

엠보탄 도막방수공법의 성능평가를 위한 실험적 연구 및 VE분석

An Experimental Study and Value Analysis for Performance Assessment of the Embo-thane Membrane Waterproofing Method

윤 차 응*
Yoon, Cha-Woong

이 승 수**
Lee, Seung-Soo

김 상 록***
Kim, Sang-Rok

서 중 원****
Seo, Jong-Won

요 약

1970년대 이후, 우레탄 도막방수공법은 자외선에 강하고 탄성 및 수밀성이 뛰어나 지붕 및 지하바닥, 스포츠경기장 등에 널리 활용되고 있다. 그러나 옥상 및 지하공간은 미끄럼으로 인한 위험이 많고 다양한 외력으로 하자발생이 빈번하여, 미끄럼방지기능 및 내구성을 향상시켜야 하고, 사용자의 편의성 및 심미적 측면의 기능성을 고려한 우레탄 도막방수공법의 개발이 절실하다. 따라서 기존 우레탄의 장점을 유지하고 성능 및 기능을 향상시킨 다양한 공법이 개발되고 있으며, 최근에 엠보스프레이 코팅시스템(Embo spray coating system)을 활용한 엠보탄(Embo-thane) 도막방수공법이 개발되었다. 본 논문은 엠보탄 도막방수공법의 노출, 비노출, 바닥재에 대하여 살펴보고, 기존의 우레탄 도막방수공법과의 성능 및 기능에 대한 객관적 비교·분석을 실시하기 위하여 인장강도, 신장률, 부착성능, 내마모성, 미끄럼저항성능에 대한 실험적 연구를 실시하였다. 그리고 엠보탄 방수공법의 물리적 성능뿐만 아니라 공법의 설계적 측면을 고려한 평가기준항목 설정과, AHP(Analytic Hierarchy Process)기법을 활용한 VE(Value Engineering)분석을 실시하여, 엠보탄 도막방수공법이 기존의 우레탄 도막방수공법에 비교하여 성능 및 기능에 대한 개선정도를 성능점수(performance index)를 통하여 제시하였다. 또한, 불확실성이 고려된 결과에 대한 평가를 위하여 Monte Carlo Simulation기법을 활용하여 확률적 접근방법을 통한 신뢰도 분석을 실시하고자한다.

키워드 : 방수, 엠보탄, 엠보스프레이코팅시스템, VE분석, 몬테카를로 시뮬레이션

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 복잡한 대도시의 구조물 설계 시, 협소한 공간적 제약을 극복하기 위한 방안으로 옥상 및 지하 공간을 주차장, 공원 및 운동시설 등의 여러 가지 용도로 활용하고 있다. 이러한 변화와 함께 지붕 및 지하공간에 요구되는 방수공법에 대한 기능 및 성능 또한 다양하고 복잡해지고 있다(Kasami 외, 2005).

우리나라는 1920년대 이후 본격적으로 시멘트액체방수 및 아

스팔트방수가 적용되고 1970년대 이후 수많은 방수공법 및 재료가 해외에서 도입되고 비약적으로 발전하였다(오상근, 1996). 그러나 우리나라의 기후의 특성상 계절 간 큰 기온차로 인하여 구체의 팽창 및 수축이 크게 발생하기 때문에 시멘트, 에폭시 및 FRP(Fiber Reinforced Plastics)등의 신축계수가 적은 방수재를 활용하는 공법은 구체의 거동에 추종하지 못하고 균열에 의한 하자가 자주 발생한다. 또한, 가격이 저렴하여 많이 사용되고 있는 아스팔트공법은 시공과정이 복잡하고 공해가 심하며, 기온과 외력에 따른 소성변형으로 형상의 변형이 심하고 내구성이 취약하다는 단점이 있다.

* 일반회원, 동화기영(주) 대표이사, ansaene@hanmail.net
** 일반회원, 한양대학교 토목공학과, 석사과정, rokhonor99@hanmail.net
*** 일반회원, (주)유경화성 대표이사, ygchem@hanmail.net
**** 종신회원, 한양대학교 토목공학과 부교수, 공학박사, P.E. (교신저자), jseo@hanyang.ac.kr

따라서 1970년대 후반부터 우레탄 도막방수공법은 시공 및 유지보수가 용이하고 이음부위(joint)가 없이 일체화된 방수층을 형성하여 수밀성이 뛰어나 뿐만 아니라, 자외선에 강하고 탄성력이 뛰어나 균열의 발생이 적고 보행 시 편안함으로 지붕 및 지하바닥, 스포츠경기장 등에 널리 활용되고 있다. 그러나 우레탄 도막방수공법은 합성고무계인 폴리우레탄이 주 방수재로 사용되기 때문에 인장강도, 인열강도 등의 내구성이 상대적으로 낮다는 결점을 가지고 있어, 외력에 의하여 긁힘, 패임 등의 상처가 발생하거나 찢어짐 등의 하자가 발생될 수 있다.

또한, 옥상 및 지하공간이 주차장, 공원 및 운동 공간 등으로 사용될 시 미끄러움으로 인해 발생하는 위험이 많기 때문에 논슬립(Non-slip) 기능을 갖추고, 주차장에서 흔히 경험할 수 있는 차량의 바퀴가 바닥면과 마찰로 인하여 발생하는 소음의 저감 및 사용자의 심미적 측면을 고려한 시각적 미려함 제공 등 성능뿐만 아니라 기능적 측면까지 모두 고려한 방수공법의 개발이 필요하다.

최근 개발된 엠보탄 도막방수공법은 기존의 우레탄 도막방수공법의 장점을 유지하고 요구되는 성능 및 기능을 강화한 공법이다. 우레탄의 결점인 내구성을 향상시키기 위하여 2액형 변성우레탄 및 초고경질우레탄을 개발하여 방수층을 구성하고, 엠보스프레이 코팅시스템을 활용한 엠보무늬 층을 형성하여 논슬립, 마찰로인한 소음저감 등의 기능을 크게 향상시킨 공법이다.

본 논문은 엠보탄 도막방수공법의 정의 및 특징에 대하여 설명하고, 기존의 우레탄 도막방수공법과의 성능시험을 통하여 성능 및 기능을 평가하고, 경제성 및 시공용이성 등의 다각적인 측면을 고려한 VE기법을 적용하여 객관적 검증을 실시하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 엠보탄 도막방수공법을 용도별로 노출, 비노출 및 바닥재로 구분하여 각각의 정의 및 특성을 소개하고, 기존의 우레탄 도막방수공법을 개량한 공법임을 감안하여 개선된 성능 및 기능에 대한 차이점을 도출하기 위하여 비교안으로 우레탄 도막방수공법의 노출, 비노출 및 바닥재를 설정하여 결과의 분석에 일관성을 확보하였다. 또한, 각 공법의 성능 및 기능을 세분화시키기 위하여 재료별, 구성 층별로 구분하여 비교하였다.

엠보탄 도막방수공법과 우레탄 도막방수공법의 재료별 구분은 노출 및 비노출방수의 경우 각각 2액형 변성우레탄과 2액형 우레탄 혹은 KS F 3211에서 제시하고 있는 2액형 우레탄 고무계의 성능 기준, 바닥재의 경우 초고경질우레탄과 경질우레탄으로 비교하였으며, 구성 층별로는 방수층과 마감층으로 구분하여 각 층에 요구되는 성능 및 기능을 설정하고 지정된 시험을 통하

여 성능에 대한 물성을 측정하여 비교·분석을 실시하였다. 특히, 마감층의 경우 실제 현장의 상태와 동일하게 제작된 시험편을 대상으로 미끄러움방지 성능을 시험하였다.

마지막으로 경제성, 시공용이성 및 현장 적용성 등을 포함한 다각적인 측면을 고려한 VE분석을 수행하는 것으로 연구의 범위를 한정하였다.

