

# 방수 · 방근시트와 옥상녹화 박스유닛 시스템의 일체화를 위한 전자기 유도가열 융착 고정구의 부착성능

## Adhesion Performance of Electromagnetic Induction Heating Fixture for the Integration with a Waterproof & Root Barrier Sheet and a Roof Green Unit System

오 창 원\*

Oh, Chang-Won\*

Executive Director, Daegun Chemical Company, Gwangju, Gyeonggi-Do, 12813, Korea

### Abstract

A currently used roof green system with multi layers has a low constructability. Therefore a new integrated waterproof & root barrier sheet and roof green box unit system was developed using steel plate fixture and cone type fixture by electromagnetic induction heating method. This study was proceeded to evaluate adhesion performance of two types of fixtures on Engineering PE, TPO, PVC sheet in a normal condition, repeated heating and cooling condition. As a result, adhesion load on Engineering PE sheet showed the highest value. The adhesion loads of steel plate fixture showed higher value as heating temperature was getting higher. However adhesion loads of cone type fixture showed opposite tendency. Regarding to the test conditions, test results of normal condition, repeated heating and cooling condition showed same value. The cone type fixture using butyl tape showed 7 times lower adhesion load than that of cone type fixture using electromagnetic heating and 28% lower adhesion load in a repeated heating and cooling condition than a usual condition.

Keywords : electromagnetic induction heating, fixture, roof green system, waterproof & root barrier sheet, adhesion performance

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

급격한 도시화로 인한 도심지 녹지공간의 부족, 온실가스 배출 증가에 의한 지구 온난화 등은 도심 거주자들의 주거 스트레스를 증가시키고 삶의 질을 저감시키는 요인으로 작용함에 따라 도심지 녹지공간 확보가 중요하게 되었다.

따라서 공간이 부족한 도심지의 녹지공간 확보는 건축물

의 유휴공간인 옥상을 공공 녹지공간으로 조성하는 방안을 적용하게 되었고, 이는 도심지의 녹지공간 확보를 위하여 중요한 기술로 자리매김하게 되었다. 옥상녹화는 일반적으로 구조체 슬래브 상부에 방수층, 방근층, 배수층, 필터층, 토양층, 식생층 등 다층으로 구성되며, 따라서 다양한 공법이 개발되었다.

그러나 옥상녹화는 다층으로 구성되더라도 하나의 유기적인 시스템으로 시공되어야 하나 현장에서는 방수공사와 조경공사로 구분되어 상호 일체화된 시공이 부족한 상황이다. 기존 연구에서도 녹화 시스템의 일부인 방수층 또는 방근층에 한정하여 다양한 재료 및 공법에 대한 연구와 식생 관련 녹화 관련 연구로 구분되어 진행됨을 알 수 있다 [1,2,3,4,5]. 이에 방수, 방근 배수, 필터, 토양, 식생이 모두 일체화된 옥상녹화 시스템을 개발하기 위한 연구를 진행한

Received : August 23, 2018

Revision received : October 5, 2018

Accepted : October 5, 2018

\* Corresponding author : Oh, Chang-Won

[Tel: 82-31-798-8333, E-mail: ohchwon@naver.com]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

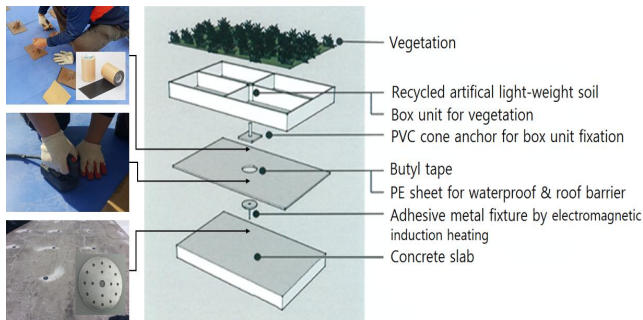


Figure 1. Composition of developed green roof system



Figure 2. Installation of waterproof sheet and box unit system

바 있다[6,7]. 기존에 연구한 일체형 옥상녹화시스템은 Figure 1, 2와 같이 전자기 유도가열 방식을 이용, 구조체와 방수방근시트는 열가소성 수지가 코팅된 금속 디스크를 가열, 용착하고, 방수방근시트와 유닛박스 고정을 위한 콘 형상의 고정구 부착은 부틸테이프를 이용, 부착하는 비파괴 부착방식을 사용하였다.

