

고주파 유도가열 장치를 이용한 알루미늄 박판 점착 복합방수시트 조인트부의 시공성

Constructability of a Waterproofing Sheet Joint Combining an Aluminum Thin-film and Viscosity Layer Using a High-frequency Inductive Heating Apparatus

장 상 목¹

김 윤 호²

최 성 민^{2*}

Chang, Sang Mook¹ Kim, Yun Ho² Choi, Sung Min^{2*}

Graduate School of Energy Environment, Seoultech, Nowon-Gu, Seoul, 139-743, Korea ¹
Institute of Construction Technology, Seoultech, Nowon-Gu, Seoul, 139-743, Korea ²

Abstract

Engineers in the construction field have been using bonded waterproofing sheets in an attempt to resolve the imbalance in the quality, the risk of fire, safety of workers, and environmental pollution, as well as to eliminate separate use of organic adhesives on the surface of concrete. Recently, self-laminated waterproofing sheets have been developed. The purpose of this research is to find an appropriate processing speed according to the changes in physical properties, and visual observation of the waterproofing sheets laminated by the aluminum thin-film and viscosity layer that can be attached through self-adhesiveness on the surface of concrete and waterproofing sheets. Therefore, this research is conducted using a physical performance test. Based on the result of the test, when the high-frequency inductive heating apparatus was used, an improved adhesion and bonding stability effect were confirmed after the anti-hydrostatic pressure and bond strength in the temperature condition, and the surface observation in the processing speed condition.

Keywords : aluminum sheet, high frequency induction heating, sheet joint, low temperature environment

1. 서 론

기존 아스팔트계열의 시트 방수공법은 직·간접 가열 방식인 토오치와 열풍 용착기의 사용, 그리고 용착제 개념으로 사용되는 휘발성 유기용제(톨루엔, 크실렌 등)의 사용하기 때문에 유독가스를 유발되어 시공자의 안전성은 작업장 환경 오염(VOCs)에 주요 원인이 된다[1]. 또한 기계식 고정방법

을 적용할 경우 고정 못에 의해 방수층이 관통되어, 방수 품질이 저하되는 기술적 문제가 발생된다[2].

최근에는 점착방식에 따른 품질저하와 화재의 위험성[3], 작업자의 안전성, 환경오염 등에 대한 문제를 해결하기 위해 시트 표면에 점착성 물질을 적층(복합화)하여 방수시공부위에 별도의 점착제를 사용하지 않으면서 복합시트자체의 자착력만으로 방수층형성이 가능한 자착형(自着型) 복합시트 방수재가 개발되어 사용되어지고 있다[4,5]. 자착형 복합시트 방수재는 바탕 표면이 상태에 영향을 받지 않는 점착형 도막재의 특성을 유지하면서도 견식화 시공이 가능하도록 함으로써 기존의 시공기술상 어려움을 겪던 수직부의 시공을 용이하게 하는 등 관련 기술수준을 더욱 발전시키는데 일정부분

Received : December 23, 2013

Revision received : February 7, 2014

Accepted : February 10, 2014

* Corresponding author: Choi, Sung Min

[Tel: 82-2-977-6691, E-mail: housedoc@naver.com]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

기여하였다[6].

하지만, 다양한 소재(부틸 고무계, 천연 고무계, 점착 유연형 아스팔트계)의 자착형 방수시트가 개발되고 여러 가지 종류의 부착력 향상용 장비(지중롤러, 진동롤러 등)가 개발되었음에도 불구하고 저온환경에서의 안정적인 부착성능을 확보하기에는 부족한 점이 있었다[7].

