

농촌의 폐비닐과 폐전선을 활용한 폴리염화비닐 방수시트의 열풍용착에 의한 접착특성에 관한 연구

Study on Adhesive Properties by Hot-air Welding of Polyvinyl Chloride Waterproof Sheet Using used vinyl & used cable in Rural Area

고진수* 김병윤**
Ko, Jin-Soo Kim, Byung-Yun

Abstract

In this study, we have intended to provide the related construction manuals with technical materials and to reduce the defects in the on-site construction, with reviewing the adhesive properties of joint parts according to change of temperature and speed of hot-air sealer for the products that have been made of polyvinyl chloride(PVC) materials in the single waterproof sheet. The result from the experiment is shown as following. 1) Bond strength was shown as high as the welding speed became slower. For the hot-air welding velocity with 3~6m/min, a stable bond strength has been shown in the range of the hot-air welding temperature with 175~210℃, while it has been shown in the range of the hot-air welding temperature with 210℃, when the hot-air welding velocity is between 9~12m/min. 2) If the hot-air welding temperature is lower, the adhesive strength has been shown as higher in the section where the hot-air welding velocity is low, while the adhesive strength has been also shown as higher in the section where the velocity is fast as the hot-air welding temperature becomes higher. The highest bond strength has been shown in the velocity with 3m/min for the hot-air welding temperature with 140±10℃, which is rather low. At 175±10℃, a high bond strength has been shown in the velocity with 3~6m/min, while the high bond strength has been shown in the velocity with 6~9m/min at 210±10℃.

키워드 : 폴리염화비닐, 방수시트, 열풍용착, 접착강도

Keywords : Polyvinyl Chloride, Waterproof Sheet, Hot-air Welding, Bond Strength

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

건축공사용 방수공법에는 크게 방수시트를 사용하는 방식과 도료를 사용하는 방식으로 구분된다. 방수시트를 사용하는 방식은 공장에서 제품을 완성하여 최종 품질관리를 거쳐 현장에 납품되기 때문에 품질에 대한 결함을 최소화할 수 있다. 또한 도료를 사용하는 도막방수에서 발생하는 두께부족, 핀홀 발생 등의 결함이 거의 없는 장점을 갖는다.

반면, 현장에 납품된 방수시트를 일체화하기 위해서는 이음부의 처리를 접착제나 용접기로 상호 접합을 하는데, 이러한 경우에는 고른 접착력 기대가 어렵고, 열을 직접 시트에 가함으로써 접합부위가 변형이 생기는 등 취약한 경우가 많이 발생하는 단점이 있다.¹⁾ 따라서, 시트방수공

법으로 수밀성을 확보하기 위해 가장 중요한 공정은 방수시트 상호의 접합부이다.

건축공사에서 시트 단일로 시공하는 방수공법을 단층사양방수공법(Single Ply System)이라 하며, 보통 폴리염화비닐계(PVC) 또는 폴리올레핀계(TPO) 원료를 사용하고 두께는 1~2mm의 범위이며, 중앙에 직물을 보강한 제품을 표준으로 하고 있다. 이러한 형상의 시트를 패스너나 디스크로 바닥에 고정하고, 시트 상호간의 접합은 약 40~70mm를 겹친 다음, 용제나 열풍으로 붙이는 방식을 사용한다. 이때 열풍으로 이음부를 붙이는 열풍용착기는 대기 중의 온·습도, 열풍온도, 열풍속도에 따라 접착력에 큰 차이를 나타내므로 시공할 때 주의가 필요하다.²⁾

따라서, 본 연구에서는 농촌지역의 폐비닐과 폐전선 등

* 정희원, (주)미림 IF 대표이사, 공학박사
** 정희원, 가톨릭관동대학교 건축학부 조교수, 공학박사
(교신저자: kby@cku.ac.kr)

1) 정현상, 강효진, 송제영, 오상근, 자착식 고무화 아스팔트 방수시트의 접착특성에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회 학술발표대회논문집, 2005.05.
2) Tomas J. Taylor, Li-Ying "Tammy" Yang, Physical testing of thermoplastic polyolefin membranes and seams, Technical journal of RCI, 2010 December, pp.4~12.

