

바이올린 브릿지의 음향적 특성 및 SDM 시뮬레이션에 관한 연구*¹

鄭雨陽 · 朴善行*²

Studies on the Acoustical Characteristics of Violin Bridges and SDM Simulation*¹

Woo-Yang Chung · Sun-Heang Park*²

ABSTRACT

Violin bridge blank cut from maple wood with good quality has typical pattern of the radial direction in the side edge with minimal dispersion. This experimental study was designed and carried out to examine the effect of the physical and macroscopical characteristics on the compressive creep of violin bridge blank which had been imported from European manufacturer. This research arose from the idea that the maple solid wood with heterogeneous wood density and ray direction in the side edge would have uneven rheological property of violin bridge blank which is supposed to be pressed by the tension of strings. Experimentally, the compressive creep of bridge blank became smaller with the higher density of imported maple wood and showed clear density-dependence for the duration of load under the string tension of 5 kgf. Every bridge blank showed the behavior of primary creep stage(stress stabilization) having logarithmic regression creep curve with high correlation coefficient under the designed stress level. Even though the relationship between compressive creep and ray direction on the side edge of bridge was not so clear contrary to expectation, we could conclude that wood density and ray direction should be the quality decisive factors affecting the acoustical characteristics and performance of the bridge, the core member of violin-family bow instruments.

Keywords : violin, bridge, blank, wood density, maple, ray direction, resonant frequency,
string tension, annual ring density, compressive creep behavior

* 1 본 연구는 1999학년도 全南大學校 學術研究費 支授에 의해 수행되었음.

* 2 全南大學校 山林資源造景學部 Division of Forest Resources & Landscape Design, Chonnam National University, Gwangju 200-757, Korea

1. 緒 論

바이올린係 현악기에 사용되는 브릿지의 기능은 연주된 현에 의해 발생된 振動에너지를 가급적 내부손실 없이 前板(front plate)에 전달함으로써 해당악기로 하여금 연주자가 원하는 音質을 발생하도록 함에 있으며 바이올린의 部品들(parts) 中 최종음질에 미치는 영향은 매우 커서 그 중요도가 일반적으로 알려진 것보다는 훨씬 큰 중요한 부품이다. 이 브릿지는 현의 引張에 의한 垂直압축력(static force), 연주時 활(bow)의 작용으로 인한 좌우진동(rocking in plane) 그리고 bassbar 및 sound post에 작용에 의한 비틀림 및 휨(twisting and bending out of plane)등 매우 다양한 진동특성을 지니게 되며 브릿지의 共振力學的 거동은 본질적으로 素材의 구조적 및 물리적 특성에 의해 주된 영향을 받게 될 것이므로 이에 대한 정확한 구명은 고가로 수입중인 악기 부재의 국산재 대체개발을 위한 기초작업이 될 것이다.

일반적으로 연주자의 조율(tuning)과정에서 발생된 바이올린 絃의 인장력을 5 kgf라 하면 그것은 현의 끝에 5 kgf의 무게를 가진 振子가 매달려 있을 때 발생하는 絃인장력을 의미하는 바, 일단 이 絃인장력은 구조학적으로 브릿지에 수직 압축력(vertical compressive force)을 작용시킬

것이며 이로 인해 브릿지에는 압축(壓縮) 크리이프(compressive creep)가 발생하게 된다. 이 때, 브릿지에 과도한 크리이프가 발생하게 되면 브릿지는 絃의 진동에너지를 前판(top plate)에 충분히 전달하지 못하고 자신이 흡수하는 결과를 빚게 되므로 결과적으로 연구특성의 질적 저하, 즉 연주 순발력의 부진 및 음량의 감쇠(減衰)등 치명적인 음질 손상을 초래하게 된다. 따라서 소재의 재질 및 구조학적 특성이 브릿지의 크리이프 특성에 미치는 영향은 수입 브릿지를 사용한 국내 현악기 제조공장의 품질관리 뿐 아니라 국산재를 이용한 현악기소재의 개발을 위해서도 반드시 구명되어야 할 사안이다.