연구 방법으로 인장강도, 신장률, 부착성능에 대한 시험방법으로는 기술표준원에서 규정하고 있는 KS F 3211(건설용 도막방수재)의 시험방법으로 실시하였으며, 마감층이 발휘하는 성능인 미끄러움저항성능 및 내마모성에 대해서는 KS F 2375(노면의 미끄러움저항성 시험방법) 및 KS F 2813(건축재료 및 건축구성 부품의 마모 시험방법(연마지법))을 시험방법으로 설정하여 비교하고, 각 공법의 요철의 형상 및 물성으로 인하여 기대되는 특성에 대하여 정리하였다.

VE 분석은 준비-분석-성능평가 단계로 구분하여 진행 하였다. 평가항목별 가중치 산정을 위하여 AHP기법을 활용하였으며, 평가항목의 등급을 Caltrans의 10점 배점기준을 적용하여 대안별 성능지수를 산정하였다. 또한, 성능평가단계에서 의사결정을 위한 각 대안별 신뢰성 해석을 실시하여 불확실성 및 위험도를 고려한 성능을 분석하였다.

1.3 선행연구 고찰

방수공법은 재료별, 시공방법에 따라 종류가 다양하고, 사용되는 재료마다 물성이 상이하여 비교·분석 및 평가에 있어 매우 제한적이다. 현재까지의 방수공법에 대한 성능평가는 표 1의 내용대로 지식경제부 기술표준원에서 제시하고 있는 재료별 시험방법에 따른 시험결과 값과 제시된 기준과의 비교를 통해 성능을 평가하거나 동일재료나 공법이더라도 방수재의 제조과정에서 물성의 차이가 발생하는 점을 감안하여, 제조사 별로 재료에 대한 성능평가를 다수 실시하였다. 그리고 일부 공법에 대해서는 일정한 성능평가를 위한 시험방법이나 수치가 표준화되어 있지 않아 공법의 특성을 고려한 시험방법을 제시하는 연구가 진행 중이다.

이는 현재까지의 국내 연구가 재료의 물리적 성능에 비중을 둔 방수공법에 대한 평가가 이루어지고 주로 방수층에 국한된 연구가 진행된 바, 본 연구에서는 방수층과 마감층으로 구분하여 성능시험을 통한 물리적 성능평가뿐만 아니라, 기능 및 설계적 측면을 고려한 VE분석을 실시하여 전체적인 성능평가를 성능점수로서 수치화하여 비교하였다.

그리고 불확실성이 고려된 결과에 대한 평가를 위하여 Monte Carlo Simulation기법을 활용하여 확률적 접근방법을 통한 신뢰도 분석을 실시하여 엠보탄 도막방수공법이 우레탄 도막방수

공법에 비하여 분석된 결과가 확률적으로 얼마나 신뢰성이 있는지 평가하였다.

표 1. 방수공법의 성능평가 방법에 관한 국내연구동향

연구지	연구내용
송령창(1997)	국내의 방수공법에 대하여 공법별 요구되는 성능을 정리하고 실험적 성능평가 방법 제시
임재중(2000)	아스팔트 매스틱 도막 및 시트 복합방수공법의 방수성능에 대하여 방수층, 이음부, 코너부로 구분하여 실험적 성능평가 실시
박태순 외(2001)	교면포장 방수재료인 크롤로플렌 도막방수공법에 대하여 도막의 두께의 변화에 따른 실험적 연구를 실시하여 성능을 평가하였음
오상근 외(2002)	뿔칠형 조속경화 폴리우레아수지 도막방수재료의 성능평가를 위하여 5개사의 제품에 대한 실험적 성능평가 실시
오상근 외(2004)	페타이어와 페유리 미분말을 사용한 시멘트 복합계 탄성 도막방수재에 대하여 시험편의 재형에 따른 실험적 성능평가 실시
서상고 외(2007)	주차장 바닥재에 대한 최적의 마모성능시험방법을 도출하기 위하여 여러 가지 실험을 실시하여 평가함.

2. 엠보탄 도막방수공법

2.1 엠보탄 도막방수공법 개요

엠보탄 도막방수공법은 신축건물 및 기존건물의 벽면, 지붕 및 바닥표면 등에 적용할 수 있는 엠보스프레이 코팅시스템(Embo Spray Coating System)을 이용하여 엠보싱 무늬 층을 형성하는 우레탄 도막형 방수공법으로서 재료와 시공법의 변화에 따라 노출방수, 비노출방수, 바닥재로서의 성능을 발휘하여 구조물의 각 부위별 용도에 맞게 적용할 수 있어 활용성이 뛰어나다.

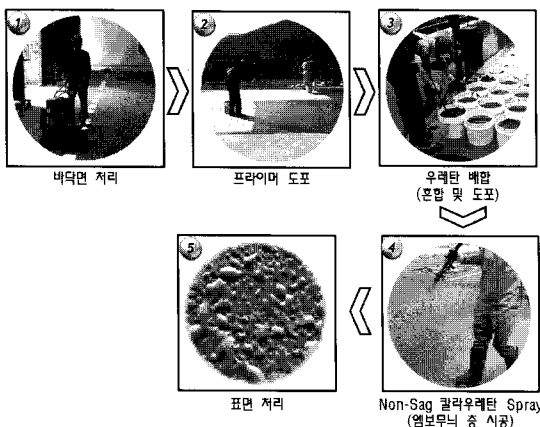


그림1. 엠보탄 도막방수공법의 시공순서

위에 그림 1은 엠보탄 도막방수공법에 대한 시공순서이다. 엠보탄 도막방수공법은 기존의 우레탄 도막방수공법과 시공순서가 비슷하나 방수층은 노출, 비노출의 경우, 2액형 변성우레탄을 사용하여 우레탄 고유의 탄성 및 신장률을 유지하며 다양한 외력에 대응할 수 있는 내마모성 및 내구성을 향상 시켰으며 바닥재의 경우, 초고경질우레탄을 적용하여 주차장에 최적의 성능

을 발휘할 수 있도록 하였다. 이후 마감층의 시공은 방수층과 동일한 재료를 몰탈 건(Mortar Gun)에 주입하고, 일정한 압력으로 분사하여 1mm의 엠보층을 구성하고 탑코팅(top coating)을 실시하여 마무리한다.

엠보탄 도막방수공법에 활용되는 엠보스프레이 코팅시스템은 보행이나 차량의 주행 시 미끄럼방지, 탄성감각의 확보 및 마찰로 인한 소음방지 등을 목적으로 표면에 엠보무늬층을 형성하도록 하는 시스템이며, 공법이 적용되는 부위의 용도에 따라 엠보무늬의 크기를 몰탈 건의 분사노즐로 크기를 조절할 수 있고, 색상을 자유롭게 선택할 수 있어 다양한 목적 및 취향에 맞도록 시공할 수 있다(윤차용, 2008).

엠보탄 도막방수공법의 노출, 비노출 및 바닥재에 대한 공법의 개요는 다음 표 2와 같다.

표 2. 엠보탄 도막방수공법의 개요

내용	노출	비노출	바닥재
용도	건축물의 옥상, 바닥, 내·외벽, 창고 등의 노출방수용	건축물의 옥상, 바닥, 창고, 베란다, 화장실, 사우나, 목욕탕, 수영장 등의 비노출방수용	일반사무실, 병원, 교실, 복도, 헬스클럽, 도서관, 지하 및 옥상 주차장, 공장바닥 등의 바닥재
재료	2액형 변성우레탄	2액형 변성우레탄	초고경질우레탄
표면 사진			
노출 단면	Top Coating (0.3kg/m ²) 엠보용 갈라우레탄 EMBO 층 (1.3kg/m ²) 2액형 변성우레탄방수층 (1.3kg/m ² ,mm) 프라이머 (0.3kg/m ²) 하지 (concrete)		
비노출 단면	보호몰탈 (concrete 또는 mortar, 10~15cm) 엠보용 흑색우레탄 EMBO 층 (1.3kg/m ²) 2액형 변성우레탄방수층 (1.3kg/m ² ,mm) 프라이머 (0.3kg/m ²) 하지 (concrete)		
바닥재 단면	Top coating (0.3kg/m ²) 엠보용 초고경질갈라우레탄 EMBO 층 (1.2kg/m ²) 초고경질바닥재 (1.2kg/m ² ,mm) 프라이머 (0.3kg/m ²) 하지 (concrete)		

2.2 엠보탄 도막방수공법 특성

도막방수공법이란 무정형물을 도포하여 방수피막을 형성하는 공법을 말하며 이음새 없는 연속피막을 만들 수 있고, 방수바탕의 형상에 좌우되지 않고 수밀성이 큰 방수층을 얻을 수 있다는 장점이 있다(대한주택공사, 1991). 특히, 우레탄 도막방수공법은 고무계 탄성체인 우레탄을 재료로 시공하는 도막방수공법으로서 탄성력과 신축계수가 뛰어나 구체의 거동에 대한 추종성이

탁월하고 수밀성이 우수하다.