따라서 이러한 자착형 복합시트 방수재의 저온환경하에서의 부착력을 개선시킬 수 있는 기술개발의 필요성에 제기됨에 따라 시트에 강제적인 하중 및 직접가열을 하지 않고 시트 자체에서 간접적으로 열을 발생시켜 부착력을 향상시킬 수 있는 알루미늄 박판 점착 복합방수시트와 고주파유도가열 장치가 개발되었다. 알루미늄 점착 복합방수시트는 열가소성수지인 PE(Polye -Ethylene)필름에 알루미늄 박판을 적층하여 아스팔트계 고점착 쉘과 일체화시킨 자착형 방수시트로 고주파 유도가열 장치를 이용하여 시트에 적층되어 있는 알루미늄 박판에 고주파열을 발생시켜 시트 겹침부 또는 일반부를 구조물에 접착시키는 기술이다[8]. 그러나 열을 가하는 특성상 가열시간 조절을 위한 적정시공속도 등에 대한 기초 자료가 매우 부족한 실정이다.

이 연구에서는 자착형 복합시트 방수재 중 알루미늄박판 점착 복합방수시트에 고주파 유도가열 장치를 사용하였을 때 시트에 대한 물성 변화 및 시트외형의 변화를 파악하여 적정 시공 속도를 찾고자 하였으며, 이를 현장의 품질관리 지침 및 시방서 작성의 근거자료로 활용하고자 한다.

2. 알루미늄 박판 점착 복합방수시트 및 고주파 유도가열 장치의 이론적 고찰

2.1 알루미늄 박판 점착 복합방수시트의 구성

알루미늄 박판 점착 복합방수시트의 구성은 다음 Figure 1과 같으며, 소재는 열가소성 수지인 PE필름(Polye-Ethylene Film)에 알루미늄 박판을 적층하여 아스팔트계 고점착 쉘과 일체화시킨 것으로 알루미늄 박판 점착 복합방수시트의 구성은 상부에 PE필름과 알루미늄 박판 및 직포를 일체화하였고 고점착셀로 점착층이 구성하고 있다.

2.2 알루미늄 박판 점착 복합방수시트의 물성

알루미늄 박판 점착 복합방수시트의 물성은 KS F 4934 『자착식형 고무화 아스팔트 방수시트』 시험방법으로 시험

하였으며, 그 결과는 다음 Table 1과 같다.

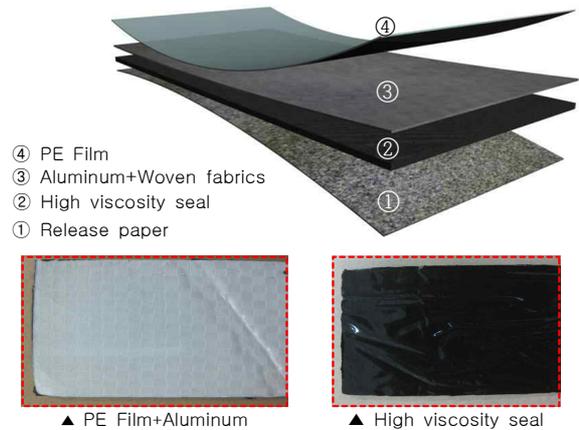


Figure 1. Comprised of waterproofing sheet combined aluminum thin-film and viscosity seal

Table 1. Results of test of basic material properties

Separation	Test results	Test results		Note	
		Length	Width		
Tensile	Tensile strength	29.1N/mm	25.2N/mm		
	Elongation range	25%	28%		
	Tear strength	72N	81N		
Temperature dependence	60℃	Tensile strength	19.6N/mm	15.9N/mm	KS F 4934
		Elongation range	40%	11%	
	-20℃	Tensile strength	34.1N/mm	30.9N/mm	
		Elongation range	34%	13%	
Peeling resistance		1.5 N/mm			

2.3 고주파 유도가열의 선정 배경

고주파 가열의 종류 및 특성은 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Type and properties of high-frequency heating