그러나 기존의 연구과정에서의 일체화 옥상녹화 시스템에는 기 연구한 엔지니어링 PE 방수방근시트만을 이용하여 성능을 평가한 것으로 개발기술의 적용성 확대를 위해서는 기존 다른 종류의 방수방근시트에 대한 적용가능성을 확인할 필요가 있고, 부틸테이프는 시간 경과에 따라 부착력이 저하되어 콘 앵커가 탈락되는 문제가 현장에서 발생하여 새로운 부착방식의 필요성이 제기되었고, 이에 전자기 유도 가열방식을 이용, 용착이 가능한 콘 형상 고정구를 개발하였다.

이에 본 연구는 옥상녹화에 사용되는 다른 종류의 방수방근시트에 대한 전자기 유도 가열방식의 접착제 코팅 금속 디스크와 개선 연구로 제작한 전자기유도 가열 용착식 콘형상 고정구의 부착성능을 평가하고자 하였다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에 사용한 전자기 유도가열방식은 주방용품의 인

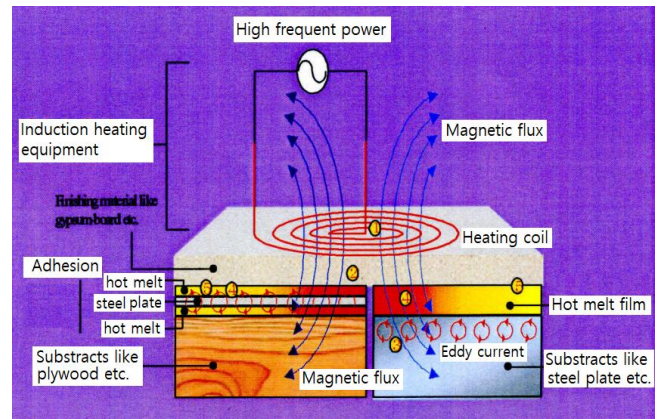


Figure 3. Principle of electromagnetic induction heating

덕션 방식과 동일한 방식으로 Figure 3과 같이 가열코일에 의해 자기장을 발생시키고, 이 자기장은 다시 거리가 떨어져 있는 금속재료를 가열하여 금속재료에 코팅된 열가소성 접착제를 용융, 용착시킨다[8].

그러나 가열 용착식 콘형상 고정구는 플라스틱 고정구 부착면 내부에 금속판을 삽입하여 접착제가 아닌 고정구의 부착면 자체를 가열 용착하는 방식으로 별도의 접착제를 코팅할 필요가 없도록 개발하였다.

본 연구에서는 방수방근시트의 재질에 따른 부착성능 분석을 위해 현재 옥상녹화에 많이 사용되는 PVC(Polyvinyl chloride) 시트, TPO(Thermoplastic Polyolefin) 시트, PE(Polyethylene)와 EVA(Ethylene vinyl acetate)를 혼합하여 제조한 엔지니어링 PE시트에 대해 전자기 유도가열 장치의 가열시간에 따른 접착제 코팅 금속 디스크의 부착성능과 옥상녹화용 박스 유닛 고정용 콘형상 고정구와 시트와의 부착성능을 시험하였다. 또한 온도의 반복적인 변화가 부착성능 주는 영향에 대해서도 챔버를 이용하여 연구를 수행하였다.

Table 1. Scope of this study

Item	Previous study	This study
Waterproof & root barrier sheet	Engineering PE sheet	Engineering PE sheet, PVC sheet, TPO sheet
Adhesion of con fixture	Butyl tape	Electromagnetic induction heating
Application scope of electromagnetic induction heating	Steel plate adhesion on a sheet	Steel plate adhesion on a sheet and adhesion of a cone type fixture on the sheet

## 2. 시험

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 방수·방근시트

본 연구에 사용하는 방수방근시트는 Table 2와 같이 Engineering PE 시트, PVC 시트, TPO 시트 3종류로 모두 단일 재료로 구성되고, 2mm의 두께로 200×200mm 크기로 절단 제작하고, 부착시험을 위해 볼트로 원형 지그와 결합시키기 위한  $\phi$  7mm 크기 구멍을 6군데 뚫어 준비하였다.