엠보탄 도막방수공법은 기존의 우레탄 도막방수공법의 장점을 유지하고 물리적 성능 및 기능을 개선시킨 공법으로서, 가장 큰 특징은 기존의 우레탄 도막방수공법의 대표적 유형인 우레탄 라이닝, 우레탄코팅공법과 달리 표면에 엠보스프레이 코팅시스템을 활용하여 방수층과 동일한 재료의 2액형 변성칼라우레탄을 사용하여 엠보무늬층을 구성하는 점에 있다. 그리고 구조물의 옥상, 내·외벽 및 주차장 바닥 등의 용도에 최적화 되도록 우레탄 재료의 물성을 향상시킨 2액형 변성우레탄 및 초고경질우레탄을 개발하여 적용하였으며, 엠보무늬층과 방수층 재료의 일체화를 통하여 동일한 신축계수로 구체에 동등하게 추종하여 균열을 최소화 할 수 있으며, 모체와의 부착성을 향상 시켰다.

다음 그림 2는 엠보탄 도막방수공법의 성능 및 기능에 대한 특성을 세분화 시켜 설명하도록 재료 및 구성 층 별로 구분하여 설명한 내용이다.

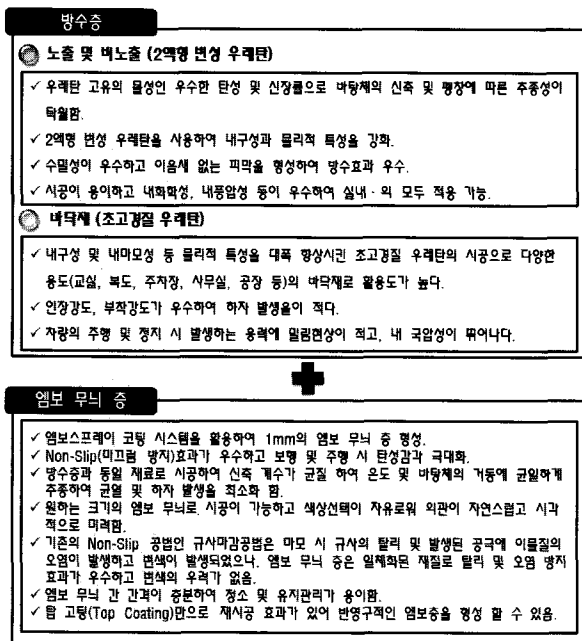


그림 2. 엠보탄 도막방수공법의 성능 및 기능

3. 엠보탄 도막방수공법의 성능시험

3.1 성능시험 내용

엠보탄 도막방수공법의 성능시험은 노출 및 비노출에 사용되는 2액형 변성우레탄과 바닥재에 사용되는 초고경질우레탄을 대상으로 실시하였으며, 각각 우레탄 도막방수공법에 일반적으로 사용되는 2액형 우레탄 및 경질우레탄과 비교·분석을 실시하였다.

성능시험은 크게 재료의 물성에 대한 시험과 마감 층의 내마

모성 및 미끄럼저항성에 대한 시험을 실시하였으며 다음 표 3과 같다.

표 3. 성능시험 내용

평가항목	시험방법	내용
인장강도 (N/mm ²)	KS F 3211-08 (건설용 도막방수제)	방수재료가 물리적 외력에 의해 어느 정도 저항하는 기를 평가.
신장률 (%)	KS F 3211-08 (건설용 도막방수제)	신장률은 구체의 거동에 추종할 수 있는 능력이며 인장강도 시험 중 파단 시 늘어난 길이로 평가.
부착성능 (N/mm ²)	KS F 3211-08 (건설용 도막방수제)	대표적인 하자유형인 모체에서 들뜨거나 탈락되는 현상은 부착성능이 저하되어 발생하는 현상으로 모체에 대한 접착성능 평가
내마모성 (mg/mm ²)	KS F 2813-06 (건축 재료 및 건축 구성 부품의 마모 시험방법(연마지법))	표면에 대하여 마찰로 인하여 발생하는 표면의 마모에 대한 정도를 일정 조건의 시험 시 1mm ² 당 마모된 량으로 평가.
미끄럼저항 성능 (BPN)	KS F 2375-01 (노면의 미끄럼저항성 시험방법)	미끄러움에 대한 저항 정도를 수치로 나타내어 평가.

3.2 인장강도 시험

인장강도를 측정하기위해서 KS M 6518에서 규정하는 아령형 3호형(그림 3참조)으로 시험편을 제작하고 하중, 변위의 자동 기록 장치와 일정 온도로 조절되는 항온조를 갖춘 인장 시험기를 통해 측정한다. 시험편은 온도에 따라 물성의 차이가 발생하므로 표준 상태에서 1시간 이상 방치한 후 인장 시험기에 물림 간격이 60mm 가 되도록 시험편을 부착해야 한다. 본 시험에서는 인장시험 속도로 500mm/min으로 측정하였으며 시험재료 별로 세 개의 시험편을 제작하여 측정한 뒤 평균값으로 인장강도를 산출하였다.

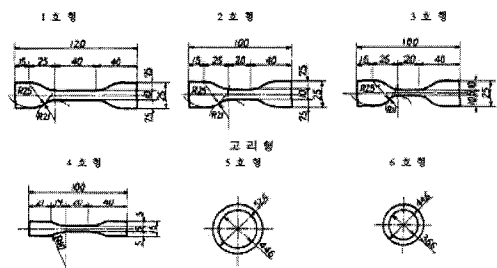


그림 3. 인장강도 시험편의 종류별 분류 (KS F 6518-06)

시험결과(그림 4참조)를 살펴보면 엠보탄 노출 및 비노출에 사용되는 2액형 변성우레탄의 경우 KS F 3211에서 제시하고 있는 우레탄고무계 1류의 최소 인장강도인 2.5N/mm²보다 24% 향상된 3.1N/mm²의 성능을 보였으며, 바닥재의 경우 엠보탄 도막방수공법에 사용되는 초고경질우레탄이 일반 경질우레탄 보다 1.6% 향상된 12.9N/mm²으로 비슷한 수치를 보였다.

방수재의 경우 인장강도는 외력에 의하여 방수층의 밀림 및 구체의 거동에 저항하는 힘으로 균열 및 파단으로 인한 하자를

최소화하기 위해서 고려해야할 사항이다. 우레탄의 경우 에폭시나 기타 방수재료에 비하여 인장강도가 낮지만 장점인 우수한 신장률을 바탕으로 구체의 거동에 대한 추종성이 뛰어나기 때문에 신장률에 대한 평가가 뒤따라야 한다. 그리고 일반적으로 인장강도와 신장률은 일반적으로 반비례하며 우레탄의 경우 노출 및 비노출에 사용되는 재료는 신장률이 높고, 바닥재의 경우 인장강도를 향상시켜 내구성을 증가시킨 재료가 사용된다.