이에 본 연구진은 브릿지 소재의 물리학적 특성인 素材비중(무게) 및 측면에서의 방사조직(ray)의 각도에 의한 共振주파수의 변화에 대한 연구를 수행, 발표한 바 있으며(未발행), 그 후속으로 이들 물리학적 음질결정품질인자들이 브릿지 상의 絃인장력에 의한 압축 크리이프 거동에 미치는 영향을 구명하고자 하였다. 즉, 위에서 언급한 브릿지 原材(bridge blanks)의 구조, 물리학적 차이와 형상적 차이가 악기의 최종 음질특성을 직접적으로 결정하는 브릿지의 압축변형에 미치는 영향을 구명함으로써 바이올린類 현악기 제조업자의 受入素材(incoming materials)에 대한 적절한 품질관리 및 악기의 최종음질에 대한 과학적 조율을 위한 정보를 제공하고자 하였다.



(a) tail side view



(b) edge view

Fig. 1. Bridge blank geometry macroscopic observation.

2. 材料 및 方法

2.1. 供試 브릿지 原材(bridge blank)

국내 악기재료 수입업체로부터 European maple 로 만들어진 표준형(4/4) 바이올린용 브릿지 原材(독일 Teller社제품) 200개를 구입하여, 그 中 主平面(tail side)에 대한 ray각도의 절대치가 1度 이내(이하 '0 ° group'이라 함)인것 9개, ray 각도의

절대치가 5 ± 1 度(이하 '5 ° group'이라 함)인 것 9개, 그리고 절대치가 10 ± 1 度(이하 '10 ° group'이라 함)인 것 9개 등 모두 27개의 시편을 선택 하여 供試試片으로 하였으며 바이올린 브릿지 소재밀도의 영향을 조사하기 위해 각 原材시편 의 무게를 0.001g 까지 측정하여 이 두 인자들을 4/4 바이올린용 브릿지 原材의 壓縮 크리이프 특 성을 평가할 수 있는 '品質결정인자(QDF; quality decisive factors)'로 채택하였다.

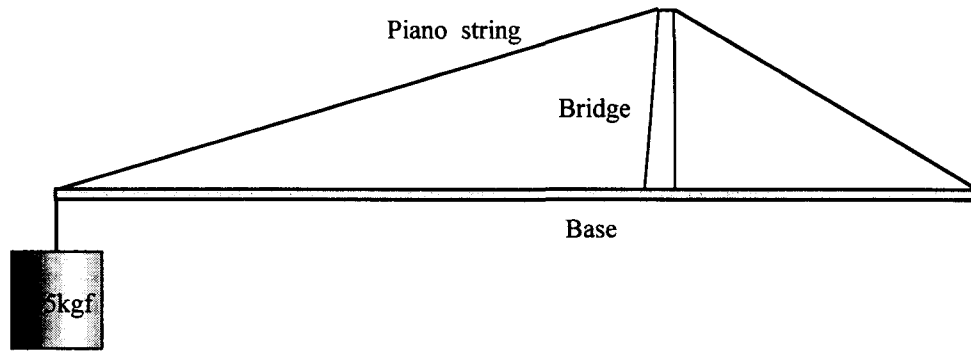
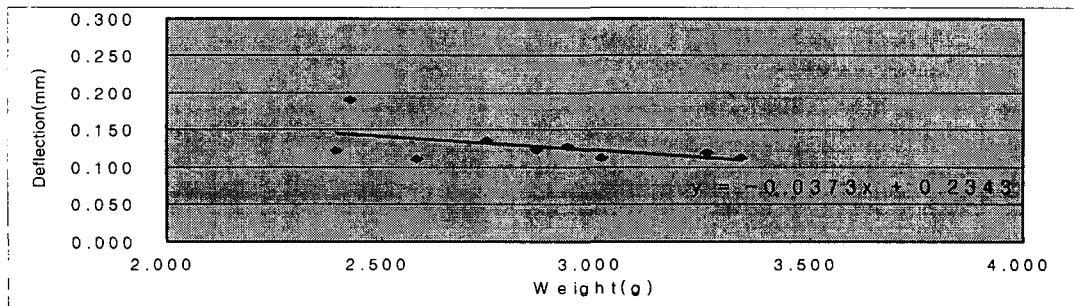
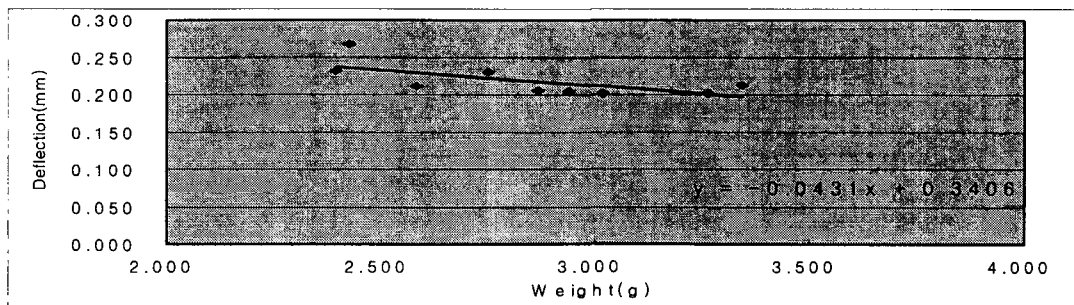