의 재활용이 가능한 열가소성계 플라스틱 원료 중에서 폴리올레핀(TPO)과 염화비닐수지(PVC)를 대상으로 재활용 가능성을 확인한 선행연구³⁾를 기초로 하여, 폴리염화비닐계(PVC) 원료를 사용한 단층사양방수시스템을 대상으로 열풍용착기의 온도와 속도의 변화에 따른 이음부의 접합 특성을 검토하여, 현재까지 관련된 품질기준과 시공지침이 없는 관련 매뉴얼에 기술적 자료 제공과 현장시공에서의 결함을 줄이는 것을 목적으로 하였다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 활용가능성이 확인된 농촌지역의 폐비닐과 폐전선을 이용한 방수시트에 대한 현장적용성 검토의 실험적 연구로써, 현재까지 관련된 품질기준과 시방서가 없는 폴리염화비닐 방수시트의 열풍용착기에 의한 접착특성을 검토하였다.

열풍으로 이음부를 붙이는 열풍용착기는 대기 중의 온도, 열풍온도, 열풍속도에 따라 접착력에 큰 차이를 나타내기 때문에 먼저, 열풍용착기에서 가열된 스프링코일을 통과하여 배출되는 공기온도를 140±10℃, 175±10℃, 210±10℃로 3단계로 구분하여 각각의 용착온도에 따른 용도속도별 접착강도 특성을 분석하였다. 또한, 이음부를 용접하면서 이동하는 용착속도는 3m/min, 6m/min, 9m/min 및 12m/min로 4단계로 구분하여 각각의 용착속도에 따른 용착온도별 접착강도에 대한 실험을 실시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 플라스틱 생산 및 재활용 현황

국내 플라스틱의 총 생산량은 약 1,093만 톤으로, 이중 수출이 약 682만 톤으로 63%를 차지하며, 내수가 약 411만 톤으로 37%를 차지한다. 내수로 사용되는 플라스틱을 각 재료별로 분류하면 폴리에틸렌(PE)수지가 약 34%를 점유하며, 폴리프로필렌(PP)수지가 약 30%, 염화비닐수지(PVC)가 19%를 차지한다.⁴⁾ 5대 범용플라스틱의 국내 수요량은 다음 Fig. 1과 같다.

국내에서 사용되는 합성수지 411만 톤을 용도별로 크게 분류하면 생활계가 1,700천 톤, 농업용이 216천 톤, 산업용이 2,150천 톤으로 추정된다. 이들이 사용된 후 발생하는 폐플라스틱의 자원화는 생활계의 경우 지자체와 공제조합이, 농업용은 지자체와 자원공사가, 산업용은 산업폐기물사업자가 각각 자원화의 역할을 중점적으로 담당하고 있다. 국내에서 분리수거 될 것으로 추정되는 플라스틱양은 약 1,240천 톤(생활 및 산업계)으로 재생원료(Chip 또는 Pellet), 유화, 폐플라스틱 고�형원료(RPF) 등으로 재활용되

고 있다.

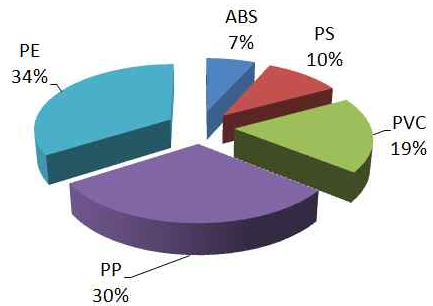


Fig. 1. Demanded Quantity of the General-purpose Plastic in the Country

아직까지 우리나라에서는 이 양의 2배정도가 분리 배출되지 못하고 소각이나 매립되는 것으로 예상되지만, 선진국의 경우에는 물질재활용 이외에도 발전이나 열 이용 등의 에너지 회수로 재활용률을 크게 향상시키고 있는 실정이다.

또한, 이 중에서 영농 폐비닐 발생량은 2006년 357천 톤에서 2007년 341천 톤, 2008년 326천 톤, 2009년 310천 톤으로 매년 감소하는 경향을 나타내었지만, 2010년에는 324천 톤 정도로 발생량이 다시 늘어나는 상황이며, 이러한 폐비닐 발생량 중에서 수거하여 재활용되는 량도 통계적으로도 약 176천 톤 정도로, 54% 정도에 그치는 것으로 조사되고 있다.⁵⁾

2.2 방수시트 부착공법

방수시트의 부착공법에는 바탕면과 시트면에 접착제를 도포하여 부착시키는 접착붙임공법으로 접착력이 우수한 장점은 있지만, 주름발생으로 에어포켓 우려가 큰 공법이다. 또한, 시트후면에 있는 자체 접착성을 통해 공사기간을 단축할 수 있는 점착붙임공법이 있지만, 이는 동절기나 저온시 접착력이 저하되는 문제가 있다.