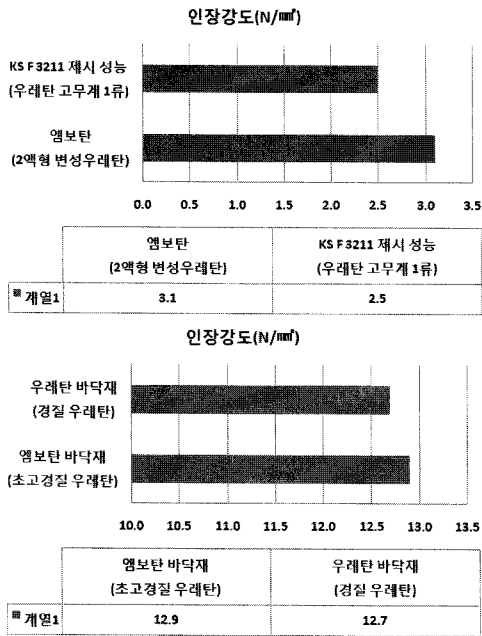


그림 4. 인장강도 측정 결과

본 연구결과 엠보탄 도막방수공법의 2액형 변성우레탄 및 초고경질 우레탄은 인장강도가 기존의 우레탄 도막방수공법에 비하여 향상되어 내구성을 크게 향상시켰다는 점을 알 수 있다.

3.3 신장률 시험

신장률은 다양한 외력, 기온의 차로 인하여 발생하는 구체의 거동 및 균열에 대한 추종성의 성능을 말한다. 신장률 시험방법은 인장강도 시험과 동일하며 측정 방법은 인장강도의 측정 시 하중 발생 전 측정된 눈금사이의 거리 대비 파단 시 눈금사이의 거리의 비율로 측정한다. 각 시험편별 측정 결과는 다음 그림5와 같다.

노출 및 비노출방수에 사용되는 2액형 변성우레탄의 경우 신장률이 905%로 KS F 3211에서 제시하고 있는 450%에 비하여 무려 101.1%의 두 배 이상의 신장률을 보여 구체의 거동에 추종하는 성능이 매우 우수하다는 점을 알 수 있다. 그러나 바닥재의 경우 엠보탄 바닥재에 사용되는 초고경질우레탄은 55%로 기존 경질우레탄 341%에 비하여 매우 낮은 신장률을 보였다. 이는 발

생되는 외력에 대하여 추종하는 성질이 낮고 매우 딱딱한 물성을 가지고 있다는 것을 의미한다. 주차장의 경우 차량의 이동으로 인하여 방수체가 밀리는 현상이 발생하는데 이점은 신장률이 높은 재료에서 발생하는 현상으로 바닥재는 인장강도의 중요성이 높다고 할 수 있다.

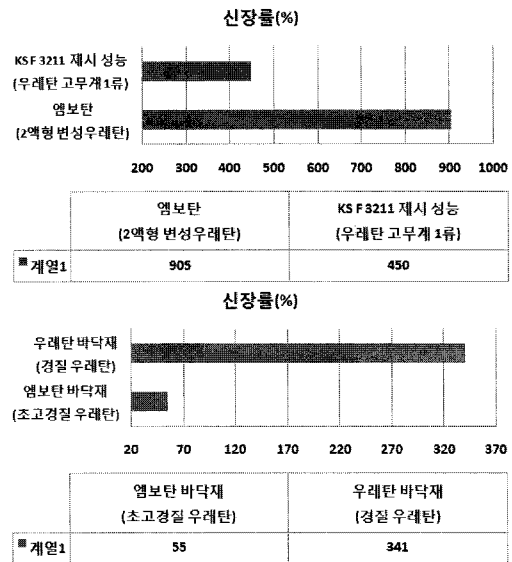


그림 5. 신장률 측정 결과

실제로 주차장 및 공장의 바닥재료는 에폭시 계열의 인장강도 및 내구성이 우수한 재료가 주로 사용되고 있으며 엠보탄 바닥재로 사용되는 초고경질우레탄 또한 목적에 맞도록 개발되었다 할 수 있다.

3.4 부착성능 시험

일반적으로 우레탄 도막방수공법에서 가장 많이 발견되는 하자가 콘크리트 모체로부터 들뜨거나 심지어 탈락되는 현상이다. 이는 방수층의 부착성능이 부족하여 발생하는 외력 및 기온의 차로 인하여 탄성력을 발휘할 때, 공기 및 수분이 침투하여 들뜨고 탈락되기 때문에 발생한다. 따라서 방수공법의 이러한 하자 발생을 최소화하기 위해서는 방수층의 모체와 부착성능을 향상시켜야 하며 특히, 탄성체의 경우 더욱 요구되는 성능이다.

부착강도의 시험은 KS L ISO 679에서 제시하는 방법에 따라 각각 3개의 시험편을 제작하고 인장용 강제 어태치먼트에 접촉시키고 인장용 강제기구 및 강제의 붙임판을 사용하여 수직방향으로 일정속도(2mm/min)로 인장하여 콘크리트 모체와의 부착강도를 측정한다(그림 6참조).

단, 부착강도는 온도의 영향을 많이 받기 때문에 KS F 3211에서 규정하는 냉온 처리방법에 따라 시험편을 처리하여 시험하고 무처리 하였을 때의 결과를 비교한다.

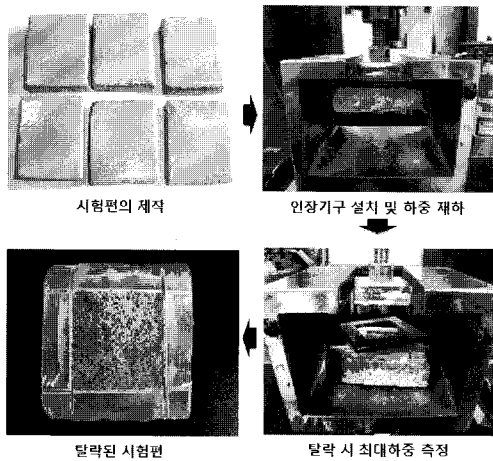


그림6. 부착강도 시험 과정

표 4는 각 재료에 따른 부착강도 시험 내용이다. 2액의 변성우레탄은 KS F 3211에서 제시하는 성능과 비교하였으며 초고경질우레탄과 경질우레탄의 성능을 비교 하였다. 시험 결과 엠보탄 도막방수재로 활용되는 2액형 변성우레탄은 무처리 시 1.0N/mm², 냉온 반복 처리 후 0.8N/mm²의 부착강도가 측정되었으며 도막상태는 이상이 없었다. 이는 모두 KS F 3211에서 제시하는 요구 성능을 모두 만족하였다. 초고경질우레탄의 경우, 무처리 시 1.9N/mm², 냉온반복처리 후 1.7N/mm²의 결과로 경질우레탄에 비하여 각각11.8%, 41.7%의 성능향상을 보여 엠보탄 도막방수공법은 기존의 우레탄 도막방수공법에 비하여 방수체의 들뜸 및 탈락 현상을 최소화 하고 특히, 바닥재의 경우 주차장과 같이 상대적으로 큰 외력이 발생하는 공간에서 초고경질우레탄이 최적의 성능을 발휘한다는 점을 예상할 수 있다.

표 4. 부착성능 시험 결과

시험 항목			시험 결과
엠보탄 (2액형 변성우레탄)	무처리(N/mm ²)		1.0
	냉온반복	N/mm ²	0.8
	처리 후	도막상태	이상 없음
KS F 3211 제시 (우레탄 고무계 1류)	무처리(N/mm ²)		0.7
	냉온반복	N/mm ²	0.5
	처리 후	도막상태	이상 없음
엠보탄 바닥재 (초고경질우레탄)	무처리(N/mm ²)		1.9
	냉온반복	N/mm ²	1.7
	처리 후	도막상태	이상 없음
우레탄 바닥재 (경질우레탄)	무처리(N/mm ²)		1.7
	냉온반복	N/mm ²	1.2
	처리 후	도막상태	이상 없음

3.5 내마모성 시험

내마모성 시험은 보행, 차량의 주행 및 사물의 접촉을 통해 발생하는 마찰로 인한 방수재의 마모에 대한 저항 정도를 측정하

는 시험이다. 그러나 엠보무늬 형상의 유무가 방수재의 마모감량에 영향을 끼치므로 엠보탄 도막방수공법과 우레탄 도막방수공법의 시험편에 대하여 시험조건이 같도록 평평하게 하여 방수재의 물성을 측정하였다.