Table 2. Type of Waterproof & root barrier sheet

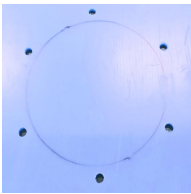
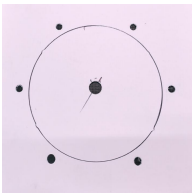
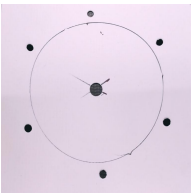
PE sheet	PVC sheet	TPO sheet
		

Table 3. Fixture of this study

Item	Adhesion method	Adhesion target
Steel plate fixture	electromagnetic heating	between a steel plate and a sheet
Cone type fixture	Electromagnetic heating	between a cone type fixture and a sheet
	Butyl tape	

#### 2.1.2 고정구

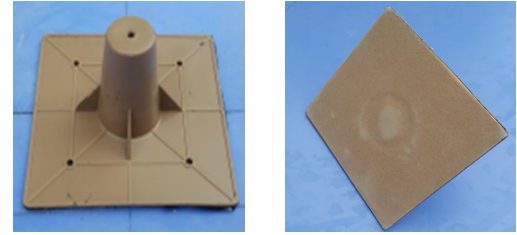
본 연구에 사용하는 방수방근시트는 Table 3과 같이 금속 고정구와 콘 형상 고정구의 2가지를 이용한다. 특히 콘 형상 고정구는 기존의 부틸테이프 부착방식도 성능 비교를 위해 포함하였다. 금속 고정구는 콘크리트 슬래브에 스크류 피스를 이용, 앵커 고정하고, 방수·방근시트를 위에 펼친 후 상부에 전자기 유도가열장치를 이용, 금속플레이트에 코팅된 열가소성 수지 접착제를 가열하여 방수·방근시트에 용착되도록 하는 비파괴 고정구로  $\phi$  85mm, 두께 1mm의 원형 금속판으로 Figure 4와 같다.

콘형상 고정구는 기존에 Figure 5와 같이 하부면에 양면 부틸테이프를 부착, 방수·방근시트와 부착하던 방식에서 전자기 유도가열 방식을 이용한 부착방식을 적용하기 위하여 고정구 부착부위 자체를 용융, 융착시키는 방식을 적용, Figure 6와 같이  $\phi$  148mm의 고정구 하부 판 내부에 와전류 형성을 위한 금속판을 매입시켜 제작하였다.



(a) Anchored side (b) Coated side

Figure 4. Steel plate fixture



(a) Upside (b) Downside

Figure 5. Cone type fixture using butyl tape



(a) Upside (b) Downside

Figure 6. Cone type fixture using electromagnetic heating



(a) For steel plate fixture

(b) For cone type fixture

Figure 7. Electromagnetic heating equipment types

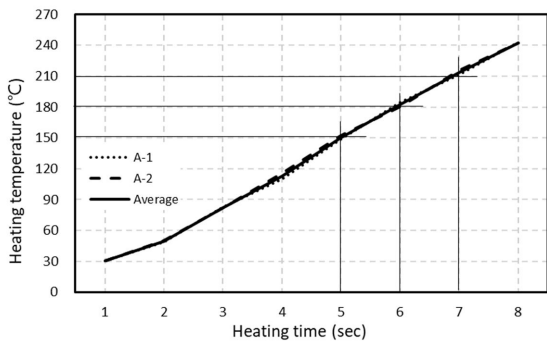
### 2.2 가열온도의 사전 범위 설정

본 연구에 사용하는 전자기 유도가열장치는 Figure 7과 같이 고정구의 종류에 따라 형상이 다르고, 고정구의 재질또한 다르므로 고정구의 가열온도는 다르게 나타난다.

