

최 중
연구보고서

국산 침엽수재를 이용한 철도 침목
생산 기술 개발

Development of Manufacturing
Technology of Railway ties from
Domestic Softwoods

연구기관
충남대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “국산 침엽수재를 이용한 철도 침목 생산 기술 개발”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 7월 일

주관연구기관명 : 충남대학교

총괄연구책임자 : 이 종 신

세부연구책임자 : 이 화 형

연 구 원 : 가 운 노

연 구 보 조 원 : 황 순 원

연 구 보 조 원 : 조 영 주

연 구 보 조 원 : 김 진 경

연 구 보 조 원 : 권 상 훈

연 구 보 조 원 : 박 재 혁

요 약 문

I. 제 목

국산 침엽수재를 이용한 철도 침목 생산 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

철도 침목은 레일을 고정시키고 레일에 가해지는 차량의 하중을 도상으로 분산시켜 운행의 안전성을 보장해주는 매우 중요한 선로 부재로서 기계적 성질이 우수한 목재가 사용되어 왔다. 목재는 외부의 열악한 환경조건하에서 사용하게 되면 부후 등의 열화가 발생하여 재료로서의 사용수명이 단축된다. 이를 방지하기 위하여 방부처리를 통하여 내구성을 향상시키고 있다. 철도 침목의 방부처리에는 크레오소오트유가 사용되고 있다. 미국에서의 크레오소오트유 처리 침목의 사용수명은 보통 25~30년(최대 40년)인데 반하여 국내에서 생산되고 있는 침목의 경우에는 15년 전후로 사용 수명이 매우 짧다. 이와 같이 국내산 철도 침목의 사용수명이 짧은 이유는 첫째, 침목 생산에 세랑강바투, 케루잉, 비텍스 등 방부제의 주입성이 나쁜 열대산 활엽수재 만을 사용하고 있어 방부처리 품질이 극히 불량하기 때문이다. 둘째, 방부처리 전에 스파이크용 예비 천공(preboring)을 해야 함에도 불구하고 시공 편의 상 방부처리 후에 예비 천공함으로서 크레오소오트유 미침투 부위의 노출로 내부 부후가 진행되어 스파이크 유지력을 상실하기 때문이다.

PC(prestressed concrete) 철도 침목 등장으로 국내 철도 침목 생산업체는 쇠퇴의 길로 접어들고 있다. 국내산 침엽수재의 고부가가치화를 창출하고 침목 생산업체의 활성화를 도모하기 위해서는 국내산 침엽수재를 이용한 경제성 있는 철도 침목 생산 기술을 개발할 필요가 있다. 가까운 일본이나 미국의 경우에는 방부제 주입성이 양호한 자국 산의 활엽수나 침엽수재를 사용하여 품질이 우수한 방부처리 침목을 생산하여 사용하고 있다. 그러나 국내에서는 지금

까지 국내산 침엽수재를 이용하여 철도 침목을 생산하여 시공한 예가 거의 없다.

국산 침목 생산을 위해서는 국산 침엽수재의 강도적 성질 및 크레오소트유 주입성과 최적의 자상처리 조건을 구명해야 한다. 또한 크레오소트유 주입성 향상 및 강도저하 방지를 위한 새로운 기계적 전가공 기술을 개발해야 한다. 침목 교체 현장에서 예비 천공을 해야 하는 경우 크레오소트유 미침투 부위의 노출 및 내부 부후 발생을 방지하여 침목의 획기적인 예비 천공 부위의 크레오소트유 침투 촉진 가공 기술을 개발할 필요가 있다. 침엽수재의 재질 특성을 이용하여 약제의 침투성을 효율적으로 개선시키고 강도 저하를 방지할 수 있는 새로운 횡압축 처리 기술을 개발할 필요가 있다. 이들 연구 결과를 토대로 철도 침목 생산을 위한 최적의 국산 침엽수재를 선정하고 이용 기준을 개발하고자 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

철도 침목 생산에 최적의 국산 침엽수재를 선별하기 위해 국산 소나무, 잣나무 및 낙엽송을 대상으로 변재 및 심재의 부위 별로 휨강도, 횡압축강도, 스파이크 인발저항력 등 강도적 성질을 조사한다.

침엽수 수종 및 심재와 변재의 부위별로 크레오소트유를 주입하여 침윤도 및 흡수량을 조사하여 국산 침엽수재의 크레오소트유의 침투 특성을 조사한다.

수종 별로 최고의 크레오소트유 주입성을 얻을 수 있고 강도 저하를 최소화할 수 있는 최적의 자상 처리 조건(자상 깊이, 자상 방향, 자상 밀도 등), 특히 난주입성 수종인 낙엽송재의 침투성 개선을 위한 최적의 고밀도 자상처리 조건을 구명한다.

자상 처리를 대체할 수 있고 크레오소트유 주입성과 강도 저하를 보다 개선할 수 있는 새로운 기계적 전가공 기술로서 횡압축 처리법 개발하고 최적의 처리 조건을 구명한다.

기존의 자상처리 후 다시 횡압축 처리를 실시하여 크레오소오트유의 주입성과 강도적 성질 등을 조사하여 자상처리 또는 횡압축 처리 단독의 경우와 비교하여 새로운 크레오소오트유 침투촉진을 위한 처리법으로 정립한다.

현장 예비 천공 부위의 내부 부후 발생을 방지하여 침목의 수명을 연장시킬 수 있는 크레오소오트유의 침투 촉진을 위한 가공 기술을 개발 한다.

철도 침목으로 이용 가능한 최적의 국산재 수종을 선발하고 국산재의 철도 침목 이용 기준을 개발한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

국내산 주요 침엽수재인 소나무, 잣나무, 낙엽송의 유상 목재방부제 크레오소오트유 침투성에 관한 조사는 국내에서 수행된 바가 없으나 이번 연구를 통하여 각 수종 별 크레오소오트유의 침투 특성에 관한 귀중한 자료를 확보하게 되었다.

현재 국내에 대량 식재되어 대경목 생산이 많은 리기다 소나무의 경우 수지성분의 다량 함유로 크레오소오트유의 침투성이 나쁠 것으로 예상하였으나 우수한 침투성을 보여 철도 침목 생산용으로의 개발 가능성이 매우 높다는 결론을 얻었다.

국내산 주요 침엽수재인 리기다소나무 및 잣나무의 경우에는 약제 침투성 촉진을 위한 기계적 전가공 처리를 실시하지 않아도 KS 규격에 적합한 크레오소오트유 침윤도 및 흡수량을 얻을 수 있음이 밝혀졌다.

낙엽송에 대한 크레오소오트유 침투성을 조사한 결과, KS 규격(KS F 3005)의 자상 처리 조건으로는 크레오소오트유 침윤도 및 흡수량 조건을 충족시킬 수 없음이 밝혀졌다.

낙엽송의 크레오소오트유 처리도를 만족시키기 위해선 자상 밀도를 KS 규격의 2.5배(2000개/㎡)로 증가시킬 필요가 있는 것으로 밝혀졌다.

자상 처리가 침목의 강도에 미치는 영향을 조사한 결과, 특히 침목에서 요구되는 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력은 직접적인 영향을 받아 자상

밀도 및 깊이가 증가함에 따라 거의 직선적으로 감소하는 것으로 밝혀졌다. 그러나 스파이크 인발 저항력의 경우에는 자상 처리의 영향이 미미하거나 거의 없는 것으로 나타났다.

크레오소오트유의 침투성이 우수한 리기다소나무 및 잣나무의 경우에는 현행의 KS 규격 자상 처리 조건보다 마일드한 조건(자상 깊이 15mm)에서 처리해도 높은 크레오소오트유 처리도를 달성할 수 있을 뿐만 아니라 강도저하를 방지할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

리기다소나무 및 잣나무에 횡압축 처리를 실시한 결과 크레오소오트유의 침투 촉진으로 침윤도 및 흡수량이 증가하여 보다 내구성이 우수한 철도 침목 생산에 적합한 전가공 방법으로 활용할 수 있을 것으로 기대되었다.

국내산 침엽수 중에서 가장 난주입성 수종으로 알려진 낙엽송에 대하여 자상처리 후에 횡압축 처리를 실시함으로써 크레오소오트유의 침윤도 및 흡수량이 월등하게 개선되어 KS 규격을 만족시킬 수 있었다.

횡압축 처리가 침목의 강도적 성질에 미치는 영향을 조사한 결과, 철도 침목에서 중요한 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 스파이크 인발저항력에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다.

횡압축 처리에 따른 침목 두께방향의 변형량을 조사한 결과, 횡압축 처리 후 24시간 경과 시점에서 원래 치수의 98-99%까지 회복됨으로서 횡압축 처리에 의한 침목의 치수변화는 거의 발생하지 않는 것으로 밝혀졌다.

횡압축 처리에 따른 침목 내부의 조직변화를 주사전자현미경 관찰을 통하여 확인한 결과, 리기다소나무의 경우에는 가도관 내강측에 다량의 spiral crack 이 발생한 것을 알 수 있었다. 그러나 잣나무 및 낙엽송의 경우에는 일부 가도관 내강 측에 crack의 발생이 있었을 뿐 리기다소나무에 비하면 미미한 수준에 머물렀다.

횡압축 처리에 의한 크레오소오트유의 침투성 향상은 가도관 벽에 발생한 미세한 crack에 의한 것이라고 판단되었으며 이들 미세 crack이 침목의 강도적 성질에 미치는 영향은 거의 없었다.

침목 측면에서 깊게 자상처리를 실시한 결과 현장 예비 천공 부위의 스파이

크 위치까지 크레오소오트유의 침투가 촉진되어 난주입성 수종인 낙엽송에서도 만족할 만한 침윤도 및 흡수량을 달성할 수 있었다.

국내산 침엽수재 중에서 리기다소나무의 경우에는 우수한 약제 침투성 때문에 측면에서의 깊은 자상처리를 하지 않아도 현장 예비천공 부위까지 크레오소오트유의 침투가 이루어져 내구성이 높은 침목 생산이 가능한 것으로 밝혀졌다.

측면에서의 깊은 자상처리가 침목의 강도적 성질에 미치는 영향을 조사한 결과, 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력에는 별 영향이 없었으나 스파이크 인발저항력은 감소하는 경향을 보였다. 따라서 스파이크 인발저항력 저하가 발생하지 않고 크레오소오트유의 침투를 촉진시킬 수 있는 최저의 자상 깊이와 밀도를 좀 더 검토해야 할 것으로 판단되었다.

국산 침엽수 중에서 철도 침목 생산에 리기다소나무와 낙엽송의 이용 가능성이 가장 높은 것으로 나타났다. 잣나무의 경우에는 크레오소오트유의 침투성은 양호하나 강도적 성질이 약간 떨어질 뿐만 아니라 재질 면에서도 집중용이의 발생으로 부적합한 것으로 판단되었다.

리기다소나무는 크레오소오트유의 침투성이 매우 우수하기 때문에 자상처리와 같은 전가공을 실시하지 않아도 되며 따라서 강도 손실이 없는 우수한 품질의 철도 침목을 생산할 수 있을 것으로 판단되었다.

낙엽송은 약제 침투성이 극히 불량하여 현재의 침목 생산에 적용하고 있는 자상처리 수준에 의해서는 만족할 만한 크레오소오트유의 침윤도 및 흡수량을 얻을 수 없는 것으로 밝혀졌다.

고품질의 낙엽송 침목을 생산하기 위해서는 자상 깊이와 자상 밀도를 각각 20mm와 1200개/㎡ 이상으로 해야 하는 것으로 조사되었다.

본 연구 결과를 국내 침목 생산에 활용하기 위해서는 침목 생산용 수종에 대한 인식전환이 필요하다. 즉, 철도 침목에는 단단하고 잘 썩지 않는 남양 활엽수재만 사용할 수 있다는 생각으로부터 탈피하여 크레오소오트유 침투성이 매우 우수한 국내산 침엽수재를 사용하려고 하는 시도가 필요하다.

SUMMARY

I. Title

Development of manufacturing technology of a railway ties from domestic softwoods

II. research objectives and Needs

A woods which has excellent mechanical properties as major line material has been used to protect safety of operation by distributing train load opposing to train rail as well as fixation of a rail. The life span of wood can be reduced by decay under worse external conditions. To protect this decay, durability can be improved by preservative treatment. Creosote is used for preservation of a railway ties. In USA, the life span of a railway ties treated with creosote is approximately 25 to 30 years while that of the railroad tie is about 15 years or less produced in Korea. The reasons of these difference in durability are as follows; the quality of preservation is worse because a tropical hardwoods such as Selangan batu, Apitong and Vitex which have bad penetration characteristics as are used in production of a railway ties. And these ties do not have any maintenance properties by internal decay of exposed pre-boring portion which creosote did not penetrate although it required to perform pre-boring for spike before preservative treatments. The domestic railway ties industry is dwindling away because of advent of prestressed concrete railroad ties. Therefore, our industries need to develop the economic railway ties technology using domestic softwoods for contriving vitalization of industries and creating higher value-added business from domestic softwoods. Nearby Japan and USA utilize their hardwoods or softwoods in manufacturing high

quality preservative ties. However, we have not manufactured any railway ties using domestic softwoods yet.

To manufacture railway ties from domestic softwoods, we have to verify strength characteristics, penetration property of creosote, and adequate treatment method for our domestic softwoods. Also, we need to develop new full processing technology to protect deterioration of strength and to improve penetration of creosote.

We also need to develop expedite penetration of creosote over the pre-boring area for protection of decay on internal and creosote-impervious area if it requires pre-boring on site. Thus it is necessary to develop new compressive perpendicular to grain technology to protect strength decline and to improve efficient injection method using material characteristics of a softwoods. Then, we set up the standards of uses by selecting our softwoods for manufacturing ties based on the results mentioned above.

III. Research contents

We investigated the characteristics of withdrawal resistance of spike, compressive strength perpendicular to grain and bending strength of sapwood and heartwood for Pitch pine, Korean pine, and a Japanese Larch to select the most suitable softwood for manufacturing railway ties. Also we investigated penetration characteristics of creosote for a domestic softwood by observing adsorption and permeability for the proportion of heartwood and sapwood depending on softwood species by creosote impregnation.

For softwood species we tried to verify the most suitable treatment conditions of depth, direction and density of incising to obtain the highest penetration levels of a creosote, especially in treatment conditions of the

most suitable high density incising for a Japanese Larch with respect to development of penetration.

On the other hand, we observed the most reasonable treatment conditions of compressive perpendicular to grain as new mechanical process to improve creosote penetration and decline of strength, and to substitute incising.

From this experiment we tried to establish the new expedited penetration of creosote as compared with compressive perpendicular to grain itself and incising by investigating penetration of creosote and strength property influenced by compressive perpendicular to grain after principle incising.

We developed the accelerated process to penetrate creosote to extend length of a ties and to protect internal decay over post-boring on site after creosote treatment. We developed the standards to use as the railway ties by selecting the most suitable domestic softwood which could be used railway ties.

IV. Results of experiment and suggestion for utilization of this research

In this experiment we acquired very precious data regarding to penetration characteristics of creosote while there were little about researches related to penetration of creosote as wood preservatives for Pitch pine, Korean pine, and a Japanese Larch which are major softwoods in Korea.

We could conclude that Pitch pine which are planted in great area can be used as a valuable railway ties because it can produce higher amount of wood with large diameter while we expected penetration characteristics of

creosote through it are not good enough because it contains large amount of resin.

we found that penetration and absorption of creosote are reasonable to meet KS standards for the domestic softwood such as Pitch pine and Korean pine although it did not require a mechanical process for improvement of creosote penetration.

For a Japanese larch with respect to penetration of creosote we found that incising relevant to KS standard (KS F 3005) did not meet the amounts of absorption and penetration of creosote. To meet the treatment of creosote it needs to increase incising by 2.5 times of KS standard of 2000 individual/m².

The results influenced by strength of ties for incising treatment showed that proportional limit stress of partial compression perpendicular to grain which is required for a ties proportionally decreased with increasing incising density and depth. But the influence of withdrawal resistance of spike by incising was not observed.

Also we found that a Korean pine can meet treatability of creosote under the condition (depth of incising : 15 mm) which is relatively milder than that of incising according to KS standard, we well as it can protect decline of strength.

The results of treatment of compression perpendicular to grain for Pitch pine and a Korean pine could show the possibility that promoted penetration and increased absorption of creosote can facilitate full tie process for manufacturing a suitable process. By applying of compression perpendicular to grain into Japanese larch which is known as impermeable one among the domestic softwoods after incising, impregnation and absorption of creosote are significantly improved to meet KS standard. The compression perpendicular to grain influenced on the strength of a ties did

not influence proportional limit stress of partial compression perpendicular to grain.

The changes in thickness of ties after treatment of compression perpendicular to grain represented that there were little changes in length of tie because the ties was recovered by 98-99 % of the original length after 24 hours of compression perpendicular to grain.

The internal structural changes of a ties observed from microscope showed that there were massive spiral crack in tracheid of the tie for Pitch pine while the tracheid of the tie for Korean pine and Japanese larch was traceable.

We assumed that the promoted penetration after treatment of compression perpendicular to grain could be attributed by small crack developed on the tracheid wall while these crack did not affect strength property of the ties.

The results of deep incising inside the tie showed that penetration of reached to the spike on the post-boring that achieved reasonable penetration and absorption of creosote for a Japanese larch which is one of impermeable species.

Among the domestic softwoods, Pitch pine could be used to manufacture the durable tie because of excellent creosote penetration reaching to the area of post-boring without deep incising.

The strength properties of the ties for deep incising influenced proportional limit stress of partial compression perpendicular to grain but not for withdrawal resistance of spike. Therefore, we conclude that we need to evaluate the minimum incising depth and density how we can improve impregnation of creosote without decrease of withdrawal spike resistance.

Pitch pine and Japanese larch were found to be most usable as the

railway ties among the domestic softwoods. Korean pine was found to be unsuitable as the railway tie because low strength and material quality due to many knots although penetration of creosote was favorable. Pitch pine was found to be suitable as a high quality railway ties because of high penetration of creosote and no incising, as well as no loss of strength. Japanese larch having worse penetration and absorption of creosote that could not be compensated by incising was not suitable to be used as the railway tie.

To manufacture a high quality tie, it requires minimum 20mm and 1200 individual/m² for incising depth and density, respectively. However, we have to approach with new thoughts and understanding for the woods which can be used to manufacture the railway tie. That is, we need new and unbiased approach to use high quality domestic softwoods due to excellent penetration of creosote instead of using tropical hardwood in Southeast Asia which has good properties such as high density and decay resistance.

CONTENTS

Part I	Out line of research	15
1.	Targets of research	15
2.	Requirements of research	15
3.	Scopes of research	19
Part II	Status of technology in domestic and aboard	21
1.	Status and problems of related technology in domestic and aboard	21
2.	Prospects	21
Part III	Contents and results of research	23
1.	Preface	23
2.	Mechanical properties in domestic softwoods	25
3.	Creosote penetration in domestic softwoods	32
4.	Optimum conditions of incising in domestic softwoods	38
5.	Treatments of compressive perpendicular to grain in domestic softwoods	58
6.	Deep incising of parts of post-boring in domestic softwoods railway ties	98
7.	Standards of use and selection of domestic softwoods for railway ties	117
Part IV	Attainment of targets and contribution to related fields	122
Part V	Application of results	126
Part VI	References	127

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	15
제 1 절 연구개발의 목적	15
제 2 절 연구개발의 필요성	15
제 3 절 연구개발의 범위	19
제 2 장 국내외 기술개발 현황	21
제 1 절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점	21
제 2 절 앞으로의 전망	21
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	23
제 1 절 서 설	23
제 2 절 국산 침엽수재의 강도적 성질	25
제 3 절 국산 침엽수재의 크레오소오트유 침투 특성	32
제 4 절 국산 침엽수재의 최적 자상처리 조건 구명	38
제 5 절 국산 침엽수재의 횡압축 처리	58
제 6 절 침목의 현장 예비친공 부위의 심부자상처리	98
제 7 절 철도 침목용 국산 침엽수재 선발 및 사용 기준	117
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	122
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	126
제 6 장 참고문헌	127

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

국내산 침엽수재를 이용한 경제성 있는 철도 침목 생산 기술을 개발하여 PC침목 등장으로 인한 침목 수요의 쇠퇴를 방지하고 국내산 침엽수재의 고부가가치화의 창출 및 침목 생산업계의 활성화를 도모하는 데 본 연구 개발의 목적이 있다. 이를 위해 국산 침엽수재의 강도적 성질 및 크레오소트유 주입성과 최적의 자상처리 조건을 구명하고 크레오소트유 주입성 향상 및 강도저하 방지를 위한 새로운 기계적 전가공 기술을 개발하고자 한다. 또한 크레오소트유 침투 촉진을 위한 현장 예비 천공 부위의 가공 기술을 검토함과 동시에 침엽수재는 재질 특성 상 활엽수재와는 달리 섬유직각 방향으로 횡압축을 가하면 폐쇄벽공의 개열로 재질 파괴 및 강도 저하를 일으키지 않고도 효율적으로 액체의 침투성을 개선시킬 수 있기 때문에 침엽수 철도 침목 생산에 있어 크레오소트유 주입성 향상을 위한 처리 방법으로 개발하고자 한다. 이들 연구 결과를 토대로 철도 침목용 최적의 국산 침엽수재를 선정하고 이용 기준을 개발하고자 한다.

제 2 절 연구개발의 필요성

철도 침목은 레일을 고정시키고 레일에 가해지는 차량의 하중을 도상으로 분산시켜 운행의 안전성을 보장해주는 매우 중요한 선로 부재로서 기계적 성질이 우수한 목재가 사용되어 왔다. 목재를 외부의 열악한 환경조건하에서 사용하게 되면 부후 등의 열화가 발생하여 재료로서의 사용수명이 단축되기 때문에 방부처리를 통하여 내구연한을 연장시키고 있으며 철도 침목의 방부처리에는 크레오소트유가 사용되고 있다. 미국에서의 크레오소트유 처리 침목

의 사용수명은 보통 25~30년(최대 40년)인데 반하여 국내에서 생산되고 있는 침목의 경우에는 15년 전후로 사용 수명이 매우 짧다. 국내에서 생산되는 침목의 사용 수명이 짧은 이유는 첫째, 침목 생산에 세랑강바투, 케루잉, 비텍스 등 방부제의 주입성이 극히 불량한 열대산 활엽수재 만을 사용하고 있어 방부처리 침목의 품질이 불량하기 때문이며, 둘째, 방부처리 전에 스파이크(레일과 플레이트를 침목에 고정시키는 강철제의 못) 박을 자리에 예비 천공(preboring)을 해야 함에도 불구하고 시공 편의 상 방부처리 후에 침목 교체 현장에서 예비 천공하여 스파이크를 박고 있기 때문에 방부제 미침투 부위의 노출로 인한 내부 부후 진행으로 스파이크 인발 저항력의 약화가 발생하기 때문이다.

가까운 일본이나 미국의 경우 방부제 주입성이 양호한 자국산의 활엽수나 침엽수재를 사용하여 품질이 우수한 방부처리 침목을 생산하여 사용하고 있다. 그러나 국내에서는 지금까지 국내산 침엽수재를 이용하여 철도 침목을 생산하여 시공한 예가 거의 없다. 그 이유는 1980년대 초에 제정된 철도 침목 관련 KS 규격(KS F 3005-1982)에서 침목용 수종을 열대산 활엽수재 중심으로 규정한 이래 현재에 이르고 있고 침목의 사용 수명은 방부제 처리도에 직접적인 영향을 받기 때문에 우수한 품질의 방부처리 침목을 생산하기 위해서는 수종의 방부제 주입성을 먼저 고려해야 함에도 불구하고 국내 생산업체나 수요자(철도청) 측에서는 높은 강도적 성질 및 자연 내후성을 갖는 열대산 활엽수재 침목이 사용 수명도 긴 것으로 잘못 인식하고 있기 때문이다. 또한 국내산 침엽수재를 철도 침목 용도로 개발하기 위한 연구 부족으로 침목 생산업체나 수요자 측에 국내산 침엽수재의 사용을 적극적으로 권장할 수 있는 관련 자료가 부족한 것도 한 이유라고 할 수 있다. 국내산 침엽수재가 열대산 활엽수재에 비하여 자연 내후성이나 강도적 성질은 열등하나 우수한 방부제 주입성을 가지고 있어 사용 수명이 긴 고품질의 방부처리 침목을 생산할 수 있고 미국에서도 fir, spruce, pine, larch 등과 같은 수종을 철도 침목용으로 사용하고 있는 점으로부터 철도 침목용 수종으로 국내산 침엽수재의 사용 가능성은 매우 높다고 할 수 있다. 따라서 비교적 자원이 풍부한 소나무, 잣나무, 낙

엽송과 같은 국내산 침엽수재를 부가가치가 높은 철도 침목용으로 개발하기 위해서는 이들 수종들의 기계적 성질, 특히 종압축강도, 휨강도 등에 관해서는 기존의 연구 자료가 있으나 철도 침목에서 가장 요구되는 부분 횡압축강도(단기 허용 응력도)나 스파이크 인발 저항력에 관해서는 연구된 예가 없기 때문에 각 수종들의 기계적 성질에 대한 종합적인 조사가 필요하다. 또한 각 수종들의 크레오소오트유 주입성을 조사한 후 처리도 향상을 위한 자상처리(인사이징) 필요성의 유무, 필요시에는 최상의 처리도를 얻을 수 있음과 동시에 강도 저하를 최소화할 수 있는 최적의 자상 처리 조건(칼날의 깊이, 칼날의 방향, 칼날 밀도 등) 등을 구명할 필요가 있다.

현재의 자상 처리를 대체할 수 있고 크레오소오트유 주입성 향상 및 강도저하를 방지할 수 있는 새로운 기계적 가공 기술도 병행하여 개발할 필요가 있다. 현재 국내에서는 레일 시공 상의 문제로 침목 교체 현장에서 예비 천공을 하고 있기 때문에 침목 내부의 크레오소오트유 미침투 부위가 노출되어 내부 부후가 발생하고 이로 인하여 스파이크 인발 저항력이 약화되어 침목의 사용 수명을 단축시키는 피해를 초래하고 있다. 따라서 이와 같은 피해를 방지할 수 있는 획기적인 예비 천공 부위의 크레오소오트유 침투 촉진 가공 기술을 개발할 필요가 있다.

국내 선로에 부설되어 있는 침목의 총 수는 10,946,098개(2002년 12월말 기준)로 이 중에서 PC(prestressed concrete) 침목이 4,750,790개, 침목이 6,195,308개로 침목이 우위를 점하고 있다. 그러나 2002년 철도청에서 교체를 위해 구매한 침목 수량(침목 4만 여개, PC 침목 60만 여개) 으로부터 알 수 있듯이 현재 선로 구간 중에서 곡선, 이음매, 분기, 교량 구간과 같이 PC 침목을 사용할 수 없는 일부 특수 구간을 제외한 직선 구간은 모두 PC 침목으로 교체되어 가고 있는 추세이다. 이와 같이 침목의 사용량이 급격하게 감소하는 가장 큰 이유는 침목이 PC 침목에 비하여 사용 수명이 짧음(침목 15년, PC 침목 30~50년)에도 불구하고 오히려 가격(침목 47,000원/개, PC 침목 38,000원/개)이 비싸 경제성이 떨어지기 때문이다. 침목 수요의 감소는 국내 침목 생산 업계(8개업체)에 불황을 초래하여 현재 공장 가동율이 32%에

머물고 있으며 이러한 현상은 앞으로 더욱 가속화될 것으로 예상됨에 따라 대책을 강구해야 할 필요가 있다. 침목 생산업계의 활성화는 PC 침목에 대응할 수 있는 경쟁력 있는 침목 생산에 의하여 달성할 수 있기 때문에 생산비 절감을 위해 원재료를 열대산 수입 활엽수재(아피통, 약 330,000원/m³)에서 가격이 저렴한 국내산 침엽수재(낙엽송, 약 210,000원/m³)로 대체시킬 필요가 있다. 또한 방부제 주입성이 양호한 국내산 침엽수재를 사용함으로써 외국의 예와 같이 사용 수명이 긴 침목 생산이 가능하여 경제성을 향상시킬 수 있다. 또한 국내산 침엽수재의 새로운 용도 개발로 국산재 이용의 활성화를 도모할 수 있으며 외화절감 효과(2002년도 열대산 활엽수재 침목 수입 추정액 57.7 억원)도 가져올 수 있다.

