

樂器 響板材의 최적공진비에 미치는 接着劑의 영향*1

李 華 珩*2

Effect of Adhesives on the Best Acoustic Radiation Ratio of Sound board for Musical Instrument*1

Hwa-hyoung Lee*2

ABSTRACT

This study was carried out to analyze the ultrasonic properties of sound board which was glued with various adhesives and to evaluate which adhesive is the best for the acoustic radiation of the musical instrument. The results are as follows:

1. Animal glue is the best adhesive for the sound board with respect to the acoustic radiation ratio of the musical instruments. Epoxy resin and polyvinyl acetate resin are the next group, urea formaldehyde resin and Hot melt are the third group, polychloroprene(CR) resin is the lowest.
2. Epoxy resin, animal glue and Titebond(PVA) give the highest shear strength and the highest wood failure relatively. Hot melt and polychloroprene(CR) resin do not meet the standard because of low wood failure.

Key words : Acoustic radiation ratio, Sound board, Adhesives, musical instrument

*1 이 연구는 충남대학교 학술진흥장학재단의 지원에 의하여 수행되었음

*2 충남대학교 임산공학과 Department of Forest Products, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

1. 서 론

악기용재로서 사용되는 목재는 크게 두 가지 유형으로 구분된다. 그 첫째는 목재 자신이 발음체가 되어 음색을 결정하는 경우이고, 둘째는 바이올린, 첼로, 기타, 거문고, 가야금, 피아노 등에서처럼 약한 현의 진동을 공명시켜 주는 향판의 역할을 하는 경우이다. 목질 향판재의 경우 예로부터 악기제조업자들은 우수한 향판재를 고르는 방법으로 경도법을 사용하였는데 목재가 가벼우면서 맑고 투명한 소리를 내는 목재를 선택하였다. Horig(1929)는 목질재료가 금속 유리등 다른 재료와 달리 탄성계수 대 밀도 비율(E/ρ)이 극히 높은 것을 연구, 보고하였으며 악기용재의 재질지표로서 음향방사에 의한 감쇄율을 이용 $\delta r = 5 \times 10^{-8} (E/\rho)^{1/2}$ (Hahenmann 1917)식이나 $(E/\rho)^{1/2}$ (Andreev 1937)식을 이용하거나 내부손실이 적고 음향방사감쇄율이 크면 좋으므로 이들 관계를 이용 K 값을 제안 $K = (E/\rho)^{1/2} / \tan \delta$ 또는 $K = Qc/\rho$ (Korsakov, D'Yakonov 1952)를 활용하는 제안이 있었다. 결국 진동적 성질에 관한 기본적인 물리량으로 E/ρ , 내부손실 Q' 을 들 수 있고 목재에서는 양자 사이에 높은 부의 상관관계 존재한다. (Ono, Norimoto 1982). 섬유방향의 E/ρ 과 Q' 사이에는 악기용 향판재를 중심으로 많은 보고가 있으며 (片岡, 小野 1976), 실용적으로 피아노 향판재의 선정 평가에는 악기 향판용재의 평가 및 선별에 사용되는 방법으로 $Q'/E/\rho$ (Ono, 1983)과 Q'/E (則元, 1982)의 식이 있으나 피아노 향판재인 가문비 나무의 경우 E/ρ 과 Q'/E 간에 극히 높은 상관관계가 있기 때문에 E/ρ (탄성계수/밀도)를 사용하여도 같은 결과가 나타난다고 보고하고 있으므로 (矢野, 1985)이 원리를 사용하였고 음향방사는 공진비 (V/ρ) (Holz, 1984, 1995) (이 1997)를 계산하여 평가하였다.

지금까지 많은 연구자들이 목질재료에 대한 비파괴시험을 위하여 접착제를 사용한 목질판상제품의 acoustic emission을 연구한 바 있으나 다만 악기의 대량생산을 위한 향판재의 대체재 연구로 Heines D. (1975, 1980)와 Holz, D. (1979)가 합판으로도 향판재가 가능한가에 대한 연구를 주파수공명

방법(FRM)으로 하여 가문비 원목의 범주 안에 들어감을 밝힌 바 있다. 祖父江信夫(1981)도 목질재료의 진동특성에 미치는 접착제의 영향에 대하여 보고한바 있다. 원목과 목질재료의 기본적 차이는 접착층이 밀도를 높혀 영계수를 증가시키는데 있다. 합판과 같이 3매의 경우 3층으로 접착층이 존재하게 되나 그러나 원목의 향판재를 사용하는 경우도 불가피하게 악기 제조시 사용되는 접착제에 따른 음향적 성질 비교 평가에 관한 연구보고는 거의 전무하다.