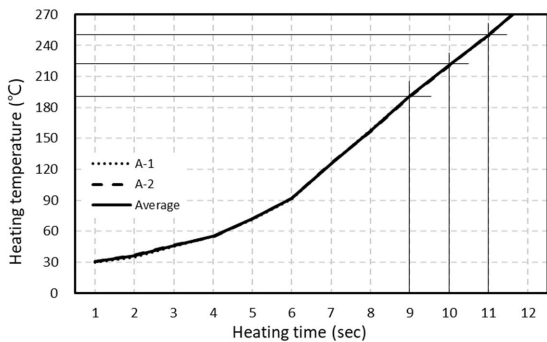
따라서 고정구에 따른 가열온도 및 시간을 먼저 측정할 필요가 있다. 2종류의 고정구 가열장치를 사용하여 가열시 Figure 8과 같이 금속 고정구 및 콘형상 고정구와 방수방근시트 사이에 2개의 열전대를 삽입하고, 고정구의 융착상태를 확인하면서 온도와 시간을 측정하였다.



Figure 8. Measurement of heating temperature and time



(a) Heating time for steel plate fixture



(b) Heating time for cone type fixture

Figure 9. Selection of electromagnetic heating time for test

그 결과, 금속 고정구는 Figure 9의 (a)와 같이 가열온도 약 130°C 이상부터 융착이 시작되는 것으로 측정되어 가열 온도 150°C, 180°C, 210°C 시점에서 시트와 가열융착한 금속 고정구 시험체를 제작하였다. 콘형상 고정구는 Figure 9의 (b)와 같이 가열온도 약 170°C 이상의 온도에서 융착이 시작되어 가열온도 190°C, 220°C, 250°C 시점에서 시트와 가열 융착한 콘형상 고정구 시험체를 제작하였다.

### 2.3 시험방법

본 연구는 3종류의 방수방근시트에 전자기 유도가열 방식을 이용한 금속고정구와 콘형상 고정구의 가열융착 온도

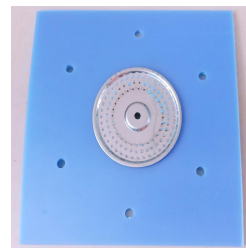
에 따른 부착성능을 평가하기 위한 것으로 일반조건에서의 부착성능시험과 내구성 평가를 위해 냉열 온도 조건을 주기적으로 반복시킨 후 부착성능을 평가하는 냉열반복 시험으로 구분하여 실시하였다.

#### 2.3.1 시험체의 제작

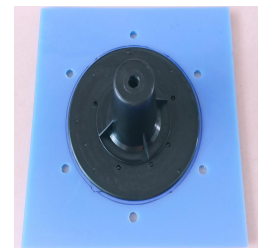
부착성능 및 내구성 시험은 모두 정치조건이 다를 뿐 동일한 부착성능 시험으로 평가하므로 시험체는 동일하다.

먼저 부착성능 시험을 위하여 Figure 10과 같이 지그 고정기가 가능하도록 구멍을 뚫은 방수방근시트의 중심부에 금속 고정구를 150°C, 180°C, 210°C 까지 가열 융착한 시험체를 각각 부착성능 시험용 3개, 내구성 시험용 3개, 총 6개씩 제작하고, 콘형상 고정구도 방수방근시트에 190°C, 220°C, 250°C 까지 가열 융착한 시험체를 각각 부착성능 시험용 3개, 냉열반복 시험용 3개로 총 6개씩 제작하였다.

시험체에 인장하중을 가하기 위하여 Figure 11과 같이 금속고정구 및 콘형상 고정구는 중앙부에 볼트를 연결하고, 시험체의 시트 부위를 고정하는 지그는 하단에 볼트가 연결되어 부착시험이 가능하도록 지그를 제작, 설치하였다.

