

Dowel 直徑이 木材와 木質材料 接合部の 引拔強度에 미치는 影響*1

李弼宇*1 · 吳世昌*2 · 朴喜浚*2

Effect of Dowel Diameters affecting to Withdrawal Strength of Wood and Wood-Based Material Joints*1

Phil Woo Lee*1 · Sei Chang Oh*2 · Hee Jun Park*2

SUMMARY

Traditional complex joints have used to a wide variety of wooden furniture construction.

Dowel joint is the most popular joints. However design of this joint to meet specified service condition has been hampered by a lack of proven design formulas which can be use to predict their strength.

The object of this study is to investigate the withdrawal strength and effect of dowel diameters in wood and wood based materials.

The obtained results were as follows :

1. The relationship between withdrawal strength and dowel diameter is found to be linear.
2. Withdrawal strength of medium density fiberboard and Sepetir in end-to-side joints is superior to Antiaris, particleboard and plywood.
3. In end-to-end joints, withdrawal strength of medium density fiberboard is the most superior joint, but Sepetir, Antiaris and plywood have similarly strength and particleboard is inferiority.
4. Withdrawal strength in end-to-end joints of Antiaris and plywood is higher than in end-to-side joints. But in end-to-end joints of Sepetir, medium density fiberboard and particleboard is similarity in end-to-side joints.

Key words : joint, withdrawal strength, dowel, end-to-end joint, end-to-side joint.

1. 緒 論

예로부터 木製家具나 木加工品에는 다양한 接合方式이 利用되어 왔으며 그중에서도 dowel-joint는 經濟성과 製作의 간편함등으로 인하여 家

具製作業體에서 가장 널리 이용되고 있는 接合方式의 한가지이다. 특히 接合部の 製作은 단지 鋸공기와 선삭기의 作業만으로 가능하기 때문에 대량생산 체제의 現代工場들에 적합한 接合方式으로 認定을 받고 있다.

*1. 接受 1990年 4月 2日 Received April 2, 1990.

*2. 서울대학교 農科大學 College of Agriculture, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

그러나 이러한 接合部는 시일이 경과함에 따라 接合部材 自體의 파괴보다는 점진적으로 接合部가 헐거워지고 결국에는 接合部에서 분리가 일어나는 問題點을 가지고 있다. 그러므로 接合部の 設計는 接合部에 부과될 荷重에 충분히 견딜 수 있도록 정확한 設計分析을 통하여 가능함에도 불구하고 현재까지는 경험, 습관 그리고 각 공장의 선호도에 따라 製作되고 있는 실정에 있다.

한편 Dowel-joint의 引拔強度(withdrawal strength)에 관한 研究는 Selbo와 Olsen(1953)이 dowel의 種類(spiral dowel과 two straight grooved dowel)와 接着劑의 種類에 따른 dowel joint에서 함수율 변화에 따른 強度시험을 실시하여 보고하였다. 그리고 Hoyle(1956, 1957)은 천공속도(boring rate) 및 송재속도(feed rate)가 dowel joint의 結合強度에 미치는 영향에 관한 研究에서 천공속도 2880 rpm과 송재속도 90-180in/min.에서 가장 우수한 結合強度를 얻었음을 보고하였고,

Nearn과 Clarke(1958)는 dowel type과 hole size의 影響을 檢討하여 plain과 spiral dowel이 compressed dowel보다 우수한 結合強度를 나타냈으며, hole size는 dowel 直徑보다 1/64-2/64 inch 더 컸을때 우수한 結合強度를 얻을 수 있다고 보고한 바 있다.

또한 Eckelman(1968, 1969)은 木口面과 木口面 接合 試驗片(end-to-end grain specimens)와 木口面과 縱斷面 試驗片(end-to-side grain specimens) 등 2種類의 接合方式에 軸方向 荷重을 가했을때 荷重과 變形과의 關係 그리고 최대 引拔強度(F)를 구하기 위한 實驗式을 提示한 바 있다.