최근 전 지구적 관심사로 떠오른 지구온난화 방지를 위해 추진되고 있는 기후 변화 협약에 국가적으로 대처할 필요가 있다. 이를 위해서는 침목을 제조하는 데 필요한 화석 연료 에너지(이산화탄소 등 온실가스 배출의 주요 원인)와 이 때 발생하는 이산화탄소 배출량 면에서 PC 침목(콘크리트 기준, 화석 연료 에너지량 4,800kg/m³, 이산화탄소 배출량 120kg/m³)에 비하여 절대적으로 유리한 침목(천연건조 목재 기준, 화석 연료 에너지량 750kg/m³, 이산화탄소 배출량 -235kg/m³)의 사용을 국가적 차원에서 적극적으로 유도해야 하며 이것은 PC 침목과 경쟁할 수 있는 경제성 있는 침목 생산을 위한 기술개발에 의해 달성할 수 있다. 또한 PC 침목에 비하여 탄성이 풍부한 침목의 사용 증대는 차량 운행 시 발생하는 소음 및 진동을 완화시킬 수 있어 사회 문제에 효과적으로 대처할 수 있다. PC 침목의 경우에는 내부에 강선을 넣어 강도 보강을 하기 때문에 전기절연성이 부족한 반면에 침목은 전기절연성이 풍부하여 선로의 전철화가 진행되고 있는 현실에서 신호체계 이상으로 인한 선로 사고를 원천적으로 차단할 수 있는 장점을 가지고 있어 사용을 증대시킬 필요가 있다.

제 3 절 연구개발의 범위

1. 강도적 성질 구명

철도 침목 생산에 최적의 국산 침엽수재를 선별하기 위해 국산 소나무, 잣나무 및 낙엽송을 대상으로 변재 및 심재의 부위 별로 휨강도, 횡압축강도, 스파이크 인발저항력 등 강도적 성질을 조사한다.

2. 크레오소오트유 침투성 조사

침엽수 수종 및 심재와 변재의 부위별로 크레오소오트유를 주입하여 침윤도 및 흡수량을 조사하여 국산 침엽수재의 크레오소오트유의 침투 특성을 조사한다.

3. 최적의 자상처리 조건 구명

수종 별로 최고의 크레오소오트유 주입성을 얻을 수 있고 강도 저하를 최소화할 수 있는 최적의 자상 처리 조건(자상 깊이, 자상 방향, 자상 밀도 등), 특히 난주입성 수종인 낙엽송재의 침투성 개선을 위한 최적의 고밀도 자상처리 조건을 구명한다.

4. 횡압축 처리 효과 구명

자상 처리를 대체할 수 있고 크레오소오트유 주입성과 강도 저하를 보다 개선할 수 있는 새로운 기계적 전가공 기술로서 횡압축 처리법 개발하고 최적의 처리 조건을 구명한다.

5. 자상처리 후 횡압축 효과 구명

기존의 자상처리 후 다시 횡압축 처리를 실시하여 크레오소오트유의 주입성과 강도적 성질 등을 조사한다. 이들 결과를 자상처리 또는 횡압축 처리만 단독으로 실시 한 경우와 비교하여 새로운 크레오소오트유 침투촉진을 위한 처리법으로 정립한다.

6. 침목 측면의 深部 자상처리 기술 개발

철도 침목 생산 시에 예비 천공을 하고 있으며 이유는 스파이크를 박을 때 침목의 쪼개짐을 방지하기 위한 것으로 천공의 직경(13mm)은 스파이크 직경(15mm)보다 약간 작다. 그러나 예비천공을 실시할 때 한쪽의 천공은 완전 관통시키고 다른 한쪽의 천공은 위치 표시(깊이 5mm)만하여 크레오소오트유를 가압 주입처리하고 있다. 한쪽 천공의 경우 위치 표시만 하는 이유는 현장에서 레일 설치 시, 특히 선로의 곡선구간에서 레일과 레일간의 궤간거리(표준거리: 1,435mm)를 조정(허용치: 외측으로 최대 30mm 이내, 즉 최대 궤간거리 1,465mm)해야 하기 때문이다. 만일 다른 한쪽 천공까지도 표준 위치에서 관통시켜 두면 궤간조정 후 스파이크 박기를 하였을 경우 스파이크 체결력이 현저히 떨어져 침목은 레일 및 플레이트 고정능력을 상실하게 된다. 따라서 우측 천공은 위치 표시만 해 두고 현장에서 레일 간 궤간거리가 결정되면 이어서 천공 위치를 조정하여 현장에서 관통시킨 후 스파이크를 박아 레일과 플레이트를 고정시킨다. 현재 이와 같이 크레오소오트유를 주입 처리한 후에 현장에서 예비 천공을 함에 따라 침목 내부의 크레오소오트유 미침투 부위가 노출되어 수분 침투와 내부 부후가 발생하여 침목의 수명이 짧아진다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 침목의 측면으로부터 예비 천공 부위의 중심부까지 깊게 자상 처리(深部 자상처리)하여 크레오소오트유의 침투를 촉진시킴으로서 현장 예비천공 후에도 크레오소오트유 미침투 부위가 노출되지 않도록 하는 가공 기술을 개발 한다.

7. 국산 침엽수재를 이용한 철도 침목 생산 기준 개발

철도 침목으로 이용 가능한 최적의 국산재 수종을 선정하고 철도 침목에 관한 현행의 KS 규격(KS F 3005, 가압식 크레오소오트유 방부처리 침목) 및 철도청 규격(철도 5510-1011러, 철도용품 표준규격-침목)에 기초하여 국산재의 철도 침목 이용 기준을 개발한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

현재 철도 침목으로 사용하고 있거나 사용 가능성이 있는 열대산 활엽수 5수종의 CCA 주입성을 조사하여 Heritera 양호, Plaum busu 보통, Dillenia, Selangan batu, Terminalia 등은 극히 불량한 방부제 주입성을 보였다고 보고한 바 있다. 본인은 KS F 3005 「가압식 크레오소오트유 방부처리 침목」규격 개정 작업 중 외국의 침목 관련 자료 조사를 통하여 국내산 침엽수재를 철도 침목용으로 이용하기 위한 기술 개발이 필요하다는 사실을 확인하였다. 현재의 국내 침목 생산 기술 및 시설로서는 난주입성 수종인 열대산 활엽수재의 크레오소오트유 처리도를 향상시켜 가격 및 품질 면에서 PC 침목과 경쟁할 수 있는 침목 생산을 기대할 수 없는 실정이다. 미국에서는 저비중 침엽수재인 fir나 spruce에 대하여 침목으로서의 사용 수명을 조사한 후 사용 지역, 열차 주행밀도, 선로의 곡선도 등에 따라 다소 차이는 있지만 각각 22~33년과 21~33년의 사용 수명을 갖는다는 것을 밝힌 바 있다.

현재의 국내 침목 생산 방식으로는 가격이나 품질(사용 수명) 면에서 PC침목을 따라 잡을 수 없어 침목 생산업계의 불황은 더욱 심각해 질 것으로 예상된다.

제 2 절 앞으로의 전망

앞으로 고속 전철 및 5대 광역시의 지하철 건설에 힘입어 앞으로 철도 침목의 수요는 날로 증가할 것으로 예상된다. 국내 침목 산업의 활성화를 도모하고 앞으로 예상되는 침목 수요 증대에 효과적으로 대처하기 위해서는 PC 침목과 경쟁할 수 있는 새로운 침목 생산 기술을 개발해야 한다. 또한 침목 재료를 현재의 열대산 활엽수재에서 국내산 침엽수재로 대체함으로써 원가 절감과 크레

오소오트유 주입성 향상으로 경쟁력 있는 침목 생산이 가능하며 국산 침엽수 재의 고부가가치화를 창출할 수 있을 것으로 예상된다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 서 설

국산 침엽수재의 새로운 용도 개발로 고부부가치를 창출하기 위해 철도 침목 생산 가능성을 검토하고자 한다. 이를 위해 먼저 대표적인 국산 침엽수재인 소나무, 잣나무 및 낙엽송을 대상으로 변재 및 심재의 부위 별로 휨강도, 횡압축강도, 스파이크 인발저항력 등 강도적 성질을 조사한다. 또한 이들 수종을 대상으로 심재와 변재의 부위별로 크레오소오트유를 주입하여 침윤도 및 흡수량을 조사하여 국산 침엽수재의 크레오소오트유의 침투 특성을 조사한다. 국산 침엽수재 중에서 난주입성 수종으로 분류되고 있는 낙엽송과 비교적 약제 주입성이 양호한 소나무와 잣나무에 대해서도 최고의 크레오소오트유 주입성을 얻을 수 있으면서 강도 저하를 최소화할 수 있는 최적의 자상 처리 조건을 조사할 필요가 있다. 특히 난주입성 수종인 낙엽송재에 대해서는 침투성 개선을 위한 최적의 고밀도 자상처리 조건을 구명하고자 한다.

활엽수와는 달리 비중이 낮고 섬유장이 긴 침엽수재는 재질 특성 상 섬유직각 방향으로 횡압축을 가하면 폐쇄벽공의 개열로 재질 파괴 및 강도 저하를 일으키지 않고도 효율적으로 액체의 침투성을 개선시킬 수 있다는 많은 연구 보고가 있다. 따라서 자상 처리를 대체할 수 있고 크레오소오트유 주입성과 강도 저하를 보다 개선할 수 있는 새로운 기계적 전가공 기술로서 횡압축 처리법을 개발하고 최적의 처리 조건을 구명하고자 한다. 또한 기존의 자상처리 후 다시 횡압축 처리를 실시하여 크레오소오트유의 주입성과 강도적 성질 등을 조사하여 자상처리 또는 횡압축 처리만 단독으로 실시 한 경우와 비교, 검토한다.

현재 철도 침목 생산 현장에서는 침목 생산 시에 예비 천공을 하고 있다. 예비천공의 목적은 레일을 고정용 스파이크를 박을 때 침목의 쪼개짐을 방지하는 데 있다. 그러나 예비천공을 실시할 때 한쪽의 천공은 완전 관통시키고 다

른 한쪽의 천공은 위치 표시 만하여 크레오소오트유를 가압 주입처리하고 있다. 이와 같이 한쪽 천공의 경우 위치 표시만 하는 이유는 현장에서 레일을 설치할 때, 특히 선로의 곡선구간에서 레일과 레일간의 궤간거리를 조정해야 하기 때문이다. 만일 다른 한쪽 천공까지도 표준 위치에서 관통시켜 두면 궤간조정 후 스파이크 박기를 하였을 경우 스파이크 체결력이 현저히 떨어져 침목은 레일 및 플레이트 고정능력을 상실하게 된다. 따라서 한쪽 천공은 위치 표시만 해 두고 현장에서 레일 간 궤간거리가 결정되면 이어서 천공 위치를 조정하여 현장에서 관통시킨 후 스파이크를 박아 레일과 플레이트를 고정시킨다. 현재 이와 같이 크레오소오트유를 주입 처리한 후에 현장에서 예비 천공을 함에 따라 침목 내부의 크레오소오트유 미침투 부위가 노출되어 수분 침투와 내부 부후가 발생하여 침목의 수명이 짧아지는 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 침목의 측면으로부터 예비 천공 부위의 중심부까지 깊게 자상 처리를 실시하여 크레오소오트유의 침투를 촉진시킴으로서 현장 예비천공 후에도 크레오소오트유 미침투 부위가 노출되지 않도록 하는 가공 기술을 개발 하고자 한다. 이들 연구 결과에 기초하여 최종적으로는 철도 침목으로 이용 가능한 최적의 국산재 수종을 선정하고 철도 침목에 관한 현행의 KS F 3005 규격과 철도공사의 철도 5510-1011리, 철도용품 표준규격-침목 규격을 검토하여 국산재의 철도 침목 이용 기준을 만들고자 한다.

제 2 절 국산 침엽수재의 강도적 성질

국산 침엽수재를 이용한 철도 침목 생산 가능성과 아울러 최적의 수종을 선발하기 위해 국산 침엽수재 중에서 대표적이며 생산량이 많은 리기다소나무, 잣나무 및 낙엽송을 대상으로 변재 및 심재의 부위 별로 강도적 성질을 조사하였다. 철도 침목이 받을 수 있는 하중을 고려하여 휨강도, 횡압축강도, 스파이크 인발저항력 등을 조사하였다.

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

국내산 침엽수재인 리기다소나무(*Pinus rigida*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 낙엽송(*Larix leptolepis*), 삼나무(*Cryptomeria japonica*)를 연구 대상 공시수종으로 선정하여 실험을 진행하였다.

나. 실험방법

1) 휨 시험

공시수종 판재의 변재부와 심재부로부터 20(너비)×20(두께)×300(길이)mm의 시험편을 채취하여 KS F 2208 「목재의 휨시험 방법」에 따라 휨강도를 측정하였다. 시험편의 수는 10개로 하였다.

2) 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력시험

공시수종 철도 침목 실대재{240(너비)×150(두께)×2500(길이)mm}로부터 횡단면 치수(240×150mm)는 동일하고 길이를 200mm가 되도록 절단하여 시험편을

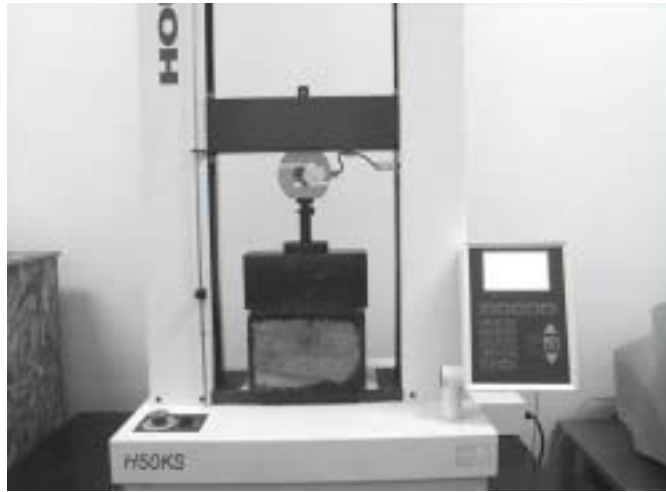
제작하였다. 이들 시험체를 사용하여 KS F 2206 「목재의 압축시험 방법」에
준하여 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력을 측정하였다. 시험편의 수는 휨
시험과 마찬가지로 10개로 하였다.

3) 스파이크 인발 저항시험

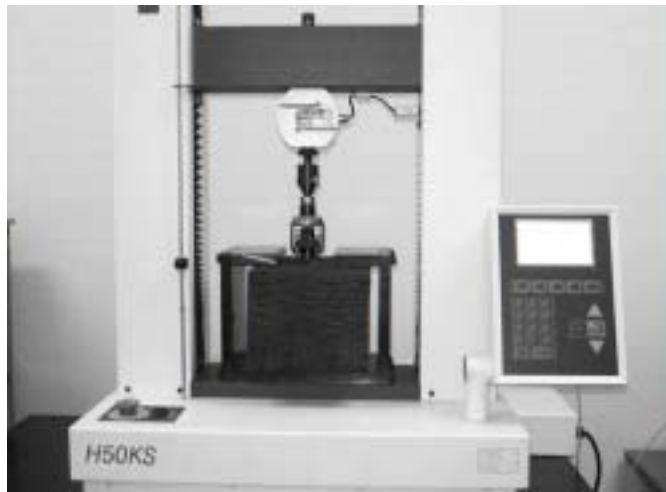
공시수종 철도 침목 실대재{240(너비)×150(두께)×2500(길이)mm}로부터 횡단
면 치수는 동일하고 길이를 200mm가 되도록 절단하여 시험편을 제작하였다.
이들 시험편에 현장에서 침목에 레일을 고정시키는 방법과 동일한 방법으로
예비 천공(직경 13mm) 후 나사스파이크(길이 135mm)를 박아 KS F 2214 「목
재의 못 뽑기 저항시험 방법」에 따라 시험을 실시하였다. 시험편 수는 10개로
하였다.



<그림 2-1> 철도 침목용 스파이크



<그림 2-2> 침목 실대재를 이용한 섬유직각방향 부분압축 시험

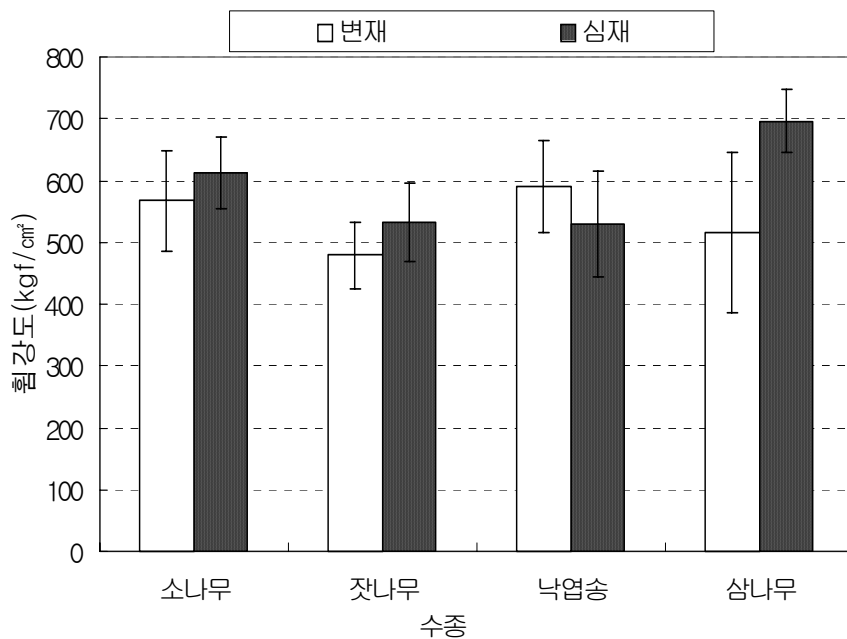


<그림 2-3> 침목 실대재를 이용한 스파이크 인발 저항력 시험

2. 연구 결과

국내산 침엽수 4수종에 대한 강도적 성질을 조사하여 <그림 2-4~6>에 나타냈다. 수종 간에 성질을 비교하면 낙엽송이 가장 우수한 성질을 가지고 있으며 잣나무가 비교적 떨어지는 것으로 조사되었다. 이들 결과는 문헌이나 다른 연구자들에 의하여 발표된 결과와 거의 유사하였다. 또한 부위별에서는 변재에 비하여 심재부가 당연히 좋은 결과를 나타냈다.

철도 침목은 장기간에 걸쳐 섬유직각 방향으로 부분압축 하중을 받기 때문에 이에 견딜 수 있는 높은 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 선로를 침목에 고정시키는 체결기구인 스파이크의 뽑힘성에 견딜 수 있는 스파이크 인발 저항력이 요구된다.



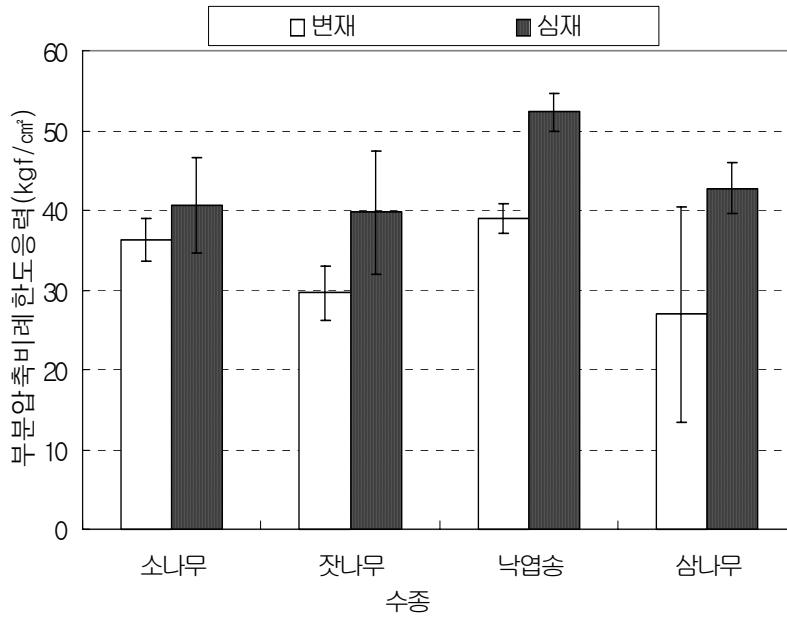
<그림 2-4> 국산 침엽수재 4수종의 휨강도

국내산 침엽수 4수종이 나타낸 비례한도 응력을 KS F 3005 규격 요구치 (4N/mm²)와 비교하면 낙엽송의 경우에는 심·변재 모두 규격을 만족시키고 있으나 소나무, 잣나무, 삼나무에서는 심재부만이 적합한 것으로 밝혀졌다. 한편, 국내산 침엽수재의 스파이크 인발 저항력에 관해서는 아직까지 조사된 바가 없으며 KS F 3005 규격에서도 언급하고 있지 않다. 수종 간에 저항력을 비교하면 비중과 깊은 관계를 보여 공시수종 중에서 가장 비중이 높은 낙엽송이 가장 높은 스파이크 인발저항력을 보였다. 이어서 리기다소나무였으며 잣나무와 삼나무의 경우에는 거의 유사한 값을 나타냈다.

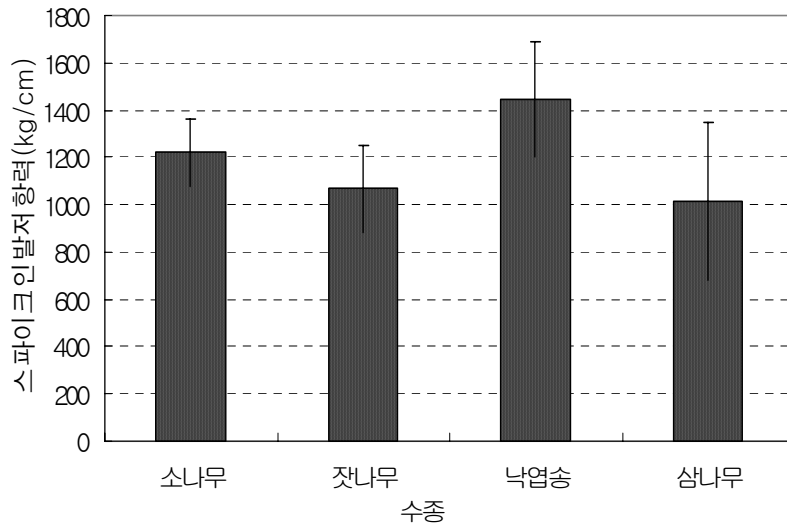
크레오소오트유 처리가 국산 침엽수 침목의 강도적 성질에 미치는 영향을 밝히기 위해 침목 실타재를 대상으로 크레오소오트유 처리 전후의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 스파이크 인발 저항력을 비교하였다. 실타재 크기의 시험체이기 때문에 심·변재간의 차이는 비교할 수 없었다. <그림 2-7>에 서와 같이 비례한도 응력에 있어 소나무, 잣나무, 삼나무의 경우에는 크레오소오트유 처리 전후 간에 큰 차이는 보이지 않았으나 낙엽송에서는 다소 응력 값이 떨어지는 경향을 보였다.

스�파이크 인발 저항력에 있어서는 소나무를 제외하고 모든 수종에서 저항력이 감소하는 경향을 보였다. 그러나 이러한 결과는 크레오소오트유 처리에 의하여 나타난 강도적 성질의 감소이기 보다는 시험체 크기가 크기 때문에 침목 내에서의 연륜의 방향성, 심·변재량 등 침목의 재질 차이에 의하여 복합적으로 나타난 결과로 판단되었다.

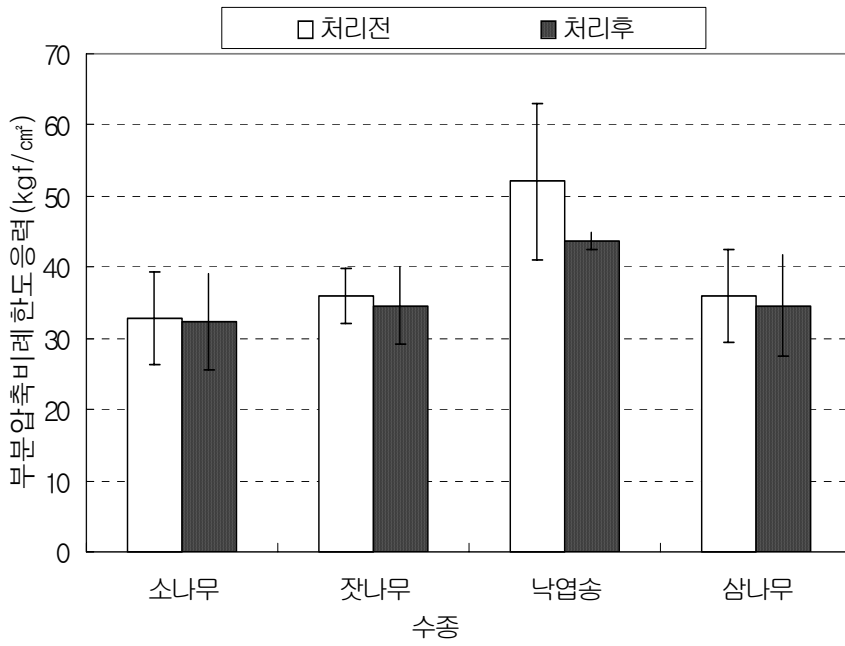
한편 부분 압축 비례한도 응력에 있어 크레오소오트유 처리 전의 값이 <그림 2-5>의 결과와 다소 차이가 있는 것은 시험체의 재질 차이에 의하여 발생한 것으로 판단된다. 즉, <그림 2-5>에 나타낸 비례한도 응력의 경우에는 KS 규격에 준하여 연륜 방향이 일정하고 심·변재를 따로 분리한 소형의 시험편을 제작하여 조사한 결과이기 때문에 그림 5의 결과와 다른 경향을 보인 것이다.



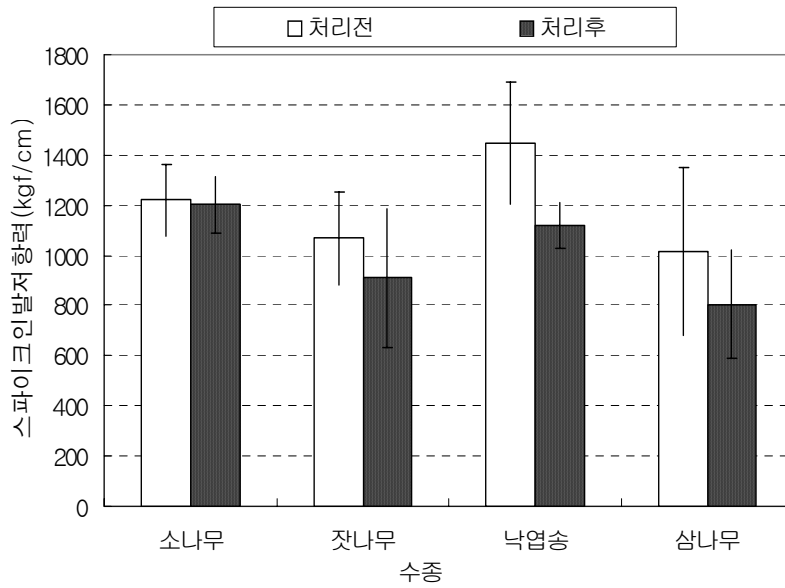
<그림 2-5> 국산 침엽수재 4수종의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력



<그림 2-6> 국산 침엽수재 4수종의 스파이크 인발 저항력



<그림 2-7> 크레오소오트유 처리 전후의 국산 침엽수재 4수종의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력



<그림 2-8> 크레오소오트유 처리 전후의 국산 침엽수재 4수종의 스파이크 인발 저항력

제 3 절 국산 침엽수재의 크레오소오트유 침투 특성

본 연구에 사용한 국산 침엽수재 4수종의 경우, 리기다소나무, 잣나무, 삼나무는 비교적 약제 침투성이 양호한 수종으로 분류되고 있으나 낙엽송의 경우에는 국산 침엽수재 중에서 가장 침투성이 불량한 난주입성 수종으로 알려져 있다. 그러나 이들 4수종의 유상 목재방부제 크레오소오트유 침투성에 관한 조사는 국내에서 수행된 바가 없다. 또한 이들 4수종의 크레오소오트유의 침투성을 알아보는 것은 자상깊이나 자상밀도를 결정하는 데 도움이 될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 목표를 달성하기 위한 기초 자료를 얻기 위해 수종별 및 심재와 변재의 부위별로 크레오소오트유의 침윤도 및 흡수량을 조사하여 국산 침엽수재의 크레오소오트유의 침투 특성을 조사하였다.

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

리기다소나무(*Pinus rigida*)와 잣나무(*Pinus koraiensis*) 및 낙엽송(*Larix leptolepis*)의 경우에는 보통침목 실대재 크기로, 240(너비)×150(두께)×2500(길이)mm, 시험체를 제조하였다. 그러나 삼나무(*Cryptomeria japonica*)의 경우에는 국내산 대경목(직경 최소 30cm)의 확보가 어려워 단면을 보통침목의 2/3 치수(두께 10cm×나비 16cm×길이 250cm)로 축소하여 제재한 시험체를 사용하였다. 시험체 수는 수종 별로 10개씩을 공시하였다.

나. 실험방법

1) 크레오소오트유 처리

자상처리를 하지 않고 참여기업의 크레오소오트유 주약관을 이용하여 현장

처리 하였다. 주입처리는 크레오소오트유 액온 90℃, 감압자비시간 1시간, 가압 2.5시간, 가압력 16kgf/cm²의 조건에서 실시하였다.

