KICEM

열가소성폴리올레핀재와 고주파유도가열 공법을 이용한 구조성능보강 지붕마감 시스템 공법

최진철, (주)원풍 팀장
이보형, 두산건설(주) 기술연구소 차장

1. 기술개발 배경

최근 산업시설이 대형화되면서 지붕형태가 대공간·저경사 형태로 변화되고, 지붕구조가 금속판 지붕재와 시트재가 많이 사용되고 있는 추세이다. 그러나 기존의 공법은 태풍·강풍으로 2002년 및 2003년 순간 최대 풍속 60m/sec의 태풍 루사와 매미로 인해 부산을 비롯 영남 전 지역의 산업시설과 인천국제공항 및 체육시설 등 대형 건축물의 지붕에서 적정성능을 만족하지 못하는 상황이 발생하였다. 이와 같은 태풍과 이로 인한 국지성 집중호우 등으로 건축물의 재산 피해액는 지난 20년 동안 약 3천 8백억원에 달하였으며, 그 중 태풍으로 인한 건축물 재산 피해액은 약 2천 2백억원으로서 자연재해로 인한 피해액이 59%를 차지하고 있다.

이러한 피해를 최소화하고 풍하중으로 인한 지붕재의 일련의 파괴 메커니즘 문제를 해결하기 위하여 최적의 열가소성폴리올레핀(이하, TPO)지붕마감재 및 구조적 성능을 보강한 유도가열공법 그리고 인발력이 강화된 고인발 체결구를 복합적으로 이용한 구조성능보강 지붕마감 시스템 공법을 개발하였다.

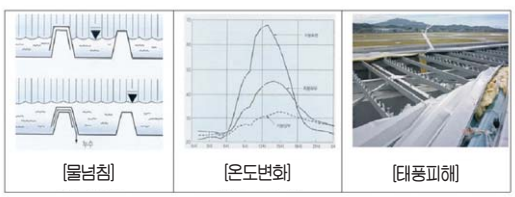


그림 1. 금속지붕재 문제현황

그림 2. 시트 지붕재 문제 현황

2. 공법의 특징

1) 핵심기술개요

① TPO의 고내구성 및 고내후성

노출되어 사용되는 지붕재의 특성에 적합한 배합 및 제조 기술로 ASTM의 TPO 지붕재 기준과 KS의 합성고분자계 기준을 기본으로 자외선에 대한 열화처리 시험방법인 촉진자외선(QUV) 시험보다 태양광에 가장 근접한 Xenon-arc시험방법으로 8000시간의 내후성능을 확보하였다.

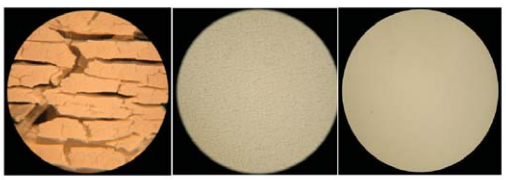


그림 3. Xenon-arc 열화처리 후(8000시간) 표면 확대관찰

② 고인발 성능의 체결구 및 고정구

본 기술에 적용되는 고인발 성능의 체결구는 나사산 간격이 1.5mm로 형성된 치밀한 형상의 다수개의 나사산과 체결구 하부에 형성된 테이퍼 경사면이 제1경사면과 제2경사면으로 형성됨으로써 기존 제품과 비교하면 인발성능을 1.47배 향상시켰다.

[신기술 체결구] [기존기술 체결구]

그림 4. 새로운 고인발 성능의 체결구

아래의 결과에서 보는 바와 같이 개발기술의 시트 체결구를 사용하면 볼트의 내풍성능이 향상됨에 따라 볼트의 개수를 줄일 수 있어 경제적인 설계를 할 수 있을 것으로 판단된다.