Kelly와 Pearson(1978)은 연질 섬유판으로 제작한 boxtype 試驗體에 dowel, dove-tail, wood screw와 metal insert를 사용한 接合部の 試驗에서 dowel과 insert joint에서 보다 우수한 強度를 얻을 수 있음을 보고하였다. 古澤富志雄 등(1981, 1983)은 oak와 spruce 2樹種에 木口面과 木口面 接合試驗片과 木口面과 縱斷面 接合試驗片을 製作하여 引拔強度를 測定한 結果 木口面과 木口面 接合 試驗片의 引拔強度가 木口面과 縱斷面 接合 試驗片에서보다 크게 나타났음을 報告한 바 있다.

이와같이 dowel joint의 引拔強度에 관한 研究가 遂行되어 왔으나 이들 대부분이 素材(solid)를 部材로 사용한 研究에 局限되어 있어 현재 그 사용량이 계속적으로 증가 추세에 있는 파티클보오드(particleboard)나 중밀도 섬유판(medium density fiberboard) 등 木質材料에 관한 研究는 거의 遂行되어 있지 않아 그에 대한 研究의 必要性이 대두되고 있다.

따라서 本 研究에서는 우리나라에서 現在 家具部材로 많이 사용하고 있는 Antiaris와 Sepetir 素材 그리고 木質板狀材料인 합판, 파티클보오드, 중밀도 섬유판을 部材로 하여 한개의 dowel로 구성된 2種類의 試驗板, 즉 木口面과 木口面 接合 그리고 木口面과 縱斷面 接合 試驗片을 製作하여 最大 引拔強度를 測定하여 材料別 特性和 接合方向에 따른 變化를 보고자 하였으며 또한 dowel의 直徑을 6, 8, 10mm로 變化시킴으로써 dowel의 直徑增加에 따른 強度의 變化를 檢討하고자 하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 供試材料

2.1.1 木質材料

本 研究를 遂行하는데 사용된 木質材料는 Sepetir(Pseudosindoropalustris and Sindora spp.)와 Antiaris(Antiaris spp.) 素材 그리고 합판, 파티클보오드, 중밀도 섬유판 등 木質板狀材料를 사용하였다. 이들 材料로 구성된 供試試驗片의 치수와 형상은 Fig. 1에서 보는 바와 같으며 調査한 각 材料의 物理的 및 機械的 性狀은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

2.1.2 Dowel

供試試驗片을 製作하는데 사용한 dowel의 수종은 Yellow Birch(Betula spp.)이었으며 氣乾比重은 0.59, 함수율은 10.6%이었다. 사용한 dowel의 型狀은 Fig. 2와 같이 spiral grooved dowel을 사용하였고 平均直徑은 6, 8, 10(mm)이고 길이는 30mm인 것을 사용하였다. 또 각 직경별로 40개씩 무작위로 선택하여 측정된 실제 dowel 직경과 hole사이의 平均차이는 6, 8, 10(mm)에서 각각 0.02, 0.03, 0.21