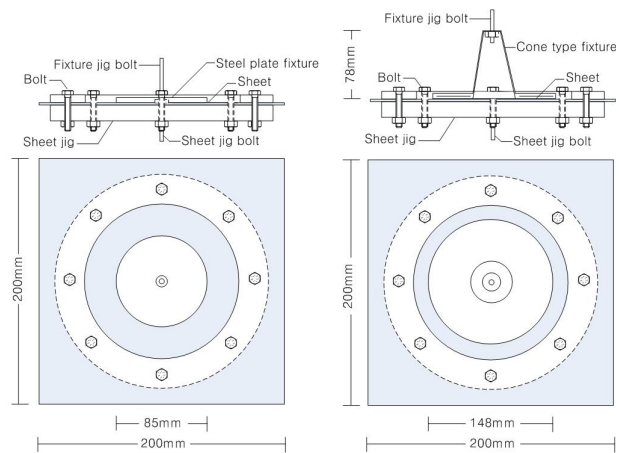


(a) steel plate fixture use



(b) Cone type fixture use

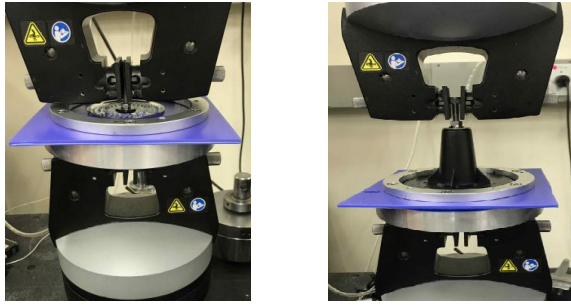
Figure 10. Specimens fused fixture



(a) Steel plate fixture use

(b) Cone type fixture use

Figure 11. Specimens installed jigs for adhesion test



(a) Steel plate fixture use (b) Cone type fixture use  
Figure 12. Adhesion performance test

### 2.3.2 부착성능 시험

방수·방근시트와 고정구의 부착시험은 KS 시험규격이 없으므로 유사한 시험방법인 KS F 4715 “얇은 마무리용 벽바름재”의 부착강도 시험방법을 참고하여 시험하였다. 부착 시험은 만능시험기(UTM, AG-582KNIS MS, Shimadzu, Japan)를 이용하여 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $65 \pm 10\%$ 의 조건에서 하중 속도는 1,500~2,000N/min으로 인장력을 가하여 파단시의 최대 하중값을 부착하중으로 하며, 3개의 평균값으로 제시하였다. Figure 12는 고정구의 종류에 따른 부착시험 사진으로 시험체의 지그와 만능시험기의 인장 어태치먼트와의 고정상태를 확인할 수 있다.

### 2.3.3 냉열반복 시험

방수·방근시트와 축진내구성 시험은 제작한 부착성능 시험체를 KS M 3705 “접착제의 일반 시험방법” 중 냉열반복 접착강도시험 조건을 참고하여 Figure 13과 같이  $-10^\circ\text{C}$ 에서 2시간 냉각 후 실온에서 5분 방치,  $40^\circ\text{C}$ 로 2시간 가열 후 5분간 방치하는 조건을 1사이클로 정하고 3사이클을 반복한 후  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $65 \pm 10\%$ 의 조건에서 24시간 정지한 시험체를 3개씩 부착 하중을 측정하고 평균값으로 제시하였다.

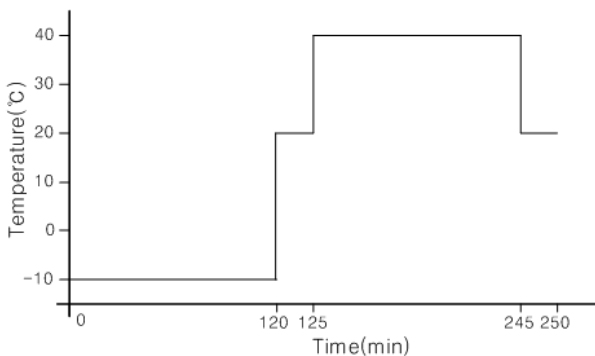


Figure 13. Temperature cycle for durability test

## 3. 시험결과 및 분석

### 3.1 부착성능 시험결과

엔지니어링 PE, TPO, PVC 등 3종류의 방수·방근시트에 금속 고정구를 전자기 유도가열 장치를 이용하여 가열온도에 따른 부착성능을 측정한 결과, Figure 14와 같이 모두 가열온도가  $150^\circ\text{C}$ 에서  $210^\circ\text{C}$ 로 높아질수록 부착하중이 증가하는 것으로 나타났다.