2) 크레오소오트유 침윤도 조사

크레오소오트유를 주입처리한 후 시험체를 길이방향에 직각으로 횡절하여 두께 10mm의 4각의 시험체 판재를 채취하였다. 판재의 표면으로부터 깊이 20mm사이에서 실제로 크레오소오트유가 침투하여 검게 착색된 깊이를 측정하여 다음 식에 의하여 침윤도를 산출하였다. 이 방법은 침윤도 측정용 시험편의 채취 방법만 상이할 뿐 산출방법은 KS F 3005 「가압식 크레오소오트유 방부처리 침목」과 동일하다. 측정은 시험체 4면에 대하여 모두 실시하여 평균하였다.

$$P = \frac{L_1}{L_2} \times 100$$

여기서 P : 침윤도(%)

L_1 : 침윤길이(mm)

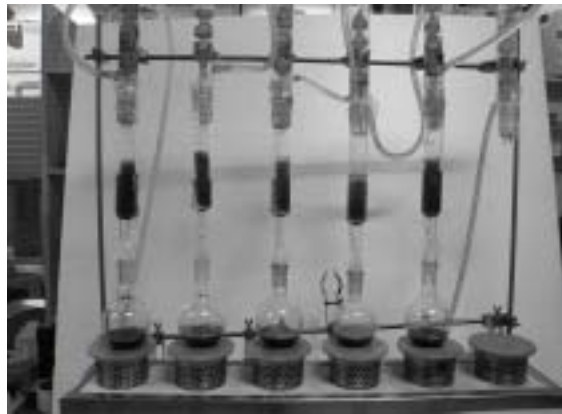
L_2 : 시험편의 길이(mm), 시험체 표면으로부터 20mm



<그림 3-1> 크레오소오트유 침윤도 측정 방법

3) 크레오소오트유 흡수량 조사

침윤도를 측정한 시험체 판재의 4면으로부터 KS F 2155 「방부처리 목재의 약제 흡수량 측정 방법」의 흡수량 측정용 시험편 채취방법에 따라 판재 1매당 4개의 시험편을 채취하였다. 이들 시험편을 분쇄기로 미세하게 분쇄하여 혼합한 후 전건시킨 다음 흡수량 분석에 사용하였다. 흡수량은 KS F 2155 규격에 따라 알콜·벤젠 혼합용액으로 추출하여 산출하였다.



<그림 3-2> 크레오소오트유 추출



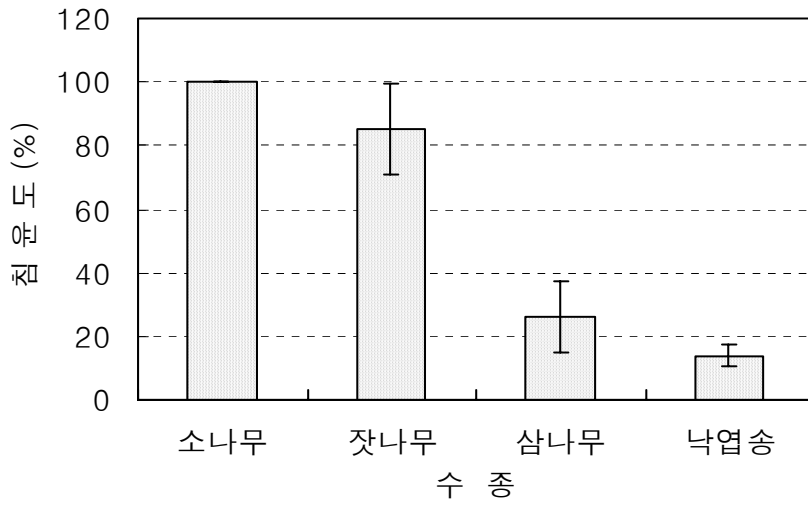
<그림 3-3> 크레오소오트유 추출 농축액
(좌: 목재 추출물 농축액, 우: 목재 추출물과 크레오소오트유 혼합 농축액)

2. 연구결과

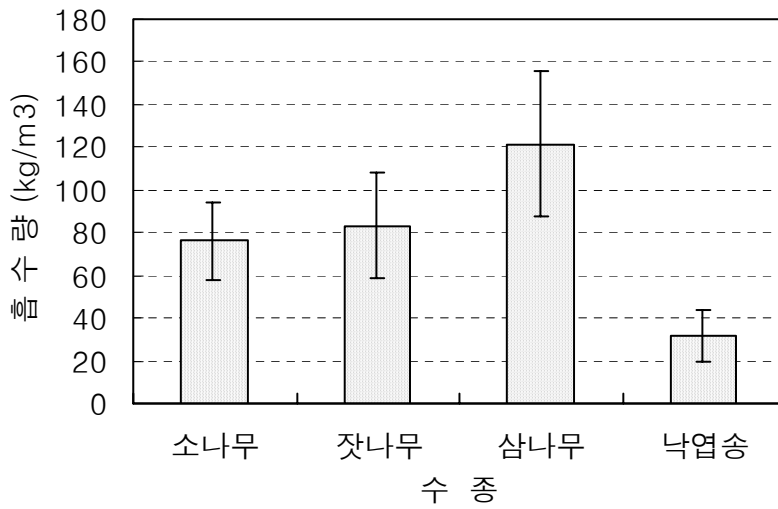
가. 국산 침엽수재의 크레오소오트유 침윤도

크레오소오트유를 처리한 각 수종별 침엽수 침목을 길이 방향으로 각각 50, 100, 150, 200cm가 되는 지점에서 두께 10mm의 4각 판재를 절단하여 노출된 마구리면에서 크레오소오트유 침윤도(침투깊이)를 측정하였다. 측정방법은 KS F 3005 규격에 준하여 심재가 있는 표면 또는 변재가 가장 적은 표면에서 침목의 너비방향과 두께방향으로 깊이 20mm까지를 기준으로 이 부분에서의 크레오소오트유 침투(변색) 깊이를 측정하여 침윤도($\text{침투깊이}/20 \times 100$)를 구하였다.

<그림 3-4>에서와 같이 소나무와 잣나무 침목은 표면으로부터 최고 36.9mm(변재부)에서 최저 13.4mm(변재와 심재 공존)까지 크레오소오트유가 침투되어 비교적 양호한 침윤도를 나타냈으나 삼나무와 낙엽송의 경우에는 침윤도가 30%이하로 매우 낮았다. 삼나무와 낙엽송의 경우에는 다른 수종에 비하여 심재화가 빨리 진행(심재량이 많음)되는 수종으로 마구리 면을 크게 제재할 경우 액체의 침투성이 불량한 심재부로만 구성된 제재목이 생산된다. 본 실험에 사용한 시험체가 침목 실대재와 동일하거나(낙엽송) 2/3로 축소된 치수(삼나무)였기 때문에 시험체 자체가 심재로만 되어 있어 크레오소오트유의 침투가 불량하게 나타났다. 따라서 이들 수종을 철도 침목으로 사용할 경우에는 반드시 크레오소오트유의 침투성을 개선시키는 자상처리가 필요하다는 것을 알 수 있다.



<그림 3-4> 국산 침엽수재의 크레오소오트유 침윤도



<그림 3-5> 국산 침엽수재의 크레오소오트유 흡수량

나. 국산 침엽수재의 크레오소트유 흡수량

KS F 2155 규격에 준하여 4등분으로 절단한 침목으로부터 흡수량 분석용 시료를 채취하여 알콜·벤젠 혼합용액으로 추출한 후 각 수종 별로 크레오소트유의 흡수량을 조사하였다.

<그림 3-5>에서와 같이 소나무, 잣나무, 삼나무의 경우에는 철도 침목의 크레오소트유 흡수량 기준(KS F 3005 규격, 사용환경구분 H4, 80kg/m³)을 충족시키는 흡수량을 보였으나 낙엽송에서는 평균 31.8kg/m³에 불과하여 침투성을 촉진시킬 수 있는 자상처리 가공이 요구되는 것으로 밝혀졌다. 한편 삼나무의 경우에는 침윤도는 낮았으나 소나무나 잣나무에 비하여 많은 흡수량을 보여 목재용적 당 크레오소트유의 침투량이 우수한 것으로 추정되었다.

제 4 절 국산 침엽수재의 최적 자상처리 조건 구명

리기다소나무, 잣나무, 삼나무, 낙엽송 등의 국산 침엽수재에 대하여 최고의 크레오소오트유 침투성을 얻을 수 있고 강도 저하를 최소화할 수 있는 최적의 자상 처리 조건(자상 깊이, 자상 방향, 자상 밀도 등)을 조사하고, 특히 난주입성 수종인 낙엽송재의 경우 크레오소오트유의 침투성 개선을 위한 최적의 고밀도 자상처리 조건을 검토하였다.

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

리기다소나무(*Pinus rigida*)와 잣나무(*Pinus koraiensis*) 및 낙엽송(*Larix leptolepis*)의 경우에는 보통침목 실대재 크기로, 240(너비)×150(두께)×2500(길이)mm, 시험체를 제조하였다. 그러나 삼나무(*Cryptomeria japonica*)의 경우에는 국내산 대경목(직경 최소 30cm)의 확보가 어려워 단면을 보통침목의 2/3 치수(두께 10cm×너비 16cm×길이 250cm)로 축소하여 제제한 시험체를 사용하였다. 시험체 수는 수종 별로 10개씩을 공시하였다.

나. 실험방법

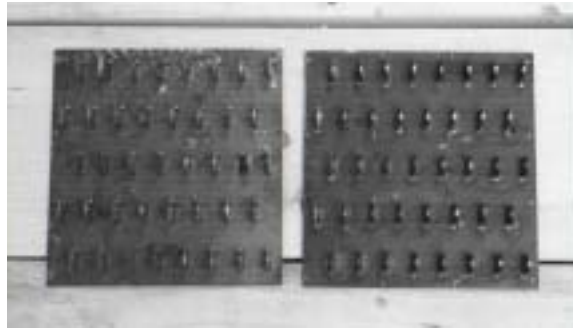
1) 자상처리

실대재 크기(삼나무의 경우 2/3 크기)로 제제한 각 수종의 침목에 대하여 현재 철도 침목 생산에 적용하고 있는 자상(칼날) 깊이 20mm와 자상(칼날) 밀도 800개/m²의 조건(KS F 3005)을 표준으로 처리하였다. 또한 본 실험에서는 국산 침엽수재가 현재 침목 생산에 사용하고 있는 열대산 활엽수재에 비하여 약액 주입이 양호한 점을 고려하여 강도저하를 최대한 방지하기 위해 현행 깊이

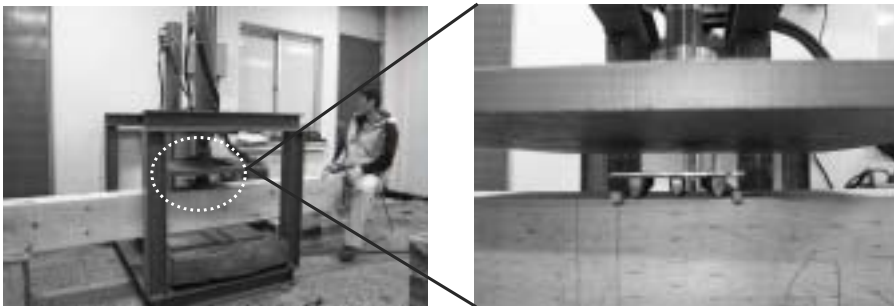
20mm를 기준으로 하여 10, 15mm로 자상깊이를 얇게 설계하였다. 그 대신 자상 밀도에 변화를 주어 현행보다 저밀도 조건인 530개/m²(현행의 2/3배)와 현행의 800개/m²(편의상 중밀도), 그리고 고밀도 조건인 2000개/m²(현행의 2.5배)로 설계하여 처리하였다.

2) 자상처리 침목의 크레오소오트유 처리

참여기업의 크레오소오트유 주약관을 이용하여 현장처리 하였다. 주입처리는 크레오소오트유 액온 90℃, 감압자비시간 1시간, 가압 2.5시간, 가압력 16kgf/cm²의 조건에서 실시하였다.



<그림 4-1> 자상 처리용 칼날판



<그림 4-2> 라미네이터를 이용한 철도 침목 실대재의 자상처리



<그림 4-3>. 철도 침목 실대재의 크레오소오트유 현장 주입
(좌: 주약관내 침목 투입, 우: 주입 후 침목 반출)

3) 자상처리 침목의 강도적 성질 조사

가) 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력시험

공시수종 철도 침목 실대재{240(너비)×150(두께)×2500(길이)mm}로부터 횡단면 치수(240×150mm)는 동일하고 길이를 200mm가 되도록 절단하여 시험편을 제작하였다. 이들 시험체를 사용하여 KS F 2206 「목재의 압축시험 방법」에 준하여 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력을 측정하였다. 시험편 수는 10개로 하였다.

나) 스파이크 인발 저항시험

자상처리를 실시한 공시수종 철도 침목 실대재{240(너비)×150(두께)×2500(길이)mm}로부터 횡단면 치수는 동일하고 길이를 200mm가 되도록 절단하여 시험편을 제작하였다. 이들 시험편에 현장에서 침목에 레일을 고정시키는 방법과 동일한 방법으로 예비 천공(직경 13mm) 후 나사스파이크(길이 135mm)를 박아 KS F 2214 「목재의 못 뽑기 저항시험 방법」에 따라 시험을 실시하였다.

시험편 수는 10개로 하였다.

4) 자상처리 침목의 크레오소오트유 침투성 조사

가) 크레오소오트유 침윤도 조사

크레오소오트유를 주입처리한 후 시험체를 길이방향에 직각으로 횡절하여 두께 10mm의 4각의 시험체 판재를 채취하였다. 판재의 표면으로부터 깊이 20mm사이에서 실제로 크레오소오트유가 침투하여 검게 착색된 깊이를 측정하여 침윤도를 산출하였다. 이 방법은 침윤도 측정용 시험편의 채취 방법만 상이할 뿐 산출방법은 KS F 3005 「가압식 크레오소오트유 방부처리 침목」과 동일하다. 측정은 시험체 4면에 대하여 모두 실시하여 평균하였다.

나) 크레오소오트유 흡수량 조사

침윤도를 측정한 시험체 판재의 4면으로부터 KS F 2155 「방부처리 목재의 약제 흡수량 측정 방법」의 흡수량 측정용 시험편 채취방법에 따라 판재 1매당 4개의 시험편을 채취하였다. 이들 시험편을 분쇄기로 미세하게 분쇄하여 혼합한 후 전건시킨 다음 흡수량 분석에 사용하였다. 흡수량은 KS F 2155 규격에 따라 알콜·벤젠 혼합용액으로 추출하여 산출하였다.

2. 연구 결과

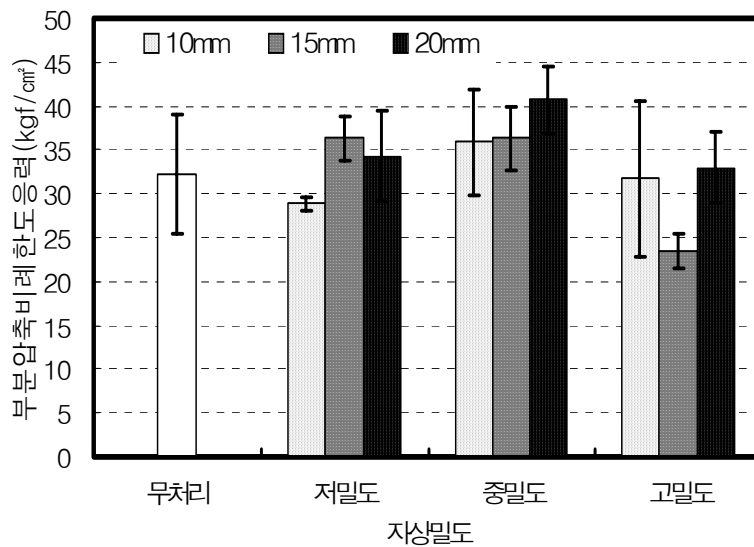
가. 자상 처리 침목의 강도적 성질

자상처리 조건에 따른 침목의 강도적 성질의 변화를 조사하였다. 목재의 강도적 성질 중에서도 철도 침목에서 특히 요구되는 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 스파이크 인발 저항력에 중점을 두어 조사하였다. 각 수종 별로

자상처리 조건과 강도적 성질과의 관계를 살펴보면 다음과 같다.

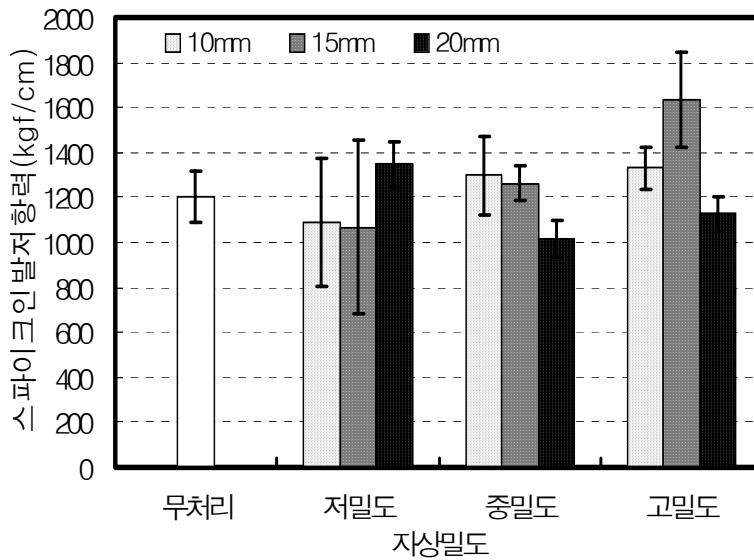
1) 리기다소나무 침목

리기다소나무의 경우 자상처리를 하지 않은 무처리 침목과 자상처리 침목 간에 섬유직각방향 부분압축 비레한도 응력의 차이를 비교하면 자상처리 조건 별로 일정한 경향은 나타나지 않았다.



<그림 4-4> 리기다소나무 침목의 자상처리 조건 별 섬유직각방향 부분압축 비레한도 응력

<그림 4-4>에 나타낸 바와 같이 고밀도 자상 처리를 비롯한 극히 일부 처리조건을 제외하고는 오히려 무처리 침목에 비하여 자상처리 침목에서 높은 값을 보이는 경우가 많아 본 실험에서 적용한 자상처리 조건에서는 섬유직각방향 부분압축 비레한도 응력에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단되어 진다.



<그림 4-5> 리기다소나무 침목의 자상처리 조건 별 스파이크 인발저항력

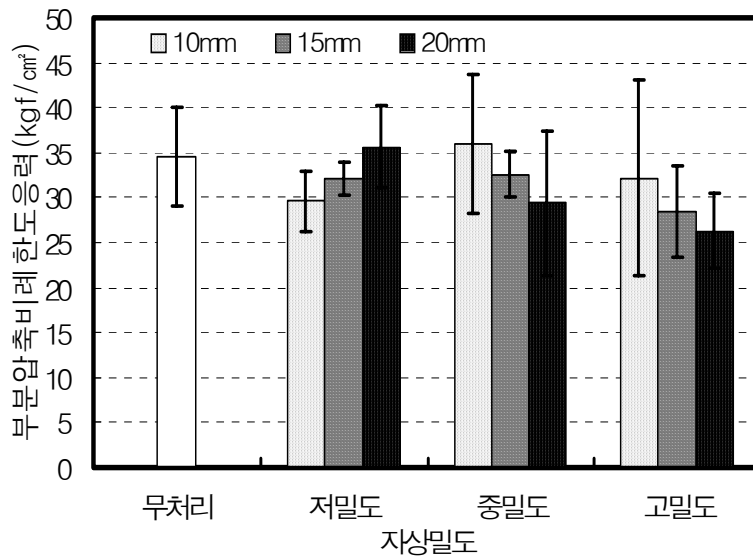
<그림 4-5>는 무처리 및 자상처리 리기다소나무 침목에 대해서 스파이크 인발 저항력을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 스파이크 인발저항력의 경우에도 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력에서와 마찬가지로 자상 밀도 또는 자상 깊이 별로 뚜렷한 경향을 나타내지 않고 있다. 이것은 이들 강도적 성질이 자상처리에 거의 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다. 특히 스파이크 인발 저항력의 경우에는 스파이크 깊이가 가장 깊은 20mm 자상 깊이보다 깊기 때문에 자상처리 보다는 침목의 연륜폭이나 심재량 등에 더 큰 영향을 받을 것으로 판단된다.

2) 잣나무 침목

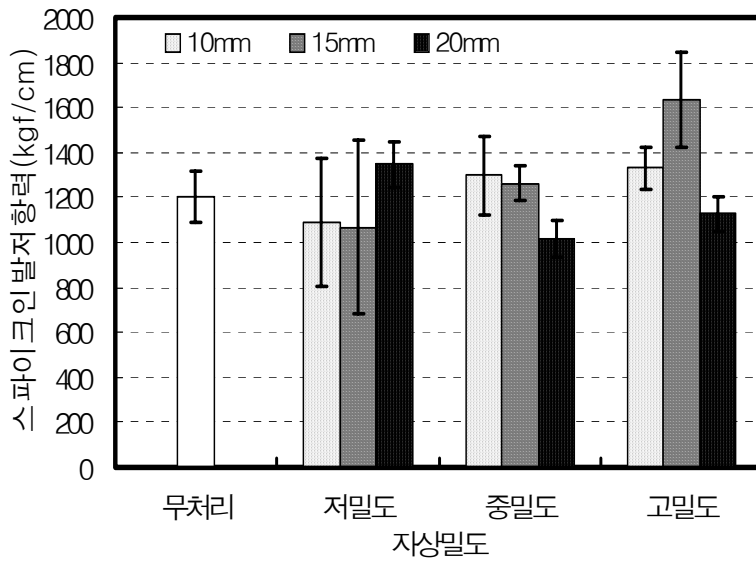
잣나무 침목에 대한 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력의 조사 결과를 <그림 4-6>에 나타냈다. 잣나무 침목에서는 고밀도 자상처리 조건에서 자상 깊이가 증가할수록 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력 값이 저하하는 경향

을 보였다. 특히 자상 깊이 20mm에서는 자상 밀도가 증가할수록 응력 값의 저하가 현저하게 나타났다.

스파이크 인발저항력의 결과를 <그림 4-7>에 나타냈다. 잣나무 침목의 경우에는 스파이크 인발 저항력에 있어서도 자상 깊이를 20mm로 할 경우 저밀도, 중밀도, 고밀도에서 모두 무처리 침목에 비하여 낮은 값을 나타내어 리기다소 나무에 비하여 자상처리 조건에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.



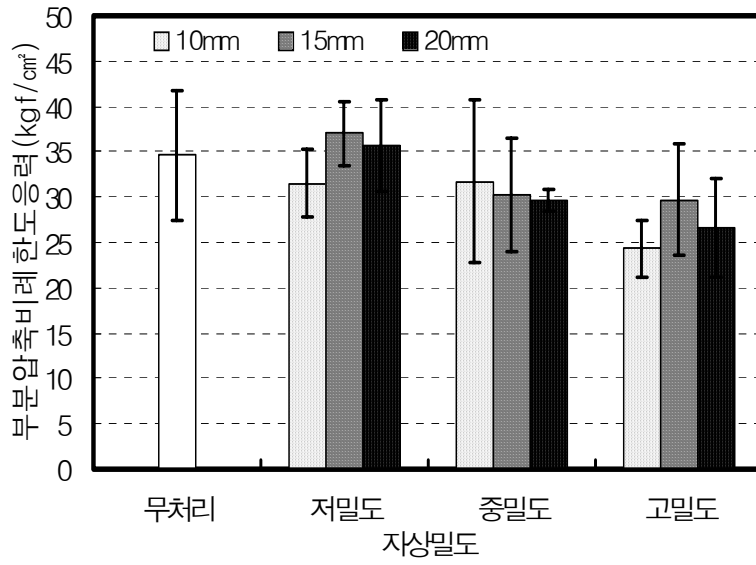
<그림 4-6>. 잣나무 침목의 자상처리 조건 별 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력



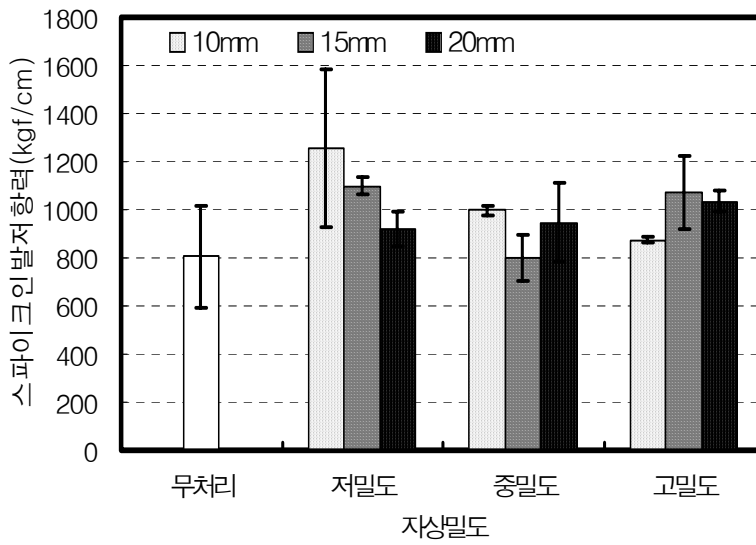
<그림 4-7> 잣나무 침목의 자상처리 조건 별 스파이크 인발저항력

3) 삼나무 침목

삼나무 침목의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 스파이크 인발저항력 측정 결과를 <그림 4-8>과 <그림 4-9>에 각각 나타냈다. 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력은 저밀도의 자상처리 조건에서는 자상 깊이에 별다른 영향을 받지 않았으나 중밀도부터 저하하는 경향을 보이기 시작하여 고밀도에서는 응력 값의 저하가 뚜렷하게 나타났다. 스파이크 인발저항력의 경우에는 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과는 달리 무처리 침목에 비하여 높은 값을 보이는 등 자상 처리 조건 별로 어느 일정한 경향을 보이지 않아 자상처리의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.



<그림 4-8> 삼나무 침목의 자상처리 조건 별 섬유직각방향 부분압축 비레한도 응력

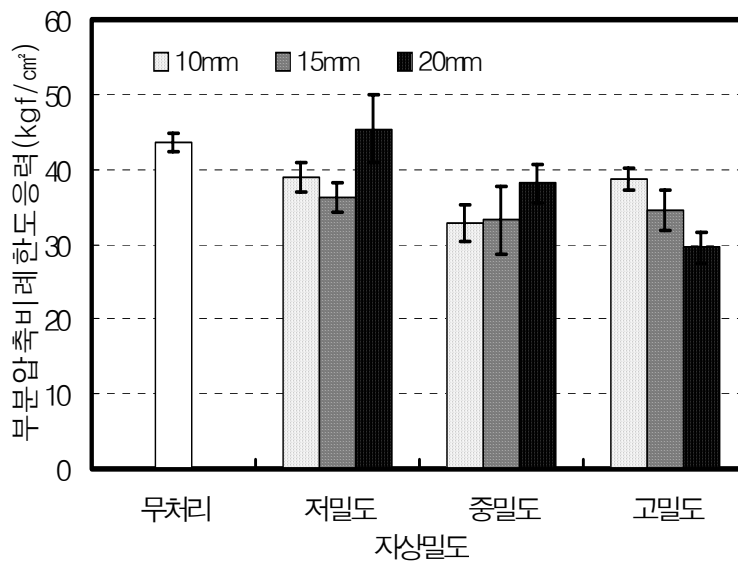


<그림 4-9> 삼나무 침목의 자상처리 조건 별 스파이크 인발저항력

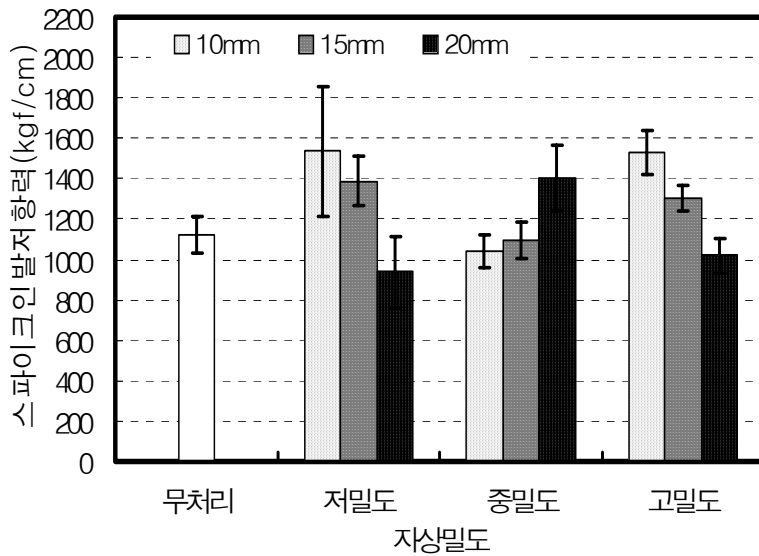
4) 낙엽송 침목

낙엽송 침목의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력에 대한 결과를 <그림 4-10>에 나타냈다. 다른 수종에 비하여 낙엽송 침목에서 자상처리의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 자상밀도 중밀도에서부터 전 자상 깊이에 걸쳐 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력이 현저하게 저하되었다.