Separation	Frequency	Exothermic principle	Heating electrode
Inductive heating	Less than a few MHz	Heat loss by induction	Coil type
Dielectric heating	Unlimeied~ 50 MHz	Frictional heating by bipolar molecular motion	Condenser type
Electric current heating	Unlimeied	Self-propelled hand heating	Contact type
Microwave heating	915 MHz~ 2,450 MHz	Frictional heating by bipolar molecular motion	Beating down by probe

상기 가열방식 중 유도가열 방식(Inductive heating)을 이 연구의 가열 방식으로 선정한 이유는 다른 가열방식에 비

하여 전도체 물질(금속류)을 간접적으로 가열이 가능하고, 선택적인 국부가열이 가능함과 동시에 가열시간 및 온도를 정밀하게 제어할 수 있기 때문이다[9]. 또한 마이크로파처럼 인체에 유해하지 않기 때문에 이 가열 방식을 선정하게 되었다[10].

고주파 유도가열 장치의 제원은 다음 Table 3, Figure 2와 같으며, 크게 상단부와 하단부로 구분할 수 있고 작업자의 안정성이 고려하여 과전류 및 과열이 발생할 시에 자동 차단기가 작동하는 구조이다. 하단부에는 120mm 직경의 코일이 원형을 이루고 있어, 240×240mm의 고주파 유도가열 공간이 확보되므로 용착에 의한 균일한 접착이 가능하도록 고려되었다.

Table 3. Data of high-frequency Inductive heating apparatus

Size (mm)	Weight (kg)	Voltage (Hz)	Max. temp. (°C)	Coil diameter (mm)	Heating space (mm)	Thermo limiter
410×250×377	About 20	200	About 500	120	240×240	Auto

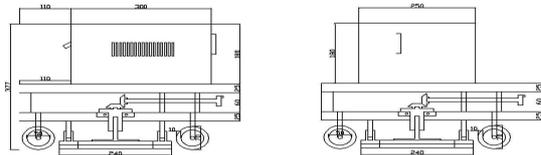


Figure 2. Section images of apparatus

3. 시험계획 및 방법

3.1 시험계획

알루미늄 박판 점착 복합방수시트에 적용되는 고주파 유도가열 장치에 대한 시공성 시험은 고주파 유도가열 시공 속도별 표면 특성 관찰 시험, 시공 속도별 고주파 유도가열 후 내정수압 시험, 고주파 유도가열 후 시험 온도별 부착성능 시험(Feal-out test) 등 3가지 시험으로 계획하였다.

3.2 시험방법

고주파 유도가열 시공 속도별 표면 특성 관찰 시험은 Table 4와 같이 표면 특성 관찰 시험은 고주파 유도가열 장치가 시트의 겹침부 상부로 지나가는 속도는 0.08m/s, 0.06m/s, 0.04m/s, 0.02m/s의 4단계로 구분하여 각각의 표면 상태를 육안으로 관찰하였다(Figure 3 참조). 또한 적

외선 표면 온도계를 사용하여 고주파 유도가열의 시험 전과 후를 각각 측정하여 고주파 유도가열에 의한 온도변화를 확인한다.

내정수압 시험은 고주파 유도가열 장치를 사용하여 0.08m/s, 0.06m/s, 0.04m/s, 0.02m/s의 주행속도로 균일한 열을 겹침 부위에 가한 후 내정수압 시험을 위해 시트를 Ø100mm의 원형으로 제단 한다(Figure 3 참조). 내정수압 시험은 0.3N/mm²의 수압을 24시간 동안 가하여 조인트부의 투수 유무를 확인하고 바탕 시험체를 할렬하여 물의 침투여부를 최종 확인한다.

부착강도 시험방법은 고주파 유도가열 장치를 사용하여 0.08m/s, 0.06m/s, 0.04m/s, 0.02m/s의 주행속도로 균일한 열을 가열한 후 저온조건 형성을 위해 챔버안에서 각각 -5°C, 0°C, 5°C의 온도에서 4시간 동안 정지한 다음 인장 시험장치에 박리각도가 (90±5)°가 되도록 하여 먼저 20mm를 박리시킨 다음 100mm/min의 인장속도로 시험하였다. 온도에 별로 각각 4개의 시험편을 대상으로 초기 박리길이 20mm 이후 10mm 단위로 5개 지점에서 부착강도를 측정한다. 시험방법별 시험조건은 Table 4와 같다.