마지막으로, 현재 가장 많이 사용되고 있는 버너 또는 토치로 시트를 직접 가열하는 용착붙임공법이 있으나, 이는 고른 접착력이 어렵고, 재질의 변화 가능성이 있는 단점이 있다.

2.3 방수재료 접합부 검사 기준

다음 Table 1은 유럽 지오텍스⁶⁾에서 제시한 방수재료의 접합부 검사항목과 방법으로, 방수시트의 종류와 시공부위, 접합방법에 따라 자세히 제시하고 있다.

3. 실험계획

3.1 사용재료

3) 고진수, 김병윤, 폐비닐과 폐전선 피복을 이용한 건축용 방수시트 개발을 위한 실험적 연구, 한국폐기물자원순환학회논문집, 2012.12.

4) 과학기술부 환경부, 산업폐기물재활용기술개발사업 폐염화비닐수지(PVC)의 재활용 기술개발, 2003.

5) 환경부, 환경통계포털, <http://stat.me.go.kr>, 2012.

6) <http://www.geotex.cl>

Table 1. Inspection Standards for Waterproofing Sheet(sample)

검사항목	검사방법		기준(예)	적용
겹침폭	측정기에 의한 측정		설계사양수치에 적합한 것	-
접합폭	측정기에 의한 측정		설계사양수치에 적합한 것	-
외관	육안 검사		벌어짐, 손상 등이 없는 것	-
수밀성	소재, 시공부위, 접합방법에 따른 선택	검사봉 삽입검사	검사봉 끝단의 침입으로 접합부의 박리가 없는 것	검사봉의 가압압력은 방수시트에 변형이 생기지 않는 정도로 한다.
		가압검사	공기의 누수가 인지되지 않거나 압력저하율이 20% 이하인 것	압력: 저탄성타입- 50kPa, 중탄성타입-100kPa, 고탄성타입-150kPa 유지시간 : 30초
		부압검사(용기방식)	기포가 발생되지 않는 것	케이지압 : 6.7kPa 유지시간 : 10초
		부압검사(테이프방식)	압력변동이 9.3kPa 이내인 것	상동
		전기적 검사	스파트가 발생하지 않는 것	전압 : 15,000V 이상
접합부 강도	측정기로 측정	측정기에 의한 측정	기준수치에 적합한 것	시험편폭 : 아스팔트계 50mm, 그 외 25mm 시험속도 : 50mm/min

(1) 방수시트

방수공사에서 단층방수시스템은 건축물의 옥상에 사용 되는 폴리염화비닐계 방수시트로 주 원료를 염화비닐을 사용하여 제작한 제품을 말한다. 제작한 시트의 총 두께는 1.5mm이며, Figure 1과 같이 시트내부는 고강도의 폴리에스터 직물로 보강한 구조를 표준으로 하였다. 보강직물은 시트의 인장강도를 증진시키고, 구조물의 수축팽창 등에 대응하는 기능을 한다. 본 실험에 사용한 방수시트의 물리적 특성실험은 해당 KS규격⁷⁾에 준하여 사전에 실시하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

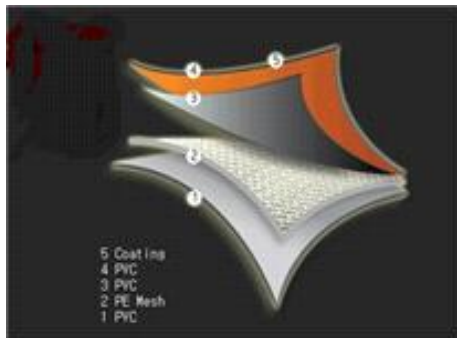


Figure 1. Section of Waterproof Sheet

(2) 열풍용착기

방수공사에 사용하는 열풍용착기는 열가소성의 재료로 제작된 방수시트를 고온의 열로 녹여 붙이는 기계로, 노즐을 통해 고온의 열풍을 불어내 접합하고자 하는 임의의 부위를 가열해 녹여 접합하는 방식이다.⁸⁾

7) 산업통상자원부 기술표준원, 한국산업규격, KS F 4911(합성 고분자계 방수 시트), KS F 4917(개량 아스팔트 방수 시트), 2012.