스파이크 인발저항력 시험 결과를 그림 24에 나타냈다. 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력에서 보인 것과는 달리 자상처리의 밀도나 깊이가 증가하여도 스파이크 인발저항력은 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다 이것은 스파이크 인발 저항력의 경우에는 침목 표층 재질부 보다는 스파이크가 침목 내부로 10cm 이상 박히기 때문에 침목 내부의 재질, 특히 연륜의 배향이나 심·변재량에 의해 좌우되고 자상 깊이나 밀도와는 크게 관련이 없는 것으로 판단된다.



<그림 4-10> 낙엽송 침목의 자상처리 조건 별 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력



<그림 4-11> 낙엽송 침목의 자상처리 조건 별 스파이크 인발저항력

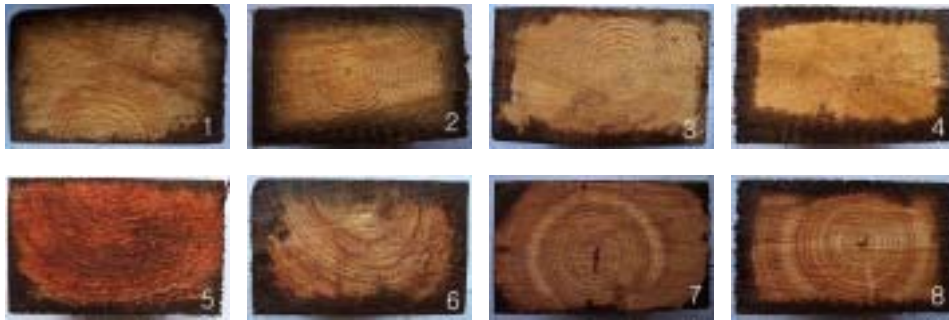
이상의 결과를 종합해서 살펴보면 부분 압축 비례한도 능력의 경우 리기다 소나무를 제외하고 3수종에서는 자상 처리에 의하여 비례한도 능력이 약간 감소하는 경향을 보였다. 또한 자상 처리 밀도가 증가함에 따라 리기다소나무, 잣나무, 삼나무에서는 일정한 경향을 보이지 않아 자상 처리의 영향이 적은 것으로 판단되었으나 낙엽송에서는 직선적으로 감소하는 경향을 보여 가장 큰 자상 처리 영향을 받는 것으로 나타났다. 이들 결과를 KS F 3005에서 규정하고 있는 철도 침목의 비례한도 능력치(4N/mm²)와 비교하면 낙엽송의 저밀도를 제외하고 모두 규정치 이하의 수치를 나타냈다. 따라서 KS F 3005 규격을 충족시킬 수 있는 국산 침엽수재의 침목을 생산하기 위해서는 자상 처리 이외의 크레오소트유 침투성 개선을 위한 전처리 가공방법을 개발해야 할 것으로 판단된다.

국산재 중에서 소나무, 잣나무, 삼나무는 낙엽송에 비하여 방부제 침투성이 양호한 수종이다. 침투성이 양호한 수종에 침투성 개선을 위하여 과도하게 자상 처리를 실시하게 되면 강도 저하를 초래하게 되어 침목으로서의 수명을 다

할 수 없게 될 우려가 있다. 따라서 자상처리 조건과 크레오소오트유의 침투성과의 관계를 검토하여 최적의 자상처리 조건을 구명할 필요가 있다.

나. 자상 처리 침목의 크레오소오트유 침투성

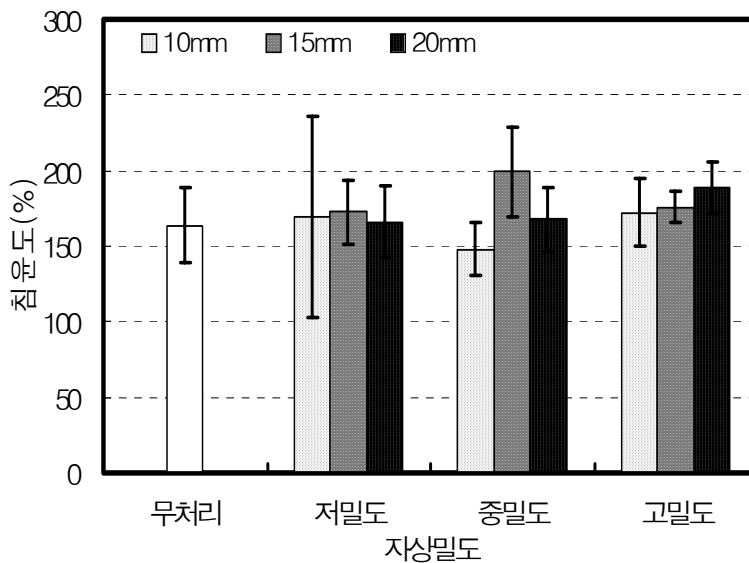
자상처리 조건 및 침목 수종 별로 크레오소오트유의 침투성을 조사하였다. 각 수종 및 자상 처리 조건 별로 크레오소오트유의 침투상태의 일부를 그림 25에 나타냈다. 크레오소오트유의 침투성은 침윤도와 흡수량을 측정하여 비교하였으며 각 수종 별로 자상처리 조건과 크레오소오트유의 침윤도 및 흡수량의 관계를 살펴보면 다음과 같다.



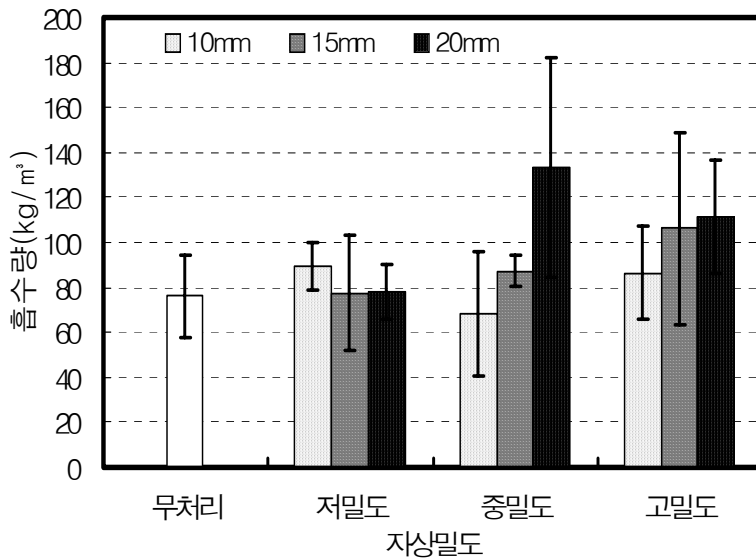
<그림 4-12> 수종 및 자상처리 조건 별 침목의 크레오소오트유 침투 상태
(1: 소나무 무처리, 2: 소나무 고밀도 자상처리, 3: 잣나무 무처리,
4: 잣나무 고밀도 자상처리, 5: 삼나무 무처리, 6: 삼나무 고밀도
자상처리, 7: 낙엽송 무처리, 8: 낙엽송 고밀도 자상처리)

1) 리기다소나무 침목

침목의 표층부로부터 20mm부분까지와 크레오소오트유의 침투깊이를 가지고 침윤도를 산출한 결과를 <그림 4-13>에 나타냈다. 자상처리를 실시하지 않은 침목의 경우에도 크레오소오트유는 약 32.8mm까지 침투하여 침윤도가 163.8%에 이르렀다. 자상처리를 실시한 침목의 경우에는 최소 148%에서 최고 199%까지의 침윤도를 나타내어 자상깊이 10mm에 중밀도 처리 침목을 제외하고는 모두 무처리 침목에 비하여 월등히 높은 침윤도를 보였다. 리기다소나무는 침투성이 매우 양호한 수종이기 때문에 유상 목재방부제인 크레오소오트유의 침투도 매우 쉽게 진행된다는 것을 알 수 있었다. 또한 리기다소나무의 생육특성상 심재의 형성이 낙엽송이나 삼나무에 비해 늦게 이루어진다. 따라서 침목 실대재를 생산할 수 있을 정도의 대경재일지라도 약제의 침투가 매우 양호한 변재율이 높아 크레오소오트유의 침투에 순기능으로 작용했다고 할 수 있다. 이들 결과는 사용 환경 H4 나 H5의 침윤도 적합기준(변재부분의 80%이상)을 충족시키고 있다.



<그림 4-13> 리기다소나무 침목의 자상처리 조건 별 크레오소오트유 침윤도



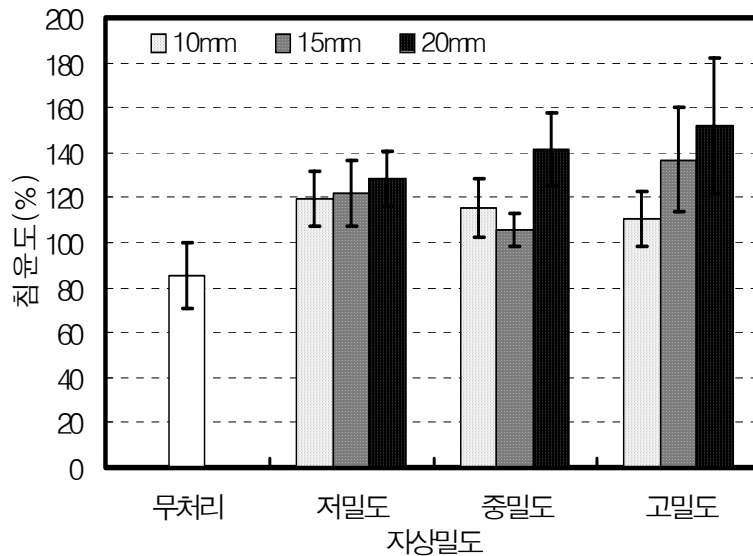
<그림 4-14> 리기다소나무 침목의 자상처리 조건 별 크레오소오트유 흡수량

<그림 4-14>는 자상처리 조건 별로 크레오소오트유의 흡수량을 나타낸 것이다. 무처리 침목의 경우에는 흡수량이 약 76.3kg/m³을 나타내 철도 침목이 사용되는 환경구분 H4의 기준, 80kg/m³에 약간 미달하는 것으로 나타났다. 한편 자상처리 침목에서는 자상깊이 10mm의 중밀도 조건에서 68.3kg/m³로 이상치를 보였을 뿐 모두 무처리 침목에 비하여 많은 약제 흡수량을 보였다. 그러나 철도 침목 사용환경구분 H4의 기준을 충족시키기 위해서는 자상깊이 15mm 이상, 밀도 중밀도 이상의 조건에서 처리해야 하는 것으로 밝혀졌다.

2) 잣나무 침목

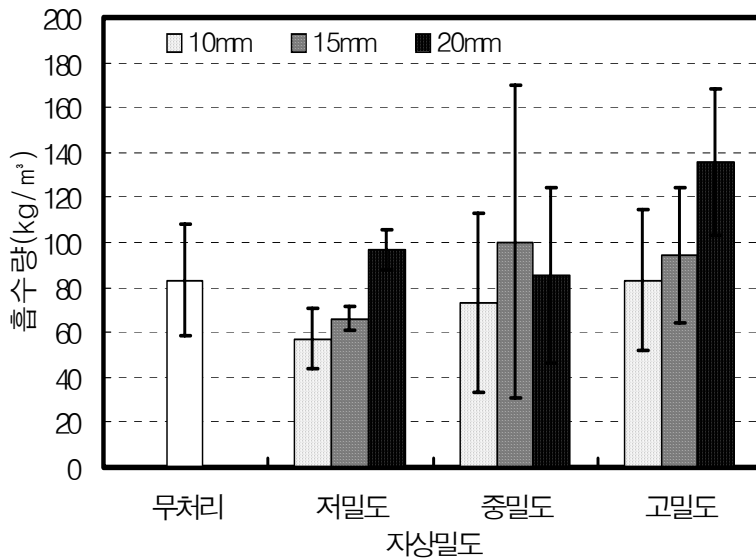
잣나무 침목에 대한 결과를 <그림 4-15>과 <그림 4-16>에 나타냈다. 먼저 침윤도를 살펴보면 그림 27에서와 같이 잣나무의 경우에는 리기다소나무와는 달리 다소 낮은 침윤도를 보여 85.1%에 그쳤다. 잣나무도 리기다소나무와 같

이 약제 침투성이 매우 양호한 수종으로 분류되며 재질 역시도 심재형성이 늦어 대경재의 경우 외주부는 대부분 변재부로만 구성되어 있어 침목 실대재에서도 중심부 일부를 제외하고는 대부분 변재가 차지하고 있었다. 그럼에도 크레오소트유의 침투가 약 17mm에 그친 것은 연륜 폭과 관계가 있을 것으로 판단되나 이에 관해서는 좀 더 구체적으로 검토할 필요가 있다.



<그림 4-15> 잣나무 침목의 자상처리 조건 별 크레오소트유 침윤도

자상 처리 침목에서는 침윤도의 향상 효과가 나타나 자상 밀도 및 자상 깊이가 증가할수록 침윤도도 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였다. 모든 자상 처리 조건에서 100% 이상의 침윤도를 나타내 침목 표면으로부터 20mm이상 크레오소트유가 침투한 것을 알 수 있다. 비교적 무처리 침목에서도 높은 침윤도를 나타냈던 리기다소나무에 비하여 잣나무에서는 이와 같이 자상처리 효과가 뚜렷하게 나타나 대단면 재의 방부처리에 있어서 자상 처리의 중요성이 입증되었다.



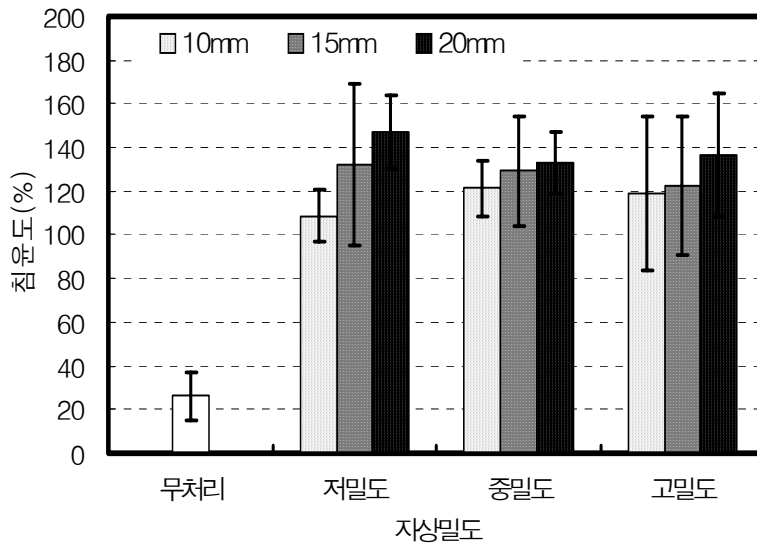
<그림 4-16> 잣나무 침목의 자상처리 조건 별 크레오소오트유 흡수량

<그림 4-16>은 크레오소오트유의 흡수량을 나타낸 것으로 침윤도와는 약간 다른 경향을 보였다. 무처리 침목에 비하여 높은 침윤도를 나타냈던 일부의 자상처리 침목에서 무처리 침목인데 비하여 낮은 흡수량을 보이고 있다. 특히, 자상 깊이 10mm에 저밀도와 중밀도, 자상 깊이 15mm에 저밀도 처리 침목의 경우에는 무처리 침목에 비하여 낮은 흡수량을 보였을 뿐만 아니라 침목의 사용 환경 구분 H4의 흡수량 적합기준(80kg/m³)에도 도달하지 못하는 결과를 보여 앞으로 그 원인을 밝혀야 할 필요가 있다.

3) 삼나무 침목

자상처리를 하지 않은 삼나무 침목은 크레오소오트유가 표면으로부터 약 5.2mm 밖에 침투되지 않아 26.1%의 매우 낮은 침윤도를 나타냈다. 비중이 낮고 약제 침투성이 매우 양호한 삼나무 침목에서 이와 같이 극히 낮은 침윤도를 나타낸 것은 삼나무의 경우 성장 특성 상 심재율이 매우 높아 시험에 사용

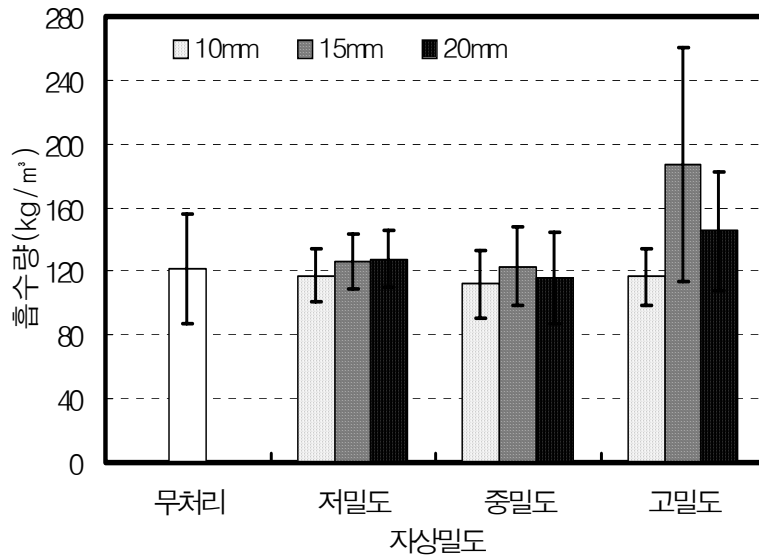
한 침목이 모두 심재부로 구성되어 있었기 때문에 심재부의 불량한 침투성 때문이라고 할 수 있다. 이와 같이 침투성이 매우 불량한 삼나무 심재 침목에 자상처리를 실시한 결과 그림 29에서도 알 수 있듯이 크레오소오트유의 침투가 현저하게 개선된 것을 알 수 있다. 모든 자상처리 조건에서 침윤도가 100%를 넘어 침투깊이가 표면으로부터 20mm이상이 되었음을 알 수 있다.



<그림 4-17> 삼나무 침목의 자상처리 조건 별 크레오소오트유 침윤도

삼나무 침목의 크레오소오트유의 흡수량 결과를 <그림 4-18>에 나타냈다. 무처리 침목의 경우 침윤도의 결과와는 달리 흡수량은 매우 높은 값을 나타내어 침목 사용 환경구분에서 요구하는 흡수량 적합기준을 충분히 만족시켜 주고 있다. 이것은 삼나무 심재부의 경우 크레오소오트유의 침투성은 불량하다 하더라도 단위 용적 당 크레오소오트유의 보유량, 즉 흡수량은 매우 우수하다고 설명할 수 있다. 자상처리 침목의 경우에는 처리에 의해 침윤도의 향상은 매우 우수하였으나 흡수량은 고밀도 처리한 일부 침목을 제외하고는 크게 향상된 결과를 보이지 않고 무처리와 거의 유사한 흡수량을 보이고 있다. 이것은 침투깊이의 향상효과는 기대할 수 있으나 단위 용적당 보유량까지 증대시킬

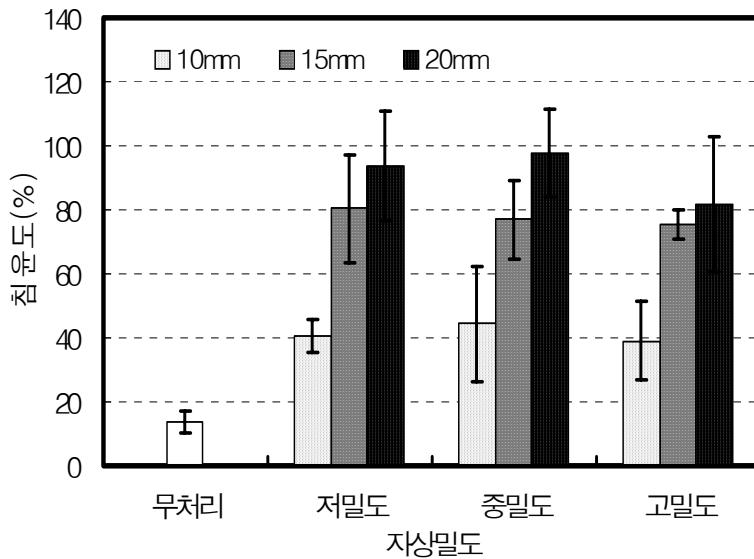
수 있는 효과는 기대할 수 없다는 것을 의미한다. 그러나 모든 침목이 사용환경 구분에서 요구하는 흡수량을 충족시키고 있기 때문에 실제 침목 사용상에 있어서 크레오소오트유의 흡수량 때문에 문제가 발생할 가능성은 없다고 판단할 수 있다.



<그림 4-18> 삼나무 침목의 자상처리 조건 별 크레오소오트유 흡수량

4) 낙엽송 침목

침윤도 결과를 <그림 4-19>에 나타냈다. 무처리 침목의 침윤도는 앞서 언급한 삼나무 침목에서 보인 결과와 거의 일치하고 있다. 낙엽송 역시 성장 중에 심재생성이 많은 수종에 속한다. 침목의 경우에도 모서리 부분 극히 일부를 제외하고는 모두 심재로 구성되어 있다. 따라서 이와 같이 크레오소오트유의 침윤도가 매우 작은 것은 심재부의 극히 불량한 약제 침투성 때문에 나타난 결과이다.

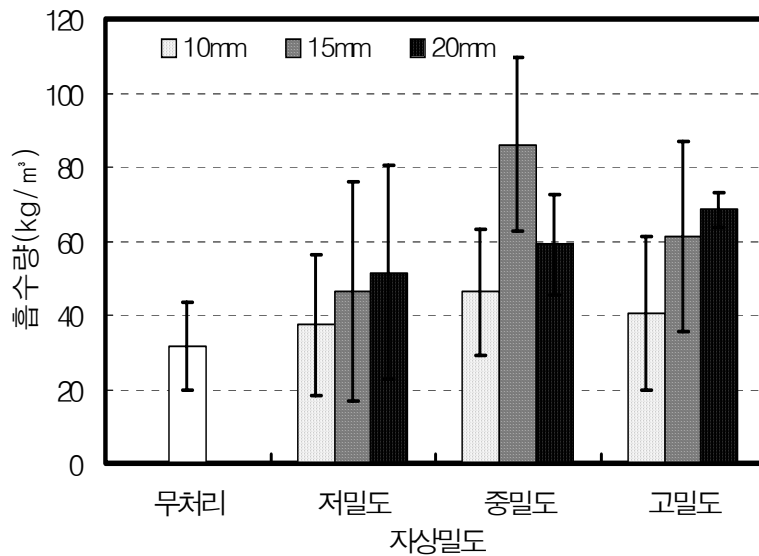


<그림 4-19> 낙엽송 침목의 자상처리 조건 별 크레오소오트유 침윤도

철도 침목 사용 환경인 H4에서 요구하는 침윤도 적합기준은 심재는 재면으로부터 20mm부분까지 심재부분의 80% 이상으로 되어 있다. 이것은 재면으로부터 크레오소오트유가 적어도 16mm이상 침투되어야 사용 상 안전하다는 것을 의미한다. 자상처리 침목의 침윤도를 살펴보면 자상 깊이 15mm 이상에서 적어도 자상밀도 530개/m² 이상(현행 자상밀도의 2/3)으로 처리해야 사용환경 구분에서 요구하는 적합기준을 만족시키는 것으로 나타났다,

<그림 4-20>은 크레오소오트유의 흡수량 조사 결과를 나타낸 것이다. 무처리 침목의 흡수량은 약 31.8kg/m³에 불과하여 철도 침목 사용 환경의 적합기준, 80kg/m³을 만족시키기 위해서는 반드시 자상처리를 실시해야 한다는 것을 보여주었다. 그러나 침윤도의 경우에는 일정 조건 이상의 자상처리에 의하여 침투성 향상효과를 보였으나 흡수량의 경우에는 자상깊이 15mm의 중밀도 처리조건을 제외한 어느 처리 조건에서도 80kg/m³ 이상의 크레오소오트유 흡수량을 보이지 않아 만족할 만한 자상처리 효과가 나타나지 않았다. 그러나 무처리에 비해서는 흡수량 적합기준을 충족시키지는 못하였으나 흡수량이 증가하

는 경향을 보였다. 따라서 철도 침목 사용 환경 H4의 흡수량 적합기준을 만족시켜 사용에 적합한 침목을 생산하기 위해서는 좀더 높은 흡수량 개선 효과를 기대할 수 있는 전처리 조건 및 방법을 검토해야 할 필요가 있다.



<그림 4-20> 낙엽송 침목의 자상처리 조건 별 크레오소오트유 흡수량

국산 침엽수 4수종에 대하여 최적의 자상 처리 조건을 조사한 결과, 크레오소오트유 침투성 측면에서는 고밀도(1200개/m²)의 자상 밀도와 20mm의 표준 자상 깊이에서 가장 좋은 크레오소오트유 침투성을 보여 최적의 조건임을 알 수 있었다. 그러나 강도적인 측면을 고려할 때 소나무, 잣나무, 삼나무의 경우에는 중밀도(800개/m²)의 현행의 자상 밀도에서 자상 깊이를 15mm로 감소시켜 처리해도 크레오소오트유 침투성 저하는 발생하지 않는 것으로 밝혀졌다. 한편 낙엽송의 경우에는 사용환경 H4에서 요구하는 흡수량 적합기준을 만족시키기 위해서는 현행보다 고밀도의 자상처리 조건을 적용시켜야 할 것으로 판단된다.

제 5 절 국산 침엽수재의 횡압축 처리

침엽수재는 재질 특성 상 활엽수재와는 달리 섬유직각방향으로 횡압축을 가하여 강도저하를 발생시키지 않고 일으키지 않고 효율적으로 액체의 침투성을 개선시킬 수 있다. 특히 액체의 주요 이동통로가 되는 침엽수 가도관의 유연벽공 폐쇄율이 높은 심재부의 경우 그 처리효과가 우수한 것으로 알려져 있다. 국내산 침엽수재 중에서 철도 침목생산에 적합하여 KS F 3005 및 철도청 규격에 사용 가능수종으로 지정되어 있는 낙엽송의 경우에는 약제 침투성이 매우 불량할 뿐만 아니라 생육 특성 상 벽공 폐쇄가 발생하는 심재화가 빨리 진행된다. 따라서 폐쇄벽공의 개열에 의해 침투성 개선효과를 가져오는 횡압축 처리는 낙엽송재의 약제 침투성 개선을 위한 전처리 방법으로서 매우 적합할 것으로 판단된다.

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

보통침목 실대재 크기의 리기다소나무와 잣나무 및 낙엽송의 시험체를 제조하여 사용하였다. 삼나무의 경우에는 국내산 대경목(직경 최소 30cm)의 확보가 어려울 뿐만 아니라 비중 등 재질 측면에서 철도 침목으로의 사용이 어려울 것으로 예상됨에 따라 2차년도 실험부터는 제외하였다. 시험체 수는 수종별로 10개씩을 공시하였다.

나. 실험방법

1) 횡압축 단독 처리

압축처리는 두께방향으로 하였으며 압축량은 예비실험을 통하여 횡압축 처

리에 사용할 라미네이터의 최대 가능 압축 능력을 조사한 후 설정하였다. 잣나무 침목에 대해서는 원래 두께치수 150mm의 5, 10, 20%의 압축량을 적용하였고 리기다소나무와 낙엽송은 두께치수의 5, 7, 10%를 적용하였다. 동일한 압축량에서 압축을 1, 2, 3회로 하였다.



<그림 5-1> 침엽수재 침목의 자상처리(좌) 및 횡압축 처리(우)

2) 자상-횡압축 병행 처리

크레오소트유 침투성 향상효과를 배가시키기 위한 전가공법으로 자상-횡압축 처리에 대해서도 처리효과를 검토하였다. 예비실험을 통하여 횡압축 처리 후 자상처리 방법과 자상처리 후 횡압축처리 방법에 대하여 검토한 결과 처리 후 침목 표면상태의 균질성 측면에서 자상처리 후 횡압축 처리가 적합한 것으로 파악되었다. 1차 처리인 자상처리는 1차년도 연구결과 침목 수종별로 크레오소트유의 주입성과 강도적 성질 측면에서 최적 자상처리 조건으로 밝혀진 자상깊이와 자상밀도를 적용하였다. 리기다소나무와 잣나무에 대해서는 자상깊이 15mm와 자상밀도 800개/m²를 적용하였으며 낙엽송에 대해서는 자상깊이 20mm, 자상밀도 1200개/m²를 적용하였다. 횡압축 처리는 횡압축 단독처리와 동일한 처리조건을 적용하였다.