Fig. 2. Diagram of the compressive creep test for the violin bridge blank.



(a)



(b)

Fig. 3. Compressive creep with wood density of 0-degree group bridge blanks.

Table 1. Compressive creep of violin bridge blank according to the ray direction

bridge blank	sample No.	weight(g)	deflection under constant compression	
			initial(mm)	after 24h(mm)
0 ° - group	0-180	2.396	0.122	0.231
	0-179	2.427	0.190	0.267
	0-200	2.584	0.111	0.211
	0-141	2.750	0.136	0.230
	0-153	2.866	0.123	0.205
	0-136	2.940	0.128	0.204
	0-68	3.018	0.112	0.201
	0-4	3.263	0.119	0.202
	0-120	3.341	0.112	0.213
	5 ° - group	5-174	2.480	0.124
5-167		2.700	0.122	0.209
5-163		2.741	0.100	0.198
5-160		2.875	0.107	0.183
5-159		2.979	0.106	0.195
5-72		3.060	0.117	0.216
5-169		3.132	0.103	0.182
5-85		3.207	0.080	0.129
5-39		3.221	0.099	0.190
10 ° - group	10-166	2.648	0.174	0.204
	10-114	2.662	0.071	0.257
	10-25	2.760	0.121	0.201
	10-44	2.921	0.133	0.207
	10-12	2.930	0.128	0.224
	10-102	3.095	0.121	0.226
	10-47	3.121	0.116	0.184
	10-96	3.240	0.119	0.217
	10-31	3.337	0.118	0.196

2.2 브릿지 原材(bridge blank)의 壓縮크리이프 측정
바이올린 브릿지 原材의 주평면에 수직력이 작용
하도록 原材를 고정시킨 후, 철재 강선(지름 0.7mm)
의 끝단에 무게 5kgf의 추를 매달아 브릿지 原材에
압축력이 가해지도록 하였다. [아래 Fig. 2 참조]