시트의 재질에 따른 부착하중은 엔지니어링PE 시트가 3,705~4,596N으로 가장 높게 나타났으며, TPO시트, PVC 시트 순으로 부착하중이 낮게 나타났다. 특히 엔지니어링PE 시트는 PVC 시트보다 약 13배의 우수한 부착하중을 보여주었는데, 이는 금속고정구에 코팅된 열가소성 접착제가 동일한 PE계로 열융착에 의한 일체화가 용이하기 때문으로 판단된다. 따라서 전자기 유도가열 방식의 금속 고정구는 엔지니어링 PE 시트에 적용시 최상의 부착성능을 갖는 것으로 판단된다.

또한 3종류의 방수·방근시트에 콘형상 고정구를 전자기 유도가열 장치를 이용하여 가열온도에 따른 부착성능을 측정한 결과, Figure 15와 같이 모두 가열온도가  $190^\circ\text{C}$ 에서  $250^\circ\text{C}$ 로 높아질수록 부착하중이 감소하는 것으로 나타났다.

시트의 재질에 따른 부착하중은 엔지니어링 PE 시트가 1,540~1,109N으로 가장 높게 나타났으며, TPO시트, PVC 시트 순으로 부착하중이 낮게 나타났다.

엔지니어링 PE시트와 콘형상 고정구의 부착하중이 가장 높은 이유는 콘형상 고정구가 PE수지로 제작되었기 때문으로 금속고정구의 접착제와 같이 동일 계통 수지의 열융착에 의한 일체화 효과가 우수하기 때문으로 판단된다.

특히 금속고정구의 부착하중과 달리 콘 형상 고정구의 부착하중은 온도의 상승에 따라 반비례하는 데,  $220^\circ\text{C}$  이상의 콘 형상 고정구의 융착 접착면을 보면, Figure 16과 같이 높은 온도에 의한 용융 손실부위가 발생됨을 확인할 수 있었다. 따라서, 콘 형상 고정구의 적정 가열온도는  $190^\circ\text{C}$  내외로 판단된다.

또한 기존의 양면 부틸테이프에 부착한 콘형상 고정구의 부착하중을 측정한 결과, 209N으로  $190^\circ\text{C}$  가열조건에서의 콘형상 부착하중값인 1,540N과 비교하면 유도가열방식의 콘형상고정구의 부착성능이 7배 이상 우수함을 확인하였다.