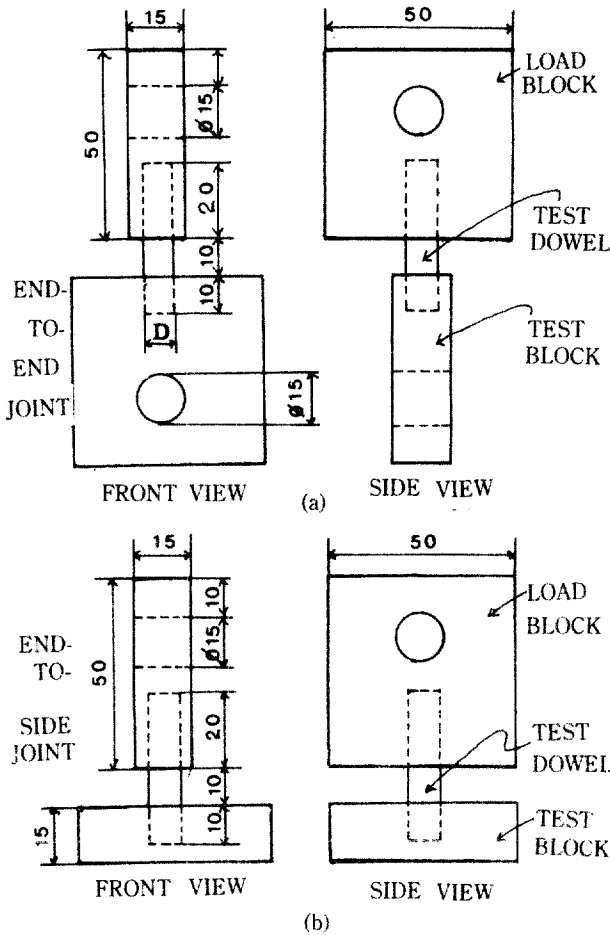


Fig. 1 Diagram of two joint type used at the tests. (a) end-to-end joint specimen (b) end-to-side joint specimen

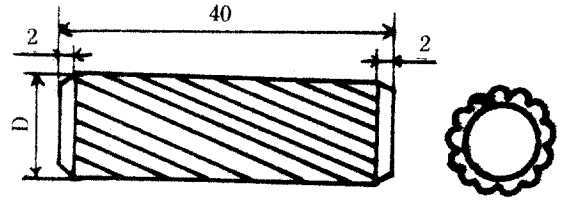


Fig. 2 The shape of spiral grooved dowel. unit : mm

D : 6, 8, 10

(mm)로 hole이 약간씩 더 컸다.

2.1.3 接着劑

供試試驗片을 구성하는데 사용한 接着劑로는 수지율 45%의 초산비닐에멀젼수지 접착제(Polyvinyl acetate emulsion resin adhesive)를 사용하였다.

接着劑의 塗布는 붓을 사용하여 dowel 표면과 hole의 양편 모두에 塗布하였으며 接着劑의 塗布量은 180 - 220g/m² 으로 하여 제작하였다. 이와 같이 하여 제작한 試驗片은 溫度 25±3℃, 關係濕度 68.9±4.6%의 실험실내에서 10일 이상 조습처리한 후 試驗하였다.

2.2 實驗方法

2.2.1 木質材料의 物性調査

供試試驗片을 구성하는데 사용한 두께 15mm의 木材와 木質板狀材料에 대하여 氣乾比重(air-dry specific gravity), 含水율(moisture content), 靱과괴 계수(modulus of rupture) 그리고 靱탄성계수(mo-

Table 1. Physical properties of wood based material used in the experiments

Wood based materials	M. C. (%)	Sp. Gr.**	M. O. R. (kgf/cm ²)	M. O. E. (kgf/cm ²)
Antiaris	8.8 (± 0.003)*	0.34 (± 0.01)*	567.92 (± 95.1)*	91.45×10 ³ (± 12.4×10 ³)*
Sepetir	8.5 (± 0.006)	0.55 (± 0.05)	1101.49 (± 98.5)*	161.25×10 ³ (± 51.8×10 ³)*
Plywood	11.5 (± 0.003)*	0.56 (± 0.02)*	301.85 (± 68.1)*	10.25×10 ³ (± 2.0×10 ³)*
Particleboard	11.5 (± 0.003)*	0.68 (± 0.01)*	162.04 (± 7.5)*	29.93×10 ³ (± 5.5×10 ³)*
Medium Density Fiberboard	9.7 (± 0.002)*	0.73 (± 0.01)*	424.10 (± 27.3)*	41.65×10 ³ (± 7.3×10 ³)*

** : Specific gravity based on air dry volume and oven dry weight.

* : Values are standard deviation.

dulus of elasticity)를 韓國工業規格,KS F 3104(1983)의 試驗方法에 따라 實施하였으며 그 結果는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

2.2.2. 接合部の 引拔強度 測定

接合部の 引拔強度 測定은 Fig.1에서 보는 바와 같이 1개의 dowel로 구성된 2種類의 試驗片, 즉 木口面과 木口面 接合試驗片과 木口面과 縱斷面 接合試驗片에 軸方向 引張荷重을 가하여 最大 引拔強度를 測定하였다. 強度測定은 1ton용량의 萬能強度 試驗機를 使用하였으며 荷重速度는 10 mm/min.를 適用하였다. 強度測定은 먼저 供試試驗片의 test block을 強度試驗機의 바닥에 지그(jig)를 使用하여 固定시킨 후 引張荷重을 load block을 통하여 試驗片에 전달되게 함으로써 接合部가 분리될 때의 最大強度를 測定하였다.