Table 4. Experimental conditions according to the test item

Separation	Characterization of the surface	Hydrostatic	Bond strength
Condition	Constructing speed of equipment	Constructing speed of equipment	Testing temperature
Size/Number of specimen	2.0×1.0m /8ea	2.0×0.5m /8ea	50×150mm /60ea
Part of testing		Overlap	
Constructing speed	0.08m/s, 0.06m/s, 0.04m/s, 0.02m/s		



a. Heating the joint part b. Hydrostatic specimen

Figure 3. Processes of making the specimen

4. 시험결과 및 고찰

4.1 표면특성 관찰 시험

고주파 유도가열 장치가 방수시트의 겹침부 상부로 지나가는 속도를 0.08~0.02m/s까지 4단계로 구분하여 적용한 결과 다음 Figure 4, 5와 같다.

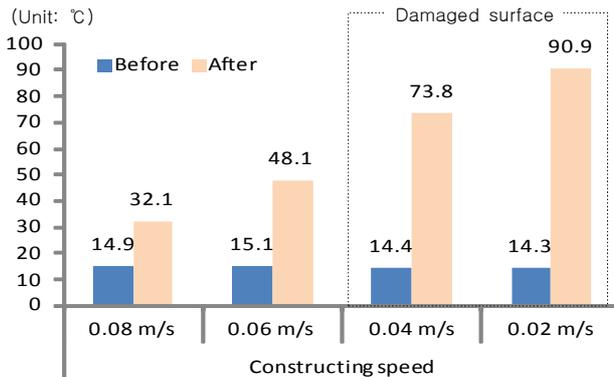


Figure 4. Changing temperature of the surface

시험결과 고주파 유도가열장치의 주행속도가 느릴수록 시트 표면의 PE필름이 고주파로 발생된 열에 의해 주름이 발생하거나 변형되는 현상이 발견되었다.

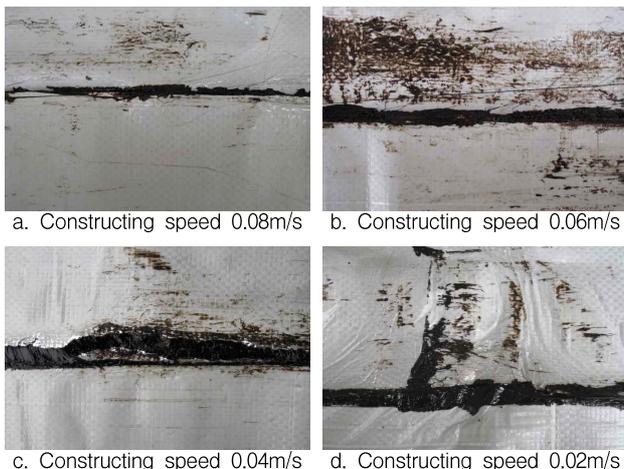


Figure 5. Observing results of characterization of the surface

고주파 유도가열 속도가 비교적 빠른 0.08m/s의 경우, 시험 전과 후의 표면온도 차가 17.2°C를 나타냈으며, 시트 표면의 손상도 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 0.06m/s의 경우에도 시트 표면은 비교적 양호하였으며, 시험 전과 후의 표면온도 차는 33.0°C로 표면온도가 증가한 것을 확인하였다. 그러나, 고주파 유도가열 속도가 0.04m/s에서부터는 시트 표면에 주름이 발생하고 표면온도 차는 59.4°C로 크게 증

가하였으며, 고주파 유도가열 속도가 가장 느린 0.02m/s에서는 시트 표면의 PE필름이 파단되고 표면온도 차는 76.6°C로 매우 크게 증가하는 것을 확인 하였다.

