

數種의 針葉樹 單板用 原木의 加熱과 冷却 時間^{*1}

鄭 希 錫^{*2} · 李 南 浩^{*3} · 呂 煥 明^{*2}

Heating and Cooling Time for Veneer Bolt of Some Softwoods^{*1}

Hee-Suk Jung^{*2} · Nam-Ho Lee^{*3} · Hwan-Myeong Yeo^{*2}

ABSTRACT

The profiles of the heating temperature in three water vat temperatures (55, 66 and 77℃) and the cooling temperature under the average ambient temperature of 3℃ in 4 and 10cm depths from surface at the center of veneer bolts length showed similar patterns for Japanese larch (*Larix leptolepis*), Dahurian larch (*Larix gmelinei*) and Radiata pine (*Pinus radiata*). The difference of these core temperatures of 10cm depth from surface varied proportionally with the increase of vat temperatures. The average heating time based on final core temperature of 6℃ lower than vat temperature required about 14.5 hours in vat temperature of 55℃ and 13.5 hours in vat temperature of 66 and 77℃. Each internal temperature of 4 and 10cm depths from surface started to decrease from the beginning of cooling and after about two hours.

Keywords : Heating temperature, vat temperature, cooling temperature, heating time, final core temperature

1. 緒 論

대부분의 수종으로부터 단판을 생산할 수 있지만 단판의 품질과 생산성은 원목의 성질, 形質과 공급 가능량에 의해 좌우되고, 또한 가공기술에 의해서도 크게 영향을 받게 된다. 단판의 최종용도에 부합되는 단판을 생산하는데는 우선 원목이 적절한 성질과 形質을 갖추어야 하는데, 전 세계적으로 볼 때 잘 알려진 양질의 단판용 자원은 차츰 감소하는 추세에 있다. 주로 열대활엽수 합판

을 오랫동안 생산하여 왔던 우리나라를 위시한 동남아 지역에서는 이들 자원의 감소와 더불어 Green Round의 영향을 받아서 라왕 등의 적절한 원목의 공급이 점차 어려워지고 있다. 또한, 침엽수 합판을 위주로 생산하고 있는 북미 지역에서도 주요 자원이었던 더글러스 퍼가 차츰 감소되고 있다. 이와 같이 적절한 자원의 감소 추세에 따라 어느 나라에서든지 단판용 수종의 개발이 요청되고 있으며, 우리나라에서는 단판용 열대활엽수재의 대체자원으로서 침엽수재 이용이 부각되고 있다.

*1 접수 1995년 2월 28일 Received February 28, 1995

본 연구는 1993년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부임(과제번호 93-08-00-03).

*2 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

*3 이리농공전문대학 Iri National Technical College of Agriculture & Engineering, Iri 570-110, Korea

일반적으로 침엽수재는 활엽수재보다 리그닌 함량과 리그닌의 열가소성이 적기 때문에 휨성(bending property)이 부족하여 절삭할 때 활렬되기 쉽다. 또한 침엽수재는 열대활엽수재보다 소경이고 용이가 많으며 춘재와 추재간의 비중의 변이 그리고 심재와 변재간의 함수율 변이가 큰 단점을 지니고 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하여 양질의 단판을 생산하기 위해서 열수 또는 증기 전처리를 적용하게 된다. 가열 전처리에 의해 목재가 연화되면 절삭이 용이하고, 단판 두께의 균일, 활렬의 감소, 평활도 제고 등의 품질이 개량되며, 부가적으로 나이프 수명의 연장, 단판수율과 생산성이 향상될 수 있다. 우리나라는 활엽수 합판의 제조기술은 상당히 축적되어 있지만, 침엽수 합판 제조기술은 초보적인 단계이고, 국내에서 이미 사용하고 있거나 잠재력이 있는 수종에 대한 가열 전처리에 관한 보고는 되어있지 않다. 따라서 단판용재로서 사용될 수 있는 국산 또는 도입 침엽수재를 어떤 온도에서 어느 기간 동안 가열 전처리할 것인가에 대한 의문이 제기되고 있다.