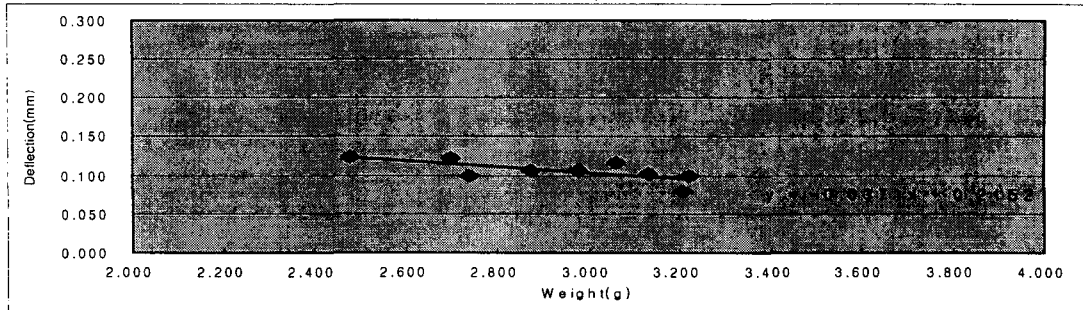
시간경과에 따른 壓縮 변형량의 측정은 브릿지
原材 위에 현을 올려놓은 直後(①0hrs), 6시간 경과
후(②6hrs), 12시간 경과 후(③12hrs), 18시간 경과
후(④18hrs) 및 24시간 경과 후(⑤24hrs)에 측정현
미경(제조회사 및 제원)을 이용하여 0.001mm 까지
측정하였으며 크리이프 특성에 대한 회귀곡선은
自然대수를 이용하여 구하였다.

3. 結果 및 考察

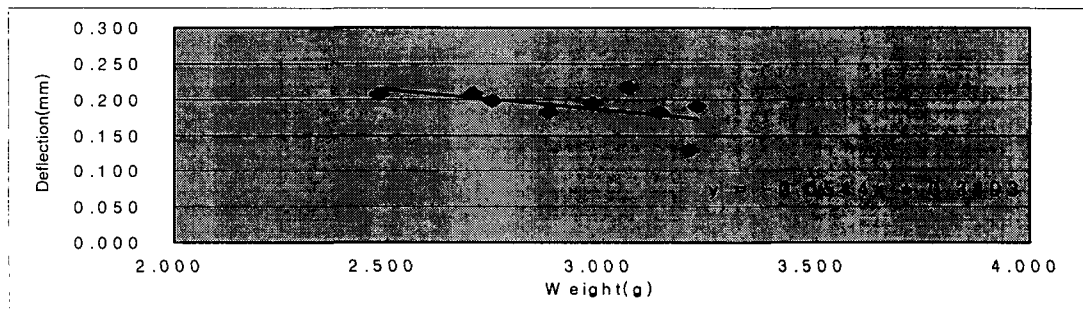
3.1 바이올린용 브릿지의 밀도와 방사조직
각도에 따른 압축 크리이프

아래 Table 1은 바이올린용 브릿지 原材의 주
평면에 대한 방사조직 각도별(브릿지 原材 절삭
방향에 따라 달라지며 육안적으로는 브릿지 原
材의 측면에서 관찰됨) 絃인장에 따른 壓縮변형
량(加壓직후 및 24시간 경과 후)을 나타낸 것이
며 Fig. 3~ Fig. 5는 이들 변형량과 브릿지 原材
의 무게와의 상관관계를 방사조직 角度群별로
나타낸 것이다.

그림(Fig. 3-5)을 볼 때, 방사조직 각도에 무관
하게 밀도가 증가할수록 우선 Fig 3은 방사조직
0-度群에 속하는 브릿지 原材의 밀도별 압축변형
량의 경시적 변화를 나타낸 것으로서, 하중작용
초기시의 회귀직선의 기울기는 -0.0373 이고 24

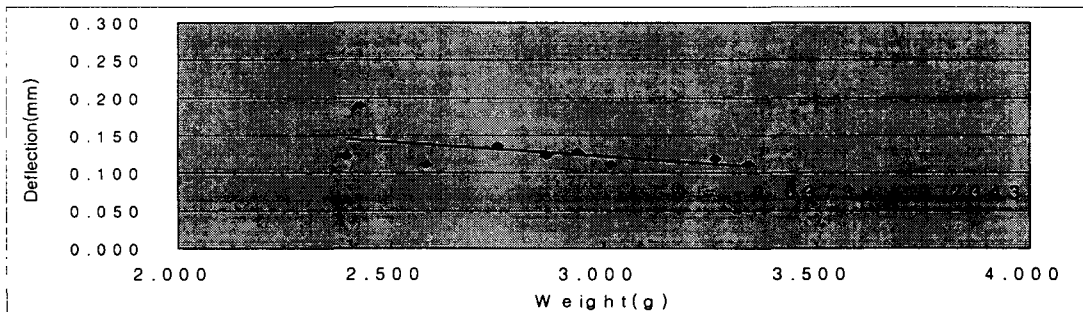


(a)