표1. 비교대상 해외 공법의 부자재에 대한 인발력

구 분			시험결과(kgf)			
시험체	시험항목	굴곡절판두께(mm)	기존 기술		신기술	
1	인발강도	0.7	177.7	180.2	232.1	253.2
2			192.0		272.9	
3			170.9		239.3	
4		0.8	222.7	208.4	352.2	341.3
5			217.0		318.3	
6			185.5		333.0	
7		1.0	281.4	289.0	371.2	401.2
8			297.5		408.5	
9			273.5		399.0	

또한 체결구와 함께 사용되는 고정구는 삼각 돌기 형태로 돌출된 다수의 돌출부가 형성되어 있기 때문에 시트의 찢김 및 유동을 방지할 수 있는 장점이 있다.

그림 5. 신기술 시트고정구와 기존 시트고정구 특징

③ 고주파 유도가열용 고정구와 고주파 유도가열기

고주파 유도가열용 고정구는 유도가열에 의해 시트와 잘 접합될 수 있도록 중앙부가 저면으로 형성되어 있고, 테두리부는 시트와의 접촉시 공간부가 형성되는데 이것을 최소화하기 위해 하향 절곡시켰다.

또한 고정구에 형성된 다수의 관통공은 열에 의해 시트가 연화되면서 고정구의 관통공에 침투·경화됨으로써 시트와의 부착성능이 향상되며, 그리고 유도가열에 의해 발생되는 열을 관통공을 통해 빠르게 분산시킴으로서 접착시간을 단축시켜 시공시간을 단축시킬 수 있다.

본 기술에 사용되는 고주파 유도 가열기는 구조적 성능을 강화시키며 별도의 숙련공이 필요 없는 단순한 시공법으로 공사기간을 단축시켜 공사비를 절감시킬 수 있다.

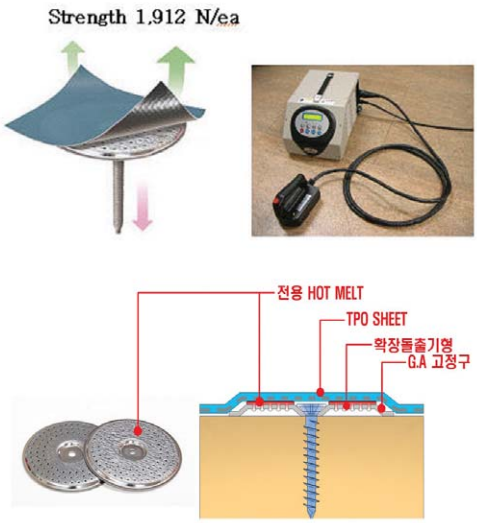


그림 6. 고주파 유도가열용 고정구 및 유도가열기

표2. TPO 시트와 유도가열 고정구의 부착력 시험 결과

구 분			시험결과	시험방법
시험체	시험항목	TPO시트두께(mm)		
1	부착 강도(N)	1.52	2457	만능재료시험기 시험속도: 5mm/min
2			3479	
3			3468	

그림 7. TPO 시트와 유도가열 고정구의 부착력 시험 결과 사진

2) 신기술의 구성 및 설치순서

본 신기술은 아래 그림과 같이 철골트러스와 데크 플레이트 위에 단열재를 설치하고 시트를 설치하는 공법으로써 새로운 지붕공법뿐만 아니라 기존 철재 및 시트 지붕마감 공법의 보수보강 공법으로써도 적용이 가능하며, 일반적인 설치 순서 및 설치시 주요 체크 사항은 다음과 같다.

A. 데크 플레이트 설치

1. 판개 작업은 배치도에 따라 미리 보 위에 먹놓기를 하여 데크 플레이트 끝면의 위치가 일정하도록 한다.
2. Deck Plate의 골 방향의 겹침길이는 50mm이상을 확보하도록 유의한다.
3. 시공기간 중에 예측되는 각종 하중에 대해 안전성을 검토하고, 특히 작업 바닥판의 안전을 확보하고 바람에 의해 Deck Plate가 비산하지 않도록 판개 후 곧바로 스크류 볼트(S.D.S Bolt)로 고정시킨다.

B. 단열재 설치

1. 단열재의 가장자리 형태는 적용 부위에 따라 맞댐이음 형태를 사용한다.
2. 단열재의 이음부위는 틈새가 발생되지 않도록 하며, 바탕면이 움푹진 곳과 돌출부위, 관통부위의 단열재는 틈새가 발생되지 않도록 정밀하게 절단하여 설치한다.
3. 단열재는 단열재 단부로부터 50㎜ 정도 거리를 띄워서 고정구와 함께 체결구로 하부 데크 플레이트 강판에 고정시킨다.