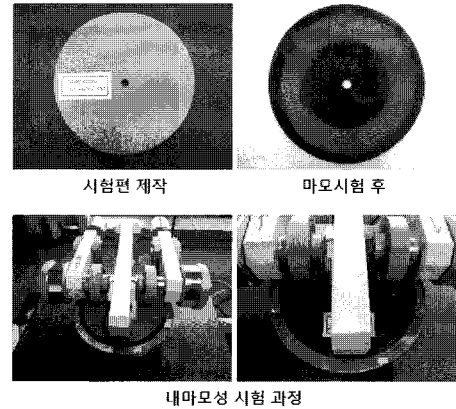


그림7. 내마모성 시험 과정

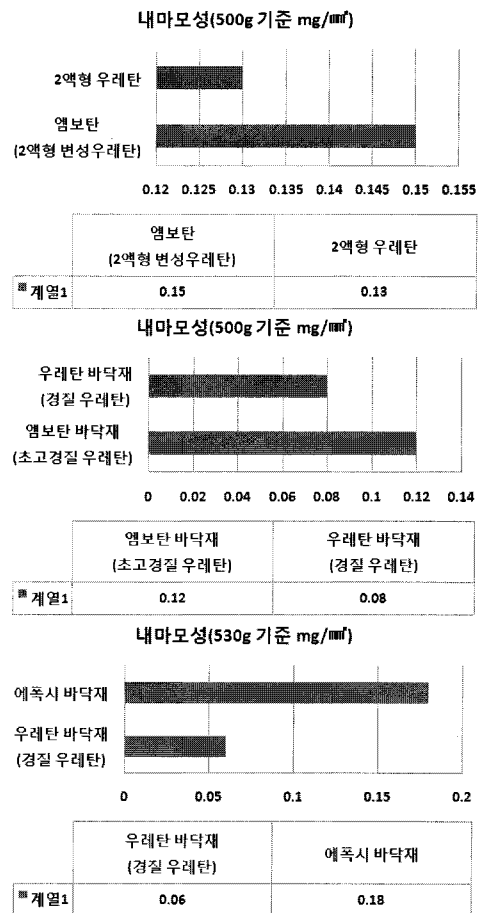


그림8. 내마모성 시험결과

측정 방법은 KS F 2813(건축 재료 및 건축 구성 부품의 마모 시험방법(연마지법))을 통해 실시하였으며 그림7과 같이 시험편

을 제작한 후, 수평원반에 부착하고 연마지를 부착한 마모바퀴를 시험하중(본 시험에서는 500g으로 통일)으로 작용하고, 원반을 일정한 속도(본 시험에서는 60Rpm 적용)로 500회전 시켰을 때 감모를 질량의 변화(mg/mm²)로서 측정하여 비교한다. 이때, 시험편은 표면을 청결하게 하고, KS A 0006(시험 장소의 표준 상태)에 규정된 표준 온도·습도로 24시간 이상 상태조절을 실시해야하고 본 시험에서는 온도 23℃, 표준상태의 습도 50%를 기준하였다.

시험결과(그림 8참조) 2액형 변성우레탄의 경우 2액형 우레탄보다 0.02g, 초고경질우레탄의 경우 경질우레탄보다 0.04g 마모가 더 되어 엠보탄 도막방수재의 내마모성능이 낮게 평가되었지만 그 차이가 미비하였다.

따라서 내마모성이 더욱 요구되는 주차장바닥재의 경질우레탄과 현재 가장 많이 활용되는 에폭시를 대상으로 내마모성을 비교하여 초고경질바닥재의 내마모성 정도를 가능하였다. 동일한 조건으로 경질우레탄과 에폭시바닥재의 시험편을 제작하고 시험하중을 530g으로 설정하여 실시하였다. 그 결과 경질우레탄의 경우 마모감량이 0.06mg/mm², 에폭시의 경우 0.18mg/mm²로 측정되어 경질우레탄의 내마모성능이 에폭시바닥재보다 뛰어나다는 것을 알 수 있었다. 따라서 초고경질우레탄은 경질우레탄에 비하여 다소 내마모성능이 낮게 측정되었지만, 가장 많이 활용되는 바닥재중 하나인 에폭시보다 내마모성이 뛰어나 마모로 인한 하자가 덜 발생될 것으로 예상되었다.

그런데 경질우레탄에 대한 두 번의 내마모성 시험에서 500g 기준 0.8mg/mm²과 530g 기준 0.6mg/mm²의 시험결과는 시험에 작용하는 하중과 마모감량이 비례한다는 점을 고려해 볼 때, 내마모성 시험은 시험편의 제작조건에 따라 밀도의 국부적 차이, 시험상태, 습도 및 온도 등 여러 가지 시험조건에 따라 오차가 발생하여 결과에 대한 신뢰성이 부족하여 본 시험을 통한 결과를 일반화하기에는 무리가 있다고 판단된다.

따라서 방수공법에 대한 정확한 내마모성을 시험하기 위해서는 실제 외력으로 작용하는 차량의 타이어와 보행 및 사물과의 접촉을 통해 발생하는 마찰과 비슷한 조건을 가지고, 시험편의 비중과 밀도가 고려된 정확한 시험방법이 개발되어야 할 것이다.

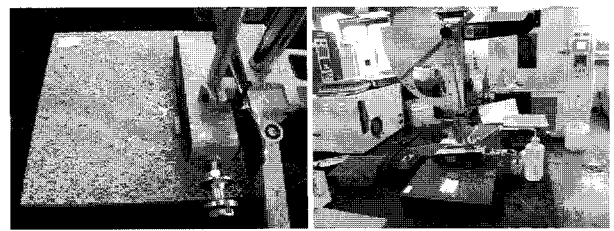
3.6 미끄럼저항성능(BPN) 시험

KS F 2375(노면의 미끄럼저항성 시험방법(BPT))의 시험은 영국식 미끄럼저항시험기(BPT)를 사용하여, 실내 또는 현장에서 노면의 미끄럼저항성을 측정하는 방법이다.

시험은 엠보탄 도막방수공법에 사용되는 재료인 2액형 변성우레탄과 초고경질우레탄을 엠보처리 했을 경우와 안했을 경우로 미끄럼저항성능을 측정하여, 엠보무늬층으로 인한 눈슬립

(Non-Slip)효과를 검증하였다. 엠보무늬의 크기 설정에 따라 미끄럼저항정도가 상이할 것이나 본 시험에서는 몰탈 건의 분사노즐의 크기를 직경 3mm로 하여 제작한 시험편을 사용하였다.

시험방법은 정해진 방법에 따라 시험편을 제작하여 측정 장비에 고정 시킨 후, 시험 표면에 충분히 물을 적신 후 진자의 슬라이더의 끝이 표면에 닿을 때까지 이동시키고 시험한다. 이때, 시험기는 정확하게 수평이 되도록 기포가 수준기의 중심에 위치하도록 하며 진자가 공시체 표면을 마찰할 때에 공시체의 움직임에 의하여 그 위치가 움직이지 않도록 고정시켜 측정값에 대한 정확도를 높인다. 반복하여 시험 한 뒤, 시험 측정값이 거의 일정할 때 결과를 기록한다(그림 9참조).



시험편의 설치

시험 결과 측정

그림9. 미끄럼저항성 시험방법(BPT)

미끄럼저항측정 결과(그림 10참조) 2액형 변성우레탄의 경우 엠보무늬 층의 미끄럼저항성능(BPN)이 45로 무처리 시 결과 값 25보다 80% 향상되었다는 결과를 확인 할 수 있었다. 따라서 옥상, 목욕탕, 수영장 등 미끄럼으로 인해 매우 위험한 장소에서 눈슬립 효과로 안전성을 확보할 수 있으며, 시각적으로 미려하고 탄성감각을 더해주는 엠보무늬층은 최적의 기능을 발휘한다.

또한, 기존의 눈슬립 공법인 규사마감 공법은 마모로 인한 규사가 탈리된 후 발생된 공극에 이물질이 침투하여 변색이 되고 청소 및 유지관리가 불편한 점과 비교할 때, 엠보무늬층은 규사가 탈리되는 현상이 없고 엠보무늬 간 간격이 넓어 청소 및 유지보수가 용이하고 특히, 방수층의 재료와 일체화된 재료의 사용으로 신축계수가 일정하여 온도 및 다양한 외력으로 인한 균열의 발생이 최소화되는 장점이 있다.