3) 크레오소오트유 처리

기계적 전가공을 실시한 침엽수 칩목을 본 과제의 참여기업인 경국산업의 대형 주약시설을 이용하여 다음 조건에서 현장 처리하였으며 횡단면으로의 크레오소오트유 침투를 방지하기 위하여 모든 칩목의 횡단면은 실리콘 수지로 실링하였다. 주입처리는 크레오소오트유 액온 90℃, 감압자비시간 1시간, 가압 2.5시간, 가압력 16kgf/cm²의 조건에서 실시하였다.



크레오소오트유 주입 전 주약관 내로 칩목의 투입

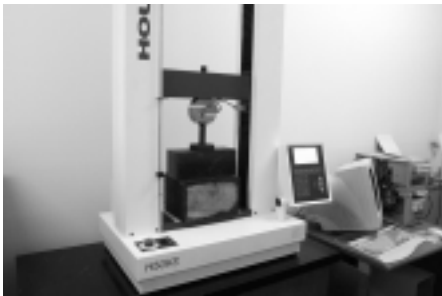


크레오소오트유 주입 후 주약관으로부터 칩목의 반출

<그림 5-2> 침엽수 칩목의 크레오소오트유 현장 주입 처리

4) 물리 및 강도적 성질 조사

철도 침목은 선로 설치 부분에서 장기간에 걸쳐 반복적으로 차량에 의해 섬유직각 방향으로 압축하중을 받기 때문에 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 또한 스파이크에 의해 선로를 고정시켜야 하기 때문에 스파이크 인발 저항력이 중요하다. 따라서 기계적 전가공을 실시한 3수종의 침엽수 침목에 대하여 KS규격의 시험방법에 따라 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 스파이크의 인발저항력을 조사하였다. 한편 횡압축 처리 침목에 대해서는 압축처리 후 24시간 경과한 시점에서 두께방향의 치수를 조사하여 압축변형 후 회복율을 조사하였다. 섬유 직각방향 부분압축 비례한도 응력은 KS F 2206 「목재의 압축시험방법」에 준하여 침목 실패재를 가지고 조사하였다. 스파이크 인발 저항력은 침목 실패재 크기의 시험체를 사용하여 현장에서 침목에 레일을 고정하는 방법과 동일한 방법으로 예비 천공(직경 13mm) 후 나사스파이크(길이 13.5 cm)를 박아 KS F 2214 「목재의 못 뽑기 저항시험 방법」에 따라 조사하였다.



섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력 시험



스파이크 인발 저항력 시험

<그림 5-3> 침엽수 침목의 강도적 성질 측정

5) 크레오소오트유 침투성 조사

크레오소오트유를 주입처리한 후 10일간 야외에 방치하여 과잉의 크레오소오트유를 제거 하고 저비점 성분을 휘산시킨 다음 시험에 공시하였다.

가) 크레오소오트유 침윤도 조사

크레오소오트유를 처리한 침목 실대재로부터 길이방향으로 60, 120, 180cm 가 되는 지점에서 두께 10mm의 시험체(사각의 횡단면 판재)를 채취하여 KS F 3005 「가압식 크레오소오트유 방부처리 침목」 규격에 준하여 크레오소오트유의 침윤도를 조사하였다. 단, 심·변재량의 차이에 따라 침윤도 산출을 달리 하여 변재량이 많은 리기다소나무에 대해서는 식 (1), 심재량이 많거나 심재로만 되어 있는 잣나무와 낙엽송 침목에 대해서는 식 (2)에 의하여 각각 산출하였다.

<리기다소나무>

$$\text{침윤도}(\%) = \frac{\text{표면으로부터 크레오소오트유 침투 깊이(mm)}}{\text{표면으로부터 변재 깊이(mm)}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

<잣나무, 낙엽송 침목>

$$\text{침윤도}(\%) = \frac{\text{표면으로부터 크레오소오트유 침투 깊이(mm)}}{\text{표면으로부터 심재 깊이(20mm)}} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

나) 크레오소오트유 흡수량 조사

침윤도 조사를 마친 시험체의 4번의 가장자리 중앙부위에서 직육면체의 시편을 채취하여 KS F 2155 「방부처리 목재의 약제 흡수량 측정방법」에 준하여 조사하였다.

6) 횡압축 처리에 따른 조직변화 관찰

횡압축을 실시한 공시 3수종의 침목으로부터 소형의 시편을 채취한 후 상법에 준하여 3단면의 조직 관찰용 시료를 제작하였다. 이들 시편을 알루미늄 시료대 위에 마운팅하여 금코팅을 실시한 후 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope, Philips XL30 ESEM)으로 횡압축에 따른 조직변화를 관찰하였다.

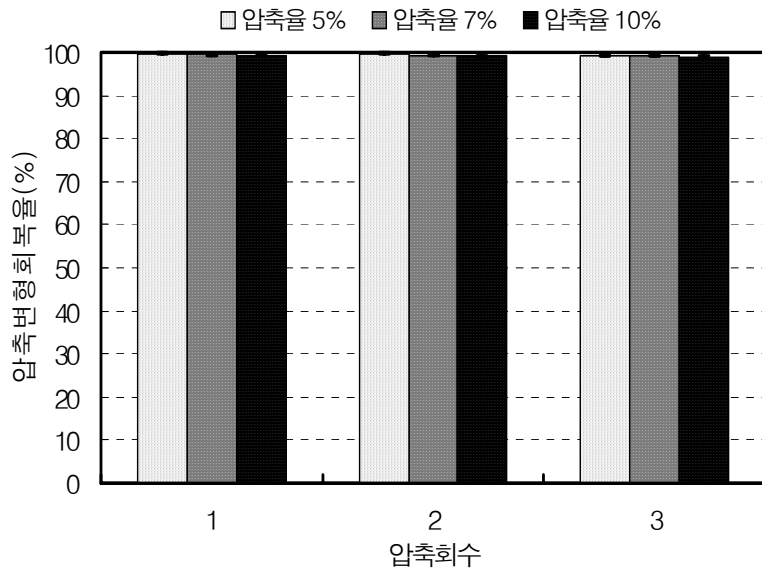
2. 연구 결과

가. 횡압축 처리 침목의 성질

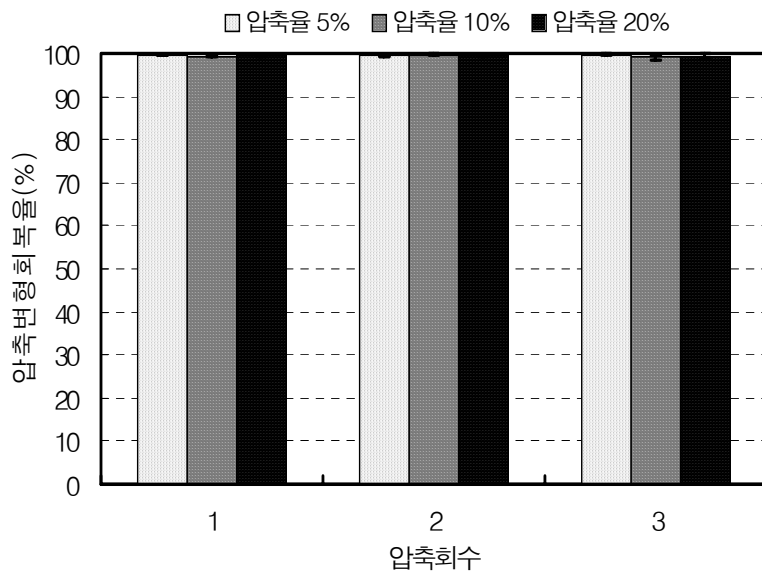
1) 물리 및 강도적 성질

가) 압축변형(두께방향) 회복율

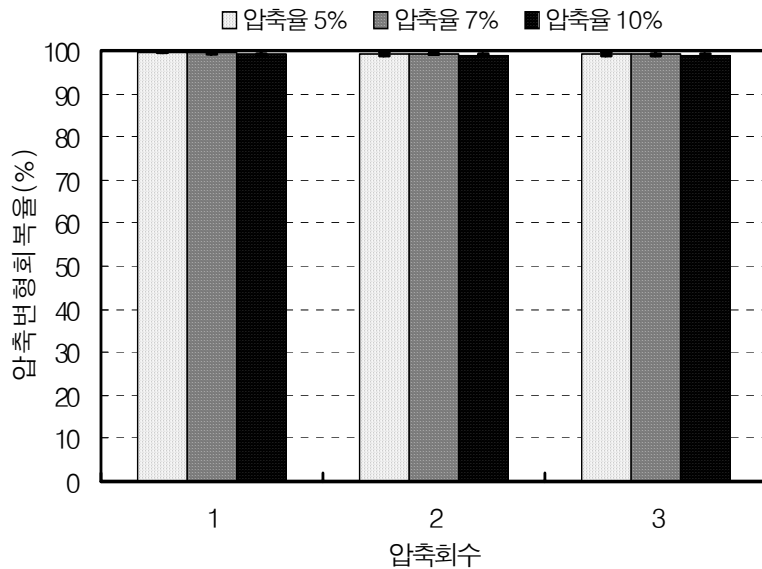
침목의 두께방향으로 횡압축을 가함으로서 발생하는 침목의 치수 변화를 알아보기 위하여 횡압축 처리를 실시한 후 크리이프의 회복이 충분히 이루어졌을 것으로 예상되는 24시간이 되는 시점에서 침목의 두께를 측정하여 원래 치수와 비교하여 횡압축 변형 회복율을 조사하였다.



<그림 5-4> 횡압축 처리한 리기다소나무 침목의 횡압축 변형 회복율



<그림 5-5> 횡압축 처리한 잣나무 침목의 횡압축 변형 회복율



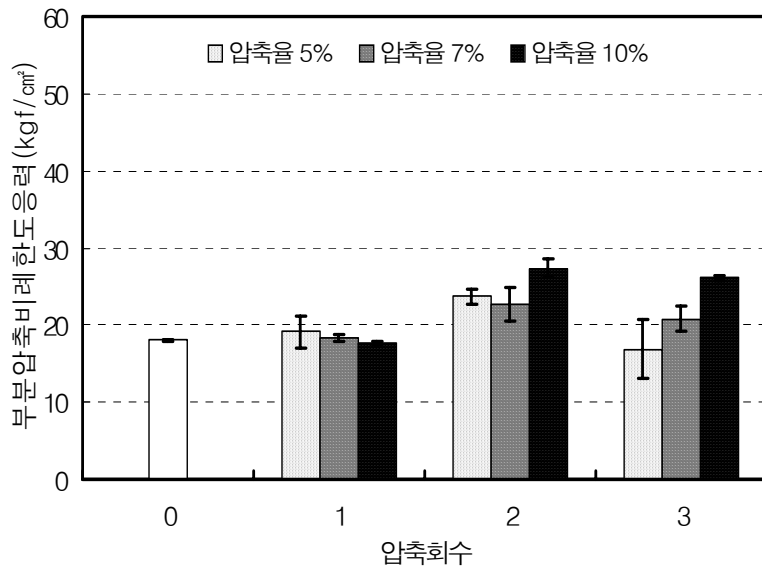
<그림 5-6> 횡압축 처리한 낙엽송 침목의 변형 회복율

<그림 5-4>, <그림 5-5>, <그림 5-6>에서 알 수 있듯이 3수종 침목 모두에서 횡압축 처리조건에 관계없이 원래 치수의 98% 이상까지 회복됨으로서 횡압축에 따른 침목의 두께 치수변화는 크게 발생하지 않는 것으로 밝혀졌다. KS F 3005 "가압식 크레오소오트유 방부처리 침목" 규격에서는 침목의 치수 허용차를 규정하고 있으며 두께방향 허용차는 +10~-5로 되어 있다. 따라서 본 연구에 사용된 침엽수 침목의 치수는 보통침목(두께 150mm)을 기준으로 하였기 때문에 횡압축에 의하여 최대 145mm(원래 치수의 약 96.6%)까지 변형 되어도 기준에 벗어나지는 않는다. 본 연구에서 횡압축 처리에 의하여 변형된 두께가 원래치수의 98% 이상까지 회복되었기 때문에 횡압축에 따른 침목 생산에 있어 문제는 발생하지 않는 것으로 밝혀졌다.

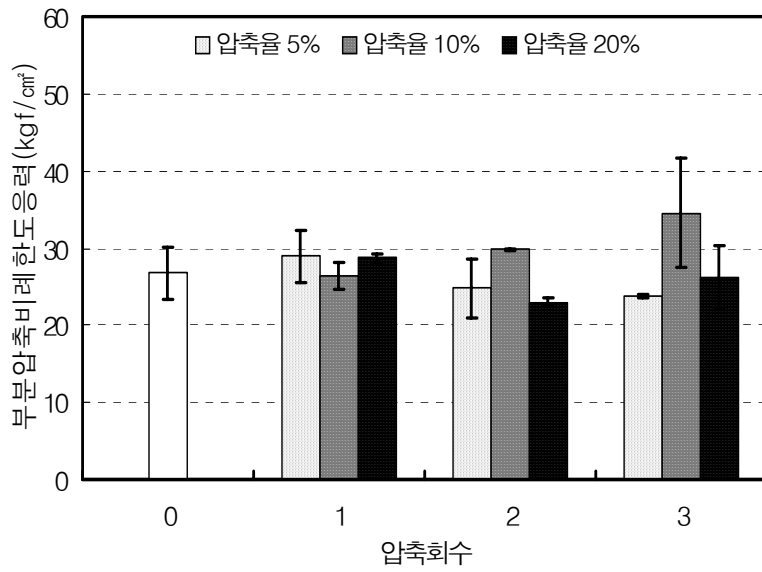
나) 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력

철도 침목은 장기간에 걸쳐 선로 위를 달리는 차량에 의하여 섬유직각방향으로 부분압축 하중을 받기 때문에 이에 견딜 수 있는 높은 섬유직각방향 부

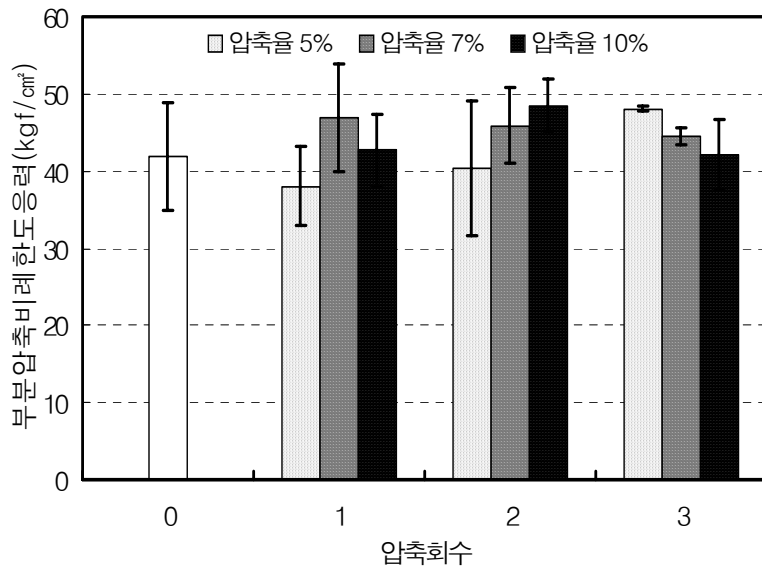
분압축 비례한도 응력이 요구된다. 횡압축에 따른 각 수종 침목의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력의 변화에 대하여 조사하여 수종 별로 <그림 5-7>, <그림 5-8>, <그림 5-9>에 각각 나타냈다. 어떤 처리도 하지 않은 무처리 침목과 비교하면 횡압축에 의하여 리기다소나무와 낙엽송에 있어 극히 일부를 제외하고는 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력이 다소 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 횡압축에 의하여 침목 표면에 약간의 고밀화가 진행되었기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 낙엽송 침목을 제외하고는 KS F 3005 "가압식 크레오소오트유 방부처리 침목" 규격에서 정하고 있는 섬유직각 방향 부분압축 응력(4N/mm²)에 못 미치는 것으로 나타나 앞으로 이를 해결할 수 있는 국산 침엽수재 압밀화 또는 고밀화 처리 기술을 개발해야 할 것으로 판단되었다.



<그림 5-7> 횡압축 처리한 리기다소나무 침목의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력



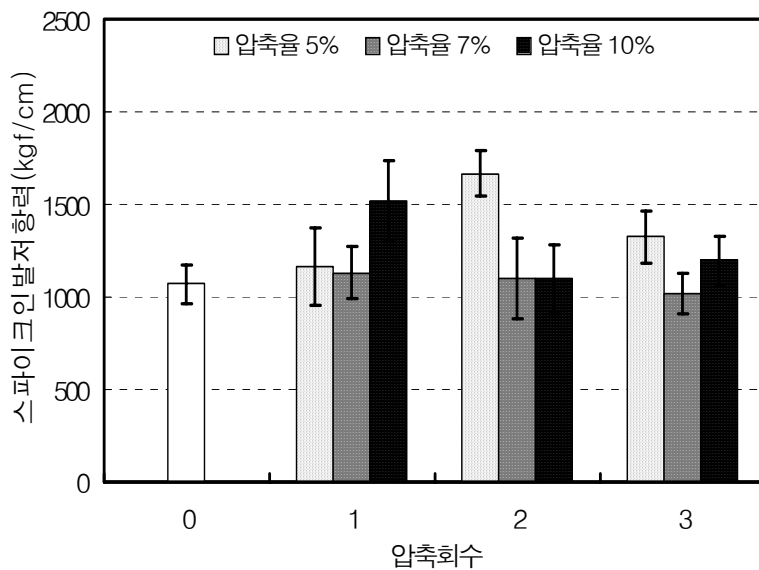
<그림 5-7> 황압축 처리한 잣나무 침목의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력



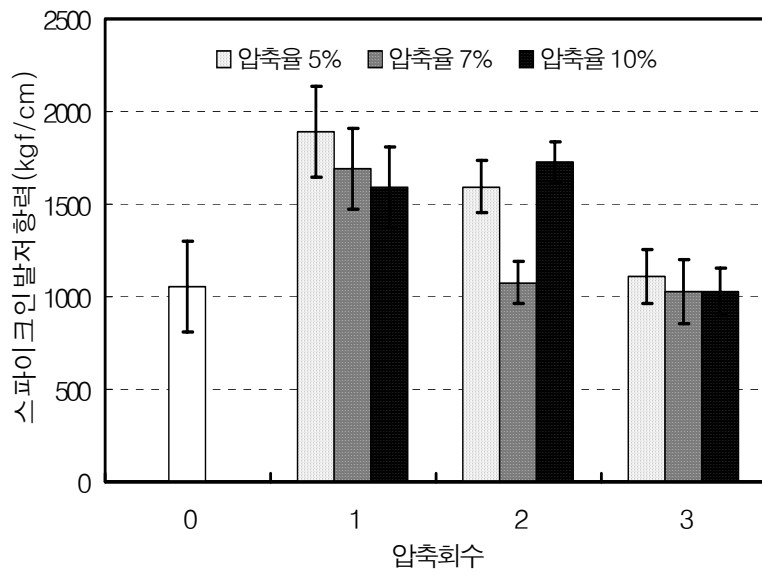
<그림 5-7> 황압축 처리한 낙엽송 침목의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력

다) 스파이크 인발저항력

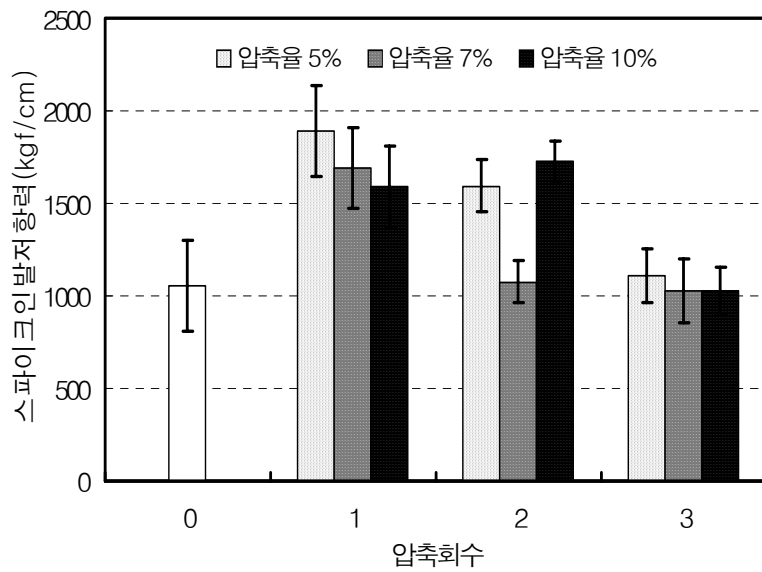
철도 침목에 있어 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력 외에 중요한 강도적 성질은 열차운행의 안전성 확보를 위해 선로를 침목 위에 고정하는 체결기구인 스파이크 인발저항력이다. 횡압축 처리에 따른 침목의 스파이크 인발 저항력을 살펴보면 무처리 뿐만 아니라 처리 조건 간에 일정한 경향을 보이지 않고 있으며 편차 또한 크게 나타났다. 이것은 스파이크가 침목 내부로 10cm 이상 박히기 때문에 침목의 표층부 재질 보다는 침목 내부의 재질, 특히 연륜의 배향성, 연륜의 폭, 심·변재량 등에 의해 크게 좌우되기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서는 각 처리 조건 당 5개의 침목 실험체를 공시하여 실험을 실시하였기 때문에 원목 간에 조직 특성에 큰 변이가 있어 스파이크 인발 저항력에서 어느 일정한 경향이 나타나지 않은 것으로 추정된다. 한편 국산 침엽수재의 스파이크 인발 저항력에 관해서는 아직까지 조사된 바 없으며 KS F 3005 "가압식 크레오소오트유 방부처리 침목" 규격에서도 언급하지 않고 있어 이에 관한 조사가 앞으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.



<그림 5-8> 횡압축 처리한 리기다소나무 침목의 스파이크 인발저항력



<그림 5-9> 횡압축 처리한 젓나무 침목의 스파이크 인발저항력



<그림 5-10> 횡압축 처리한 낙엽송 침목의 스파이크 인발저항력

2) 크레오소오트유의 침투 특성

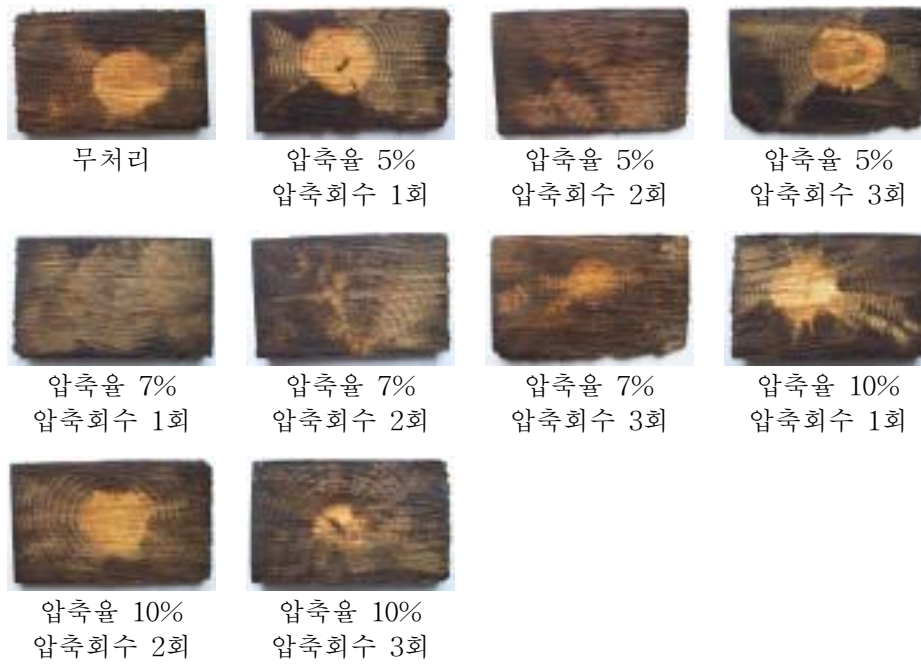
가) 크레오소오트유의 침윤도

(1) 리기다소나무 침묵

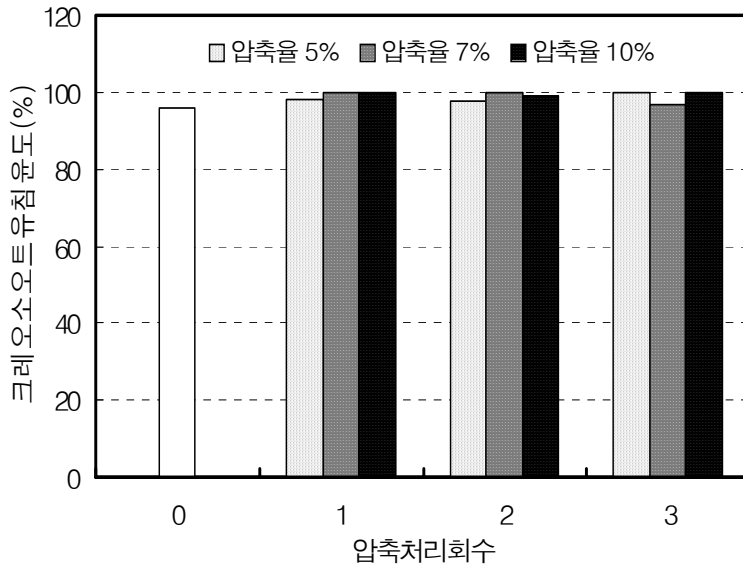
리기다소나무 침묵 실험에 대하여 두께방향으로 각각 두께치수의 5, 7, 10%까지 압축을 가한 후 크레오소오트유 침투깊이를 무처리 침묵과 비교하였다. 횡단면상에서 크레오소오트유 침투상태와 침윤도를 각각 <그림 5-11>과 <그림 5-12>에 나타냈다.

리기다소나무의 경우에는 약제 침투성이 매우 양호한 수준으로 알려져 있으며 <그림 5-11>에서 알 수 있듯이 횡압축 처리를 실시하지 않은 무처리 침묵에서도 침묵 표면으로부터 변재부까지 크레오소오트유 침투가 완전히 이루어진 것으로 나타났다. 또한 횡압축을 실시한 침묵에서도 압축율과 압축회수에 관계없이 변재부 전체에서 크레오소오트유의 침투를 관찰할 수 있었다. 그러나 심재부가 침묵 표면 쪽에 치우친 횡압축 처리 침묵(<그림 5-11>에서 압축율 5%, 압축회수 2회, 압축율 7%, 압축회수 1회, 압축율 7%, 압축회수 2회 등)에서는 변재부는 물론 심재부까지도 완전히 크레오소오트유의 침투가 이루어졌으며 이것은 횡압축 처리에 따른 약액의 침투성 개선효과에 의한 것으로 판단되었다. 한편 크레오소오트유 침투부에서 부분적으로 크레오소오트유 침투 시 나타나는 고유의 진한 흑색보다 다소 옅은 색 부분이 존재하여 크레오소오트유 흡수량에 차이가 있는 것으로 추정되었다. 횡압축 처리에 의한 약액의 주입성 개선효과를 보다 명확하게 파악하기 위하여 KS F 3005 규격에 준하여 크레오소오트유의 침윤도를 조사하였다. <그림 5-12>에서 알 수 있듯이 침묵 표면으로부터 변재부까지의 침윤도는 압축율과 압축회수에 관계없이 100%에 가까운 수치를 나타냈다. 이들 결과로부터 리기다소나무의 경우 무처리 시에도 크레오소오트유의 변재부 침윤도가 100%를 나타내어 KS F 3005 "가압식 크레오소오트유 방부처리 침묵"에서 규정하고 있는 "변재부분 80% 이상" 조건을

만족시켜 침목으로의 사용가능성이 매우 높은 것으로 조사되었다.