이러한 현상은 고주파 유도가열장치의 주행속도가 느릴수록 시트 표면에 열이 조사되는 시간이 길어지므로 시트 표면의 온도가 급격하게 증가되고 PE필름이 고주파로 발생된 열에 의해 늘어나면서 가압판의 압력에 밀려 주름이 발생하거나 변형되기 때문이다. 따라서 시트 조인트부의 외상의 변형 정도를 육안으로 판단한 결과로만 보았을 때 시트의 손상이 발생하지 않는 0.06m/s의 시공속도가 적정하고 온도조건으로는 50°C이내를 유지하는 것이 중요하다고 판단된다.

4.2 내정수압 시험

시공 속도별 고주파 유도가열 후 내정수압 시험 결과 Table 6, Figure 6과 같다. 고주파 유도가열 후 내정수압 시험결과 유도가열 시공속도별로 Figure 5에서와 같이 조인트부 표면의 열에 의한 손상정도가 다르게 나타났지만 내정수압 시험결과 모든 속도에서 투수되지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 보면 상부의 PE시트의 경우 고주파로 발생된 열에 의해 변형되어 손상 및 주름 등이 발생되지만 알루미늄 박판 하부에 합지된 점착 복합방수시트 하면의 고점착질의 경우 열에 의해 점도가 일시적으로 낮아지면서 바탕면(알루미늄 박판 상부의 PE 필름 부)과 완전히 점착되어 PE필름 층과 알루미늄 박판 사이의 계면에서도 누수를 허용하지 않는 것으로 판단된다.

Table 6. Results of permeability test

Separation	Test results		
	Surface condition	Permeability	
Constructing speed	0.08m/s	All serene	Non-permeability
	0.06m/s	All serene	Non-permeability
	0.04m/s	Lined surface	Non-permeability
	0.02m/s	Damaged surface	Non-permeability

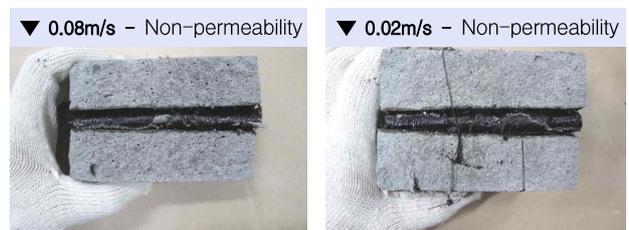


Figure 6. Results of permeability test

4.3 온도별 부착성능 시험(Peel-out Test)

고주파 유도가열 후 시험 온도별 부착성능을 KS F 2400의 Peel-out 시험방법으로 시험한 결과는 다음 Figure 7~10과 같다.