바닥재에 사용되는 초고경질우레탄의 경우 엠보무늬층의 미끄럼저항성능이 무처리상태 보다 미끄럼저항능력이 약간 낮게 산출되었다. 이는 초고경질우레탄의 물성이 매우 딱딱하여 신축계수가 낮고 무처리보다 접지면적이 적음으로 인하여 마찰이 적게 발생하였다 할 수 있다.

그러나 미끄럼저항 성능의 차이가 미미하고, 주차장의 경우 미끄럼저항은 타이어의 성능에 좌우되고 오히려 타이어와의 접지면적 감소는 차량의 코너부 주행 및 정지 시 마찰로 인하여 발생하는 소음을 감소할 수 있다.

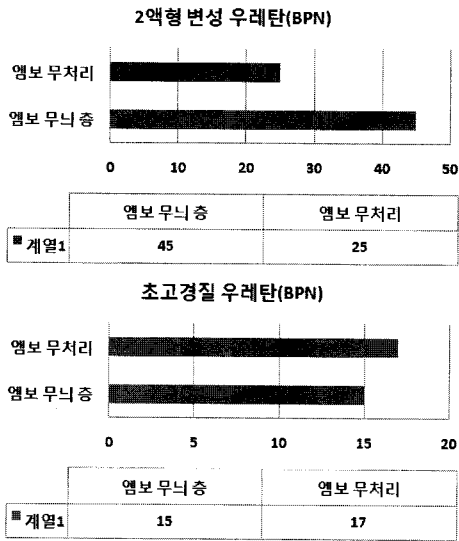


그림10. 표면의 미끄럼저항성 시험 결과

목을 선정하였다(그림 11참조).

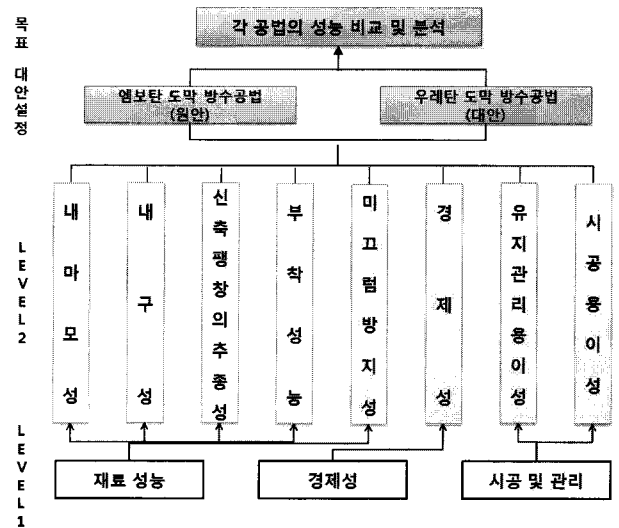


그림11. 평가기준항목 요소의 계층도 작성

4. VE 평가기법을 활용한 성능 평가

VE(Value Engineering)는 원가절감과 제품가치를 동시에 추구하기 위해 제품 개발에서부터 설계, 생산, 유통, 서비스 등 모든 경영활동의 혁신을 추구하는 경영기법으로 다양한 목표를 수용하여 가장 값싸고 효율적인 방법으로 달성하고자 하는 기법이다(Isola, 1997).

엠보탄 도막방수공법의 성능과 기능적인 측면을 시험을 통하여 우레탄 도막방수공법과 비교하였지만 경제적, 기능적, 시공적, 환경적 및 유지관리 측면 등의 다각적인 면을 모두 고려하여 평가하기 위해서는 VE분석을 실시하여 엠보탄 도막방수공법의 설계 시 타당성을 분석하고 검증하여야 한다.

본 논문에서는 VE수행단계를 크게 준비-분석-성능평가 단계로 구분하여 진행 하였으며 평가항목별 가중치 산정을 위하여 AHP(Analytic Hierarchy Process)기법의 활용 및 선정된 평가항목의 등급을 Caltrans의 10점 배점기준을 적용하여 대안별 성능지수를 산정하였다. 또한, 성능평가단계에서 의사결정을 위한 각 대안별 신뢰성 해석을 실시하여 불확실성 및 위험도를 고려한 성능을 분석하였다.

4.1 대안 및 평가기준항목 선정

본 연구에서는 성능시험에서와 마찬가지로 방수의 재료별 특성을 고려하여 엠보탄 도막방수공법에 대한 대안으로 우레탄 도막방수공법으로 설정하였으며, 평가기준항목으로는 내마모성, 내구성, 신축팽창의 추종성, 미끄럼 방지성, 부착성능의 방수공법의 성능 레벨과 유지관리용이성, 시공용이성의 시공 및 관리 레벨 및 경제성의 경제적 레벨에서의 총 8개의 세부평가기준항

4.2 AHP기법을 활용한 평가항목별 가중치 산정

AHP(Analytic Hierarchy Process)는 의사결정문제가 다수의 평가기준으로 이루어져 있는 경우 평가기준들을 계층화하고 계층에 따라 중요도(Weight)를 정해가는 다 기준 의사결정기법으로서 1970년대 초에 T·L Saaty에 의해 개발되었다(Saaty, 1980).

AHP를 통하여 의사결정과 관련된 문제를 해결하는 경우, 일반적으로 다음과 같은 단계의 작업이 수행된다.

- (1) 평가 대상 관련 요소의 분해: 의사결정 문제를 상호 관련된 의사결정 사항들의 계층으로 분류하여 의사결정 계층을 설정한다.
- (2) 관련 요소들의 쌍대 비교: 의사결정 속성들 간의 쌍대비교로 판단자료를 수집한다.
- (3) 가중치(중요도) 산정: 고유치방법을 사용하여 의사결정요소들의 상대적인 가중치를 추정한다.
- (4) 평가대상이 되는 여러 대안들에 대한 종합순위를 얻기 위하여 의사결정 요소들의 상대적인 가중치를 종합화한다.

AHP기법을 활용하여 각 평가기준항목 별 가중치를 산정하기 위하여 위의 4단계 과정에 따라 평가기준항목에 대한 계층도를 작성하고 두 공법에 대한 이해가 충분하고 시공경험이 있으며 평균 시공경력이 15년인 전문가 5인의 설문조사 결과를 활용하여 요소 간 쌍대비교를 실시하였으며, 가중치를 산정한 자료는 다음 표 5와 같다.

각 평가기준항목의 설문조사결과에 대한 일관성을 검증하기 위해 비일관성지수를 난수지수로 나눈 비일관성비율(Inconsistency Ratio)을 평가한 결과 0.01로 신뢰도를 확보하였다. 보통 일관성

비율의 값은 10% 이내로 이 지수값이 0.1보다 크게 되면 그 판단은 무작위 한 것으로 간주되어 수정된 후 재평가하게 된다

표 5. AHP를 활용한 평가항목별 가중치 산정

평가항목	1	2	3	4	5	6	7	8	가중치	확정치
1 내마모성	1	0.5	2	3	4	2	4	5	0.2094	21
2 내구성	2	1	3	4	5	3	5	6	0.3136	31
3 신축팽창의추종성	0.5	0.33	1	2	3	1	3	4	0.1313	13
4 부착성능	0.33	0.25	0.5	1	2	0.5	2	3	0.0812	8
5 미끄럼 방지성	0.25	0.2	0.33	0.5	1	0.33	1	2	0.0501	5
6 경제성	0.5	0.33	1	2	3	1	3	4	0.1313	13
7 유지관리 용이성	0.25	0.2	0.33	0.5	1	0.33	1	2	0.0501	5
8 시공 용이성	0.2	0.17	0.25	0.33	0.5	0.25	0.5	1	0.0331	3

Inconsistency=0.01 < 0.1 OK

으며 이를 통해 대안별 성능점수(Performance Index)를 산정하였다(Caltrans, 1999). 성능점수는 평가기준항목별 쌍대비교를 통해 가중치를 산정하고 이를 통해 도출된 확정치와 해당 평가기준항목의 등급을 곱한 값을 10으로 나누어 각 평가기준항목별로 산출하고, 이를 모두 더하여 대안의 성능점수를 확정 짓는다.