북미에서 자국산 수종의 가열처리에 관한 보고로서 Fleischer(1965)는 원목지름과 목재 밀도가 열수와 증기 가열시간에 미치는 관계에 대하여 보고하였고, Koch(1965)는 단판용 southern pine의 나이프 체크를 감소시키기 위하여 열수 또는 증기 전처리의 필요성에 대하여 보고하였으며, Baldwin(1975)는 침엽수 8수종의 비중에 따라 적절한 온도와 온도 범위를 추천하였다. Steinhagen(1977)은 eastern white pine의 3수종의 얼은 원목의 재면에서 내부로 향해 6부위의 가열시간별 온도 변화에 대하여 보고하였다. Lutz(1978)는 가열온도, 가열시간, 열수와 증기 가열방법 등에 대하여 보고하였으며, Steinhagen과 Meyers(1980)는 얼은 원목의 반경, 함수율, 비중과 온도 등 여러 변수 조건에서 가열시간을 추정할 수 있는 가열도표를 작성하였으며, 또한 Steinhagen과 Lee 등(1987)은 얼거나 얼지 않은 원목의 가열시간을 평가할 수 있는 컴퓨터 프로그램에 대하여 보고하였다. 일본에서 Yoshida와 Taguchi(1974)등은 낙엽송을 열수온도 90℃에서 24시간 가열 후 60℃와 20℃ 조건에서 각각 24시간 냉각처리한 후 절삭된 단판 품질에 대하여 보고하였으며, Kinoshita(1984)는 열수온도 60℃와 80℃에서 바그티칸과 아피통의 내부 3부위별 가열과 냉각 시간별 온도 변화에 대하여 보고하였다. 이상과 같이 단판용 원목의 전처리는 지역에 따라 가용 자원과 전처리 필요성 여부에 따라 연구 내용이 다소 상이하였다. 단판용 원목을 과소 가열하면 단판활렬과 두께변이에 따른 품질이 저하되고, 또한 과도 가열하면 원

목의 활렬, 毛狀單板, 목리의 쉼링(shelling) 그리고 spin-out와 관련되는 손상이 유발되고, 에너지 낭비가 초래될 수 있기 때문에 적절한 가열은 매우 중요한 의미를 지니고 있다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 현재 침엽수 중에서 주로 라디에타소나무와 일부 북양재가 단판용으로 이용되고 있으며, 급후 국산 일본잎갈나무도 이용될 수 있는 전망이 밝은 자원인 바, 이들 수종에 대해 특히 겨울철에 냉각된 원목의 효율적인 단판절삭을 위한 전처리로서 열수가열을 하고자 할 때, 열수온도에 따라 가열시간별 목재내부의 온도 변화와 아울러 가열된 원목이 다시 냉각될 때 냉각시간별 온도변화를 측정하여 원목의 적절한 가열시간과 가열이 완료된 원목이 절삭될 때까지 유효 재온을 유지하는 냉각시간을 구명하고자 실시하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 공시수종과 원목

공시수종은 국산 일본잎갈나무(*Larix leptolepis*), 극동지역산 다후리안 낙엽송(*Larix gmelinei*)와 뉴질랜드산 라디에타소나무(*Pinus radiata*) 등 3수종이고, 이들 수종에서 공시원목은 통직하고, 재장이 1.21m인 원목 1본씩 공시하였다. 수종별 공시원목의 지름과 성질은 Table 1과 같다. 또한 공시원목의 가열과 냉각온도를 측정할 때 열수온도와 내부 2부위별 초기온도는 Table 2와 같다.

2.2 공시기기

가열 수조의 내부 크기는 폭 91cm, 높이 83cm와 깊이 183cm로서 전열로 가열되며 온도 편차 $\pm 2^\circ\text{C}$ 를 유지하는 수조를 사용하였으며, 온도기록계는 정밀도 $\pm 1^\circ\text{C}$ 요코가와社 제품인 programmable intelligence 180mm型 12점 칼라 타점식과 기록지 $\mu\text{R} 180$ 을 사용하였다.

2.3 원목내부온도 측정

내부온도의 2 측정부위로 원목의 길이 중간부위의 재면에서 구멍 간격이 서로 8cm 떨어진 위치에서 방사방향으로 향해 지름은 3mm이고, 깊이는 재면에서 4cm와 10cm(코아온도)되는 곳 까지 천공한 후 구리·콘스탄탄 열전대를 삽입하고, 방수처리를 위하여 내열(250℃), 내한(-50℃)과 내수성의 실리콘으로 밀봉하였다.