C. 유도가열 고정구 설치

1. 시공 완료된 단열재 표면에 시트 분할을 한 후 시트의 정 중앙부에 먹 메김을 한다.
2. 먹메김한 위치에 구조 계산한 간격에 따라 유도가열 고정구를 고인발력 고정볼트를 이용하여 단열재와 기존 지붕을 관통하여 하부 데크 플레이트에 고정한다.

D. SUPERGUARD TPO 지붕시트 설치

1. 시공 완료된 단열재 상부표면을 깨끗하게 청소한 후에 시트 분할선을 도면에 맞추어 먹매김 한다.
2. 중앙부와 외주부 시트의 폭을 구분하여 사용하고, 시트 고정구 및 체결구 간격은 풍하중 구조검토서에 따라 설치한다.
3. 시트 용접시 시트를 완전히 펼쳐서 시트 표면에 오염 물질을 청소하고 주름이 없도록 팽팽하게 당겨서 체결구로 임시 고정한다.
4. 시트의 적절한 용접 이음을 하기 위하여 당일의 기상 조건에 맞는 용접 속도를 결정하여야 한다.
5. 상부 시트를 열풍용접하면서 시트를 펼쳐 덮는다.

E. 시트의 보강 및 마감

F. 유도가열 접합

1. 시트설치를 완료한 후 마그네틱 공구를 이용하여 시트 표면에서 유도가열 디스크의 위치를 찾는다.
2. 찾은 위치에 유도가열기를 디스크 표면에 놓고 유도가열기를 작동한다.
3. 정해진 시간에 따라 유도가열기를 가열한 후 물을 적신 수건을 이용하여 지붕재 표면을 압착한다.

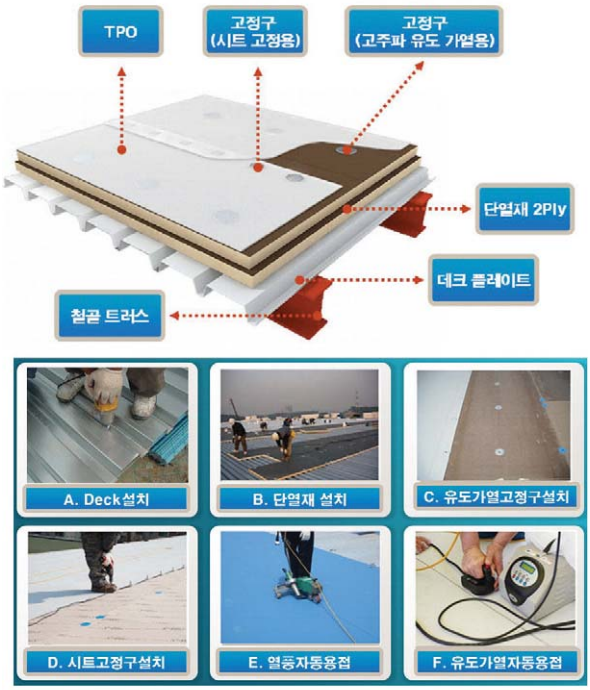


그림 8. 신기술의 구성 및 시공순서

3. 내풍성 Mock-up Test

본 개발기술은 국내 최초로 시도되는 지붕 마감 공법이기 때문에 본 공법의 목표인 내풍성능을 만족하는 품질 성능을 만족하는가의 여부를 실제 MOCK-UP TEST를 통해 확인 하였다. 시험체 크기는 12feet × 24feet (시험방법:FM Approvals lass Number 4470에 의거)로 동일하게 제작하여 시험체 양쪽 대각선 방향에서 단계적으로 강풍을 주입하여 시험체의 Uplift 시험을 실시하였다.