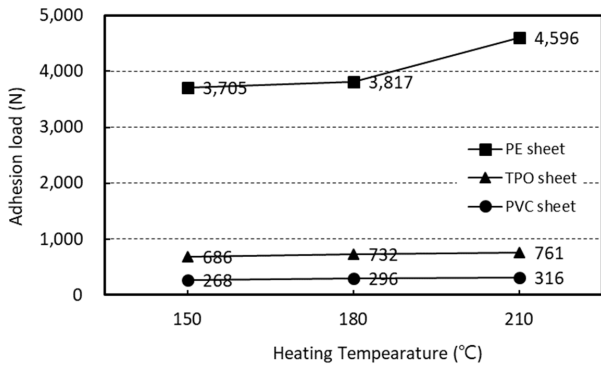


Figure 14. Adhesion test result of steel plate fixture

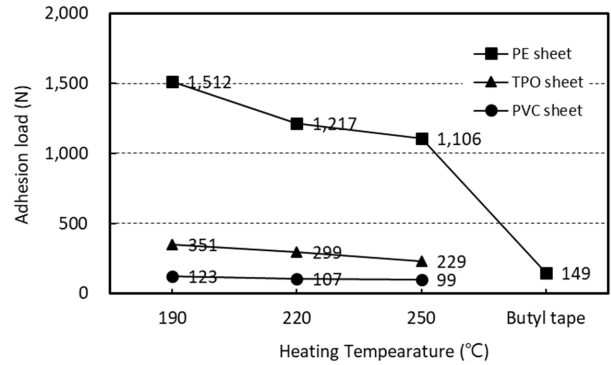


Figure 18. Heating & cooling test result of cone type fixture

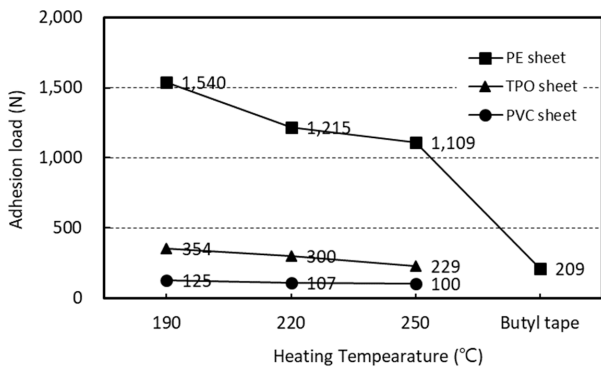


Figure 15. Adhesion test result of cone type fixture

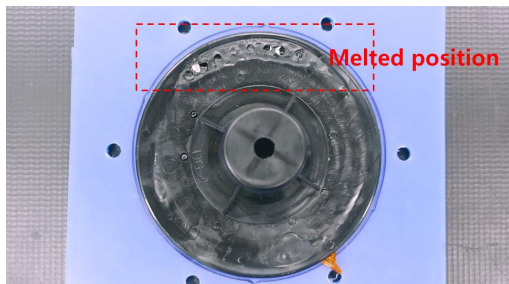


Figure 16. Melted cone type fixture by high temperature heating

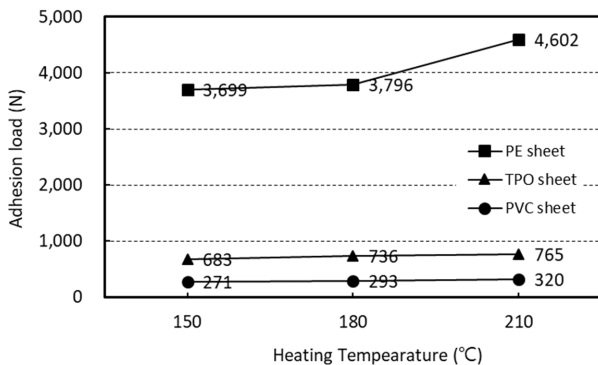


Figure 17. Heating & cooling test result of steel plate fixture

### 3.2 냉열반복 시험

3종류의 방수·방근시트에 금속 고정구를 가열온도에 따라 용착한 시험체를 3사이클에 걸쳐 냉열 반복과정을 거친 후 부착하중을 측정한 결과는 Figure 17과 같이 측정되었으며, 상온조건에서 측정한 결과와 차이가 없는 것으로 나타났다.

또한 콘타입 고정구를 가열온도에 따라 용착한 시험체도 3사이클에 걸쳐 냉열반복과정을 거친 후 부착하중을 측정한 결과에서도 Figure 18과 같이 상온조건에서의 부착하중값과 차이가 없는 것으로 나타났다.

그러나 기존의 부착방법인 양면부틸테이프 고정방법은 냉열반복시험시 상온조건에서보다 약 28%의 성능이 저감되는 것으로 나타났다.

따라서, 전자기 유도가열방식을 이용하여 부착하는 고정구의 경우 국내의 계절변화를 고려하면 방수·방근시트 일체화 옥상녹화 공법에 적절한 부착방식임을 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

방수·방근시트 옥상녹화 박스 유닛의 일체화를 위해 사용한 전자기 유도가열방식의 금속 고정구와 콘형상 고정구 부착성능을 평가하기 위하여 엔지니어링 PE, TPO, PVC 시트에 가열온도를 구분하여 부착한 후 부착하중을 측정한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 금속고정구 및 콘형상 고정구는 형상 및 재질이 다르므로 적정 용착을 위한 가열 온도 범위 결정을 위한 사전 온도측정 결과, 금속고정구는 150°C, 180°C, 210°C, 콘형상 고정구는 190°C, 220°C, 250°C로 설정하였다.
- 2) 설정 가열온도에 따라 제작한 금속고정구의 부착하중

측정 결과, 가열온도가 올라갈수록 부착하중이 증가하였고, 방수·방근시트의 종류에 따른 부착하중은 엔지니어링 PE시트가 3,705~4,596N으로 가장 높게 나타났으며, TPO시트, PVC 시트 순으로 부착하중이 낮게 나타났다.