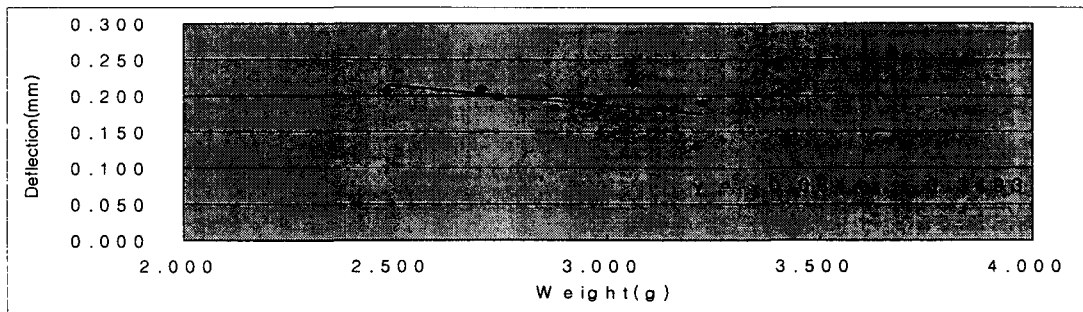


(b)

Fig. 4. Compressive creep with wood density of 5-degree group bridge blanks.



(a)



(b)

Fig. 5. Compressive creep with wood density of 10-degree group bridge blanks

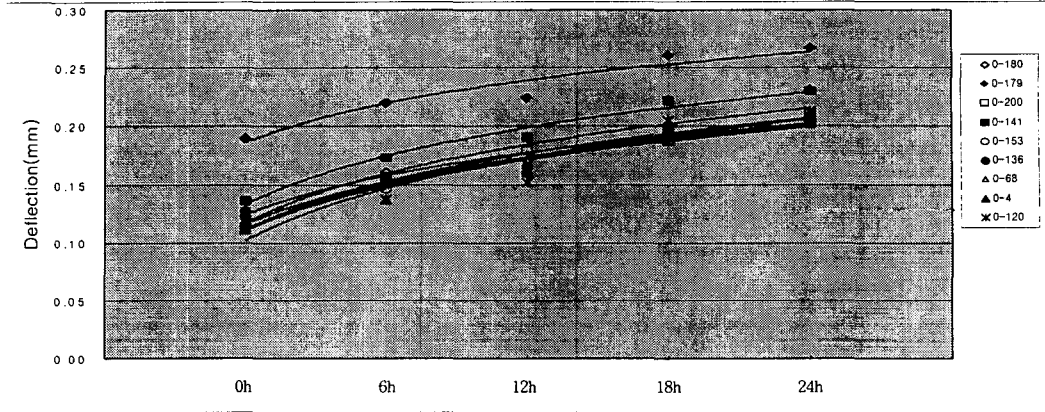


Fig. 6. Compressive creep curve of 0-degree group bridges.