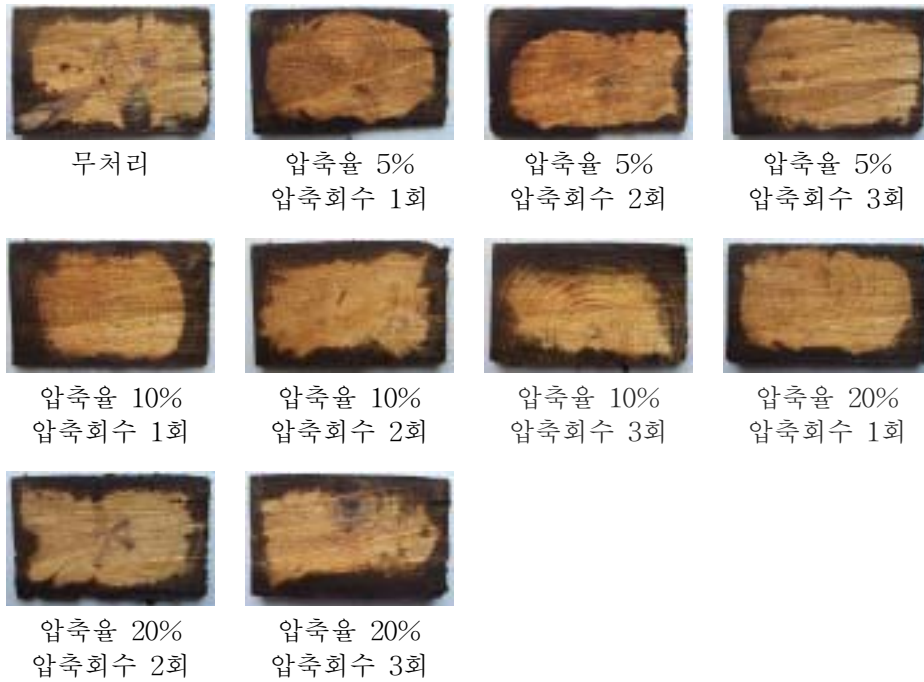
<그림 5-11> 횡압축 처리 리기다소나무 침목의 크레오소오트유 침투상태



<그림 5-12> 횡압축 처리 리기다소나무 침목의 크레오소오트유 침윤도

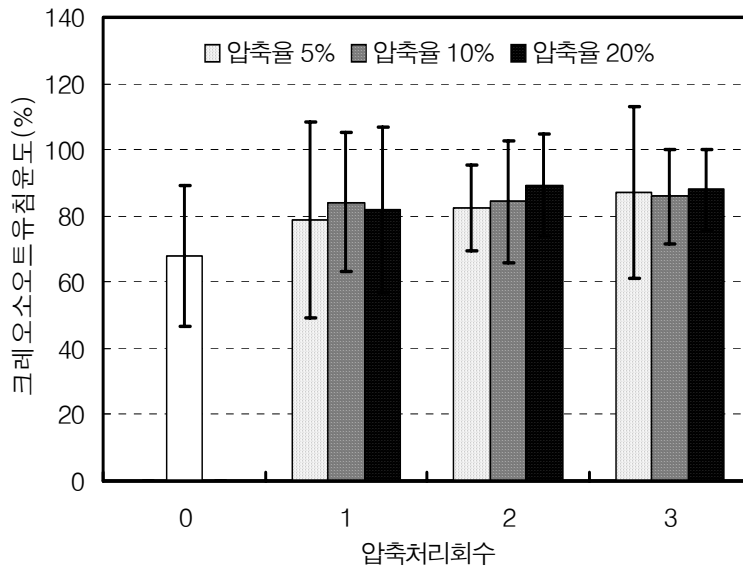
(2) 잣나무 침목

무처리 및 횡압축 처리 잣나무 침목에서의 크레오소오트유 침투상태를 <그림 5-13>에 나타냈다. 횡단면에서의 크레오소오트유 침투상태를 무처리와 비교하면 부위에 따라 다소 차이가 나타났지만 전체적으로 횡압축 처리의 침목에서 변재부 내부로 보다 깊이 침투해 있는 것을 알 수 있다. 또한 침투부의 색조가 무처리 침목에 비하여 진한 흑색을 나타냄으로서 크레오소오트유의 흡수량 측면에서도 양호한 것으로 추정된다.



<그림 5-13> 횡압축 처리 잣나무 칩목의 크레오소오트유 침투상태

횡압축 처리에 따른 잣나무 칩목의 약액 침투성 개선효과를 보다 명확하게 알아보기 위하여 침윤도를 산출하여 <그림 5-14>에 나타냈다. 무처리 칩목의 경우 약 68%의 침윤도를 보였으나 횡압축 처리 칩목에서는 최저 78.7%에서 최고 89.4%의 침윤도를 나타내 횡압축 처리에 의한 크레오소오트유의 침투성 개선 효과가 나타났다. 또한 무처리 칩목의 경우에는 KS F 3005 "가압식 크레오소오트유 방부처리 칩목"의 합격 기준(침윤도 80% 이상)에 못 미치는 결과를 보였으나 횡압축 처리에서는 처리조건 압축율 5%, 압축회수 1회를 제외하고 모두 80% 이상의 침윤도를 나타냄으로서 철도칩목의 사용기준을 만족시키는 것으로 나타났다.



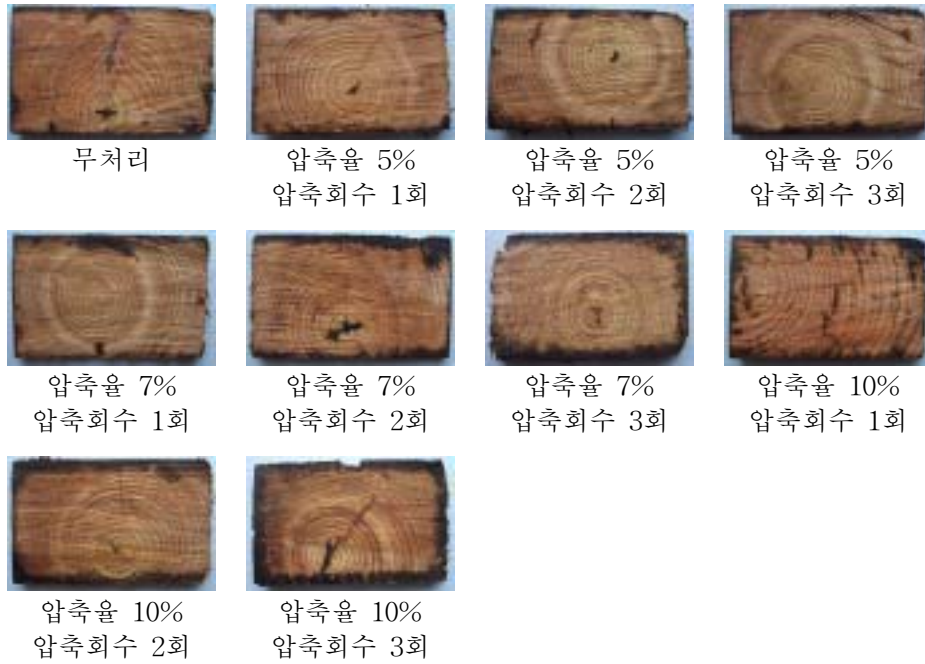
<그림 5-14> 횡압축 처리 잣나무 침목의 크레오소오트유 침윤도

(3) 낙엽송 침목

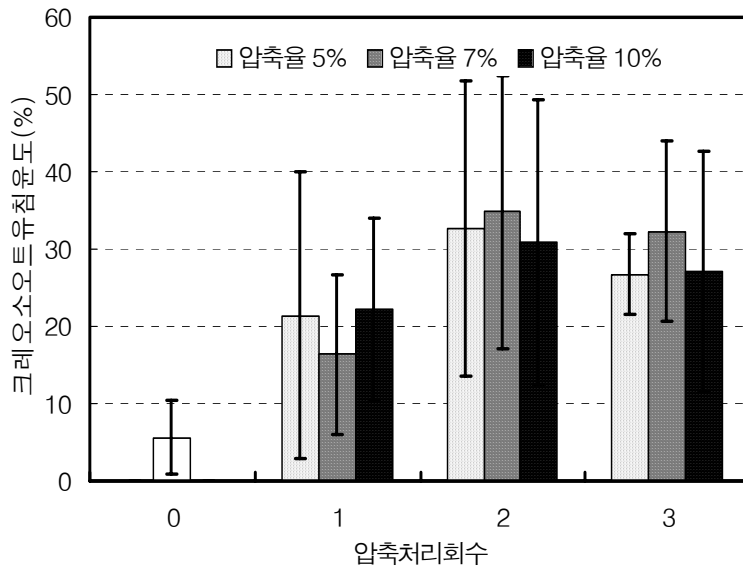
낙엽송 침목에 대한 무처리 및 횡압축 처리후의 크레오소오트유 침투상태를 <그림 5-15>에 나타냈다. 낙엽송은 대표적인 난주입성 수종으로 알려져 있으며 약액의 침투성 개선을 위한 기계적인 전가공을 요구하는 수종으로 분류된다. <그림 5-15>에서도 알 수 있듯이 무처리 뿐만 아니라 횡압축 처리 모든 침목에서 크레오소오트유의 침투가 매우 불량하였다. 특히 낙엽송의 경우 심재 형성이 많은 심재수로 침목 실대재 크기의 제재목을 생산하게 되면 전단면에 걸쳐 심재가 차지하고 있다. 따라서 심재의 침투성 개선을 위한 전가공이 필요하며 횡압축 단독처리 만으로는 충분한 크레오소오트유의 침투성을 달성할 수 없음이 밝혀졌다.

<그림 5-16>은 크레오소오트유 침윤도를 측정된 결과이다. 무처리의 경우에는 5.6%의 침윤도를 보여 침목 표층부로부터 내부로 크레오소오트유의 침투가 거의 이루어지지 않았다. 한편 횡압축 처리에서는 최저 16.4%에서 최고 34.8%

의 침윤도를 보여 무치리에 비하여 다소 향상되었으나 철도 침목 사용조건을 만족시키지는 못하고 있다. 따라서 국내산 낙엽송을 철도침목으로 개발하기 위해서는 횡압축 처리만으로는 불충분하다는 것이 밝혀졌다.



<그림 5-15> 횡압축 처리 낙엽송 침목의 크레오소오트유 침투상태



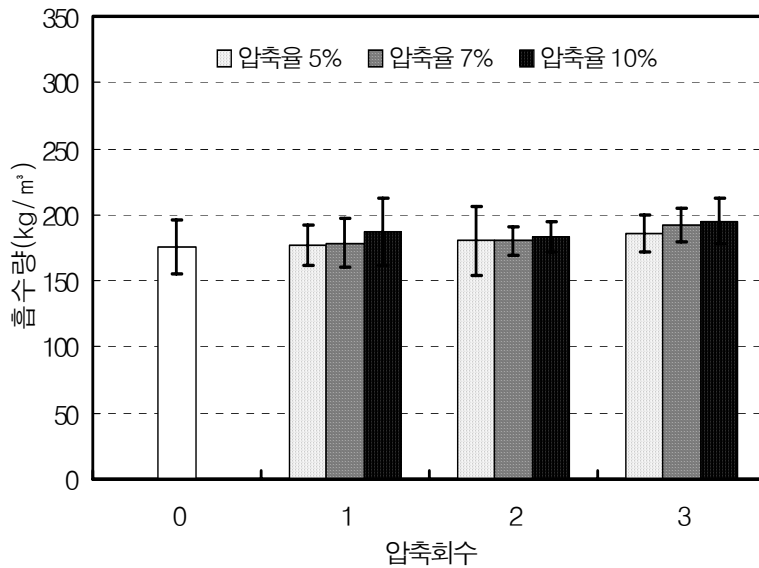
<그림 5-16> 황압축 처리 낙엽송 침목의 크레오소오트유의 침윤도

나) 크레오소오트유의 흡수량

(1) 리기다소나무 침목

침목 중에 침투되어 있는 크레오소오트유의 흡수량을 조사한 결과를 <그림 5-17>에 나타냈다. 약제 침투성이 양호한 수종으로 알려져 있는 리기다소나무는 크레오소오트유의 침투상태 및 침윤도에서도 알 수 있었듯이 변재부 전체에 걸쳐 크레오소오트유가 침투되어 있으므로 해서 약액의 흡수량도 매우 높은 값을 보였다. 무처리 뿐만 아니라 황압축 처리 침목 모두에서 170kg/m^3 이상의 흡수량을 보임으로서 침목의 사용기준 80kg/m^3 이상을 모두 만족시켜 크레오소오트유 주입성 면에서 철도침목으로의 개발 가능성이 매우 높은 것으로 나타났다. 한편 황압축 처리에 따른 흡수량 변화를 살펴보면 압축율이 증가할수록 흡수량도 약간 향상되는 결과를 보였다. 또한 압축처리 횟수가 증가함에 따라 일부를 제외하고 같은 경향을 보여 압축처리 3회에서 가장 많은 흡수량

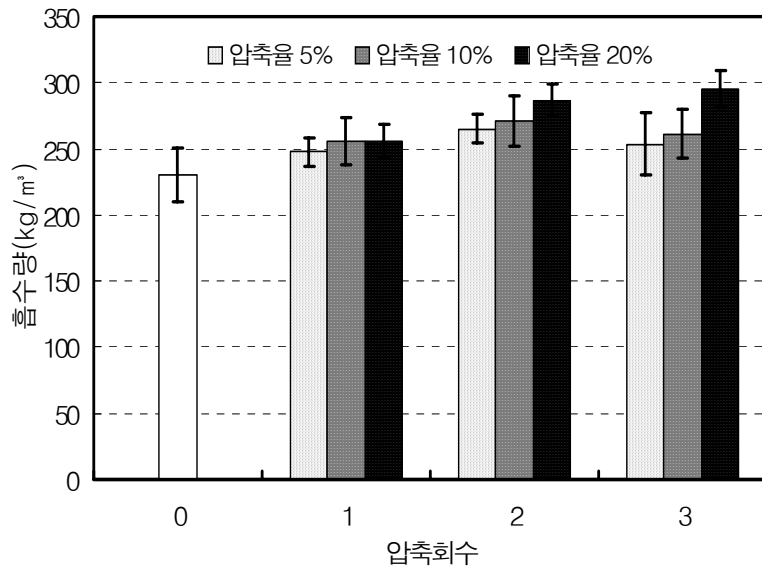
을 얻을 수 있었다.



<그림 5-17> 횡압축 처리 리기다소나무 침목의 크레오소오트유 흡수량

(2) 잣나무 침목

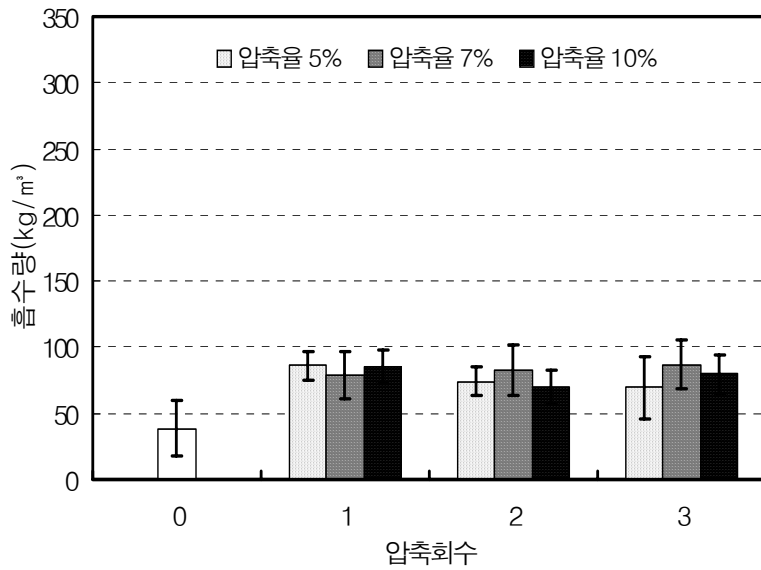
<그림 5-18>은 잣나무 침목에서의 크레오소오트유 흡수량을 나타낸 것이다. 잣나무의 경우에도 리기다소나무와 같이 무처리에서도 매우 높은 크레오소오트유 침투경향을 보였으며 흡수량은 리기다소나무에 비하여 많은 것으로 나타났다. 특히 무처리 침목에서도 KS 규격에서 정하고 있는 흡수량의 약 3배에 달하는 값을 나타내어 잣나무 역시 약제 침투성이 매우 양호한 수종임이 입증되었다. 한편 횡압축 처리효과를 살펴보면 처리조건에 따라 다소 차이는 있어도 전체적으로 압축율과 압축회수가 증가할수록 흡수량 또한 증가하는 것으로 나타났다. 크레오소오트유 침윤도에서는 잣나무가 리기다소나무에 비하여 낮은 값을 나타냈으나 흡수량이 많은 이유는 잣나무 조직 특성과 처리 시의 함수율과 매우 밀접한 관계에 있는 것으로 판단되며 특히 함수율과의 관계에 대해서는 향후 검토할 필요가 있을 것으로 생각된다.



<그림 5-18> 횡압축 처리 잣나무 칩목의 크레오소오트유 흡수량

(3) 낙엽송 칩목

크레오소오트유 칩투상태 및 침윤도가 3수종 중에서 가장 열등했던 낙엽송 칩목의 흡수량에 대하여 조사한 결과를 <그림 5-19>에 나타냈다. 무처리 칩목의 경우에는 크레오소오트유의 칩투상태 및 침윤도가 낮았던 만큼 흡수량 또한 낮은 값을 나타냈으며 시험체 간에 편차 또한 심하게 나타났다. 그러나 횡압축 처리에 의하여 침윤도가 다소 향상되었던 칩목에서는 비교적 침윤도는 낮은 값을 나타냈으나 흡수량 개선 효과는 뚜렷하게 나타나 처리조건 압축율 5%, 압축회수 3회에서 다소 이상치를 나타냈으나 그 이외에서는 무처리 칩목의 약 2배에 달하는 약액 흡수량을 보였다. 또한 횡압축 처리에 의하여 칩목 사용기준인 크레오소오트유 흡수량 80kg/m³에 가깝거나 이상에 달하는 흡수량을 얻을 수 있었다.



<그림 5-19> 횡압축 처리 낙엽송 침목의 크레오소트유 흡수량

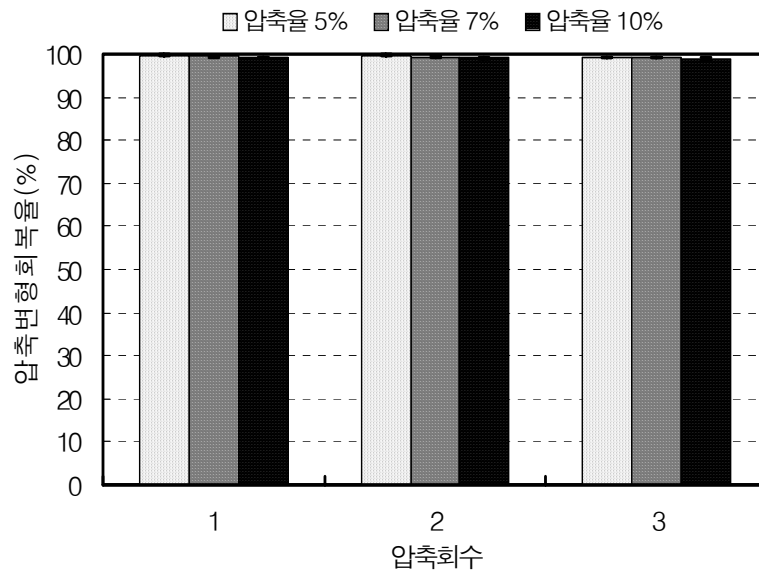
나. 자상 - 횡압축 병행처리 침목의 성질

1) 물리 및 강도적 성질

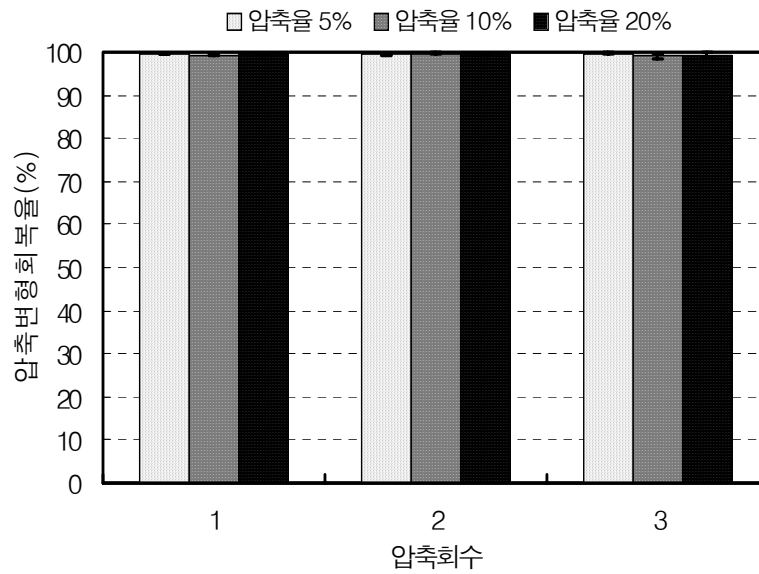
가) 압축변형(두께방향) 회복율

횡압축 단독처리에서와 마찬가지로 자상처리 후 횡압축을 병행처리한 침목에 대해서도 횡압축 처리에 의한 두께방향에서의 압축 변형 정도를 조사하였다. 그 결과를 <그림 5-20>, <그림 5-21> 및 <그림 5-22>에 각각 수종 별로 나타냈다. 병행처리 침목에서도 횡압축 단독처리 침목에서와 같은 경향을 나타내 자상처리 후 횡압축을 가하여도 최저 98% 이상의 원형 회복을 나타내는 것으로 밝혀졌다. 이것은 실험에 사용한 침목이 수종에 관계없이 모두 자상 및 압축처리 시에 생재 상태였기 때문에 세포벽 팽윤상태에서 압축하중이 가해짐으로서 크리이프 변형 회복성질이 양호하여 거의 원형 치수상태로 회복이 일

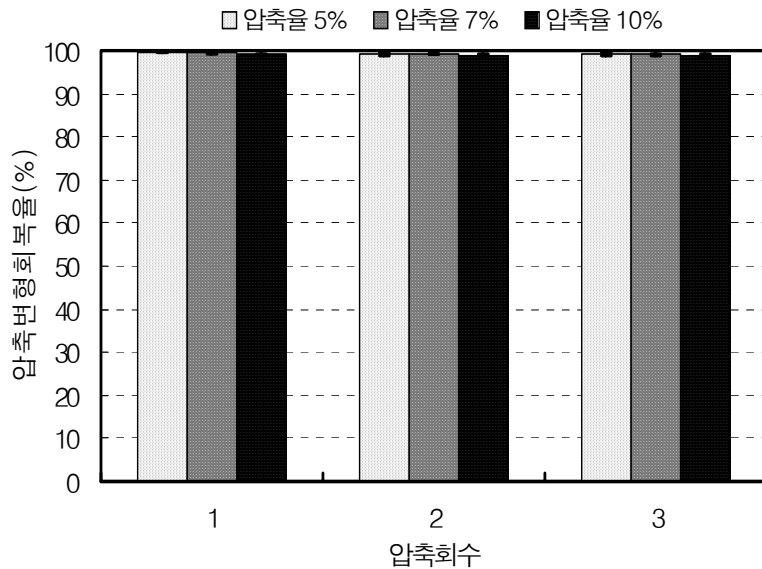
어났기 때문이라고 생각된다.



<그림 5-20> 자상-횡압축 병행처리 리기다소나무 침목의 횡압축 변형 회복율



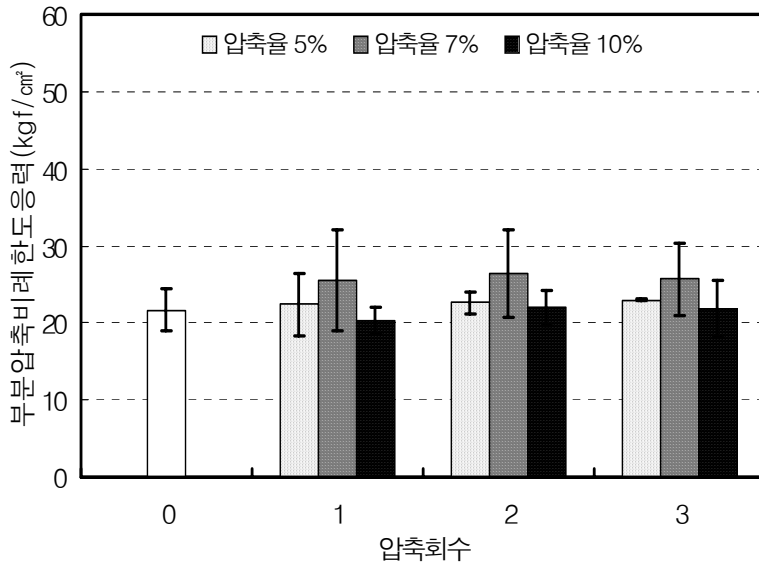
<그림 5-21> 자상-횡압축 병행처리 잣나무 침목의 횡압축 변형 회복율



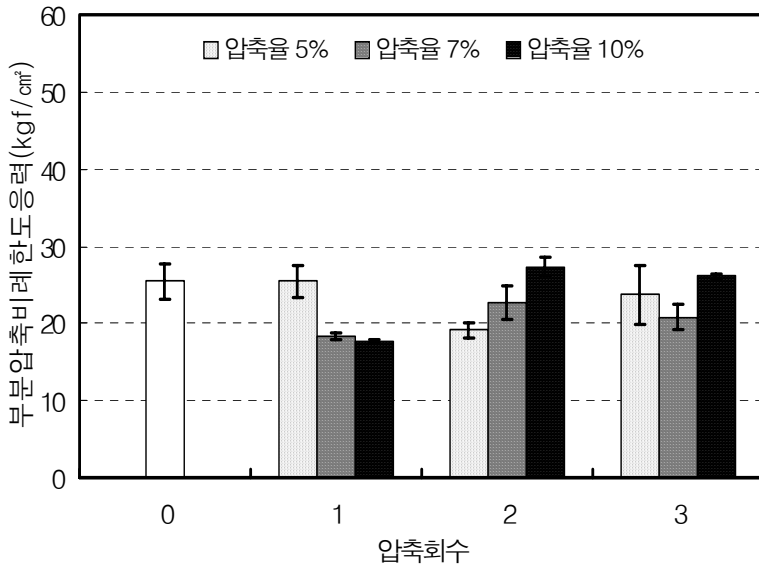
<그림 5-22> 자상-횡압축 병행처리 낙엽송 침목의 횡압축 변형 회복율

나) 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력

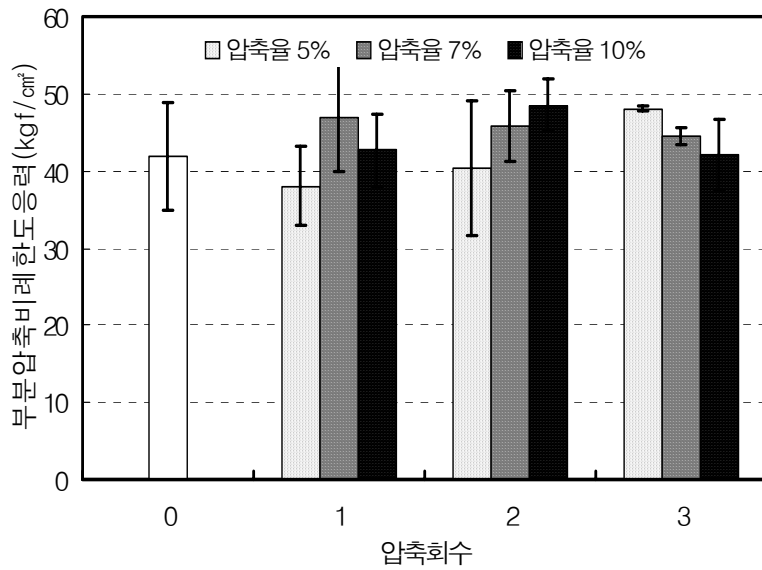
자상처리 후에 횡압축을 가하였을 경우 침목의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력 변화를 조사하였다. 그 결과를 <그림 5-23>과 <그림 5-24> 및 <그림 5-25>에 수종 별로 각각 나타냈다. 횡압축 단독처리에서와 마찬가지로 리기다소나무와 잣나무의 경우에는 가장 낮은 값을 나타내 KS 규격에서 규정하고 있는 값까지는 상당한 격차가 있음을 알 수 있었다. 그러나 크레오소오트유의 주입성이 매우 양호하기 때문에 침목으로 사용을 검토할 가치는 매우 높은 것으로 판단된다. 한편 낙엽송의 경우에는 자상 단독처리 침목뿐만 아니라 병행처리를 실시한 모든 침목에서 KS 규격을 만족시키는 비례한도 응력을 나타내 가장 우수한 침목으로서의 재질 조건을 갖추고 있는 것으로 밝혀졌다.