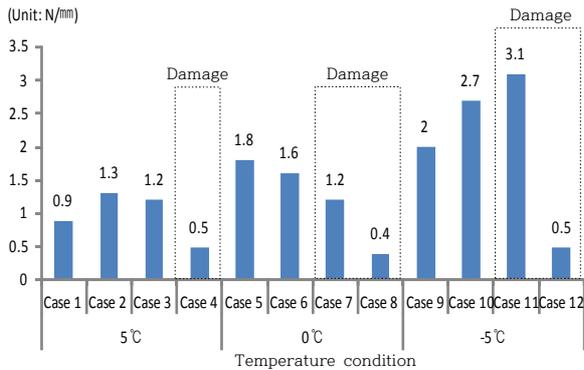


Figure 7. Results of permeability test

Figure 7에 나타난바와 같이 5°C온도조건에서 고주파 유도가열 장치의 주행속도가 0.08m/s로 빠른 Case.1의 경우는 평균 부착강도가 0.9N/mm로 나타났으며, 고주파 유도가열 장치의 주행속도가 0.02m/s로 느린 Case.4는 시트의 표면이 고온에 의해 손상되고 부착강도는 평균 0.5N/mm로 나타났다. 이와 같은 결과는 Case.1과 같이 온도가 낮고 유도가열 장치의 주행속도가 빨라지면 유도가열 장치의 고주파로 발생된 열이 충분히 시트에 전달되지 않아 부착력이 떨어지는 것으로 판단되며, Case.4와 같이 고주파 유도가열 장치의 주행속도가 너무 늦어지면 유도가열 장치의 고주파로 발생된 열에 의해 시트표면 손상과 시트하부 고점착층이 녹아 흘러 부착력이 떨어지는 것으로 판단된다.

0°C온도조건에서는 비경화 형태의 아스팔트계 고점착층이 아스팔트 자체의 유동성이 증가하여 -5°C에 비해 낮은 부착강도를 나타냈으며, 상기의 조건과 마찬가지로 고주파 유도가열 장치의 주행속도가 느린 Case.8에서는 시트 표면이 고온에 의해 손상되고 부착강도는 0.4N/mm로 낮게 나타났다.

-5°C온도조건에서 Case.9~11의 경우에는 2.0N/mm 이상의 상대적으로 높은 부착강도가 측정되었으며, -5°C온도 조건과 마찬가지로 고주파 유도가열 장치의 주행속도가 0.02m/s로 느린 Case.12에서는 시트 표면이 고온에 의해

손상되고 부착강도는 0.5N/mm로 낮게 나타났다. 또한, Case.11은 시트표면에 손상이 나타났지만 부착강도는 높게 나타난것으로 볼 때 부착강도에 영향을 미치는 바탕과의 접촉표면까지는 손상되지 않은 것으로 판단된다.

그러나 0°C나 5°C에 비해 상대적으로 저온 조건인 -5°C 온도조건에서도 주행속도가 느리면 고주파 유도가열 장치의 고주파로 발생된 열에 의한 시트 표면 손상과 시트하부 고점착층이 녹아 흘러 부착력이 떨어지고 시트가 변형되는 등 전체적 시트의 물성에 영향을 주는 것으로 판단된다.

각 온도대별로 부착성능 측정결과(KS F 2400에서 규정된 P1~P5 지점 측정치의 평균값)의 강도변화를 나타낸 Figure 8~10을 비교해보면 -5°C에서 부착강도가 가장 높게 측정되고 온도가 5°C씩 증가 할수록 부착강도는 낮아지고 있으며, 0.08m/s(Case 1, Case 5, Case 9), 0.06m/s(Case 2, Case 6, Case 10), 0.04m/s(Case 3, Case 7, Case 11)조건 그룹과 0.02m/s(Case 4, Case 8, Case 12) 조건과의 부착강도 격차는 온도가 낮을수록 더욱 크게 벌어지고 있는 현상을 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 이러한 현상은 온도가 떨어질수록 고점착층의 유동성이 급격히 저하되어 점도가 낮아지기 때문에 나타나는 현상이다. 그러나 0.02m/s 조건의 경우 온도의 변화와 관계없이 평균 약 0.4N/mm정도의 범위로 나타나고 있는데 이는 한번 열에 의한 손상을 받은 고점착층의 경우 두께의 감소와 열적 변형 등의 이유로 주변 온도 조건에 관계없이 성능회복이 어렵다는 것을 의미한다.

따라서 토치나 열풍기 등의 직접적 열을 가하는 시공법에 있어서 불규칙한 가열로 부분적으로 과도한 열이 가해지는 공법의 경우 작은 면적에서도 부위별로 매우 불균질한 부착전면이 형성될 수 있고 이는 시트간 조인트부 및 일반 부착면의 품질관리가 어려운 이유 중의 하나로 작용될 수 있다.