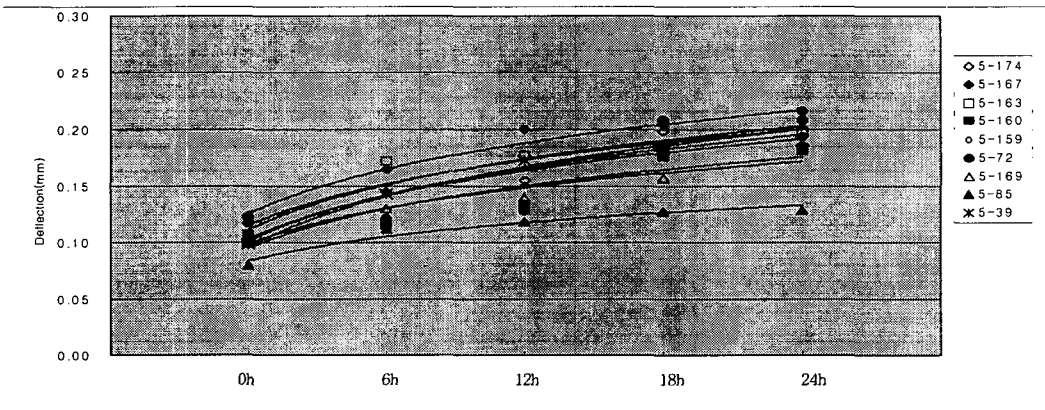


Fig. 7. Compressive creep curve of 5-degree group bridges.

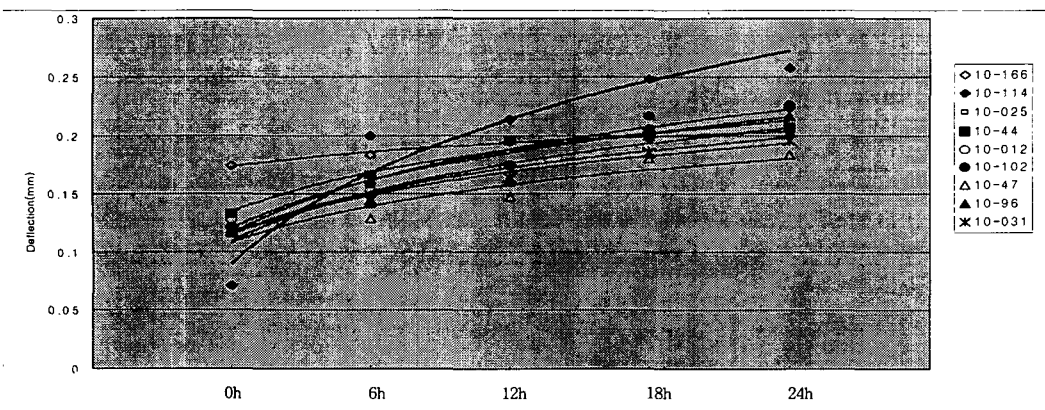


Fig. 8. Compressive creep curve of 10-degree group bridges

시간 후의 회귀직선에 대한 기울기는 -0.0431로 시간이 경과할수록 압축 크리이프의 밀도의존성이 커짐(15.5% 상승)을 알 수 있다.

한편 Fig. 4에 나타난 바와 같이 방사조직 각도 5-度群에서는 기울기가 초기 -0.0371에서 말기 -0.0544로 밀도의존도가 46.6%로 상승하였고, 10-度群에서는 초기 기울기 -0.010에서 말기 기울기 -0.0329로 무려 200% 이상의 밀도의존성 상승이 발생하는 것으로 나타남으로써 방사조직 각도가 기준면에 대해서 커질수록 압축 크리이프의 밀도의존도가 커짐을 알 수 있다.

이와 같은 현상으로 미루어 볼 때, 바이올린 제조업자들의 브릿지 原材 선정시의 유의가 요구되며 브릿지 제조업자들도 절삭시에 비록 原材 생산 수율의 저하를 수반한다 할지라도 정확한 방사방향으로의 절삭이 바람직할 것으로 판단한다.

한편 Fig. 6~Fig. 8은 크리이프 진행과정 중에 발생한 각 방사조직 각도군별 시편의 현 인장에 의한 압축 변형량의 경시변화를 나타낸 것이며, Table 2는 상기 그림에 나타낸 시편들의 압축 크리이프 곡선(creep curve)에 대한 회귀방정식과 상관계수를 나타낸 것이다. Fig. 6 및 Fig. 7에 의하면 방사조직 각도 0-度群과 5-度群에서 평균적인 압축 크리이프 양에 있어서의 커다란 차이는 나타내고 있지는 않으나 방사조직 각도 0-度群에서 비교적 균일한 크리이프 거동을 나타냄으로써 상대적으로 안정된 브릿지 물성을 가지는 것을 알 수 있었다.