<그림 5-23> 자상-횡압축 병행처리 리기다소나무 침목의 부분압축 비례한도 응력



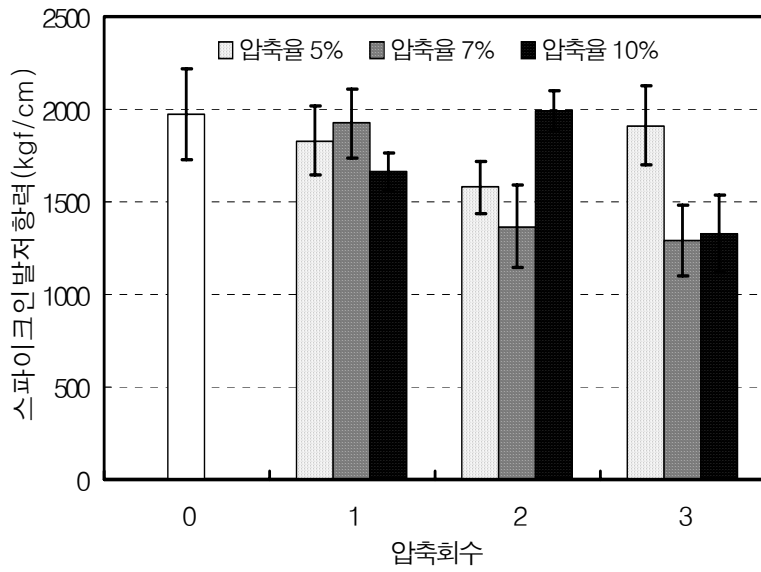
<그림 5-24> 자상-횡압축 병행처리 잣나무 침목의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력



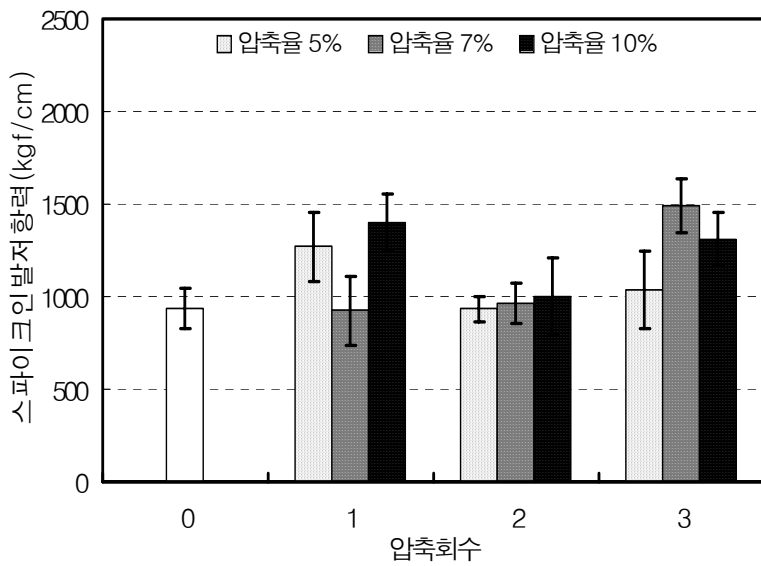
<그림 5-25> 자상-횡압축 병행처리 낙엽송 침목의 섬유직각방향
부분압축 비례한도 응력

다) 스파이크 인발저항력

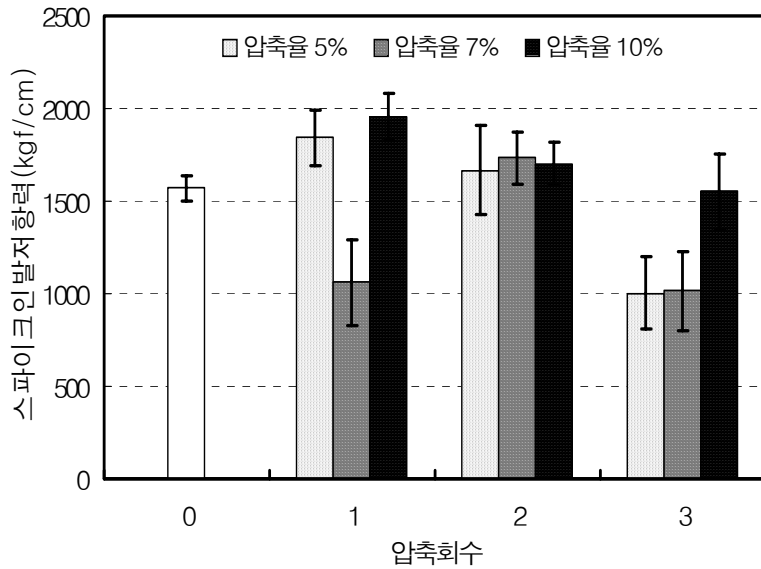
자상·횡압축 병행처리 침목의 스파이크 인발 저항력을 조사한 결과를 <그림 5-26>과 <그림 5-27> 및 <그림 5-28>에 수종 별로 각각 나타냈다. 이들 침목의 경우에도 횡압축 단독처리 침목에서와 같은 경향을 보여 처리 조건의 차이에 따른 일정한 경향의 스파이크 인발저항력은 보이지 않았다. 이것은 전술한 바와 같이 침목 실대재를 공시재료로 사용함으로 해서 동일한 수종이라 할지라도 시험체 간에 연륜수, 연륜폭, 심·변재량 등 재질 특성에 많은 차이가 존재하였기 때문이라고 생각된다. 또한 자상 처리를 비롯하여 횡압축 처리에 따른 재질의 변화는 침목 표층부로부터 최대 20mm 이내에서 발생하기 때문에 깊이 100mm까지 박아 넣어 테스트하는 스파이크 인발저항력 시험 특성상 자상 또는 횡압축 처리에 의해 크게 영향을 받지 않는 성질로 판단되어진다.



<그림 5-26> 자상-횡압축 병행처리 리기다소나무 침목의 스파이크 인발저항력



<그림 5-27> 자상-횡압축 병행처리 잣나무 침목의 스파이크 인발저항력



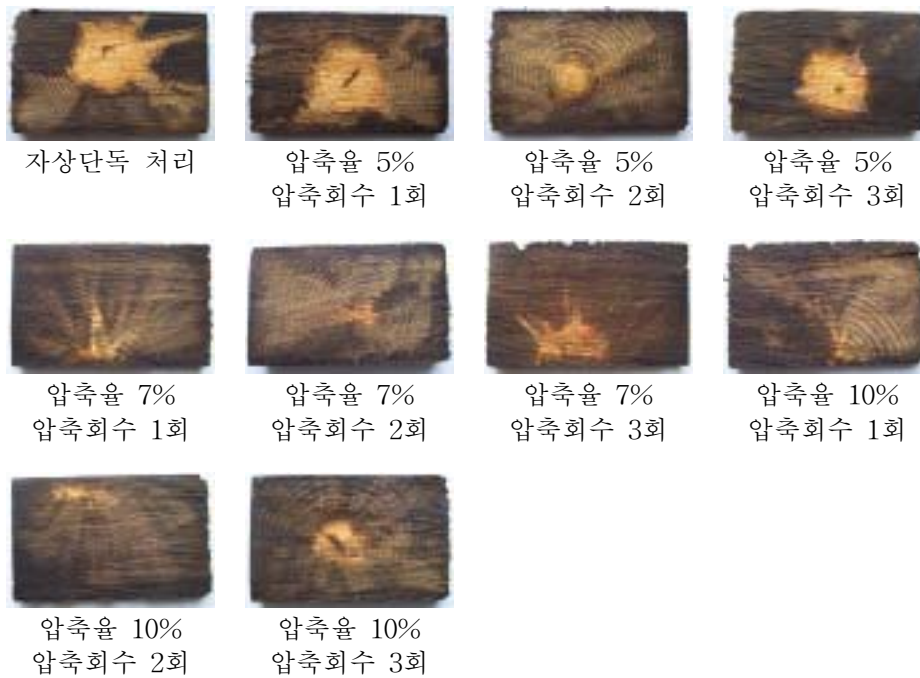
<그림 5-28> 자상-횡압축 병행처리 낙엽송 침목의 스파이크 인발저항력

2) 크레오소오트유의 침투 특성

가) 크레오소오트유의 침윤도

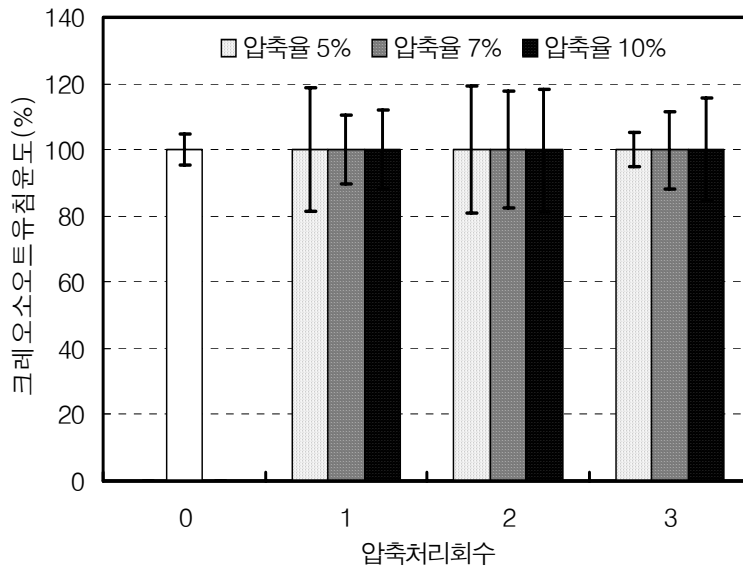
(1) 리기다소나무 침목

1차년도 연구결과 최적의 자상조건으로 밝혀진 자상깊이 15mm, 밀도 800 개/m³로 처리한 후 각 조건의 횡압축을 실시한 리기다소나무 침목에서의 크레오소오트유 침투상태를 <그림 5-29>에 나타냈다. 자상처리 후 횡압축을 실시한 침목 뿐 만 아니라 자상처리만을 실시한 침목에서도 심재부를 제외하고 변재부 전체에 걸쳐 크레오소오트유 침투현상을 관찰할 수 있다. 이는 전술한 횡압축 단독처리에서와 같은 경향으로 약액의 침투성이 양호한 수종에 속하는 리기다소나무의 재질특성에 의한 것으로 판단할 수 있다.



<그림 5-29> 자상-횡압축 병행처리 리기다소나무 침목의 크레오소오트유의 침투상태

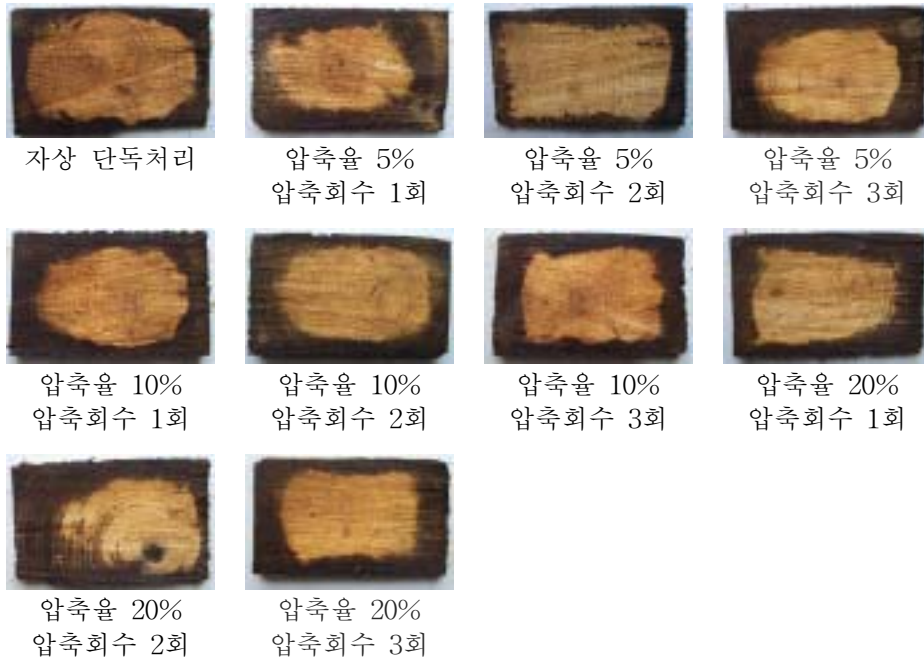
크레오소오트유 침투성 개선효과를 보다 명확하게 판단하기 위하여 침목 표층부로부터 변재부까지의 침윤도를 조사하였다. 그 결과를 <그림 5-30>에 나타낸바와 같이 자상 단독처리를 비롯한 자상·횡압축 병행처리 모든 침목 시험체에서 100% 침윤도를 나타냈다. 이상의 결과로부터 리기다소나무의 경우 철도 침목뿐만 아니라 방부처리가 요구되는 일반 토목용재로 사용할 경우 약액의 침투성 향상을 위해 실시되고 있는 관행의 자상처리뿐만 아니라 기타 다른 기계적 전가공을 적용하지 않아도 약액 침윤도 면에서는 방부처리 목재 생산에 큰 문제를 야기 시키지는 않을 것으로 판단된다.



<그림 5-30> 자상-횡압축 처리 리기다소나무 칩목의 크레오소트유의 침윤도

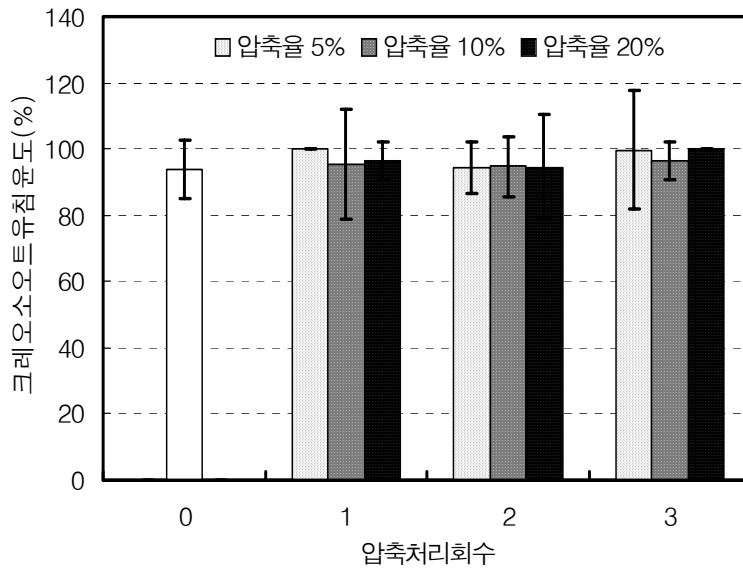
(2) 잣나무 칩목

잣나무 칩목에서의 크레오소트유 침투상태를 <그림 5-31>에 나타냈다. 먼저 자상처리 만을 실시한 칩목에서는 칩목 표층부로부터 내부로의 침투깊이가 다소 불충분함을 알 수 있다. 그러나 자상처리한 후 횡압축을 실시한 경우에는 일부 처리조건을 제외하고 대체적으로 크레오소트유가 깊게 침투되어 있음을 알 수 있다. 특히 고도의 처리조건에서 횡압축을 실시한 칩목에서의 침투상태가 양호한 것으로 나타났다.



<그림 5-31> 자상-횡압축 병행처리 잣나무 칩목의 크레오소오트유 침투상태

<그림 5-32>는 각 처리조건에서의 크레오소오트유의 침윤도를 나타낸 것이다. 무처리를 비롯한 모든 처리에서 침윤도가 80% 이상을 나타냈으나 자상처리 후에 횡압축을 실시한 칩목에서 침윤도가 향상됨으로서 횡압축 처리효과가 인정되었다. 따라서 관행의 자상처리만을 실시해도 철도칩목 사용기준에 맞는 침윤도를 얻을 수 있지만 횡압축을 처리함으로써 침윤도가 향상됨에 따라 보다 안전한 칩목 생산을 위해 이들 병행처리는 가치가 있을 것으로 판단된다.

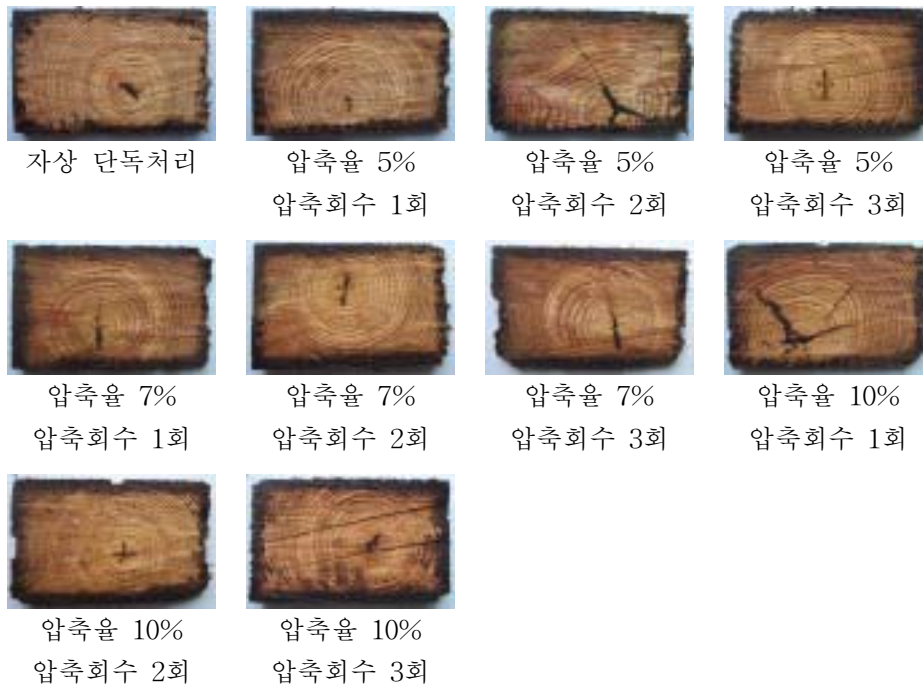


<그림 5-32> 자상-횡압축 처리 잣나무 칩목의 크레오소오트유의 침윤도

(3) 낙엽송 칩목

크레오소오트유의 횡단면상에서의 침투상태 및 칩목 표층부로부터 심재내부까지의 침윤도를 각각 <그림 5-33>과 <그림 5-34>에 나타냈다. 낙엽송의 경우에는 리기다소나무 및 잣나무에서와는 다른 양상을 보여 크레오소오트유의 침투가 칩목 표층부로부터 20mm 이내에 머무는 것으로 조사되었다. 이는 전술한 바와 같이 낙엽송의 재질 특성 상 약액의 침투가 매우 어려운 난주입성 재질을 가지고 있을 뿐만 아니라 칩목 전체가 심재로만 구성되어 있기 때문에 나타난 결과이다. 자상 단독처리와 자상·횡압축 병행처리 칩목 간 침투성을 비교하면 단독처리의 경우 <그림 5-33>에서도 알 수 있듯이 자상처리기의 칼날 위치에만 크레오소오트유가 침투되어 마치 톱날 모양의 침투양상을 보이고 있다. 그러나 병행처리 칩목에서는 비록 침투깊이의 향상은 미미하였지만 칩목의 전 표층부에 걸쳐 크레오소오트가 균일하게 침투되어 있다는 것을 알 수

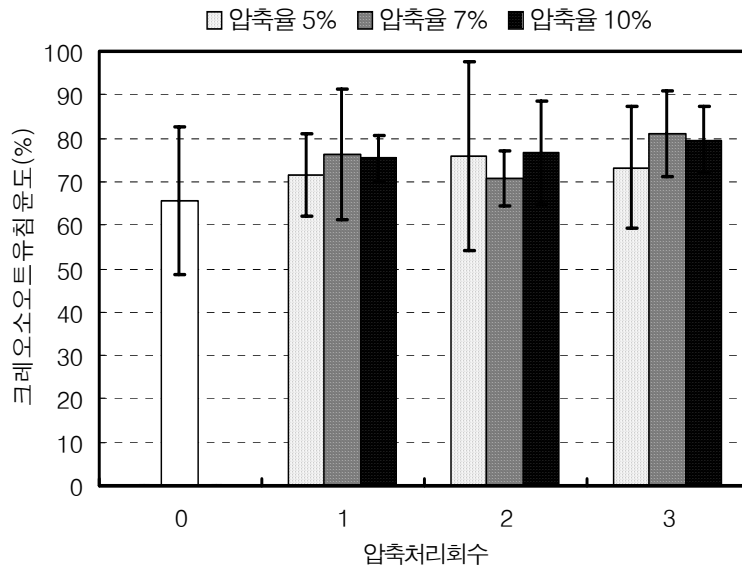
있다. 이것은 칼날에 의해 침목 표층부에 자상을 낸 후 이어서 압축을 하였기 때문에 자상을 중심으로 주위의 목재조직 전체에 걸쳐 약액의 침투가 용이하도록 조직에 변화가 발생하였기 때문으로 판단된다. 이를 확인하기 위하여 횡압축을 가한 부위의 조직에 대하여 주사전자현미경 관찰을 실시한 결과 세포벽 중에 미세한 할렬이 발생한 것이 관찰되었으며 이에 관해서는 강도적 성질에서 후술하였다.



<그림 5-33> 무처리 및 자상·횡압축 병행처리 낙엽송 침목의 크레오소오트유 침투상태

한편 양 처리간에 약액의 침윤도에도 차이가 나타나 자상처리만을 실시한 경우에는 침윤도가 65.7%에 불과하였으나 횡압축을 병행하여 처리한 결과 70%이상 80%에 가까운 침윤도를 보임으로서 침목 사용기준에 근접한 침윤도를 얻을 수 있었으며 횡압축량을 증가시킴으로써 80%이상의 침윤도를 얻

을 수 있을 것으로 기대되었다.



<그림 5-34> 자상-횡압축 처리 낙엽송 침목의 크레오소오트유의 침윤도

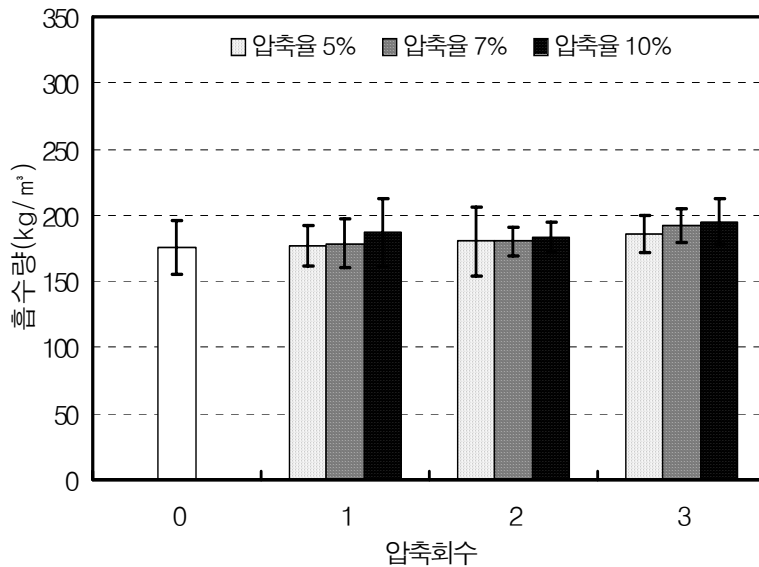
나) 크레오소오트유의 흡수량

(1) 리기다소나무 침목

자상처리 후 횡압축을 실시한 각 수종의 침목에서 크레오소오트유의 흡수량을 <그림 5-34>에 각각 나타냈다. 리기다소나무 침목에서는 자상처리와 횡압축 처리를 병행한 침목뿐만 아니라 자상처리만을 실시한 침목에서도 철도 침목 사용 환경 기준 H4의 크레오소오트유 흡수량 적합기준인 80kg/m³ 이상을 나타냈다. 따라서 흡수량만을 고려할 경우에는 자상처리만을 실시하거나 앞서 횡압축 단독처리에서 나타난 바와 같이 기계적 전가공을 실시하지 않고 무처리 상태에서 크레오소오트유를 주입하여도 KS F 3005 규격의 철도침목 사용 기준을 만족시킬 수 있는 재질조건을 가지고 있다. 그러나 방부성능이 우수한

보다 고품질의 침목을 생산하기 위해서는 전가공을 실시하는 것이 침목 사용상의 안전성 면에서 바람직할 것으로 판단된다.

병행처리 효과를 살펴보면 압축율 5%와 7%에서 1회 압축 처리조건을 제외하고 모두 자상단독처리 침목에 비하여 흡수량이 증가함으로써 횡압축 처리 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 자상처리 후 2회 이상 횡압축을 반복 처리하면 크레오소오트유의 흡수량이 170kg/m³ 이상에 도달하여 물 또는 바닷물과 접촉하는 환경으로 극도로 극심한 부후나 흰개미의 피해가 우려되는 조건에서 고도의 내구성이 요구되는 목재의 사용 환경 조건인 H5의 적합기준도 충족하고 있어 철도 침목 생산 이외에도 H5 사용 환경 조건에서 사용할 크레오소오트유 방부처리목재 생산에도 적용할 수 있는 전가공법이라고 할 수 있다.

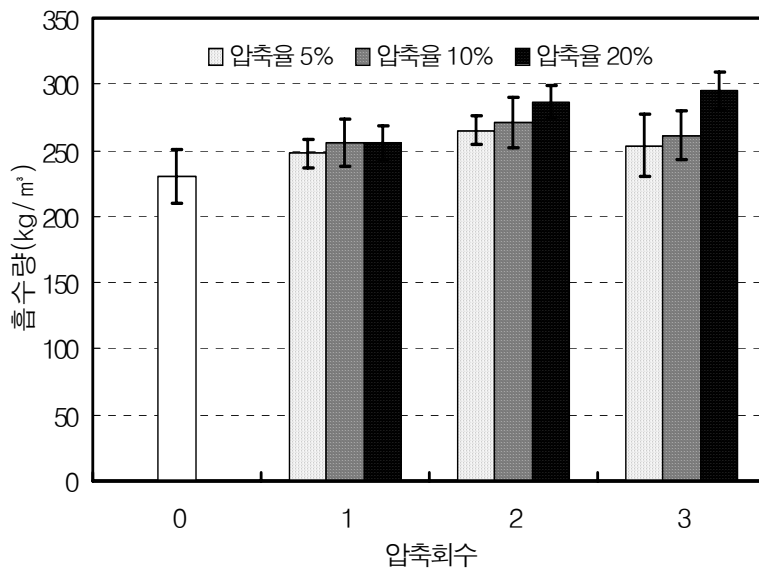


<그림 5-34> 자상-횡압축 처리 리기다소나무 침목의 크레오소오트유의 흡수량

(2) 잣나무 침묵

잣나무의 경우에는 자상단독 처리에서도 매우 높은 크레오소오트유 흡수량을 나타냈지만, 자상-횡압축 처리를 병행하여 실시함으로써 크레오소오트유의 침투성이 현저하게 증가하여 공시 3수중 중에서 병행처리 효과가 가장 크게 나타났다. 또한 횡압축 처리에서도 1회 처리에서는 그다지 처리조건에 따라 변화가 없었지만 횡압축 처리를 2회 이상 반복함에 따라 압축율의 증가와 함께 흡수량의 증가도 비교적 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였다.

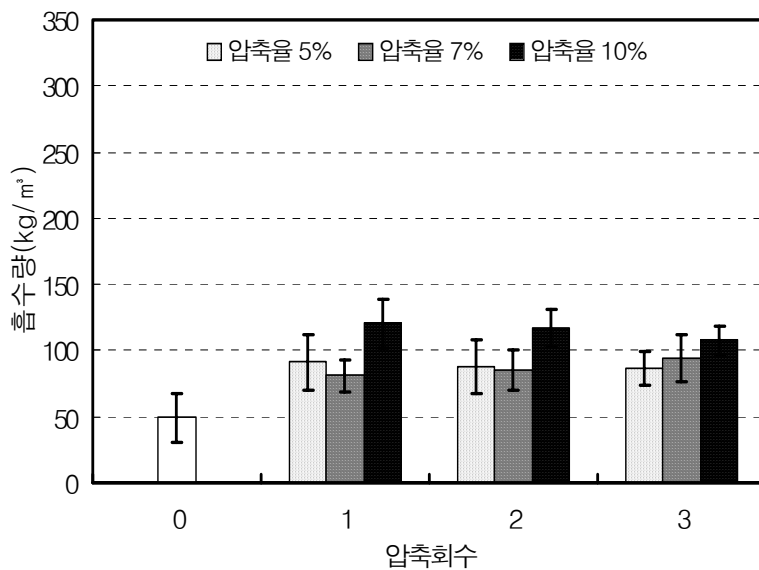
한편, 제4절에서 언급했던 자상단독처리의 경우와 크레오소오트유의 흡수량을 비교하면 본 실험에서 얻어진 흡수량이 동일한 자상단독 처리임에도 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 이상을 나타내 같은 수종일지라도 산지나 재질에 따라 현저한 차이가 발생함을 알 수 있었다.



<그림 5-34> 자상-횡압축 처리 잣나무 침묵의 크레오소오트유의 흡수량

(3) 낙엽송 침목

낙엽송 침목에서는 자상처리만을 실시한 침목의 경우 무처리 침목의 흡수량(약 38.5kg/m³)에 비하여 높은 크레오소오트유의 흡수량을 보여 자상처리 효과가 인정되었으나 철도침목 사용기준에는 못 미치는 것으로 나타났다. 그러나 자상처리 후에 횡압축을 실시할 경우에는 모든 횡압축 처리조건에서 크레오소오트유의 침투성 향상이 이루어져 KS F 3005 및 사용 환경 H4의 흡수량 적합기준을 만족시켰다. 특히 압축율 10%에서 그 향상이 뚜렷하게 나타났다. 또한 횡압축 단독처리에 비해서도 흡수량이 증가하여 병행처리 효과가 인정되었다. 따라서 낙엽송 철도침목 생산에 있어 자상 단독처리의 경우에는 자상 깊이를 보다 깊게, 밀도를 보다 증가시켜 실시해야 하나 횡압축 처리와 병행하여 실시 할 경우에는 관행의 자상처리 조건을 적용해도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.