- 3) 콘 형상 고정구의 부착하중 측정결과, 금속고정구와는 반대로 가열온도가 올라갈수록 부착하중이 낮아졌으며, 방수·방근시트의 종류에 따른 부착하중은 금속디스크와 동일하게 엔지니어링 PE시트가 1,540~1,109N으로 가장 높게 나타났으며, TPO시트, PVC 시트 순으로 부착하중이 낮게 나타났고, 기존 양면 부틸테이프 고정 방식과 비교하면 최대 7배 우수한 것으로 나타났다.
- 4) 국내의 계절온도 변화를 고려하여 실시한 냉열반복시험에 따른 부착하중 측정결과, 상온 측정 부착하중과 차이가 없는 것으로 나타났으나, 기존의 콘형상 고정구 부착방법인 양면 부틸테이프 고정 방식은 약 28%의 성능저감을 보여 주었으며, 따라서 전자기 유도가열방식을 이용한 고정구의 사용이 방수·방근시트 일체화 옥상녹화 박스유닛공법에 효과적임을 알 수 있었다.

## 요 약

기존의 다층으로 구성되어 시공성이 낮은 옥상녹화 공법의 개선을 위해 개발한 방수·방근 시트 일체화 옥상녹화 박스 유닛공법의 일체화를 위해 사용하는 전자기 유도가열 방식의 금속 고정구와 콘 형상 고정구의 부착성을 평가하기 위해 엔지니어링 PE, TPO, PVC 시트 등 3종류의 시트에 가열온도에 따른 부착성능 및 동일한 시험체로 냉열반복 후 부착성능을 측정하였다. 그 결과는 엔지니어링 PE시트에 부착한 고정구의 부착성능이 가장 우수하게 나타났으며, 금속고정구는 가열온도가 올라갈수록, 콘 형상 고정구는 가열온도가 낮을수록 우수한 부착성능을 보여주었고, 냉열 반복 후 부착시험 결과는 상온 부착시험 결과와 동일하게 나타났다. 기존의 양면 부틸테이프 고정방식의 콘 형상 고정구는 낮은 부착하중과 냉열반복에 의한 뚜렷한 성능저하가 발생하는데 비하여 전자기 유도가열방식의 고정구는 우수한 성능을 유지하였다.

**키워드** : 전자기 유도 가열, 고정구, 옥상녹화, 방수·방근시트, 부착성능

## Acknowledgement

This research was supported by a grant(18TBIP-C124446-02) from Land, Infrastructure and Transport Technology Commercialization Support Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

## References

1. Jang DH, Kim HS, Choi SK, Greenhouse test results for two years of sheet shaped root barrier materials apply to green roof system for sustainable building construction, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2011 Nov;11(6):634-44.
2. Kim HS, Jang DH, Choi SK, Resistance to root penetration of root barrier for green for system, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2008 Dec;8(6):123-9.
3. Kwon SW, Jo IG, Bea KS, Oh SK, The necessity analysis of development waterproofing materials and methods of construction technologies for green roofs, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2004 Mar;4(1):111-8.
4. Park CH, Oh SK, Lim NG, Performance evaluation system for construction environment of the unified waterproofing-root resistance membrane layer of the green roof system, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2011 Apr;11(2):189-99.
5. Kang TH, Zhao HX, Li H, Kang SH, Roof greening applied a shallow green roof module system out of management - Focused on the effects on the growth of plants by difference of soil mixture ratio, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 2012 Jun;40(3):91-8.
6. Oh CW, Hong JC, Park KB, Assessment of evaluation by hybrid waterproof-root barrier layer for green system on artificial ground, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2015 Aug;15(4):391-6.
7. Oh CW, Hong JC, Park KB, Performance evaluation for the application of roof green box unit system combined with engineering P.E, waterproof and root penetration sheet, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2016 Apr;16(2):125-31.
8. Takamitsu S, Hideo T, Yukio S, Shuji O, Shinzo Y, Characteristics of Induction Heating Device for Dismantlable Adhesion in Interior Construction, Proceeding of the 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society(IECON); 2007 Nov 5-8; The Grand Hotel, Tapei, Taiwan, Taiwan: IEEE; 2007, p. 1357-62.