따라서 본 연구는 악기 제조시 목재 접합 부위가 음향적 성질에 영향을 주게 되므로 접착제의 종류에 따라 적합한 향판재의 음향적 성질을 구명하고자 악기용 접착제로써 어떤 접착제가 좋은 악기를 제조할 수 있는지 초음파적 특성을 조사하고 접착 전후의 공진비를 계산하여 접착제가 향판재에 미치는 효과를 구명하여 그 기초적 성질을 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1.1 향판재 공시재료

향판재(길이 90cm, 두께 1cm, 폭 15cm) 공시재료는 삼익악기(주)로부터 분양받은 북미산 시트카가문비나무(Sitka spruce, *Picea sitchensis* Carr.)로 수령이 217-278(年輪密度 14.46-18.53)이고 밀도는 0.43-0.46, 함수율은 10.04%-12.5% 범위였다.

2.1.2 접착제

악기의 대량 생산체제를 갖춘 악기회사에서는 요소수지. 폴리비닐아세테이트에말론(PVC)접착제가 주로 사용되므로 현장에서 사용되는 요소수지(증발고형분 60%)와 오공본드의 PVC에말론접착제(증발고형분 50%)를 사용하였고 수제의 경우 수입산 폴리비닐아세테이트에말론 접착제(미산 Tite bond, 증발고형분 55%)와 전통적으로 사용되는 아교를 사용하므로 이를 포함하였다. 아울러 이들 접착제와 비교하기 위하여 시중에서 판매하는 polychloroprene(CR) 고무접착제(증발고형분 20%), Epoxy 수지, Hotmelt(EVA)접착제를 사용하여 비교하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 음속측정 및 음향방사

초음파에 의한 음속측정은 영국 CNC Electronic사의 PUNDIT(Portable ultrasonic nondestructive digital indicating tester)를 사용하여 한 시편(크기 5cm x 5cm x 1cm)당 시간(μs)과 음속($V=L/\mu s$)을 50개씩 자동 측정 산출하여 데이터로 고에 장입하였다. 음향방사(acoustic radiation)는 공진비(resonant ratio: V/p)(Holz,1984)를 계산하여 음향적 성질을 평가하였다. 접착 전에 서로 접착될 향판재의 각각(56개)의 밀도와 음속을 미리 측정하고 방사단면(면적 5cm x 5cm, 두께 1cm)에 일면도포하여 접착한 후에 다시 밀도와 접선방향의 음속을 측정하여 공진비를 계산하고 접착 전후의 공진비를 서로 비교하여 접착제가 향판재에 미치는 효과를 평가하였다.

2.2.2 밀도 및 함수율 측정

밀도는 기건밀도, 함수율은 전건법을 택하여 측정하였다.

2.2.3 접착공정 및 접착력 측정

접착제별로 서로 다른 4개의 향판재로부터 접착을 4반복 실시하였다. 반경단면에 일면도포 하였으며 도포량은 접착제의 종류에 따라 170-200 g/m²(표 참조)으로 도포하였다. 접착력은 KS F (3118-1989)의 블록전단시험을 행하였다.

2.2.4 통계처리

접착제별 향판재의 접착을 위하여 4반복 제조를 실시하였다. 접착강도와 음향적 특성의 그룹간의 유의성 검정을 위하여 Duncan의 신다중검정을 행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 접착전후의 공진비의 비교