각 試驗片의 反復數는 3反復으로 하였으며 各 type의 平均값을 대표값으로 하여 材料間, 接合方式別 比較分析을 하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 木口面과 縱斷面 接合에서 dowel의 直徑에 따른 引拔強度

Fig. 3에서는 木口面과 縱斷面 接合에서 dowel의 直徑이 6, 8, 10(mm)로 증가함에 따라 木材와 木質板狀材料에서의 引拔強度의 變化를 보여주고 있다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 dowel의 直徑이 6 mm일 때는 5種類의 材料에서 強度는 서로 큰 차이가 없이 비슷하였으나 直徑이 8mm, 10mm로 增加함에 따라 引拔強度도 增加하는 현상을 보였으며 材料間의 強度增加에 있어서도 큰 차이를 보여 주었다.

5種類의 材料중에서 強度의 增加가 가장 큰 材料는 중밀도섬유판으로서 dowel의 直徑이 6mm에서 8mm로 變했을때 그 증가율은 115.8%(59.0 kgf-cm 대 127.3 kgf-cm)였으며 直徑 10mm에서의 強度는 156.3kgf-cm로 直徑 6mm일때보다 165.0%, 8mm일때보다 22.8%의 強度 증가를 보여 주었다.

그 다음으로 높은 強度를 보인 材料는 素材인 Sepetir로서 dowel의 直徑이 6mm일때 61.3 kgf-cm, 8mm일때 89.3 kgf-cm로 45.7%의 증가를 보였으며 10mm일때는 121.6 kgf-cm로 dowel 直徑 6mm, 8 mm에서보다 각각 98.4%, 36.2%의 증가를 보였다.

반면에 素材인 Antiaris 그리고 파티클보오드와 합판에서의 強度는 Sepetir나 중밀도섬유판에서보다 낮은 強度를 나타내었다. 그러나 이들 材料에서도 역시 dowel의 直徑이 증가함에 따라서 強度는 증가하는 경향을 보여 주었다.

5種類의 材料 가운데 木口面과 縱斷面 接合에서 가장 낮은 強度는 합판에서 측정되었는데 dowel 直徑이 6mm에서 50.3 kgf-cm, 8mm에서 70.0kgf-cm 그리고 10mm에서 87.7 kgf-cm를 나타내었다.

이상에서와 같이 木口面과 縱斷面 接合에 있어서는 중밀도섬유판과 Sepetir에서 비교적 높은 強度를 나타냈으며 Antiaris, 파티클보오드, 合板에서 (kgf-cm)

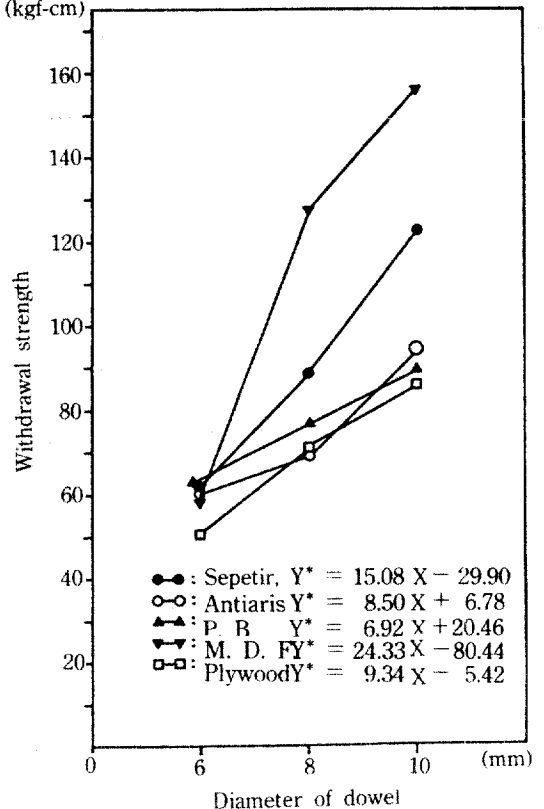


Fig. 3 Withdrawal strength variation by dowel diameter in side.