준비된 원목은 일반적으로 소나무류와 낙엽송류에 적용할 수 있는 가열온도 범위에서 수온 55℃, 66℃와 77

Table 1. Diameters and properties of veneer bolt used.

Species	Diameter of butt end		Diameter of top end		Green density* ¹ (g/cm ³)	Basic Sp. Gr.* ²	Moisture content (%)
	Smallest (cm)	Largest (cm)	Smallest (cm)	Largest (cm)			
Japanese larch	25.4	25.7	24.3	25.1	0.83	0.45	84.5
Dahurian larch	24.7	25.5	23.7	25.1	0.70	0.46	51.3
Radiata pine	27.0	27.0	25.3	27.8	0.64	0.41	55.7

*1 Based on green weight and green volume.

*2 Based on oven-dry weight and green volume.

Table 2. Initial temperatures by two distances from surface and three vat temperatures for veneer bolts used.

Species	Distance from surface (cm)	Vat temperature (°C)		
		55	66	77
Japanese larch	4	4 (53)	7 (65)	0 (75)
	10	6 (52)	5 (63)	0 (70)
Dahurian larch	4	6 (52)	6 (64)	0 (73)
	10	8 (51)	5 (62)	0 (68)
Radiata pine	4	4 (53)	6 (65)	0 (76)
	10	6 (53)	5 (65)	0 (74)

*1 The values in round brackets refer to initial temperatures for cooling of bolts.

°C를 유지하는 수조에 함께 침수시켜 고정시킨 후 14~18시간 가열 중에 온도기록계로 재온 상승 과정을 측정하였다. 또한 원목이 가열된 후에 평균기온 3°C를 유지하는 욕내에서 수조의 열수를 배수시킨 즉시 14~18시간 냉각 중의 온도하강 과정을 측정하였다.

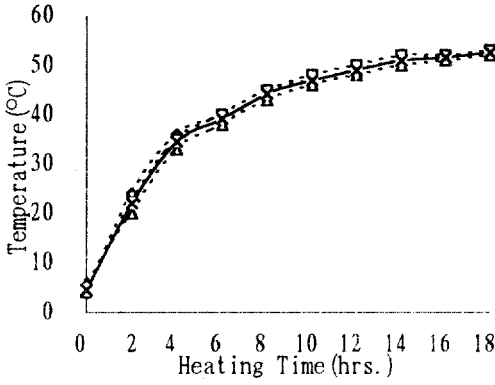
3. 結果 및 考察

3.1 원목의 내부온도 상승과 가열시간

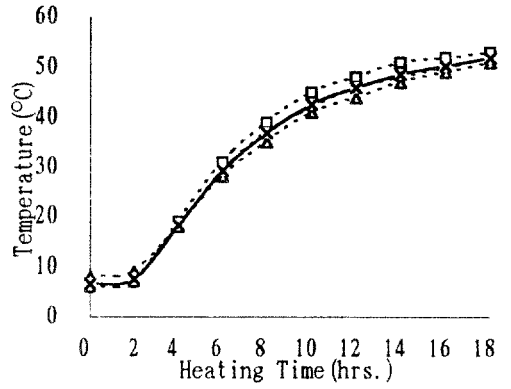
열수온도 55°C, 66°C와 77°C에서 가열시간별로 일본잎갈나무, 다후리안낙엽송과 라디에타소나무 각각의 원목의 재면으로부터 깊이 4cm부위와 코아온도(깊이 10cm), 그리고 이들 수종의 평균온도 상승과정은 Fig. 1과 같다.

수종별 내부부위의 온도변화를 열수온도별로 살펴보면, 열수온도 55°C인 경우 18시간 가열 중에 재면에서 깊이 4cm부위 온도는 일본잎갈나무와 라디에타소나무가 53°C, 다후리안낙엽송이 52°C까지 상승하였고, 코아온도는 일본잎갈나무가 52°C, 다후리안낙엽송이 51°C, 라디에타소나무가 53°C까지 상승하였으며, 수종간의 코아온도