8) Stanley Graveline, Welding of thermoplastic roofing membranes subjected to different conditioning procedures, Journal of ASTM International. 2011 June:4(8)

Table 2. Characteristics of Waterproof Sheet

Experiment Item	Unit	Experiment Result	Experiment Method	
Tensile Strength	L	N/cm ²	1,540	KS F 4911 : 2012
	W	N/cm ²	1,363	KS F 4911 : 2012
Elongation Percentage	L	%	239	KS F 4911 : 2012
	W	%	205	KS F 4911 : 2012
Tearing Strength	L	N/cm	829	KS F 4911 : 2012
	W	N/cm	903	KS F 4911 : 2012
Dimensional Stability	L	%	0.59	KS F 4917 : 2012
	W	%	0.13	KS F 4917 : 2012

Figure 2의 열풍용착기는 방수공사에서 이음부를 견고하고 신속하게 처리하는데 유용하게 사용되는 기계로, 제품을 대량으로 신속히 가공처리가 가능하다. 또한 일반 장비와 달리 방수시트를 움직일 필요 없이 바탕면에 그냥 두고 접착하고, 용착도 고주파 웨르다에 비해 고속으로 가능하다. 다음 Table 3에 본 실험에 적용한 열풍용착기의 사양을 나타내었다.

Table 3. Specifications of Hot-air Welding

Standard Voltage	200 V
Standard Electric Power	3.3 KW
Temperature	20~620 ℃
Capacity	400~600 l/min
Weight	19.3 Kg
Size	400x375x210
Hot-air Welding Velocity	1.2~15 m/min
Overlap Width	20~40 mm

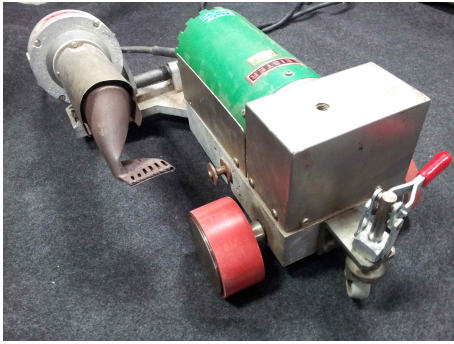


Figure 2. Hot-air Welder

3.2 실험방법

(1) 용착온도에 따른 접합특성

열풍용착은 가열된 스프링코일을 통과한 뜨거운 공기를 접착하고자 하는 부위에 분사시켜 접착하는 방식이므로, 코일을 통과하여 노출에서 배출되는 시점의 공기온도를 Table 4와 같이 $140\pm 10^{\circ}\text{C}$ 에서 $230\pm 10^{\circ}\text{C}$ 로 조절하여 시트를 접착하였다.

Table 4. Hot-air Welding Temperature

Section	Temperature($^{\circ}\text{C}$)
1	140 ± 10
2	175 ± 10
3	210 ± 10

(2) 용착속도에 따른 접합특성

용착속도란 방수시트의 이음부를 용접하는 자동용착기가 용접하면서 이동하는 속도를 말하며, 속도의 기준은 1분을 기준으로 몇 미터를 이동하는가이다. 이 용접속도가 너무 빠르거나 느리면 용접불량의 원인이 되므로 적절한 속도를 유지해야 한다.

용접속도는 Table 5와 같이 4단계로 구분하여, 그 접합특성을 실시하였다.

Table 5. Hot-air Welding Velocity

Section	Velocity (m/min)
1	3
2	6
3	9
4	12

(3) 접합강도 측정방법

용착온도에 따른 접합특성은 용착속도를 Table 5에 제시된 4단계로 고정하고, 각 단계에서 용착온도를 Table 4에 제시된 단계로 변화시키면서 용착속도별 용착온도 변

화에 따른 접합강도를 측정하였다.

