며, 이로 인한 재실자의 건강향상과 국민 의료비 부담 절감에 기여 가능 할 것으로 기대된다. 또한 이를 활용한 청정콘크리트 개발 및 관련분야의 사업 확장을 통한 경제 산업적 파급효과가 있을 것으로 판단됨.

IV. 보안성 검토

1. 연구책임자의 의견

--

2. 연구기관 자체의 검토결과

--

(혼화재를 혼입한 콘크리트의 수화가스 발생특성과 예측 및 모델화를 통한 유해성 평가) 연구성과 목록

□ 과제명 (주관연구기관명/연구책임자명)

NO	핵심성과명	성과유형 ¹⁾	성과 설명		활용대상자	관련 성과실적*
			특징/우수성	국내외 기술수준과의 비교		
1	콘크리트의 수화가스 방출가스 분석 프로세서 구성 및 평가	기타 (학술)	콘크리트 수화가스를 포집 및 분석 할 수 있는 프로세서를 구성 및 각종 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 가스 분석이 가능한 프로세서로 기존의 검지관 및 실내공기질 평가법과는 차이가 있음	기존 검지관 등을 활용한 거시적인 콘크리트의 수화가스 평가방법에 비하여 보다 정량적 측정이 가능한 진보한 기술임	실내공기질 관련 연구자	SCI급 논문 2편 학술발표대회 2편
2	혼화재 혼입 콘크리트의 수화가스 방출가스의 ANN 모델 분석	기타 (학술)	콘크리트 수화가스 분석결과를 바탕으로 ANN 모델을 활용하여 그 정도값을 시뮬레이션으로 판정하는 보다 진보함 분석법임.	콘크리트 수화가스 결과값을 ANN 모델 에 적용하여 분석한 사례는 전무함	실내공기질 관련 연구자	SCI급 논문 1편 학술발표대회 2편
3	콘크리트의 수화가스 (암모니아) 방출가스 ANN OSS 알고리즘	소프트웨어	콘크리트에서 발생하는 수화가스 중 암모니아 가스의 재령별 방출가스를 ANN OSS 알고리즘으로 그 정도값을 판정해보는 진보함 분석법임.	콘크리트 수화가스 결과값을 ANN 모델 에 적용하여 분석한 사례는 전무함	실내공기질 관련 연구자	소프트웨어 등록1건
4	콘크리트의 수화가스 (암모니아) 방출가스 ANN LM 알고리즘	소프트웨어	콘크리트에서 발생하는 수화가스 중 암모니아 가스의 재령별 방출가스를 ANN LM 알고리즘으로 그 정도값을 판정해보는 진보함 분석법임.	콘크리트 수화가스 결과값을 ANN 모델 에 적용하여 분석한 사례는 전무함	실내공기질 관련 연구자	소프트웨어 등록1건

1) 성과유형은 공법·기법, 재료·자재, 소프트웨어, 장비·장치, 시스템, 정책·제도, 기타(학술적 성과)에서 택 1

□ 관련 성과리스트

- 학술발표대회논문

게재연도	논문명	학술대회명	국내외 구분
2014	콘크리트에서 발생하는 암모니아 측정 프로세서	한국콘크리트학회 가을학술발표대회	국내
2015	Use of artificial neural network for the simulation of radon emission concentration of granulated blast furnace slag mortar	Nano korea 2015	국외
2015	A study of the simulation of radon emission concentration of fly ash mortar using artificial neural network	IUMRS-ICAM 2015	국외
2015	Emission characteristic of ammonia in cement mortars using different sand from area of production	International Environmental Engineering Conference	국외

- 학술논문

게재연도	논문명	학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
2015	A study on the properties of carbon black mortar using granulated blast furnace slag and polymer	Journal of nanoscience and nanotechnology	15	국외	SCI
2016	Use of artificial neural network for the simulation of radon emission concentration of granulated blast furnace slag mortar	Journal of nanoscience and nanotechnology	16	국외	SCI
2016	Emission characteristic of ammonia in cement mortars using different sand from area of production	Engineering environment research		국외	Scopus

- 지식재산권(특허)

년도	국가	출원 또는 등록년도	출원또는 등록자명	소속	특허증번호/ 품종등록번호	발명의명칭/ 작물명-품종의명칭	출원또는 등록일자

- 지식재산권(실용신안)

년도	국가	출원 또는 등록년도	출원또는 등록자명	소속	특허증번호/ 품종등록번호	발명의명칭/ 작물명-품종의명칭	출원또는 등록일자

- 지식재산권(디자인)