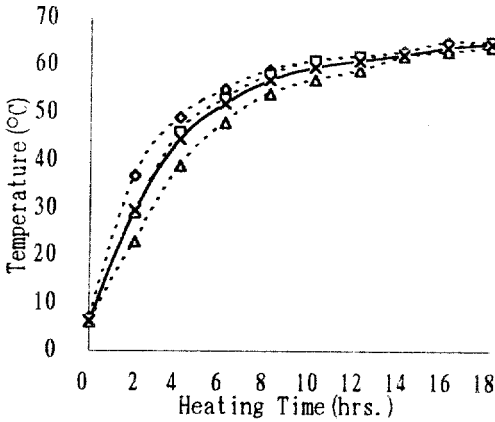
차이는 2°C에 불과하였다. 열수온도 66°C인 경우 18시간 동안 깊이 4cm부위 온도는 일본잎갈나무와 라디에타소나무가 65°C, 다후리안낙엽송이 64°C까지 상승하였고, 코아온도는 일본잎갈나무가 63°C, 다후리안낙엽송이 62°C, 라디에타소나무가 65°C까지 상승하였으며, 수종간의 코아온도 차이는 3°C이었다. 열수온도 77°C인 경우 14시간동안 깊이 4cm부위 온도는 일본잎갈나무가 75°C, 다후리안낙엽송이 73°C, 라디에타소나무가 76°C까지 상승하였고, 코아온도는 일본잎갈나무가 70°C, 다후리안낙엽송이 68°C, 라디에타소나무가 74°C까지 상승하였는데 수종간의 코아온도 차이는 4°C에 달하였다. 재면에서 4cm부위 온도는 가열초기부터 급속하게 상승하기 시작하였으나, 코아온도는 가열 2시간이후부터 급속하게 상승하는 경향을 나타내었다. 수종별 온도상승은 다후리안낙엽송이 약간 느린 편이고, 일본잎갈나무는 중간이며, 라디에타소나무가 약간 빠른 편이었지만 수종간에 차이는 매우 미미하였는데, 열수온도가 높을수록 수종간 최종코아온도의 차이가 커지는 경향을 나타내었다. 깊이 4cm부위와 코아온도 차이는 열수온도가 높을수록 컸고 재온이 열수온도에 접근되면서 가열속도는 느려졌다.



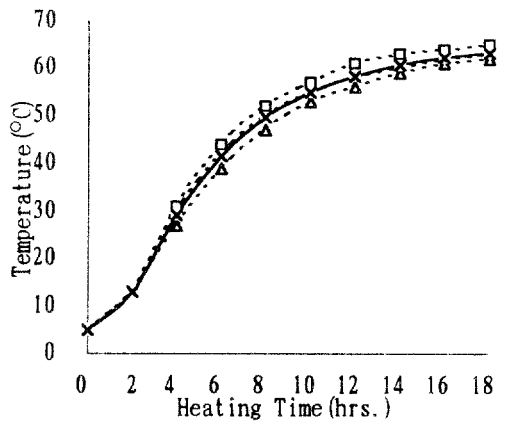
A. Vat temp. : 55°C. Distance from surface : 4cm



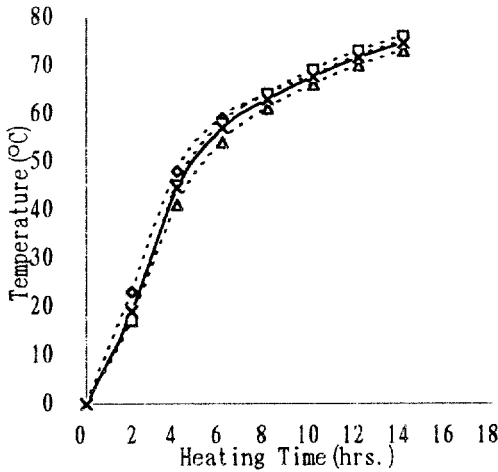
B. Vat temp. : 55°C. Distance from surface : 10cm



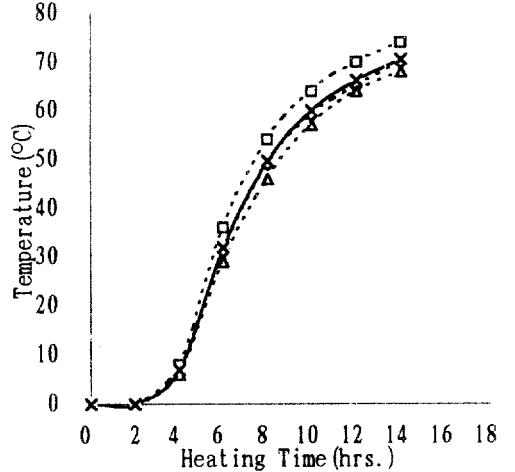
C. Vat temp. : 66°C. Distance from surface : 4cm