① 1차 Mock-Up Test

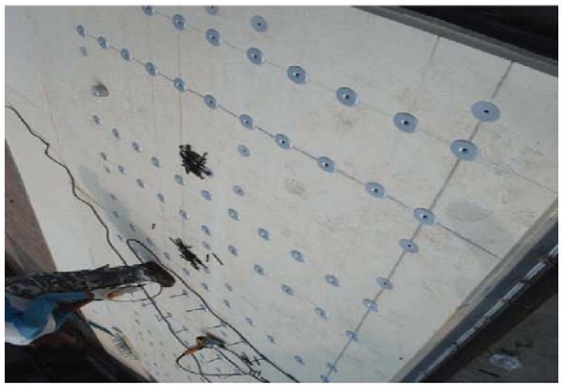
1차 시험은 TPO막재의 안전성 검토에 대한 확인을 위해서 유도가열 접합만으로 시험하였다.

② 2차 Mock-Up Test

2차 시험은 본 기술에서 개발한 시트 및 체결구와 고정구의 성능을 검증하였다. 우선, 이를 위해 미국 FM사는 최대 등급 195등급을 견디기 위해서는 체결구의 간격을 최대 150mm 이하로 규정하고 있는데, 본 시험에서는 앞의 인발하중 시험을 통해 확보된 데이터를 기반으로 체결구의 간격을 최대 200mm 간격으로 한 200mm × 400mm(유도가열용 디스크는 사용하지 않음)로 제작하였다.

표3. 1차 MOCK-UP TEST 가압 상황 및 시험체 변화 특성

Time (Min)	Test Pressure psf	kPa	kgf/㎡	시험체 특성	비 고
0:01 ~1:00	30	1.43	146.3	이상 없음	
1:01 ~2:00	45	2.25	219.48	"B"구간 유도가열 부위 Disc와 Sheet 탈착 시작	"B"구간-유도가열 Disc 600×600㎜
2:01 ~3:00	60	2.9	292.5	"B"구간에서 유도가열 부위 Disc와 Sheet 대부분 탈착	
3:01 ~4:00	75	3.6	365.5	이상 없음	
4:01 ~5:00	90	4.3	438.8	"A"구간-유도가열 부위 Disc와 Sheet 코너부위 탈착 시작	
5:01 ~6:00	105	5.0	511.9	"A"구간 유도가열 부위 Disc와 Sheet 코너부위 지속적인 탈착 발생	"A"구간-유도가열 Disc 400×400㎜
6:01 ~7:00	120	5.7	585.0	"A"구간 유도가열 Disc와 Sheet의 접합부위에서 Sheet가 찢어져 시험 중단. 전체적으로 탈착 발생	



(a) 유도가열 고정구 및 체결구 시공

(b) 60psf 압력도달 시 시트 형태

그림 9. Mock-Up Test

신기술에서 개발된 시트 및 유도가열용 체결구만을 사용하였을 경우 표4에서 보는 바와 같이 미국 FM사에서 규정하고 있는 Class 1-195 등급 이상의 성능이 확보된 것으로 판단되며 시험체가 파괴되기 전까지는 Class 1-255 등급인 시험속도압 804.4kgf/m2 까지 확보된 것으로 보아 설계속도압 622.64kgf/m2 의 내풍성능 설계가 가능할 것으로 판단된다.

표4. 2차 MOCK-UP TEST 가압 상황 및 시험체 변화 특성

FM) RC Rating	Actual Pressure During FMRC Test (psf)	Time (Min)	Test Pressure			시험체 특성	비 고
			psf	kPa	kgf/㎡		
Class 1-210	210	6:01 ~7:00	120	5.7	585.0	이상 없음	
Class 1-225	225	7:01 ~8:00	135	6.5	658.1	중앙부 Purlin과 Deck Plate 고정용 Fastener 1개 파손	
Class 1-240	240	8:01 ~9:00	150	7.2	731.3		
Class 1-255	255	9:01 10:00	165	7.9	804.4	중앙부 Purlin과 Deck Plate 고정용 Fastener 지속적 파손	
Class 1-270	270	10:01 11:00	180	8.6 8	77.5	중앙부위 Deck Plate 파손으로 시험 중단	

그림 10 Mock-Up Test 후 데크플레이트 파손

4. 신기술의 기대효과

1) 시장성

세계적 리서치사인 'Freedonia'의 2004년도 보고서에 의하면 2003년을 기준으로 공항, 스포츠시설, 생산시설을 포함한 국내의 비주거용 건축물의 지붕공사의 국내 수요량은 약 3670만㎡으로 이는 전체 지붕공사시장의 50%를 넘는 규모이고, 매년 약 4.1%의 성장세를 보여 향후 2013년에는 약 5170만㎡로 성장 할 것으로 예측되고 있다.