다음 표 6은 각 대안들에 대한 성능평가 내용이며, 평가기준항목별 성능점수 및 대안별 성능점수를 비교하였다. 그리고 표 7은 대안별 성능 분포를 한눈에 알아 볼 수 있도록 도식화한 내용이다.

표 6. 대안별 성능평가

평가기준 항목	원 안(엠보탄)		대 안(우레탄)	
	평균	COV	평균	COV
내마모성	14.73	0.0272	15.3	0.0454
내구성	18.67	0.0505	14.67	0.085
신축팽창의 추종성	14.93	0.0253	14.4	0.0454
부착성능	11.7	0.0454	9.1	0.0583
미끄럼방지성	7.73	0.0244	5.33	0.0354
경제성	13	0.0272	13.5	0.0454
유지관리용이성	5.35	0.0544	5.56	0.0454
시공용이성	4.67	0.0253	4.33	0.072
PI (점)	Min.	83.08	71.54	
	Mean	90.78	82.19	
	Max.	96.95	93.1	

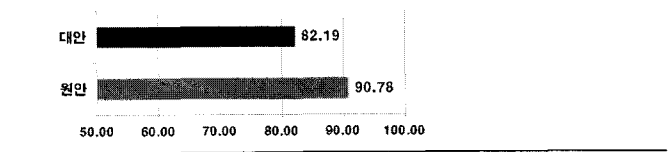
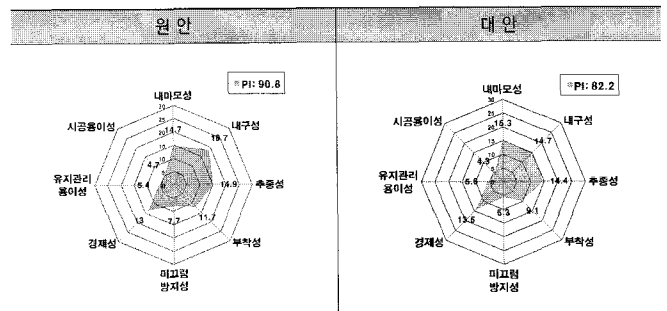


표 7. 대안별 Performance Index Diagram 작성



다음 그림 12는 평가기준항목별 산정된 가중치로부터 도출된 확정치를 통하여 작성한 품질모델이다. 품질모델은 VE분석과정 중 기능정의, 기능정리, 기능평가 및 대안평가 시 의사결정을 위한 지침이 되며, 평가기준항목들 간의 대응해야 되는 정도를 쉽게 파악하여 발주자·사용자의 요구를 고려하여 수행할 수 있다.

품질모델 작성 결과 내구성, 내마모성에 대하여 적극적으로 대응하고 신축팽창의 추종성, 경제성에 대해서 중간적인 대응이 필요하며 시공용이성, 유지관리용이성, 부착성능, 미끄럼 방지성에 소극적으로 대응해야 한다는 점을 알 수 있다.

4.3 대안별 성능평가 및 해석

대안에 대한 요소별 평가는 두 공법에 대한 이해가 충분하고 평균 시공경력 15년인 5명의 전문가에 따른 설문조사를 통해 각 대안에 대한 평가항목별 등급을 Caltrans 평가등급인 10점 배점기준에 의하여 대안별 평가항목의 등급을 산정하여 실시하였

엠보탄 도막방수공법의 성능점수는 90.78로 대안인 우레탄 도막방수공법의 성능점수인 82.19에 비해 10.5%의 성능향상 결과 가 나왔다. 각 평가기준항목 별 성능점수를 살펴보면 엠보탄 도막방수공법은 내구성, 신축팽창에 대한 추종성, 부착성능, 미끄럼 방지성, 시공용이성에서 우레탄 도막방수공법보다 성능점수가 높게 도출되었고, 내마모성, 경제성 및 유지관리용이성에서는 낮게 도출되었다. 특히, 미끄럼 방지성, 내구성, 부착성능

에서 엠보탄 도막방수공법의 성능이 크게 향상되었다는 점은 기존의 우레탄 공법에 비하여 내구적인 면과 기능적인 면에 충실한 공법임을 말해준다.

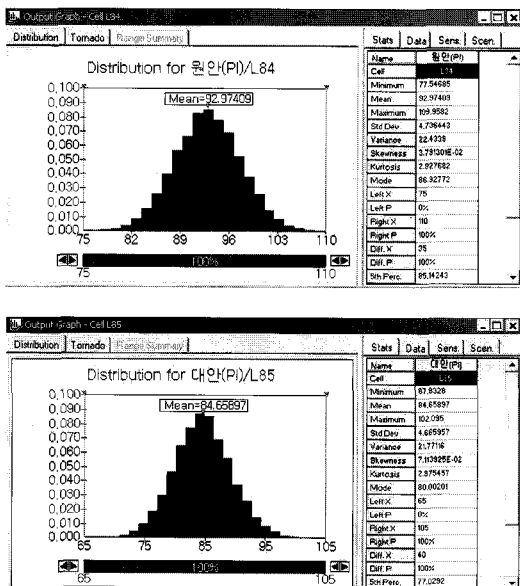
4.4 대안별 신뢰성 분석

대안별 성능평가는 결과 값의 불확실성 및 변동성을 고려하지 않은 확정적 접근 방법으로 도출된 결과 값의 비교로 실시하였기 때문에 결과에 대하여 각 대안별 신뢰성 분석을 수행하였다. 신뢰성 분석은 확률적 접근 방법을 통한 분석을 말하며 각 대안의 비교 시 결과 값에 대한 신뢰성을 확률분포로서 나타낸다(정평기 외, 2004).

따라서 불확실성이 고려된 의사결정 방법을 적용하기 위해 산정된 한계상태함수에 대하여 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation) 기법을 적용하였다. 몬테카를로 시뮬레이션이란, 모의적 표본추출법(simulated sampling technique)이라고도 하며, 어떤 문제가 주어졌을 때 난수(Random Number)를 사용해 자료를 만들어 충분한 많은 수의 조작 또는 무작위 실험의 결과를 종합해서 구하고자 하는 풀이, 법칙을 근사적으로 얻고자 하는 방법이다(신동백, 2007). 몬테카를로 시뮬레이션 기법의 장점은 컴퓨터 프로그램에 적용하기에 쉬우며 만족스러운 결과를 도출할 수 있다는 것이며, 임의의 랜덤변량의 분포에 있어서도 한계상태함수의 제한이 없다(정평기 외 2005).

본 연구에서는 시뮬레이션을 수행하기 위하여 Microsoft사의 Excel 환경에서의 add-in 소프트웨어인 @Risk V.4.5.2를 이용하였으며, 시뮬레이션은 10000회 실시하였으며, 오차범위는 0.5% 이내이다. 다음 표 8은 원안과 대안의 성능지수를 확률분포

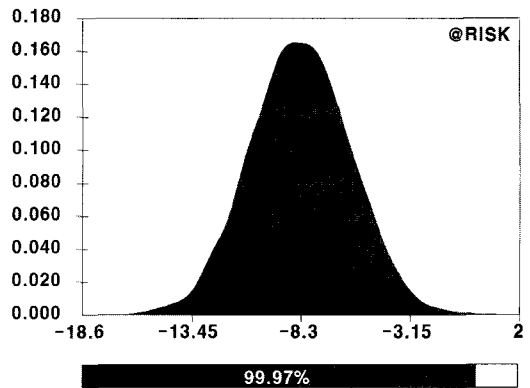
표 8. 대안별 성능지수의 확률분포



포로 나타낸 내용이다.

표 9의 식에서와 같이 제안된 한계상태함수에 대한 신뢰성 해석은 대안의 성능지수가 원안의 성능지수 보다 더 높게 산정될 확률로 정량화 할 수 있게 되며 본 연구결과 대안이 원안보다 성능지수가 높게 산정될 확률이 0.03%이며, 반대로 해석하면 엠보탄 도막방수공법이 우레탄 도막방수공법보다 높게 산정될 확률이 99.97%로 원안이 매우 유리함을 알 수 있다.