D. Vat temp. : 66°C. Distance from surface : 10cm



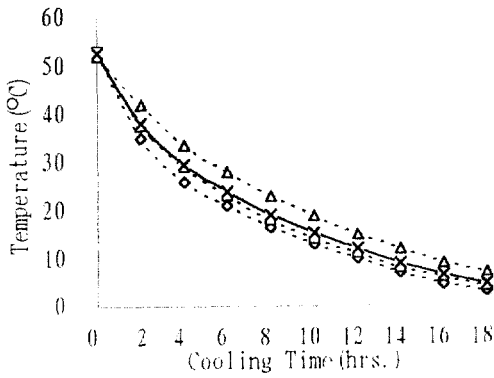
E. Vat temp. : 77°C. Distance from surface : 4cm



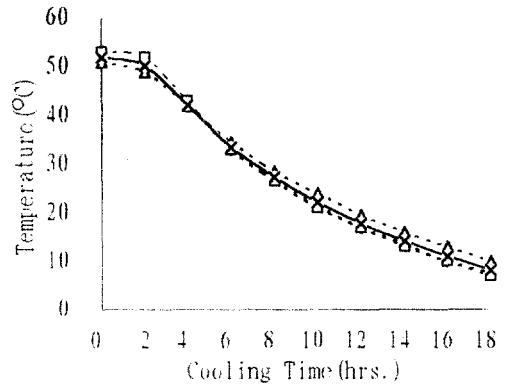
F. Vat temp. : 77°C. Distance from surface : 10cm

---◇--- Japanese larch, ---△--- Dahurian larch, ---□--- Radiata pine, —×— Average

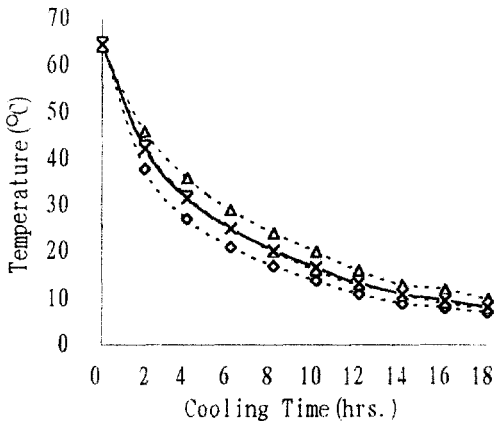
Fig. 1. Increases of internal temperatures of veneer bolt of softwoods during heating in three vat temperatures.



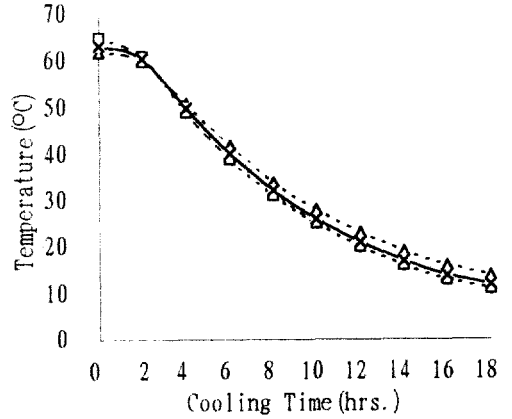
A. Vat temp. : 55°C. Distance from surface : 4cm



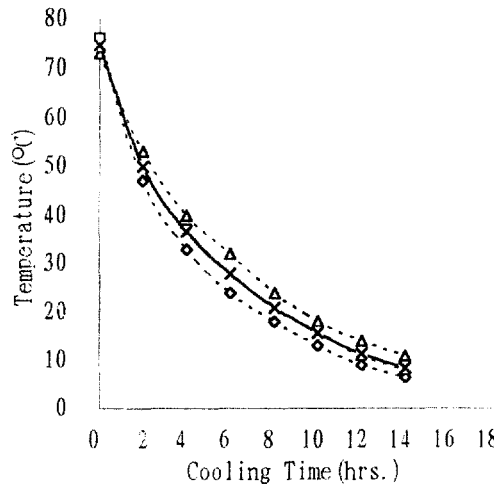
B. Vat temp. : 55°C. Distance from surface : 10cm