* : Significant at 5% level.

낮은 強度를 나타냈는데 이는 素材인 Sepetir의 氣乾比重이 0.55로 비교적 木材의 組織이 均일하고 치밀하였으며 중밀도섬유판 역시 작은 粒子로 이루어진 均質의 材料로 hole내에서 dowel과의 接着이 양호하게 이루어졌으나, Antiaris와 파티클보드에서는 그 組織이 Sepetir나 중밀도섬유판보다 치밀하지 못해 dowel과의 接着面에 다수의 空隙이 발생하게 되는데 그 原因이 있는 것으로 사료되며 合板의 직교적층과 접착층의 존재가 dowel과의 接着을 阻害시켜 낮은 強度가 測定된 것으로 생각된다.

3.2 木口面과 木口面 接合에서 dowel의 直徑에 따른 引拔強度

Fig. 4에는 木口面과 木口面 接合에서 dowel의 直徑증가에 따른 材料別強度의 變化를 나타내었다. Fig.4에서 보는 바와 같이 木口面과 木口面 接合에서도 역시 dowel의 直徑이 증가함에 따라 強度는 모두 증가하였는데 dowel의 直徑이 6mm 일때의 引拔強度는 5種類의 材料에서 큰 차이가 없었으나 dowel의 直徑이 증가함에 따라 材料間 차이가 크게 나타났다.

木口面과 木口面 接合에서도 木口面과 縱斷面 接合에서와 마찬가지로 중밀도섬유판과 Sepetir에서 다른 材料보다 높은 強度를 나타냈으며 5種類의 材料중 가장 높은 強度는 중밀도섬유판에서 測定되어 dowel 直徑 6mm일때 62.0 kgf-cm 그리고 8 mm, 10mm에서 각각 113.0 kgf-cm, 141.0 kgf-cm를 나타냈다.

한편 木口面과 縱斷面 接合에서는 強度가 비교적 낮게 나타났던 Antiaris는 Sepetir와 유사한 값을 나타냈으며 合板 역시 Sepetir와 Antiaris에 거의 接近하는 強度를 나타냈다. 이는 dowel과의 接合시 木口面과 縱斷面 接合에서의 接着은 接着面에 合板의 直交積層한 斷面과 接着層의 존재가 接着을 阻害하는 原因이 되었으나 木口面과 木口面 接合에서의 接着은 dowel의 纖維方向과 接着되는 面이 均일해지고 또한 材料의 纖維方向이 많아져 木口面과 縱斷面 接合에서보다 우수한 接着이 가능해

졌기 때문에 思料된다. 파티클보드는 木口面과 木口面 接合에서도 다른 材料보다 낮은 強度를 나타냈는데 이는 또한 파티클보드 내부에 존재하는 空隙의 影響으로 보인다.