7개 종류의 접착제로 피아노 향판재인 시트카가 문비나무를 경단면 끼리 접선방향으로 접착하였으며, 접착하기 전 서로 접착할 두 개의 향판재의 공

진비(Acoustic radiation: V/p)의 평균과 접착한 후 향판재의 공진비를 비교한 결과는 표1 및 그림1과 같이 유의성이 매우 높게 나타났다. 접착제 분자가 목재분자와 연결되는 접점과 그 수 접착제의 접착층의 두께, 접착제의 밀도와 자체가 전달하는 음향전달속도 등 많은 인자가 적용될 것이나 결국 최종적으로 접착전보다 접착 후 공진비가 늘어난 것은 향판재의 음향적 성능을 증가시키는 쪽으로 역할을 함으로써 악기에서 접착제가 작용할 때 공진비가 늘어난 접착제는 목재악기용 접착제로서 우수한 접착제라고 할 수 있을 것이다. 따라서 아교(2.079)가 가장 좋은 향판재용 접착제로서 밝혀졌고 에폭시수지와 폴리비닐아세테이트에말론접착제 계통이 같은 그룹으로 동일한 효과를 갖고 있는 것으로 나타났다. 요소수지(UF)(1.264)와 Hot melt(EVA)(1.224)가 그 다음 그룹이며 고무접착제(CR)(0.997)가 가장 효과가 떨어지는 것으로 나타났다. 요소수지(UF, 1.264)는 가격을 고려한다면 비교적 사용할 수 있는 접착제이나 우수하다고는 할 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 옛날부터 수제 바이올린이나 기타의 제조시 아교를 사용하는 것이 고착이 빠르고 가열에 의하여 악기의 분해와 수선에 도움을 줄 뿐만 아니라(이,1989) 음향적 성능 면에서도 우수하다는 것을 나타내고 있으며 다음 보고에는 아교의 종류에 따른 결과를 보고하도록 할 것이다.

Table 1. Comparison of Acoustic radiation (m⁴/kg · s) before and after Adhesion

Adhesives	Ratio of Acoustic radiation (After adhesion/ before Adhesion)	Duncan's test F=30.695**
Hot melt(EVA)	1.224±0.048	b
CR	0.997±0.035	a
Tite Bond(PVA)	1.785±0.091	c
Epoxy	1.640±0.143	c
PVA	1.682±0.090	c
UF	1.264±0.152	b
AG	2.079±0.256	d

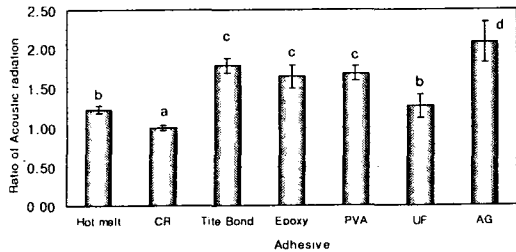


Fig 1. Acoustic radiation Ratio of before to after Adhesion

4. 2. 접착력

향판재를 경단면 끼리 접선방향으로 접착한 접착제별 접착력과 목파율을 보면 표2와 같다. 접착제간 유의차는 Anova 결과 F치가 1.136*으로 5%에서 유의성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 비교적 우수한 접착력과 목파율을 보인 접착제는 에폭시수지와 아교, 폴리비닐아세테이트에말론계 접착제인 미국산 Titebond이고 그 다음은 요소, 국산초산비닐수지(오공)였다. KS 규격에 따르면 가문비나무의 경우는 침엽수B군에 속하며 전단강도가 55kgf/cm²이상 목파율은 60%이상을 요구하므로 고무접착제와 Hot melt는 목파율이 각기 7.5%, 12.5%로서 매우 낮으므로 KS규격을 만족시키지 못하였다. 일반적으로 많은 목재접착제 중에서 어떤 종류를 선택할 것인가는 다음의 4가지 요소를 고려하여 결정한다. 즉 목재접착제는 요구되는 강도적 성질인 접착력, 접착층의 내구성, 작업성질 또는 공용특징, 접착시 비용과 접착제 가격에 의하여 결정된다. 목재나 목질재료를 제조할 경우는 적절한 가격에 강력하게 접착하여 높은 강도를 오래도록 유지하는 것이 바람직하다. 집성재나 건축외장재료의 접착제는 페놀수지나 레조르시놀계 접착제이고, 옥내사용의 합판이나 PB, MDF 및 목질재료는 아미노계수지가 주로 사용되며 가구, 건구 등의 목공용 접착제로는 Hot melt나 비닐계 접착제가 주로 사용된다. 그러나 악기 제조의 경우 악기접착제는 우선 악기의 음향적 성질에 좋은 영향을 주어야하며 평상시에는 우수한 접착력을 갖고 있어야 하나 보수시에는 접착제가 잘 분리되어 주어야한다. 악기 종류에 따라 예를 들면 피아노