표 9. 신뢰성 분석



$$G(\cdot) = \Pi_{alt} - \Pi_{\alpha_i}$$

$$= (\sum (Dr \times RI_{alt}) - \sum (Dr \times RI_{\alpha_i})) / 10$$

$\Pi_{alt}, \Pi_{\alpha_i}$ = 대안 및 원안의 성능지수 Dr = 가중치
 RI_{alt}, RI_{α_i} = 대안 및 원안의 등급점수

5. 결론

최근, 국토해양부에서는 기술개발자(개인 또는 법인)의 개발의욕을 고취시킴으로써 국내 건설기술의 발전을 도모하고, 국가경쟁력 등을 제고하기 위하여 건설 신기술 지정제도를 통하여 신공법의 개발에 대한 지원을 대폭 늘리고 있는 추세이다. 이와 더불어 많은 새로운 방수공법들이 개발되는데 반해 실질적으로 설계에 반영되는 사례는 많지 않다. 이는 여전히 신공법에 대한 무관심과 설계 반영에 대한 우려심이 깊기 때문이다. 따라서 신공법에 대한 객관적이고 신뢰적인 분석을 통해 각 공법에 대한 성능 및 기능을 정립하고 다각적인 측면을 고려한 평가가 필요 하다.

본 논문에서는 엠보탄 도막방수공법에 대한 성능 및 기능에 대한 내용을 효과적으로 검증하기 위하여 실험적 연구와 VE분석을 실시하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 엠보탄 도막방수공법의 우레탄 도막방수공법 대비 성능을 비교하기 위하여 재료별, 용도별, 부위별로 구분하여 실험적 연구를 실시하였고, 보다 구체적이고 객관적으로 물리적 성능

및 그에 따른 기능을 예상하고 분석할 수 있었다.

2. 기존의 연구가 방수재의 물성을 중심으로 공법에 대한 성능 평가가 이루어진 바, 공법의 설계적 측면과 기능적 측면이 고려된 평가를 실시하기 위하여 VE분석을 수행하였으며, 각 공법의 전체적인 성능을 성능지수를 통해 비교·분석하였다.
3. VE분석 결과에 대한 불확실성 및 변동성을 고려한 신뢰성을 분석의 수단으로 몬테카를로 시뮬레이션을 실시하여 확률적 접근방법을 통한 신뢰도를 평가하여 결과의 타당성을 검증하였다.

본 연구에서는 VE분석 시 경제성을 고려하기 위하여 평가기준항목으로 설정하였지만 이는 전문가의 개략적인 판단을 통한 분석으로 신뢰적인 분석을 위해서는 LCCA(Life Cycle Cost Analysis)가 수행되어야한다. 그러나 신공법의 경우 재료의 물성 및 시공방식이 다양하여 유지보수 비용 및 해체 폐기 비용을 정확하게 유추하는데 어려움이 있으므로, 각 공법에 대한 재료, 성능에 따라 예상되는 유지보수 및 해체폐기비용을 DB화하여 VE/LCC 분석을 수행한다면 더욱 신뢰성 있는 분석이 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 동화기영(주)과의 산학 협력 연구과제의 일부를 발전시킨 것임.

참고문헌

김준홍(2005), "환기설비 선정에 있어서 AHP와 PLCCA를 이용한 VE/LCC 연구", 산업기술연구소 논문집, 수원대학교 산업기술 연구소, Vol20, pp.83~86

대한주택공사(1991), "도막방수", 보고서, 한국건설기술연구원

박대순, 김학서(2001), "강상판 교면포장 크롤로플렌 도막방수재의 성능평가에 관한 연구", 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회, 제3권 제1호, pp.109~114

송병창(1997), "국내사용 방수재 성능검토에 관한 연구(수시과제)", 연구보고서, 대한주택공사 주택연구소

신동백(2007), "몬테카를로 시뮬레이션 방법을 이용한 환율예측 분석", 한국산업경제학회, 산업경제연구, 제20권 제5호, pp.2075~2093

오상근(1996), "구조물에 대한 방수기술의 발전 동향", 건설특허 정보 활용방안 세미나, 한국건설기술연구원

오상근, 김수련, 이성일(2002), "뿔칠형 초속경화 폴리우레아수지 도막방수재의 성능평가에 관한 연구", 한국건축시공학회

지, 한국건축시공학회, 제2권 제1호, pp. 131~138

오상근, 배기선, 김영삼(2004), "페타이어와 페유리 미분말을 사용한 시멘트 복합계 탄성 도막방수재의 방수성능평가에 관한 연구", 대한건축학회 논문집-구조계, 대한건축학회, 제20권 제3호, pp.44~49

윤차웅(2008), "엠보탄 주차장 바닥방수재의 성능시험 및 VE분석", 한양대학교 공학석사학위 논문집

임채중(2000), "아스팔트 매스틱 도막 및 시트 복합방수공법의 방수성능에 관한 실험적 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, Vol.2000 No.4, pp.357~360

정평기, 서종원, 임종권(2004), "확률적 LCC분석기법을 활용한 수도시설물의 설계VA모델에 관한 연구", 한국건설관리학회 논문집, 한국건설관리학회, 제5권 제2호, pp.181~193

정평기, 지승구, 서종원(2005), "교량구조물의 확률적 생애주기 비용 및 가치분석 방법론", 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, Vol.25 No.1D, pp.117~126

최성민 외(2008), "AHP기법을 이용한 방수공법 선정 평가항목의 가중치 결정에 관한 연구", 한국건축시공학회 2008년도 추계 학술발표대회 논문집, 한국건축시공학회, 제8권 제2호, pp.205~211

최성민, 오상근, 서치호(2009), "건축물 옥상부의 적정 방수공법 선정평가를 위한 의사결정절차 및 가중치 결정에 관한 연구", 대한건축학회 논문집-구조계, 대한건축학회, 제25권 제1호, pp.157~166

한국건설기술연구원(2005), "건설 VE의 실질적 운용기법을 위한 연구"

한국산업규격 KS F 3211-08 : 건설용 도막방수재

한국산업규격 KS F 2375-01 : 노면의 미끄럼저항성 시험방법 (BPT)

한국산업규격 KS F 2813-06 : 건축 재료 및 건축 구성 부품의 마모 시험방법(연마지법)

한국산업규격 KS F 6518-06 : 가황 고무 물리 시험방법.

Caltrans(1999), "Value Analysis Report Guide"

Hideo Kasami et al.(2005), "Waterproof Construction", Toyo Shoten Co., Ltd

Alphonse D. Isola(1997), "Value Engineering: Practical Applications", R.S. Means Company, USA

T.L.Saaty(1980), "Analytic Hierachy Process", McGraw-Hill, New York

논문제출일: 2009.04.21
 논문심사일: 2009.04.24
 심사완료일: 2009.06.08

Abstract

Since 1970s, urethane waterproofing method is broadly used in rooftops, underground spaces, and sports stadium for its outstanding ultraviolet blockage, watertightness, and elasticity. However, development of slippage-resistance and endurance, improvement of function considering convenience and visually pleasing of users, urethane waterproofing method is necessary, since rooftops and underground spaces have slippage and external force risks. Therefore, many improved waterproofing methods are being developed and, recently, embo-thane waterproofing method, which applies embo-spray coating system, has been developed. This paper explains exposure, non-exposure, and floor-material of embo-thane waterproofing method, and then perform experimental study for comparison with urethane waterproofing method about tensile strength, coefficient of expansion, performance of bond, anti-abrasion, and slippage-resistance. In addition, the performance index was presented for the superiority of embo-thane waterproofing method compared to urethane by setting up evaluation criteria considering not only physical performance but also design side of embo-thane waterproofing method, and Value Analysis applying AHP. Also for an assessment considering uncertain result, Monte Carlo Simulation Method was used to operate reliability analysis through statistic approach method.

Keywords : *Waterproof, Embo-thane, Embo-Spray Coating System, Value Analysis, Monte Carlo Simulation*