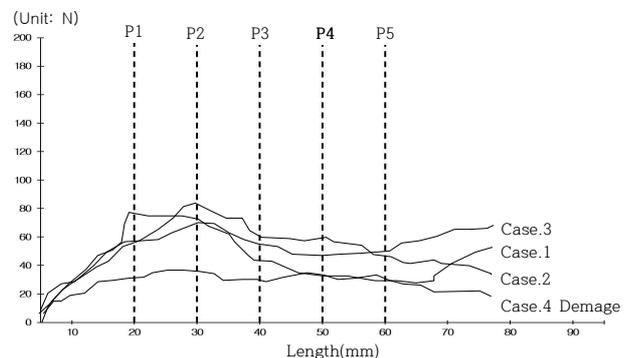


Figure 8. Results of bond strength test (5°C)

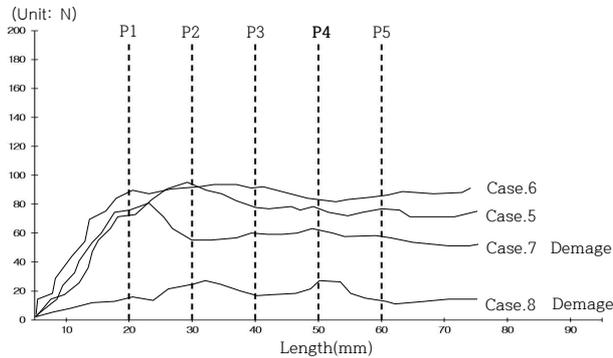


Figure 9. Results of bond strength test (0°C)

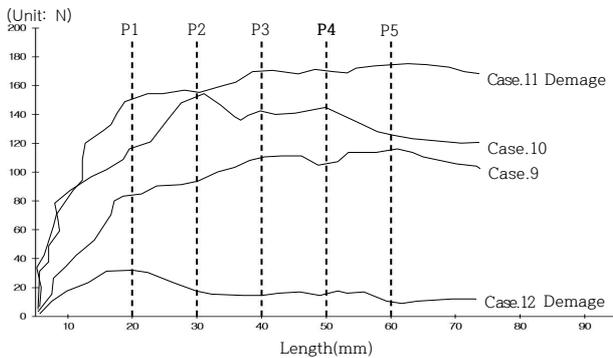


Figure 10. Results of bond strength test (-5°C)

이러한 부착성능 시험결과를 종합해 볼 때 시공온도대별로 다소 상이한 결과 값을 얻어졌으나 시공속도가 0.08m/s, 0.06m/s, 0.04m/s 조건보다 0.02m/s 조건일 경우가 낮은 부착성능을 나타남에 따라 부착성능유지 관점에서 볼 때 0.04m/s까지가 한계 시공속도인 것으로 판단된다. 그러나 0.04m/s 조건에서 일부 시트상면의 손상이 발생된 점을 고려할 때 방수층 외관의 안정성, 내구성 유지, 품질관리 측면 등을 모두 감안할 경우 0.06m/s까지가 적절한 시공속도인 것으로 판단된다.

5. 결론

알루미늄 박판 점착 복합방수시트를 이용한 고주파 유도 가열 장치의 시공시 온도조건을 고려한 시공성에 대하여 다음과 같이 정리하였다.

- 1) 고주파 유도가열 후 내정수압 시험결과 0.04m/s~0.02m/s의 주행속도에서 시트 표면의 섬유직포, PE 필름이 고주파로 발생된 열에 의해 주름이 발생하거나

녹는 현상이 나타났다. 따라서 시트 표면의 손상정도는 고려할 때 적정 시공속도는 0.06m/s이 적당한 것으로 판단된다.