반면 Fig. 8에 나타난 바와 같이 10-度群에 있어서는 일부 브릿지 原材의 압축 크리이프 거동이 매우 불규칙하게 나타나고 있음을 볼 수 있는 바, 이것으로 미루어 볼 때, 방사조직 각도

Table 2. Regressive equations for violin bridge blanks according to the ray angle

bridge blank	sample No.	Regressive equation	R value
0 ° - group	0-180	$y=0.061\text{Ln}(X)+0.1174$	0.9605
	0-179	$y=0.048\text{Ln}(X)+0.1865$	0.9598
	0-200	$y=0.0594\text{Ln}(X)+0.1115$	0.994
	0-141	$y=0.0595\text{Ln}(X)+0.1334$	0.9907
	0-153	$y=0.0522\text{Ln}(X)+0.1162$	0.961
	0-136	$y=0.0483\text{Ln}(X)+0.1244$	0.9732
	0- 68	$y=0.0565\text{Ln}(X)+0.1115$	0.9783
	0- 4	$y=0.0555\text{Ln}(X)+0.1105$	0.9563
	0-120	$y=0.0647\text{Ln}(X)+0.1021$	0.9427
	5 ° - group	5-174	$y=0.0524\text{Ln}(X)+0.1156$
5-167		$y=0.0567\text{Ln}(X)+0.1258$	0.9793
5-163		$y=0.0565\text{Ln}(X)+0.1119$	0.9412
5-160		$y=0.0499\text{Ln}(X)+0.0954$	0.9154
5-159		$y=0.0548\text{Ln}(X)+0.1036$	0.9789
5- 72		$y=0.0644\text{Ln}(X)+0.0963$	0.8264
5-169		$y=0.045\text{Ln}(X)+0.0993$	0.9683
5- 85		$y=0.0304\text{Ln}(X)+0.0843$	0.9736
5- 39		$y=0.0583\text{Ln}(X)+0.1018$	0.9918
10 ° - group		10-166	$y=0.0192\text{Ln}(X)+0.173$
	10-114	$y=0.1134\text{Ln}(X)+0.0894$	0.9639
	10-025	$y=0.052\text{Ln}(X)+0.1152$	0.9358
	10- 44	$y=0.0488\text{Ln}(X)+0.1345$	0.9861
	10-012	$y=0.0595\text{Ln}(X)+0.1203$	0.9731
	10-102	$y=0.0664\text{Ln}(X)+0.1156$	0.9761
	10- 47	$y=0.045\text{Ln}(X)+0.1081$	0.9463
	10- 96	$y=0.0609\text{Ln}(X)+0.1203$	0.9548
	10-031	$y=0.0491\text{Ln}(X)+0.1148$	0.9921

10-度群의 브릿지 原材의 재질은 불안정한 것으로 판단되며 따라서 활현악기 제조공장에서의 소재 선정 및 투입시, 철저한 외관검사에 의한 품질관리가 요망됨을 알 수 있다.

한편, Table 2에 나타난 27개 공시 바이올린 브릿지 原材의 creep 곡선에 대한 회귀식 및 상관계수를 분석해보면 방사조직 각도에 관계없이 시간과 변형량 간에 매우 높은 상관계수(평균 0.95 이상)를 지니는 자연대수 관계를 나타냄으로써 크리이프 단계중 응력 안정화(stress stabilization) 단계인 1차 크리이프 단계(primary creep stage)에 있음을 알 수 있다. 이로써 본 실험에서 사용된 모든 수입 바이올린 브릿지의 응력수행 수준은 안전한 상황이며 응력이력 또한 초기단계로서 소재의 재질이 비교적 건전한 상태인 것으로 판단되었다.