용착속도에 따른 접합특성은 용착온도를 Table 4에 제시된 3단계로 고정하고, 각 단계에서 용착속도를 Table 5에 제시된 단계로 변화시키면서 용착온도별 용착속도 변화에 따른 접합강도를 측정하였다.

시험편은 Figure 3과 같이 40mm 겹쳐서 접합부를 열용착으로 접합한 후 표준상태에 24시간 놓아 둔 다음에 Figure 4와 같이 기준선 및 눈금을 표시하고, 양 끝 15mm를 제외한 중앙부로부터 나비 25mm의 시험체 3개를 절단하여 Figure 5와 같이 만능시험기(UTM)를 이용하여 접합강도를 측정하였다.

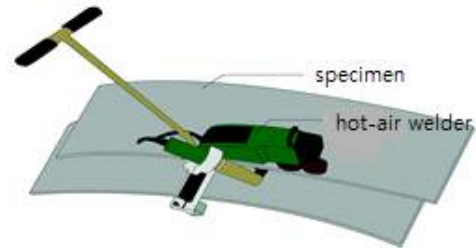


Figure 3. Making Method of Specimen

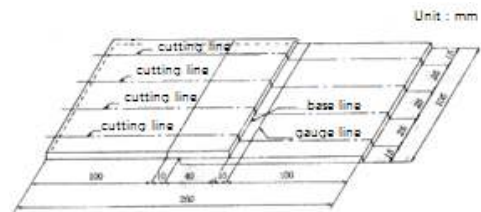


Figure 4. Cut Method of Waterproof Sheet

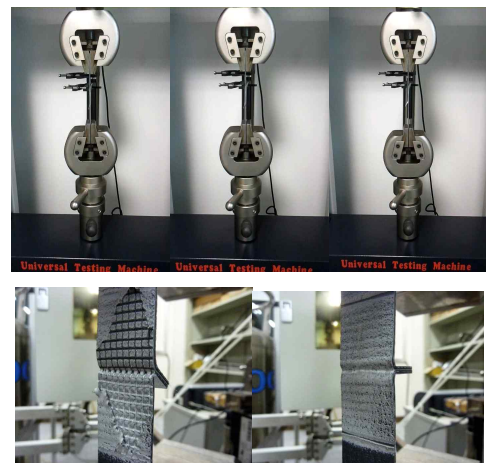


Figure 5. Measurement Method of Bond Strength

4. 실험결과

4.1 용착온도에 따른 접합특성

용착온도에 따른 접합특성은 용착속도를 Table 5에 제시된 단계로 고정하고 용착온도를 Table 4에 제시된 단계로 변화시키면서 접합강도의 변화를 측정된 결과이다.

다음 Figure 6은 용착속도를 3m/min로, 즉 용착속도를 분당 3m로 고정하고, 용착온도를 140±10℃, 175±10℃, 210±10℃로 변화시켜 이음부를 열풍용접한 시험체의 접합강도이다. 용착온도가 높을수록 접합강도도 높아지는 경향을 나타내는데 용착온도가 140℃에서는 접합강도가 현저히 낮아진 반면 용착온도 175℃와 210℃에서는 높은 접합강도를 나타냈다.

이는 KS F 4911(합성 고분자계 방수시트)에 명시되어 있는 방수시트의 인장강도 기준인 10N/mm² 이상을 모두 만족하는 강도로 나타났다.

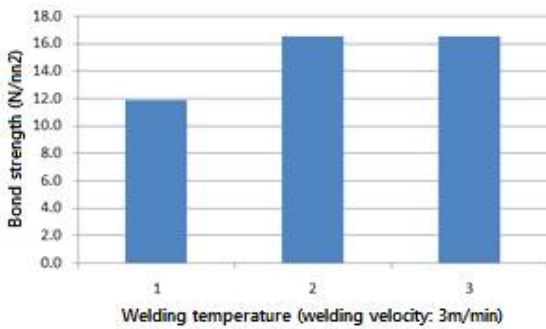


Figure 6. Bond Strength of Hot-air Welding Velocity(3m/min)

다음 Figure 7은 Figure 6의 그림보다 용착속도가 빠른 6m/min 즉, 분당 6m의 용착속도를 고정하고 용착온도를 140, 175, 210℃로 변화시키면서 이음부를 접합한 시험체의 인장강도이다.