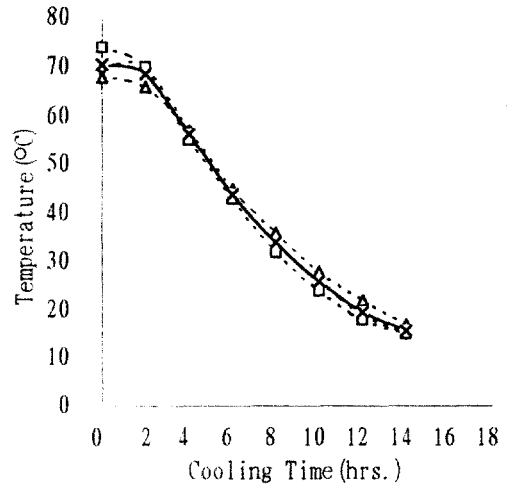
C. Vat temp. : 66°C. Distance from surface : 4cm



D. Vat temp. : 66°C. Distance from surface : 10cm



E. Vat temp. : 77°C. Distance from surface : 4cm



F. Vat temp. : 77°C. Distance from surface : 10cm

---◇--- Japanese larch, ---△--- Dahurian larch, ---□--- Radiata pine, —×— Average

Fig. 2. Decreases of internal temperatures during cooling at the average ambient temperature of 3°C for heated veneer bolt of softwoods.

본 연구에서 공시 수종의 생재밀도, 생재비중과 함수율의 차이가 있었고, 수종간의 코아온도 상승은 생재비중이 다소 크고 생재함수율이 다소 낮은 다후리안낙엽송이 약간 느렸고, 생재비중이 다소 작은 라디에타소나무는 약간 빠른 경향을 나타내고 있었는데, 이는 Feihl(1972)와 Tsoumis(1991)가 생재비중이 클수록 가열기간이 길어진다는 보고내용과 일치되고 있다. 이는 생재비중이 클수록 열전도도는 증가하지만 열확산률은 감소하기 때문에 가열속도는 생재비중에 반비례하기 때문이다. 또한 수종간의 생재함수율의 차이가 있었는데, 이는 Lutz(1978)가 어떤 수종의 생재는 섬유포화점 이상에서 함수율이 가열속도에 미치는 영향이 미미하다는 보고 내용과 부합되고 있다. 그러나 이와 같은 보고내용은 원목의 직경 성장 부위별로 비중과 함수율의 변이가 수종별로 어느 정도 차이가 존재할 수 있기 때문에 일률적으로 단정하기 어려운 것으로 생각된다.

본 연구에서 열수온도별 적절한 가열시간은 수종간 코아온도의 차이가 미미하였기 때문에 열수온도와 코아온도 차이를 6℃를 기준으로 평균적으로 보면 열수온도 55℃에서 14.5시간 정도이고 열수온도 66℃와 77℃에서 13.5시간 정도임을 알 수 있었다. 또한 원목의 가열시간은 동일한 비중과 함수율일지라도 원목의 초기온도와 지름에 따라 달라지는데, Lutz(1978)의 가열시 코아온도는 열수온도보다 6℃정도 낮은 것이 적절하고, 가열시간은 일반적으로 지름의 제곱에 비례하여 변한다는 보고 내용을 근거하여, 본 연구의 원목의 지름, 초기 제온과 온도 상승곡선을 활용하여 가열스케줄을 작성하는데 참조할 수 있을 것이다. 또한 수종간이나 어떤 수종에 있어서 콘디손닝 온도는 비중이 큰 목재일수록 높게 적용하고 있는데, 미국산 western larch의 경우 Baldwin(1975)은 32.2~71.1℃ 그리고 Lutz(1978)는 50.0~65.5℃을 각각 추천하였다. 따라서 앞으로 어떤 열수온도와材溫이 적절한지 여부는 목재 비중에 따라 온도가 제질, 절삭성과 단판품질에 미치는 영향 등이 구명되어야 할 것이다.