향판재는 향판의 보수가 거의 없기 때문에 강력하게 접착되고 오래 유지하는 것이 바람직하며 이를 위해서는 에폭시수지나 비닐계수지가 가장 좋은데 경제적으로는 현장에서 현재 사용하는 요소수지를 택하는 경우도 한 방법이라고 할 수 있을 것이다. 대중용 저가제품인 기타 제조를 위해서는 향판재를 통판이 아니고 합판으로 제조하게 되는데 이 때는 보수와 상관없이 강력하게 내구성이 오래도록 잘 접착되어야 한다. 따라서 이 때는 요소나 요소메라민공축합수지가 적합하며 현장에서 사용하는 현재의 방법이 옹계 적용되고 있다고 판단된다. 그러나 값비싼 수제 바이올린이나 기타의 경우 향판재는 통판으로 사용되며 접착력과 내구성도 좋고 음향적 성질도 좋고 보수하기도 좋으려면 결국 현재로는 아교가 가장 좋은 목재악기용 접착제라고 할 수 있을 것이다. 이 점은 스트라디바리우스바이올린이나 명기의 경우 아교를 사용하고 있고 현재 고가의 수제의 기타나 목재악기를 제조하는 경우 아교를 사용하고 있는 것은 우연이 아님을 그림1은 보여주고 있다. 현재 고가의 바이올린이나 기타 제조시 사용되는 수입산 비닐계수지는 작업성이 좋아 편하게 사용되고 있으나 접착강도면이나 음향학적으로 보면 국산 비닐수지와 같은 구름으로 평가되었으며 이보다는 작업은 조금 불편하여도 음향적 성질면에서는 아교가 제일 좋은 향판용 접착제라는 것을 결론 내릴 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 악기 제조시 목재를 접합하는 부위가 음향적 성질에 영향을 주게 되므로 접착제의 종류에 따라 적합한 향판재의 음향적 성질을 구명하고자 악기용 접착제로써 어떤 접착제가 좋은 악기를 제조할 수 있는지 초음파적 특성을 조사하여 접착전후의 공진비를 계산하여 접착제가 향판재에 미치는 효과를 구명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 아교가 공진비와 관련하여 가장 좋은 향판재용

Table 2. Block shear test of adhesion

()는 wood failure(%)

Adhesives	Shear strengths(kgf/cm ²) Mean ± SD	도포량 (g/cm ²)
CR	88.25±18.39(7.5±9.57)	180
Hot melt (EVA)	87±20.70(12.5±18.93)	180
Tite Bond (PVA, USA)	105.5±11.27(87.5±15)	200
Epoxy	111.75±22.63(90±20)	170
UF	101.5±25.37(97.5±5)	200
PVA(korea)	97±7.44(92.5±9.57)	200
AG	110±17.44(92.5±9.57)	200

접착제로서 나타났고 에폭시수지와 폴리비닐 아세테이트에말론접착제 계통이 다음 그룹으로 요소수지(UF)와 Hot melt가 그 다음 그룹이며 고무접착제(CR)가 가장 효과가 떨어지는 것으로 나타났다.

2) 비교적 우수한 접착력과 목파울을 보인 접착제는 에폭시수지와 아교, 폴리비닐아세테이트에말론계 접착제인 미국산 Titebond이고 고무접착제(CR)와 Hot melt는 목파울이 낮아 불합격이었다.

4. 참 고 문 헌

1. 淺野猪久夫 1982. 木材の事典. 朝倉書店 p143.
2. Bucur, Voichita 1995. Acoustics of Wood. CRC Press 284pp.
3. Haines,D.(1980). On musical instruments wood. II. Surface finishes, plywood, light and water exposure. Catgut Acoust. Soc. Newslett. No.33, 19-23
4. Holz, D. 1979. Untersuchungen zum Einfliss von Klebfugen und schichten auf die akustisch wichtigen Eigenschaften von Resinanzplatten aus Voll-und Lagenholz. Holztechnologie. 20(4):201-206
5. 李華珩. 魏翕, 洪秉和, 李元用. 朴相珍. 1989. 木材物理 및 力學. 향문사. 377pp.
6. 이화형. 1997. 가문비나무의 연륜폭 광협에 따른 성숙재와 미성숙재의 초음파적 특성. 한국가구학회지. 8(1.2):63-71
7. 則元京. 1982. 木材學會誌. 28:407
8. Ono, T. and Norimoto, M. 1983. Study on young's modilus and interfriction of wood in relation to the evaluation of wood for wood musical instruments. Jpn. J. Appl. Phys. 22(4): 611-614.
9. 祖父江信夫, 岩 古男. 木林誌. 27, 597(1981)