4. 結 論

본 연구는 고가에 수입되고 있는 바이올린용 브릿지의 사용성능을 분석하고 동종의 국산재에 대한 대체사용 가능성을 타진하기 위하여 수행되었다. 즉, 수입 브릿지 原材(bridge blanks)의 구조, 물리화학적 차이와 형상적 차이가 악기의 최종 음질특성을 직접적으로 결정하는 브릿지의 압축변형에 미치는 영향을 구명함으로써 악기업체로 하여금 受入素材(incoming materials)에 대한 적절한 품질관리 및 악기의 최종음질에 대한 재료과학적 정보를 제공하고자 수행된 본 연구의 주요결론을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 브릿지 原材의 비중이 높을수록 일정하중 작용시 초기 압축변형량이 적었고 시간이 경과함에 따라 그 경향은 더욱 두드러졌다.

둘째, 현 인장 5kgf하에서 모든 시편에 대한 creep 곡선에 의하면 상관계수(R)가 높은 logarithmic regression equation을 나타냄으로써 응력안정화 단계인 1차 creep 단계에 속하는 변형양상을 나타냈다.

셋째, 방사조직의 각도와 압축변형간 상관관계는 공진주파수와는 상이하게 비교적 적은 편으로 나타났다. 그러나 브릿지 측면의 방사조직 각

도 0°, 5° 群에서는 비교적 균일한 압축 크리이프 양상을 나타내었음에 반해, 10° 群의 경우 비정상적인 creep변형양상을 나타내는 시편이 존재하였다.

본 연구진은 제 1보 바이올린 브릿지 素材의 年輪幅 및 切削方向이 브릿지의 共振周波數에 미치는 효과 분석에서 소재 밀도 및 절삭방향(브릿지 측면에서의 방사조직 방향)의 영향이 크게 나타났던 바, 결론적으로 바이올린계 활현악기의 연주특성과 악기 사용기간 동안의 성능 유지도를 좌우하는 브릿지의 동적거동 및 압축 크리이프 거동을 고려할 때, 브릿지 素材의 중요 品質決定因子(QDF)는 소재 밀도 및 측면에서의 방사조직각도이며 연륜밀도의 영향은 상대적으로 적은 것으로 판단되었다.

본 연구에 이어 제 3보에서는 바이올린 브릿지의 형태변화에 따른 SDM 시뮬레이션을 유한요소법을 이용하여 수행하여 브릿지 소재의 剛性(stiffness), 減衰(damping) 및 질량(mass)의 영향을 해석적으로 구명함으로써 브릿지 형태의 변형 및 재질변이가 큰 국산재의 악기재료로서의 활용가능성을 구명할 예정이다.

5. 參考文獻

1. Askenfelt, A. 1989. Measurement of the bowing parameters in violin playing. II: Bow-bridge distance, dynamic range, and limits of bow force, *J. Acoust. Soc. Am.* 86(2), 503-516.
2. Bodig, J. and Benjamin, A. 1978. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. V.N.R.
3. Haines, D. W. 1979. On musical instrument wood. *J. Catgut Acoust. Soc. Newsletter* 31, 23-32.
4. Hutchins, C. M. 1992a. The future of violin research, *J. Catgut Acoust. Soc.* 2d ser., 2(1) 1-7.
5. Hutchins, C. M. 1992b. A 30-year experiment in the acoustical and musical development of violin-family instruments, *J. Acoust. Soc. Am.* 92(2), Pt.1, 639-650.
6. McIntyre, M. E. and Woodhouse, J. 1979. On the fundamentals of bowed-string dynamics, *Acustica* 43(2),

- 93-108.
7. McIntyre, M E. and Woodhouse, J. 1988. On measuring the elastic and damping constants of orthotropic sheet materials, *Acta Metall* 36(6), 1397-1416.
 8. McIntyre, M. E., and Woodhouse, J. 1978. The acoustics of stringed musical instruments, *Interdiscip. Sci, Rev.* 3(2), 157-173.
 9. Schelleng, J. C. 1963. The violin as a circuit, *J. Catgut Acoust. Soc. Am* 35(3), 326-338.
 10. Schleske, M. 1990. Speed of sound and damping of spruce in relation to the direction of grains and rays, *J. Catgut Acoust. Soc.* 2d ser.,1(6), 16-20.
 11. Schumacher, R. T. 1988. Compliances of wood for violin top plates, *J. Acoust. Soc. Am.*, 84(4), 1223-1235.