그러나 아직까지 국내 지붕 마감 공법은 금속판 마감공법에서 시트재 마감공법으로 넘어가는 과도기에 있으며, 최근 시트 지붕시장의 흐름은 기존의 EPDM, PVC에서 환경적으로 안전한 TPO로 전환이 빠르게 진행되고 있으며, TPO시트를 이용한 지붕시스템마감방법은 신축 또는 리모델링 등에 폭 넓게 사용될 수 있으며, 본 신기술은 해외 시장의 성장세와 시장규모로 보아 이미 해외에서 널리 쓰이고 있는 TPO지붕재와 차별화된 부자재의 설치공법은 해외 경쟁기술과 비교하여 원가 우위에 있으며, 이미 다국적 기업 공장의 중국 내 신축공사에도 적용이 되었으며 러시아, 대만, 베트남 등 해외 수출하고 있어 본 기술의 해외 시장 확보가 용이 할 것으로 판단된다.

표5. 한국의 비주거용 지붕 예측수요

(백 만 ㎡)

구 분	1993	1998	2003	2008	2013
신축건물	16.40	17.60	16.60	20.80	25.10
리모델링	13.90	16.00	20.10	23.20	26.60
계	30.30	33.60	36.70	44.00	51.70

*자료 : Global Roofing(Freedonia 2004)

5. 주요 적용 사례

본 신기술은 가소제 없이 열가소성능과 유연성능이 확보된 열가소성 폴리올레핀 시트재를 이용하고, 시공법이 간단한 고주파 유도가열법과 열풍용접을 융합한 공법으로써 비주거(체육시설, 물류창고, 공항시설 등) 시설물의 지붕외장재 및 구조성능을 보강한 지붕마감재 공법이다. 현재까지 약 10개의 현장에 시공한 경험과 해외(중국, 러시아 등) 수출 실적이 있다.

또한 본 기술은 경량이면서 내구성 및 내후성이 뛰어나고 시공성이 간편하여 발주자 및 관련 기술자들로부터 매우 긍정적인 평가를 받고 있으며, 특히 내풍압성이 뛰어나 대공간/저경사의 대형 산업시설물의 신축 및 보수보강에 적용되고 있으며, 유지관리 측면에서도 매우 경제적이기 때문에 점차 그 활용가치를 입증 받고 있다.

표6. 주요 적용 현장

Project Name	시공사	공사기간
두산인프라코어 안산 제2부품센터	두산건설 주식회사	2008.06.26~
지붕개선공사		2008.07.15
김해국제공항 2단계 확장공사	주식회사	2008.09.01~
국제선 화물터미널 용도변경공사 중지붕개선공사	진산종합건설	20008.11.30
고양시 환경에너지 시설 신기술	포스코건설	2008.10.01~
대체 건설사업 중 지붕공사		2009.05.30
KT&G 김천 원료창고 증축공사	일도건설	2008.05~
중 지붕공사		2008.11
삼성테스코 홈플러스 경주점	금강엔지니어링	2008.01.16~
지붕개선공사	주식회사	2008.02.15
SK에너지 인천 CLX윤활유 창고	SK건설 주식회사	2008.06.17~
지붕개선공사		2008.07.16
현대로템 의왕공장 전장품동	주식회사 엠코	2008.06.13~
지붕개선공사		2008.08.31
아티제블랑제리 안성공장	금강엔지니어링 주식회사	2008.04.20~
신축공사 중 지붕공사		2008.08.31
기아자동차 광주공장 프레스동	주식회사 용비	2008.08.01~
지붕개선공사		2008.08.16

SK에너지 경인물류센터

삼성 테스코 홈플러스 경주점

김해공항 화물터미널

두산 인프라 코어 안산부품 센터