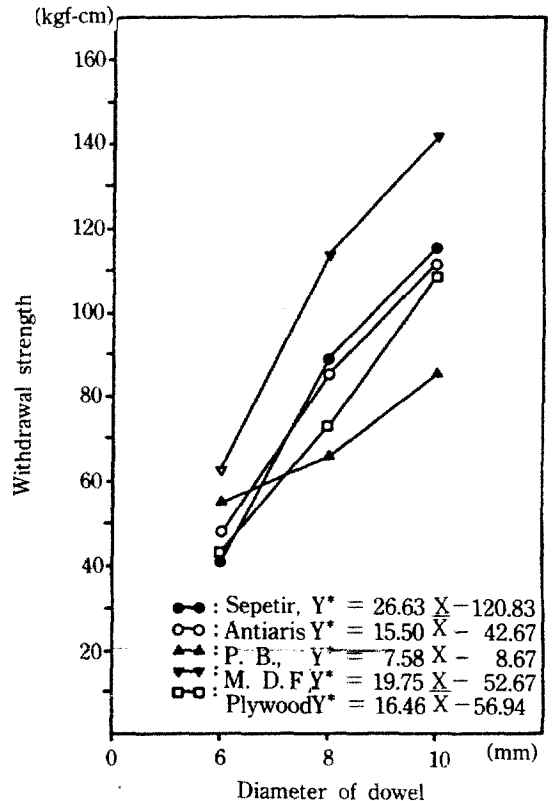


Fig.4 Withdrawal strength variation by dowel diameter in side.

* : Significant at 5% level.

3.3 木質材料別 木口面과 木口面接合 그리고 木口面과 縱斷面接合에서 引拔強度

Dowel의 直徑이 6mm인 경우 試驗材料別 木口面과 木口面 그리고 木口面과 縱斷面 接合을 비교하면 Fig.5에서 보여주는 바와 같이 중밀도섬유판의 경우를 제외하고 強度에 큰 변이 없이 素材, 파티클보드 및 合板에서 모두 木口面과 木口面 接合의 引拔強度가 크게 나타났음을 알 수 있다.

또 dowel 直徑이 8mm로 증가한 경우에는 중밀도섬유판의 木口面과 木口面 接合 그리고 木口面과 縱斷面 接合의 引拔強度가 모두 크게 증가한 가

운데 素材, 합板的 경우와 함께 6mm때와는 반대로 전반적으로 強度는 증가하였으나 木口面과 木口面 接合 보다 木口面과 縱斷面 接合의 引拔強度가 다소 높은 強度를 보여주고 있고 파티클보오드만이 6mm때와 같은 木口面과 木口面 接合보다 木口面과 縱斷面 接合이 引拔強度가 높은 強度를 보여주고 있다.

그리고 dowel의 直徑이 10mm로 증가함에 따라 引拔強度는 木口面과 木口面 接合 그리고 木口面과 縱斷面 接合에서 모두 높은 強度로 증가하였으며 dowel 直徑 8mm때와 마찬가지로 素材인 Antiaris와 Sepetir 및 합板에서는 木口面과 木口面 接合의 경우가 木口面과 縱斷面 接合의 引拔強度가 보다 높은 값을 보여주고 있고 파티클보오드와 중밀도 섬유판은 반대로 直徑은 증가하였으나 오히려 木口面과 縱斷面 接合의 引拔強度가 다소 높은 경향을 보여 주었다.

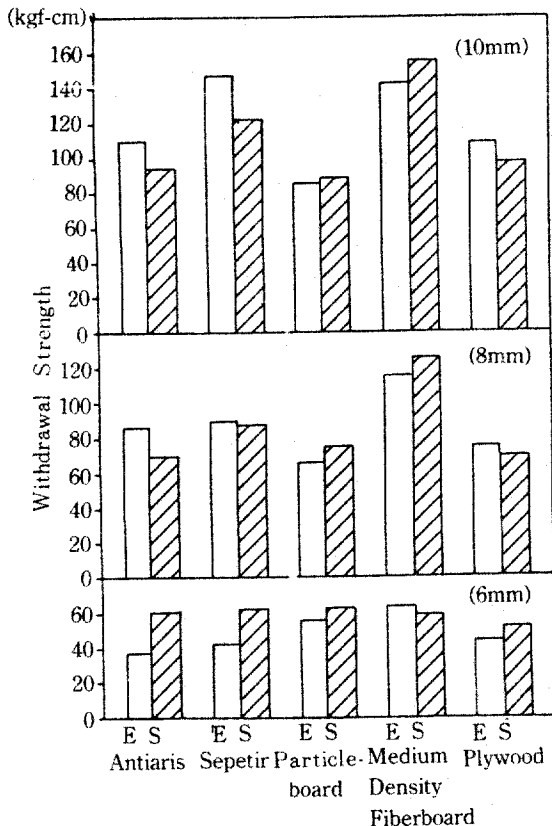


Fig.5 Comparison of end and side face withdrawal strength by diameter of dowel.