년도	국가	출원 또는 등록년도	출원또는 등록자명	소속	특허증번호/ 품종등록번호	발명의명칭/ 작물명-품종의명칭	출원또는 등록일자

- 소프트웨어/프로그램

년도	소속	S/W 명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	최초 등록일
	전북대학교	ANN OSS 알고리즘을 활용한 고로슬래그 모르타르의 암모니아가스 발생특성 평가모델	15/12/20	전북대학교 산학협력단 (장홍석)	16/03/17	C-2016-006713	전북대학교 산학협력단	
	전북대학교	ANN LM 알고리즘을 활용한 고로슬래그 모르타르의 암모니아가스 발생특성 평가모델	16/01/20	전북대학교 산학협력단 (장홍석)	16/03/28	C-2016-007447	전북대학교 산학협력단	

- 저작권

년도	세부	실용신안 명칭	IPC 분류기준	발명자명/고안자명 (창작자명)	출원일	출원번호	출원인명 또는 법인명	출원인 주민번호 또는 사업자등록번호

- 저서

년도	소속	저서명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	최초 등록일

- 시제품 제작

년도	소속	시제품명	제작일	설치장소	이용분야	제작업체명

- 현장적용에 의한 비용절감

년도	과제명	R&D기술 적용현장명	R&D기술개요	공사기간 (시작일)	공사기간 (종료일)	발주기관명	사공업체명	최초등록일

- 산학간기술지원

계재 연도	과제명	구분	교육일시	교육내용	교육대상	교육시간

-기술실시계약

계재 연도	세부	기술실시명	기술실시내용	이전 기관	보유기관	지급방식	지급일	기술계약금액

-설계기준, 시방서, 지침에 제안

계재 연도	과제명	연구책임자	구분	활용구분	설계기준시방서지침 명칭	제안일시	제안내용	기대효과

연구목표 대비 연구성과달성 비교표

☐ **과제명** : 혼화재를 혼입한 콘크리트의 수화가스 발생특성과 예측 및 모델화를 통한 유해성 평가

☐ **주관기관** : 전북대학교 산학협력단

☐ **연구책임자** : 장 홍 석

구분	연구목표	연구성과		보고서 관련 Page
		정성적 성과	정량적 성과	
최/중 목표	○ 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 수화과정에서 방출되는 가스의 분석 프로세서 구성 및 재령별 그 방출 특성을 분석 ○ 혼화재료 혼입에 따른 수화가스분석 데이터 Artificial Neural Network 알고리즘 모델에 적용 및 평가분석	- 기존 실내공기질 평가방법을 기초로한 시멘트 콘크리트 수화가스만을 위한 분석 프로세서 적립함 - 다양한 혼화재료의 혼입종류 및 혼입량에 따른 수화가스 DB 구축 - MATLAB 프로그램을 활용한 다양한 Algorism 적용 및 평가모델 제시 - 수화가스에 종류에 따른 위해성 도출	- 국내학술발표대회 1편 - 국제학술발표대회 3편 - 소프트웨어 등록 2건 - SCI급 논문 3편	
1 주제	○ 수화가스분석 프로세서 적립 및 평가 ○ 각종 혼화재료의 재료혼입별, 재령별 가스종류 및 발생량 평가	- 검지관법, 인도페놀법, 네슬러시약법, 이온전극법 등의 NH₃ 측정방법 비교 - SPME, Head Space, 테플론 백, TD-GC/MS 등의 VOCs 측정방법 비교 - 기타 발생수화가스 분석방법 비교 분석 (라돈, HCHO 등) - 각종 혼화재료(고로슬래그미분말, 플라이애시, 실리카 흙)에 따른 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 재령별 수화가스 발생량 측정	- 국내학술발표대회 1편 - 국제학술발표대회 1편 - SCI급 논문 2편	68, 71, 74, 76

구분	연구목표	연구성과		보고서 관련 Page
		정성적 성과	정량적 성과	
2 주제	○ S/W 적용 과 예측모델 도출 및 유해성평가 ○ 재료화학 및 병리학적 자료를 통한 예측모델의 유해성 실태 평가	- 콘크리트 혼화재료의 종류, 혼화재료의 혼입률, 물/시멘트 비, 재령일, 양생조건 등의 다양한 변수에 따른 수화가스 발생량 관계를 분리 분석 - 다양한 Algorithm 적용을 통한 혼화재료의 혼입과 수화가스 발생의 상관관계 및 정확성 판단 및 결과도출 - Sorting 데이터를 기초로 다양한 변수에 따른 수화가스 발생 평가모델화 (혼화재료 종류, 혼입률, 재령별 등) - 재료화학 및 병리학적 이론적 자료를 바탕으로 최종 결과물에 대한 유해성 실태 평가	-국제학술발표대회 2편 -소프트웨어 등록2건 -SCI급 논문 1편	69, 70, 72, 73, 75

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.