3.2 원목의 내부온도 냉각과 냉각시간

열수온도 55℃, 66℃와 77℃에서 가열이 끝난 원목에 대해 냉각시간별로 일본잎갈나무, 다후리안낙엽송과 라디에타소나무 각각의 원목의 재면으로부터 깊이 4cm와 코아온도 그리고 이들 수종의 평균온도의 하강과정은 Fig. 2와 같다. 모든 수종과 가열온도에서 4cm깊이 온도는 냉각 개시부터 급속하게 냉각되기 시작하였다. 수종별로 냉각속도는 온도 상승속도의 경우와 같이 다후리안낙엽송

이 약간 느린 편이었고, 일본잎갈나무와 라디에타소나무는 약간 빠른 경향을 나타내고 있으나 수종간의 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다.

Lutz(1978)는 원목이나 플리치(flitch) 각 부위의 절삭온도는 단판절삭이 완료되는 동안 6℃미만을 유지하여야 한다고 보고하였는데 가열 중의 원목 내부부위간 온도 차이 뿐만 아니라 가열이 끝난 이후에도 절삭이 종료될 때까지 내부온도가 허용온도 이상 냉각되면 가열효과가 감소될 수밖에 없는 바, 이와 같은 연구보고를 고려하면 깊이 4cm부위 온도를 기준으로 보면 원목의 유효 냉각시간은 30분 정도였다. 원목의 내부부위별 냉각속도는 주위 기온과 풍속에 좌우되었고 재면온도가 보다 급속하게 하강한다는 점을 고려하면 가열처리된 원목은 단판의 품질 유지와 나이프와 가압봉의 heat distortion을 예방하기 위해서 가능한 단시간 내에 절삭이 완료되어야 할 것이다.

4. 結 論

열수온도 55℃, 66℃와 77℃에서 국산 일본잎갈나무, 다후리안낙엽송과 라디에타소나무 원목의 깊이 4cm와 10cm 부위 온도의 가열온도와 가열된 원목의 주위 평균 온도 3℃에서의 냉각온도 변화과정은 서로 비슷한 경향을 나타내었다. 수종간 10cm깊이 코아온도의 차이는 열수온도가 높을수록 약간 커지는 경향을 나타내고 있었다. 열수온도와 최종 코아온도 차이 6℃를 기준한 평균가열시간은 55℃에서 14.5시간, 66℃와 77℃에서 13.5시간 정도 요구되었다. 또한 3 수종의 가열처리된 원목의 재면으로부터 깊이 4cm와 10cm 부위의 온도는 각각 냉각 개시와 약 2시간 이후부터 급속하게 냉각되기 시작하였다.

參 考 文 獻

1. Baldwin, R. F. 1975. Plywood Manufacturing Practices. Miller Freeman Publications, Inc. USA: 62
2. Feihl, A. O. 1972. Heating Frozen and Non-frozen Veneer Logs. *Forest Prod. J.* 22(10): 41~50
3. Fleischer, H. O. 1965. Heating Rates for Logs, Bolts and Flitches to be Cut into Veneer. U. S. Forest Prod. Lab. Report No. 2149

4. Kinoshita, N. 1984. Effects of Peeling Conditions on Veneer Qualities in Thick Veneer Peeling. *Bull. For. & For. Prod. Res. Inst.* No. 326: 9~68
5. Koch, P. 1965. Effects of Seven Variable on Properties of Southern Pine Plywood. 1. Maximizing Wood Failure. *Forest Prod. J.* 15: 355~361
6. Lutz, J. F. 1978. Wood Veneer: Log Selection, Cutting and Drying. USDA Forest Service. Technical Bulletin 1577: 34~45
7. Steinhagen, H. P. 1977. Heating Times for Frozen Veneer Logs - New Experimental Data. *Forest Prod. J.* 27(6): 24~28
8. Steinhagen, H. P., G. E. Meyers and H. Kubler. 1980. Heating Time Charts for Frozen and Nonfrozen Veneer Logs. *Forest Prod. J.* 30(4): 27~37
9. Steinhagen, H. P., H. W. Lee, and S. P. Loehnertz. 1987. LOGHEAT: A Computer Program for Determining Log Heating Times for Frozen Logs. *Forest Prod. J.* 37 (11/12): 60~64
10. Tsoumis, G. 1991. Science and Technology of Wood. Van Nostrand Reinhold: 310~323
11. Yoshida, H., T. Taguchi, K. Nozaki and T. Ogura. 1974. Some Factors Affecting the Qualities of Peeled Larch Veneer. *J. Hokkaido*