용착속도가 조금 빨라진 조건에서도 용착온도가 높을수록 접합강도도 높아지는 경향을 나타내고 있다. 용착온도 140℃에서는 6m/min로 다소 빠른 용착속도에서는 접합강도가 현저히 낮아지는 결과를 나타낸 반면 용착온도 175℃, 210℃에서는 유사한 경향을 나타냈다.

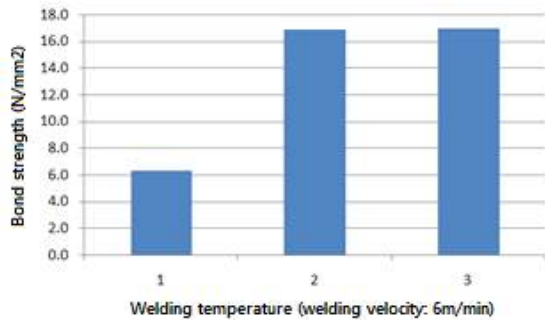


Figure 7. Bond Strength of Hot-air Welding Velocity(6m/min)

다음 Figure 8은 용착속도를 9m/min 즉, 용착속도를 분당 9m로 고정하고 용착온도를 변화시키면서 이음부를 접합한 시험체의 인장강도이다. 앞의 용착온도 210℃에서 용착속도 3m/min, 6m/min의 인장강도와 유사한 것으로 나타났으나, 그 외의 용착온도에서는 현저히 낮아 KS의 인장강도 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 특히, 140±10℃에서는 접합이 되지 않는 것으로 나타났다.

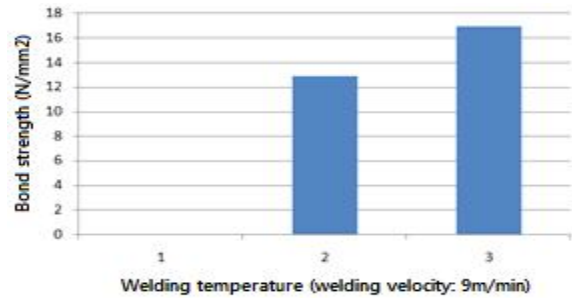


Figure 8. Bond Strength of Hot-air Welding Velocity(9m/min)

다음 Figure 9는 용착속도 12m/min로, 즉 용착속도가 가장 빠른 분당 12m로 고정하고 용착온도를 변화시키면서 이음부를 접합한 시험체의 인장강도이다.

이 조건에서는 용착온도 140±10℃와 175±10℃에서는 접합이 되지 않으며, 210±10℃에서만 접합강도를 측정할 수 있었지만, 이전의 속도에 비해 13%정도 저하되는 것으로 나타났다.

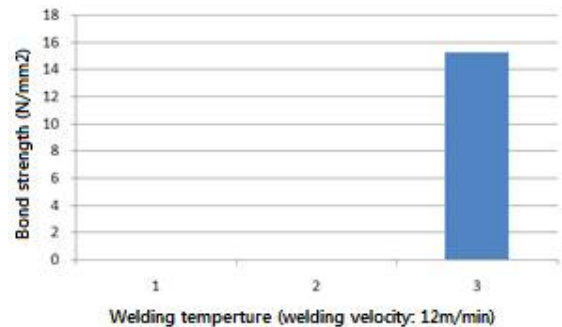


Figure 9. Bond Strength of Hot-air Welding Velocity(12m/min)

본 실험에서는 용착속도가 느릴수록 접합강도는 높아지고, 용착속도가 빨라질 때는 높은 온도에서 접합강도가 확보되는 것으로 나타났다. 용착속도가 분당 3~6m인 경우는 용착온도 175~210℃의 범위에서 15N/mm 이상의 안정적인 접합강도를 나타냈고, 용착속도가 분당 9~12m인 경우는 용착온도 210℃의 범위에서 안정적인 접합강도를 나타냈다.

4.2 용착속도에 따른 접합특성

용착속도에 따른 접합특성은 용착온도를 Table 4에 제시된 단계로 고정하고, 각 단계에서 용착속도를 Table 5에 제시된 단계로 변화시키면서 접합강도를 측정하였다.