이와같은 結果는 古澤富志雄(1981, 1983)이 참나무와 가문비나무 素材로 試驗한 結果와 本 研究에서 얻은 結果가 잘 一致하고 있음을 보여주고 있다. 그러나 이와같은 結果가 本 試驗에서 使用한 합板과 파티클보오드 그리고 중밀도 섬유판의 경우에는 합板的 경우에만 木口面과 木口面 接合의 引拔強度가 木口面과 縱斷面 接合의 引拔強度보다 높은 傾向을 보여주고 있을 뿐이고 파티클보오드와 중밀도 섬유판의 경우에는 오히려 반대의 傾向을 나타내었다. 이것은 합板이 單板을 直交시켜서 接着시킨 製品이라고 하지만 木口面과 木口面이 接合할 때 單板의 어떤 層이 纖維方向으로 dowel과 接合할 수 있으므로 素材의 경우와같이 木口面과 木口面 接合의 引拔強度가 큰 傾向으로 나타난 것으로 생각된다.

4. 結論

本 研究에서 結果와 考察을 通하여 뚜렷하게 지을 수 있는 結論은 다음과 같다.

1. Dowel의 直徑이 증가함에 따라 材料와 接合構成에 관계없이 引拔強度가 線形的으로 增加하였으며 그 현상을 1차 回歸式으로 나타낼 수 있었다.
2. 木口面과 縱斷面 接合에서 5種類의 木材와 木質板狀材料 가운데 중밀도 섬유판과 Sepetir의 引拔強度(withdrawal strength)는 비교적 높게 나타났으나 나머지 Antiaris, 파티클보오드 그리고 합板은 서로 비슷한 強度를 나타냈다.
3. 木口面과 木口面 接合에서 5種類의 木材와 木質板狀材料 가운데 중밀도 섬유판의 引拔強度가 가장 높게 나타났으며 Sepetir, Antiaris 그리고 합板的 強度는 비슷했으며 파티클보오드의 強度가 가장 낮게 나타났다.
4. Sepetir, 중밀도 섬유판 그리고 파티클보오드는 木口面과 木口面 接合과 木口面과 縱斷面 接合에서 強度의 차이가 거의 없었으나 Antiaris와 합板에서는 木口面과 木口面 接合에서 木口面과 縱斷面 接合보다 높은 強度를 나타냈다.

參 考 文 獻

1. Eckelman, C. A. 1968. Furniture frame analysis and design. Unpublished ph. D. thesis. Purdue University. West Lafayette, Ind.
2. _____, 1969. Engineering concepts of single-pin dowel joint design. For. Prod. Journal 19(12) : 52-60.
3. Hoyle, R. J. 1956. The effect of boring speed and feed rate on the strength of glued dowel joint in tension. For. Prod. Journal 6(10) : 387-393.
4. _____, 1957. Boring tests of particle-board. For. Prod. Journal 7(5) : 159-162.
5. Kelly, M. W. and P. G. Pearson. 1978. Strength of selected methods for joining low-density fibreboard. For. Prod. Journal 28(8) : 29-33.
6. Nearn, W. T. and J. T. Clarke. 1958. Dowel joint strength-Effect of dowel type, hole size, and adhesive-. For. Prod. Journal 8(10) : 326- 329.
7. Selbo, M. L., and W. Z. Olsen. 1953. Durability of wood working glues. For. Prod. Journal 3(5) : 50-60.
8. 韓國工業規格 KS F 3104. 1983.
9. 古澤富志雄, 赤松 明, 小也田重雄. 1981. だば接手の引抜き抵抗と埋込長さの實效限度. 木材工業 36(12) : 16-20.
10. 井口 明, 大野 福地, 中西 文小, 秦 正徳. 1983. だば接手の引抜き抵抗に及ぼす部材纖維走向の影響. 木材工業 38(4) : 22-25.