- 2) 유도가열장치의 주행속도별 시트의 표면상태는 다르게 나타났지만 내정수압 시험결과 시험편 모두 투수되지 않은 것으로 나타났다. 이는 알루미늄 박판 점착 복합 방수시트의 하부 고점착층이 온도가 높아지면서 점성이 낮아짐에 따라 점착성이 더욱 증대되어 시트상면에 설치된 PE시트층과 알루미늄 박판사이까지 밀착되기 때문에 계면누수를 허용하지 않는 것으로 판단된다.
- 3) 고주파 유도가열 후 시공속도와 온도조건별 부착강도 시험결과 다른 속도 조건에 비해 0.02m/s 조건에서는 모든 온도 조건에서 열에 의한 손상과 낮은 부착강도는 나타났다. 이러한 결과는 한번 열에 의한 손상을 받은 고점착층의 경우 온도 조건에 관계없이 부착성능 발현이 어렵다는 것을 의미한다.
- 4) 고주파 유도가열 장치의 적정 주행속도는 0.06m/s가 적당하며, 가열시 상한 온도조건으로는 약 50°C를 넘지 않도록 관리하는 것이 품질관리에 있어 중요한 요소로 판단된다.

향후 고주파 유도가열 장치를 활용함에 있어 적용환경 조건별 정형화된 시공기술 확보를 위해서는 다양한 환경적 인자 및 실험적 변수를 도출할 필요가 있다.

키워드 : 알루미늄 박판, 고주파 유도가열, 접합부, 저온 환경

References

1. Jung HS, Kang HJ, Song JY, Oh SK, An Experimental Study on the Adhesion Property of Self Adhesive Rubberized Asphalt Waterproofing Sheet, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2005 May;5(1):1-4.
2. Miyauchi H, Kim GY, Nam JS, Koo KM, Lee TG, Park YJ, Proposal of Wind Resistance Evaluation Method for Mechanically Anchored Waterproofing Membrane System, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2011 Mar;27(3):107-14.
3. Sun YS, Oh SK, A Study on the Bonding Property and the Performance of Self-Adhesive Rubber Asphalt Sheet Reinforced HDPE. Seoul National University of Science & Technology.

4. Oh SK, Choi SM, Lee JH. An Experimental Study on the Influence of a Low Temperature Environment on Adhesiveness of the Self Adhesion Waterproofing Sheets. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2010 Jan;26(1):113-20.
5. Jung HS, Oh SK, Lim NG. Suggestion for Performance Evaluation Index of Self-Adhesive Waterproofing Sheet considering Environmental Condition of Construction Field. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2011 Nov;27(11):127-34.
6. Park JS, Bae KS, Oh SK. A Study on Performance Evaluation on Self-Adhesion Aluminum Composite Waterproofing Sheet to Apply High-Frequency Induction Heating. *Proceeding of Journal of the Architectural Institute of Japan*; 2011 Jul 20; Tokyo, Japan. Tokyo (Japan): *Journal of the Architectural Institute of Japan*; 2011. p.31-2.
7. Kwon YH, Oh SK, Ahn YS. Performance Evaluation on the Waterproofing and Root Penetration Resistance Membrane Formed by Combining the Fiberglass Reinforced Plastic and the Self Adhesion Butyl Rubber Sheet for Green Roof System. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2011 Sep;27(9):117-24.
8. Shin DC, Kim SH. A Study on the Heating of Aluminum Sheet by Full-Bridge Resonant Inverter. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 2005 Jul;19(8):56-61.
9. Kwon HM, Shin DC, Kim KH, Kim YJ. A Study on the High-Frequency Resonant Inverter System for Indirect Induction Heating. *Proceeding of Journal of the Korean Institute of Power Electronics*; 2002 Jul 3-6; Taeangun, Korea, Seoul (Korea): *Journal of the Korean Institute of Power Electronics*; 2002. p.322-5.
10. Lee JH, Park CW. The Design of Series Resonant High Frequency Induction Heating System for Vari Power. *Proceeding of Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers*; 2001 Jul 4-7; Tongyounggun, Korea. Seoul (Korea): *Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers*; 2001. p.1105-7.