Figure 10은 용착온도를 140±10℃로 고정한 상태에서 용착속도를 3m/min, 6m/min, 9m/min, 12m/min로 변화시키면서 이음부를 열풍용접한 시험체의 접합강도 측정결과이다. 용착온도가 낮은 140±10℃의 조건이므로 전체 접합강도는 낮은 경향을 나타내고 있다. 여기서는 용착속도가 빠를수록 접합강도도 낮아지는 경향을 나타내고 용착속도 9, 12m/min에서는 접착이 되지 않는 것으로 나타났다.

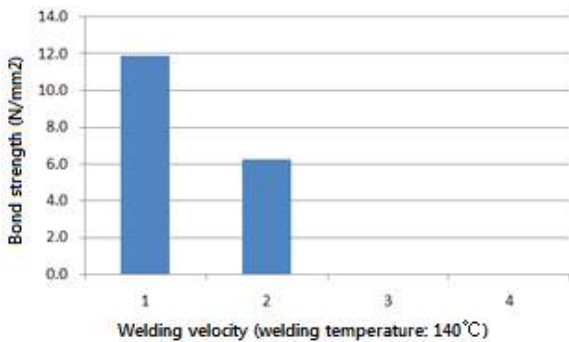


Figure 10. Bond Strength of Hot-air Welding Temperature(140℃)

Figure 11은 용착온도를 175±10℃로 고정한 상태에서 용착속도를 3m/min, 6m/min, 9m/min, 12m/min로 변화시키면서 이음부를 열풍용접한 시험체의 접합강도 측정결과이다. 140℃의 용착온도보다 높은 175±10℃의 조건이므로 접합강도는 다소 높아지는 경향을 나타냈다. 용착속도 3, 6m/min에서는 높은 접합강도를 나타내고, 9m/min의 용착속도에서는 140℃에 비해 접합은 되지만, 다소 낮은 접합강도를 나타냈고, 12m/min의 용착속도에서는 접합이 되지 않는다.

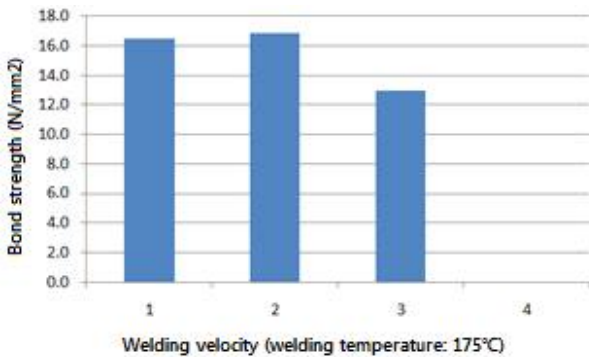


Figure 11. Bond Strength of Hot-air Welding Temperature(175℃)

다음 Figure 12는 용착온도가 가장 높은 온도인 210±10℃로 고정한 상태에서 용착속도를 3m/min, 6m/min, 9m/min, 12m/min로 변화시키면서 이음부를 열풍용접한 시험체의 접합강도이다. 용착온도가 가장 높은 조건에서 접합강도도 높은 경향을 나타냈다. 용착속도 구분 2, 3에서 높은 접합강도를 나타내고, 용착속도 1은 용착온도가 낮은 단계에서 보다 강도가 낮아졌으며, 용착속도 4는 용착온도 1~2에서 접착되지 않았으나 낮은 수준의 접합강도를 나타냈다.

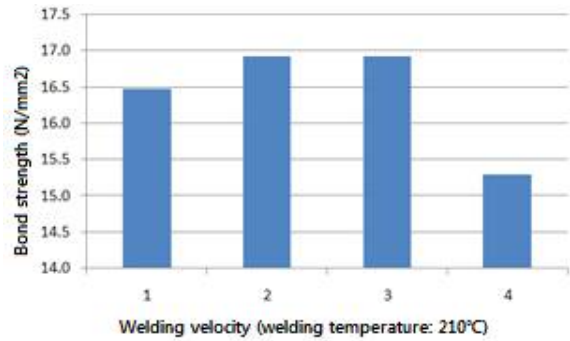


Figure 12. Bond Strength of Hot-air Welding Temperature(210℃)

본 실험에서 용착온도가 낮으면 용착속도도 낮은 구간에서 접착력이 높고 용착온도가 높을수록 용착속도도 빠른 구간에서 접착력이 높게 나타났다. 용착온도가 140±10℃에서는 분당 3m의 속도에서 가장 높은 접합강도를 나타냈으나 다소 낮은 값이다. 용착온도 175±10℃에서는 분당 3~6m의 속도에서 높은 접합강도를 나타냈고, 210±10℃에서는 분당 6~9m의 속도에서 높은 접합강도를 나타냈다.

5. 결 론

농촌지역의 폐비닐과 폐전선 등의 재활용이 가능한 열가소성계 플라스틱 원료 중에서 폴리올레핀(TPO)과 염화비닐수지(PVC)를 대상으로 재활용 가능성을 확인한 선행 연구를 기초로 하여, 폴리염화비닐계(PVC) 원료를 사용한 단층사양방수시스템을 대상으로 열풍용착기의 온도와 속도의 변화에 따른 이음부의 접합특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

첫째, 용착속도가 늦을수록 접합강도는 높은 경향을 나타냈다. 용착속도가 분당 3~6m인 경우는 용착온도 175~210℃의 범위에서 안정적인 접합강도를 나타냈고, 용착속도가 분당 9~12m인 경우는 용착온도 210℃의 범위에서 안정적인 접합강도를 나타냈다.

둘째, 용착온도가 낮으면 용착속도도 낮은 구간에서 접착력이 높고 용착온도가 높을수록 용착속도도 빠른 구간에서 접착력이 높게 나타났다. 용착온도가 140±10℃에서는 분당 3m의 속도에서 가장 높은 접합강도를 나타냈으나 다소 낮은 값이다. 용착온도 175±10℃에서는 분당 3~6m의 속도에서 높은 접합강도를 나타냈고, 210±10℃에서는 분당 6~9m의 속도에서 높은 접합강도를 나타냈다.

셋째, 현재 국내에는 열풍용착에 의한 방수시트의 품질기준과 시공지침이 없고, 유럽 일부 국가에서 제안해 놓은 품질기준만 있는 수준으로 다양한 실험적 연구를 통한 매뉴얼 작성이 필요할 것으로 판단된다.

따라서, 농촌지역의 폐비닐과 폐전선 피복을 이용한 방수시트 재료의 물리적, 역학적 특성과 시공성은 확인이 되었으며, 향후 지속적인 연구를 통하여 다양한 방법의 현장적용성 및 경제성 평가가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정현상, 강효진, 송제영, 오상근, 자착식 고무화 아스팔트 방수시트의 접착특성에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회 학술 발표대회논문집, 2005.05.
2. Tomas J. Taylor, Li-Ying "Tammy" Yang. Physical testing of thermoplastic polyolefin membranes and seams, Technical journal of RCI, 2010 December, pp.4~12.
3. 고진수, 김병윤, 폐비닐과 폐전선 피복을 이용한 건축용 방수시트 개발을 위한 실험적 연구, 한국폐기물자원순환학회논문집, 2012.12.
4. 과학기술부 환경부, 산업폐기물재활용기술개발사업 폐염화비닐수지(PVC)의 재활용 기술개발, 2003.
5. 환경부, 환경통계포털, <http://stat.me.go.kr>, 2012.
6. <http://www.geotex.cl>
7. 산업통상자원부 기술표준원, 한국산업규격, KS F 4911(합성고분자계 방수시트), KS F 4917(개량 아스팔트 방수시트), 2012.
8. Stanley Graveline, Welding of thermoplastic roofing membranes subjected to different conditioning procedures, Journal of ASTM International. 2011 June;4(8)
9. Newman EJ, Stark TD, Rohe FP, Diebel P, Thirty-Year durability of a 20-Mil PVC Geomembrane. Journal of vinyl & additive technology. 2004;10(4); 168-173
10. 정현상, 박진상, 오상근, 임남기, 콘크리트 구조물의 환경조건에 따른 자착형 방수시트의 적용성 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, v.26 n.12, 2010.10.
11. 이선규, 송제영, 최은규, 김승수, 오상근, 보강직물 직조방식에 따른 재생PVC 방수시트의 물성에 관한 기초적 실험연구, 한국건설순환자원학회 학술발표 논문집, v.13 n.1, 2013.04

접수일자 : 2014. 10. 11

심사완료일자 : 2014. 11. 20

개재확정일자 : 2014. 11. 23