<그림 5-34> 자상-횡압축 처리 낙엽송 침목의 크레오소오트유의 흡수량

본 실험의 횡압축에 사용한 라미네이터의 압체력에 제한을 받아 낙엽송의 경우에 압축율을 최대 원래 침목 두께의 10%까지 밖에 처리할 수 없었으나 10% 이상의 압축율을 적용하면 보다 우수한 크레오소오트유 침윤도 및 흡수량을 얻을 수 있을 것으로 기대되어 앞으로 검토할 필요성이 있다.

다. 횡압축 처리에 따른 침목의 조직 변화

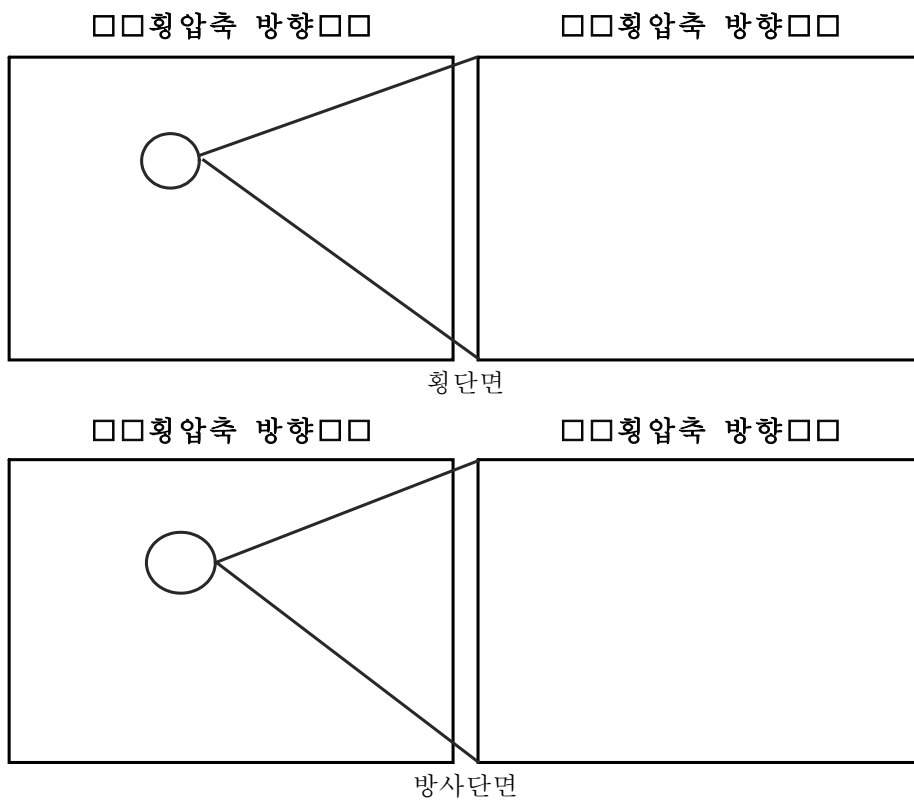
국산 침엽수재 침목의 횡압축 처리에 따른 조직변화를 살펴보기 위하여 횡압축이 직접 가해진 부위에서 시료를 채취한 후 동결마이크로톰을 이용하여 절삭한 후 임계점 건조 및 금 코팅을 실시하여 주사전자현미경으로 관찰하였다. 관찰 시료는 3수종 모두 횡압축을 가장 많이 실시한 침목으로부터 채취하였다. 동일한 조건에서 횡압축 처리를 실시하였음에도 불구하고 수종 마다 각각 다른 양상을 보였다. 공시 수종 중에서 리기다소나무의 경우 횡압축에 따른 조직변화가 가장 심하게 나타나 <그림 5-35>에서 볼 수 있듯이 횡단면 상에서 가도관의 찌그러짐이 발생한 것을 관찰 할 수 있다. 그러나 가도관 상호 간에 분리는 발생하지 않고 형태 만 변화한 것을 알 수 있다. 한편 방사단면 상에서 관찰한 결과 가도관 내강 쪽에 spiral crack이 대량 발생해 있어 이 부분을 통하여 목재 세포벽 중으로 크레오소오트유의 침투가 용이하게 이루어져 횡압축 처리에 따른 크레오소오트유 주입성 개선 효과가 나타난 것으로 판단된다.

한편 잣나무의 경우에는 횡단면 상에서 가도관의 찌그러짐이 심하게는 발생하였으나 가도관 내강에서의 spiral crack의 발생은 관찰할 수 없었다. 그러나 일부 가도관벽 상에 crack의 발생이 관찰되었다<그림 5-36>.

비교적 비중이 높고 재질이 단단한 낙엽송의 횡압축 처리에 따른 조직변화 관찰 결과를 <그림 5-37>에 나타냈다. 횡단면 상에서는 다른 2수종의 경우와 마찬가지로 가도관의 찌그러짐이 심하게 발생한 것을 알 수 있었다. 그러나 가도관 간의 분리, 즉 직의 파괴는 발생하지 않은 것으로 밝혀졌다. 방사단면 상에서 가도관 내강 쪽을 관찰한 결과 가도관이 눌린 듯 한 형태를 관찰 할 수

있었으며 일부에서는 대형의 crack이 발생되어 있었다.

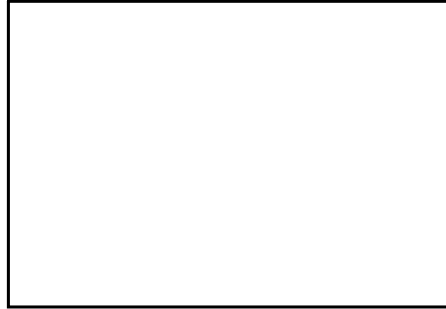
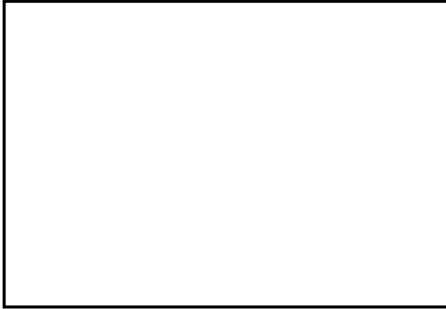
이들 조직 관찰 결과를 크레오소오트유의 주입성 및 강도적 성질과 비교하여 검토할 때 3수종 모두에서 발생한 spiral crack 이나 crack은 크레오소오트유 주입성 향상에 기여한 것으로 추정된다. 강도적 성질 중에서 특히 밀접한 관계에 있는 섬유직각방향 부분압축 비례한도응력의 경우 횡압축 처리 침목에서 감소경향이 뚜렷하게 나타나지 않음으로 해서 가도관 내강에 발생한 이들 조직변화들은 강도적 성질에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.



<그림 5-35> 횡압축 처리 리기다소나무의 조직변화
(압축율 10%, 압축회수 3회)

□□ 횡압축 방향 □□

□□ 횡압축 방향 □□



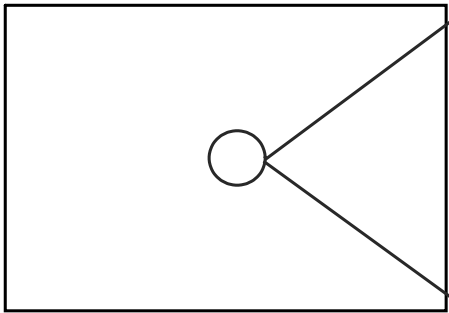
횡단면

방사단면

<그림 5-36> 횡압축 처리 잣나무의 조직변화
(압축율 10%, 압축회수 3회)

□□ 횡압축 방향 □□

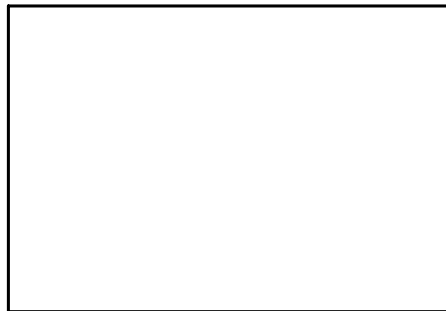
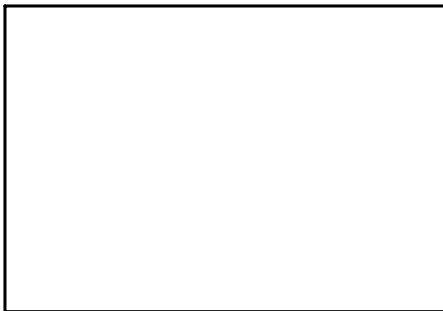
□□ 횡압축 방향 □□



횡단면

□□ 횡압축 방향 □□

□□ 횡압축 방향 □□



방사단면

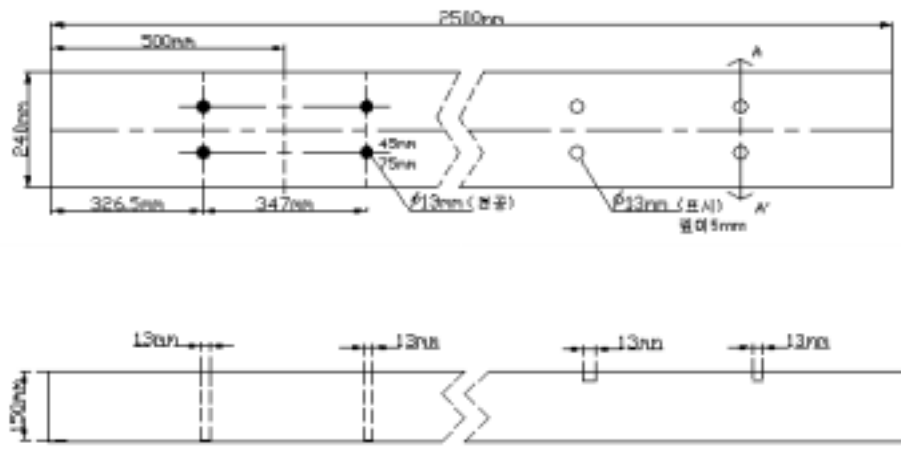
<그림 5-37> 횡압축 처리 낙엽송의 조직변화
(압축율 10%, 압축회수 3회)

제 6 절 침목의 현장 예비천공 부위의 심부자상처리

철도 침목에서 예비 천공을 하는 이유는 스파이크를 박을 때 침목의 쪼개짐을 방지하기 위한 것으로 예비 천공의 직경은 스파이크의 직경보다 약간 작다. 예비 천공부위는 레일이 놓이는 부위이기 때문에 침목의 양쪽에 위치하게 되며 2개 1쌍으로 하여 한쪽에 2쌍씩 4개가 위치한다. 현재 철도 침목 생산에 있어 적용되고 있는 크레오소오트유 처리 전의 천공 작업을 <그림 6-1>에 모식도를 나타낸 것과 같이 한쪽의 천공은 완전 관통시키고 다른 한쪽의 천공은 위치 표시만하여 크레오소오트유를 가압 주입처리하고 있다. 이와 같이 한쪽 천공의 경우 위치 표시만 하는 이유는 현장에서 레일 설치 시, 특히 선로의 곡선구간에서 레일과 레일간의 궤간거리를 조정해야 하기 때문이다. 만일 우측 천공까지도 표준 위치에 관통시켜 두면 궤간조정에 의해 천공위치가 표준위치가 아니고 안쪽 아니면 바깥쪽으로 밀리게 되면 새로이 천공을 뚫게 되고 이렇게 되면 표준위치의 천공과 조정된 위치의 현장에서 뚫은 천공이 겹쳐 천공 직경이 커지거나 변형되기 때문에 스파이크 박기를 하였을 경우 스파이크 체결력이 현저히 떨어져 레일 및 플레이트 고정능력을 상실하게 된다. 따라서 한쪽 천공은 위치 표시만 해 두고 현장에서 레일 간 궤간거리가 결정되면 이어서 천공 위치를 조정하여 현장에서 관통시킨 후 스파이크를 박아 레일과 플레이트를 고정시킨다.

이와 같은 문제로 인하여 크레오소오트유를 주입 처리한 후에 현장에서 예비 천공을 하게 되면 침목 내부의 크레오소오트유가 침투되지 않은 부위가 노출되게 된다. 이에 따라 침목 설치 후 시간이 경과하면 크레오소오트유 미침투로 수분 침투와 목재가해 미생물의 침입으로 내부 부후가 발생하여 침목의 수명이 짧아지게 된다. 철도 침목의 평균 사용수명은 약 20~25년으로 보고 있으나 우리나라의 경우에는 평균 15년이 지나면 교체해야 하는 것으로 알려져 있다. 이는 침목 전체에 부후가 발생하여 침목으로서의 기능을 상실했기 때문이 아니라 전술한 현장 예비 천공부위의 크레오소오트유 미침투부위에서 부후가 발생하여 스파이크 체결력이 현저하게 떨어져 사고위험 발생 요인이 되기 때

문이다.



<그림 6-1> 보통 침목의 윗면(위)과 측면(아래) 모식도

따라서 본 연구에서는 침목의 현장 예비 천공부위에 크레오소오트유의 침투를 촉진시켜 현장에서 예비 천공을 실시해도 크레오소오트유 미침투 부위의 노출을 방지할 수 있는 자상처리 방법을 검토하였다.

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

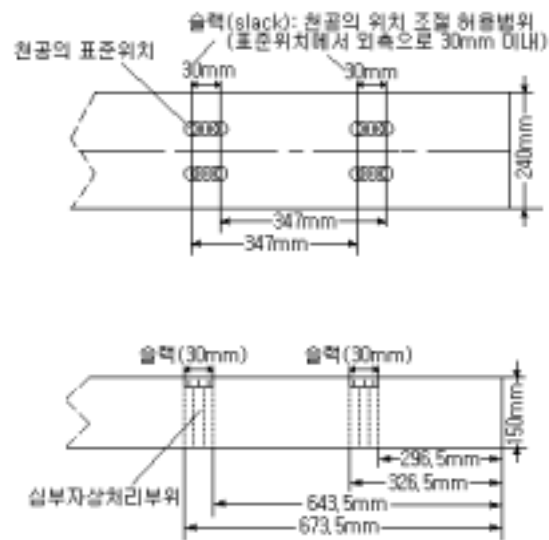
보통침목 실대재 크기의 리기다소나무와 잣나무 및 낙엽송의 시험체를 제조하여 사용하였다.

나. 실험방법

1) 자상 처리

가) 深部자상처리

현장에서 예비 천공 시 천공 위치의 조정 허용 범위(슬랙)는 천공의 표준위치에서 외측으로 30mm 이내이기 때문에 심부 자상처리는 침목 측면의 30(슬랙)×150mm(침목의 두께)의 부위에서 침목 내부를 향하여 실시하였다. 자상깊이는 침목 측면으로부터 예비 천공 중심까지의 최대 거리인 75mm로 하였다. 자상처리는 직경 3mm의 드릴 날을 사용하여 천공하였으며 자상밀도는 수종별로 달리하여 난주입성 수종인 낙엽송 재는 6,000개/m²와 12,000개/m², 주입성이 양호한 리기다소나무와 잣나무는 4,500개/m²와 9,000개/m²로 하였다.



<그림 6-2> 심부자상처리 위치 모식도(위: 침목의 윗면, 아래: 침목의 측면)

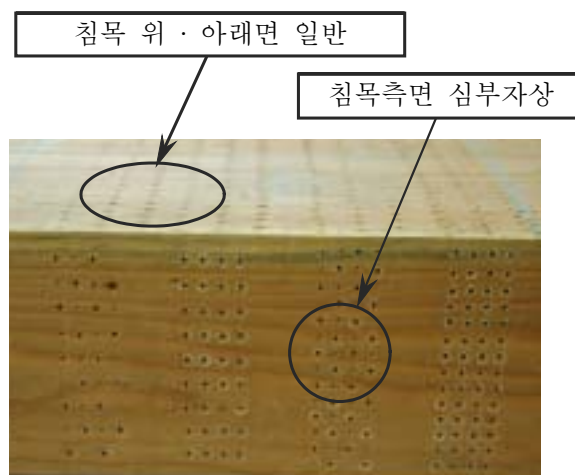
<그림 6-1>, <그림 6-2> 및 <그림 6-3>에 현재 처리되고 있는 철도침목 크레오소오트유 처리 전의 천공 가공 방법 모식도 및 본 연구에서 심부자상 처리할 위치 모식도를 나타냈다.

나) 일반 자상처리

심부자상처리 부위 이외의 재면에는 리기다소나무와 잣나무는 최적의 자상처리 조건으로 밝혀진 자상깊이 15mm에 자상밀도 800개/m²로 하였으며 낙엽송은 자상깊이 20mm에 자상밀도 1200개/m²로 하였다.

2) 크레오소오트유 처리

심부 및 일반 자상처리한 침엽수 침목을 본 과제의 참여기업인 경국산업의 대형 주약시설을 이용하여 다음 조건에서 현장 처리하였으며 횡단면으로의 크레오소오트유 침투를 방지하기 위하여 모든 침목의 횡단면은 실리콘 수지로 실링하였다. 주입처리는 크레오소오트유 액온 90℃, 감압자비시간 1시간, 가압 2.5시간, 가압력 16kgf/cm²의 조건에서 실시하였다.



<그림 6-3> 일반자상 처리와 심부자상 처리

3) 물리 및 강도적 성질 조사

심부 및 일반 자상처리를 실시한 3수종의 침엽수 침목에 대하여 KS규격의 시험방법에 따라 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 스파이크의 인발저항력을 조사하였다. 섬유 직각방향 부분압축 비례한도 응력은 KS F 2206 「목재의 압축시험방법」에 준하여 침목 실패재를 가지고 조사하였다. 스파이크 인발 저항력은 침목 실패재 크기의 시험체를 사용하여 현장에서 침목에 레일을 고정하는 방법과 동일한 방법으로 예비 천공(직경 13mm) 후 나사스�파이크(길이 13.5 cm)를 박아 KS F 2214 「목재의 못 뽑기 저항시험 방법」에 따라 조사하였다.

4) 크레오소오트유 침투성 조사

크레오소오트유를 주입처리한 후 10일간 야외에 방치하여 과잉의 크레오소오트유를 제거 하고 저비점 성분을 휘산시킨 다음 시험에 공시하였다.



<그림 6-4> 예비천공(좌) 및 스파이크 인발저항력 측정 시험을 위한 스파이크 박기(우)

가) 크레오소오트유 침윤도 조사

크레오소오트유를 처리한 침목 실대재료부터 심부자상처리와 일반 자상처리 지점에서 두께 약 10mm의 시험체(사각의 횡단면 판재)를 채취하여 KS F 3005 「가압식 크레오소오트유 방부처리 침목」 규격에 준하여 크레오소오트유의 침윤도를 조사하였다. 단, 심·변재량의 차이에 따라 침윤도 산출을 달리하여 변재량이 많은 리기다소나무에 대해서는 식 (1), 심재량이 많거나 심재로만 되어 있는 잣나무와 낙엽송 침목에 대해서는 식 (2)에 의하여 각각 산출하였다.

<리기다소나무>

$$\text{침윤도}(\%) = \frac{\text{표면으로부터 크레오소오트유 침투 깊이(mm)}}{\text{표면으로부터 변재 깊이(mm)}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

<잣나무, 낙엽송 침목>

$$\text{침윤도}(\%) = \frac{\text{표면으로부터 크레오소오트유 침투 깊이(mm)}}{\text{표면으로부터 심재 깊이(20mm)}} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

나) 크레오소오트유 흡수량 조사

침윤도 조사를 마친 시험체의 4변의 가장자리 중앙부위에서 직육면체의 시편을 채취하여 KS F 2155 「방부처리 목재의 약제 흡수량 측정방법」에 준하여 조사하였다.

2. 연구 결과

가. 심부자상처리 침목의 강도적 성질

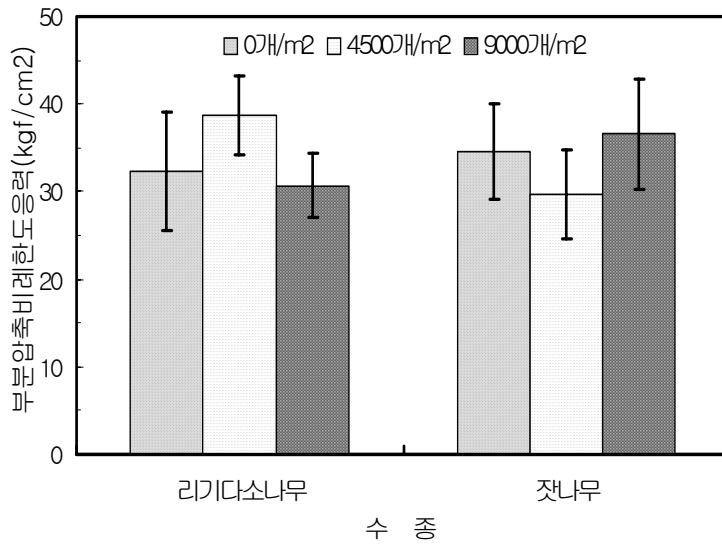
1) 섬유방향직각 부분압축 비례한도 응력

가) 리기다소나무 및 잣나무 침목

측면에 깊이 최대 75mm가 되도록 깊게 심부 자상처리한 리기다소나무 및 잣나무 침목의 섬유방향직각 부분압축 비례한도 응력을 측정된 결과를 <그림 6-5>에 나타냈다.

직경 3mm의 천공으로 깊게 자상처리를 하였기 때문에 부분압축 비례한도 응력의 저하가 예상되었으나 일반 자상처리(깊이 15mm, 밀도 800개/m²)한 침목의 응력 값과 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 심부자상 처리 부위의 폭이 최대 30mm(최대 궤간거리 조정허용 범위, 슬랙) 에 불과해 압축하중이 가해지는 부위에 일반 자상처리 부위가 포함되기 때문에 심부자상처리가 섬유방향직각 부분압축 비례한도 응력에 미치는 영향은 전혀 없는 것으로 밝혀졌다. 또한 심부자상 밀도 차이 간에도 뚜렷한 응력치의 저하가 발생은 보이지 않았다.

이러한 경향은 리기다소나무, 잣나무 모두에서 나타났으며 철도 침목의 현장 천공부위에 크레오소오트유 침투를 촉진시키기 위한 새로운 방법으로 검토할 가치가 있는 것으로 판단되었다.



<그림 6-5> 심부자상 처리 침목의 섬유직각방향 부분압축 비레한도 응력

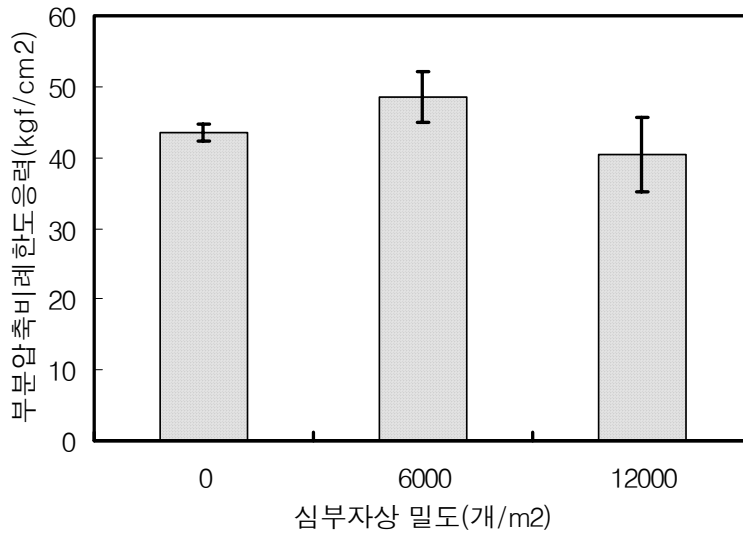
나) 낙엽송 침목

낙엽송 침목의 측면 심부자상 처리에 따른 섬유직각방향 부분압축 비레한도 응력의 변화를 조사한 결과를 <그림 6-6>에 나타냈다.

심부자상 밀도가 6000개/m²인 침목에서는 오히려 일반 자상처리한 침목에 비하여 높은 응력치를 나타냈으나 밀도를 2배로 증가시킨 12000개/m²의 자상 밀도에서는 약간 저하되는 경향을 나타냈다. 그러나 그 저하 값은 극히 미미하여 유의성이 인정되지 않을 정도였다. 따라서 이러한 현상은 심부자상 밀도를 증가시킴으로 해서 침목의 기계적 성질의 저하로 인하여 발생한 것이라고 판단되기 보다는 부분압축이 가해지는 부위의 재질의 차이에 의한 것이라고 판단되어 진다.

한편 낙엽송은 전술한 리기다소나무나 잣나무에 비하여 비중이 높고 재질이 단단하기 때문에 상대적으로 비레한도 응력값이 높게 나타났다. 한편 심부자상 밀도를 리기다소나무나 잣나무에 비하여 높게 설계하여 처리하였음에도 부분

압축 비례한도 응력에 심부자상처리의 영향이 크게 나타나지 않은 것은 높은 물리 및 기계적 성질 때문인 것으로 판단된다.



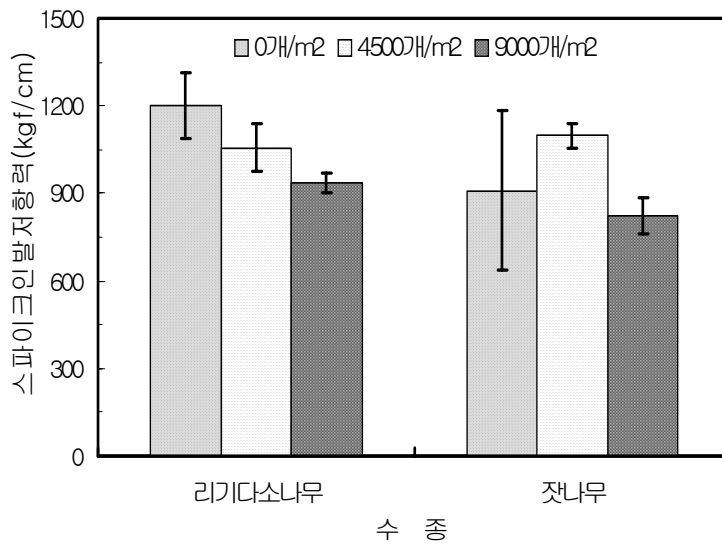
<그림 6-6> 심부자상 처리 낙엽송 침목의 섬유직각방향
부분압축 비례한도 응력

2) 스파이크 인발저항력

가) 리기다소나무 및 잣나무 침목

심부자상처리 부위에 예비천공(직경 13mm) 후 직경 15mm의 스파이크를 박은 후 만능강도시험기를 사용하여 인장하중을 가하며 각 수종 별 스파이크 인발 저항력을 측정하였다. <그림 6-7>에 나타낸 바와 같이 리기다소나무의 경우에는 심부자상처리에 의하여 스파이크 인발저항력이 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 자상밀도가 증가함에 따라 인발저항력 감소도 증가함을 나타냈다. 반면에 잣나무의 경우에는 일반 자상처리 한 것에 비하여 심부 자상처리 침목

이 자상밀도 4500개/m²에서는 인발저항력이 오히려 증가하는 경향을 보이다가 자상밀도가 9000개/m²로 증가하자 떨어지는 경향을 보였다. 이와 같은 현상이 심부자상처리에 의한 영향인지 아니면 침목 내의 연륜 폭이나 연륜 수와 같은 재질의 상이에 따른 결과인지를 좀 더 검토해야 할 것으로 판단된다.



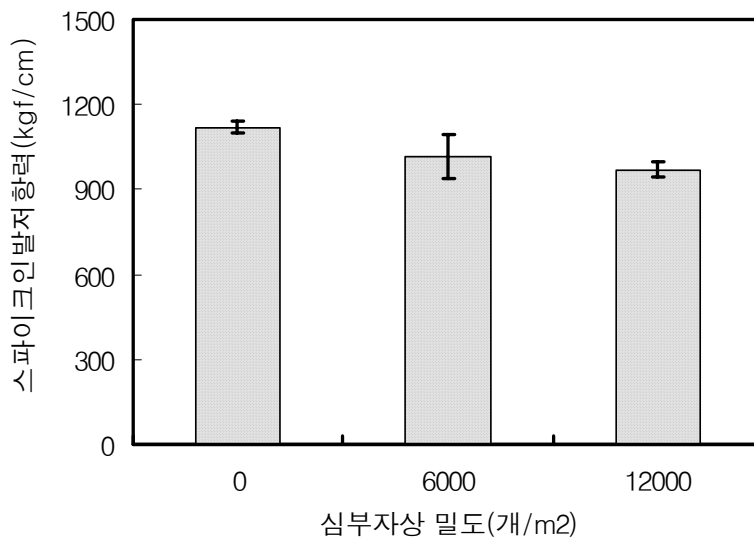
<그림 6-7> 심부자상 처리 침목의 스파이크 인발저항력

나) 낙엽송 침목

낙엽송 침목의 심부자상밀도와 스파이크 인발저항력과의 관계를 <그림 6-8>에 나타냈다. 그림에서와 같이 자상밀도가 증가함에 따라 스파이크 인발저항력도 서서히 저하되는 것으로 나타났다. 그러나 그 저하 폭이 극히 미미하다고 하지만 일반 자상처리 침목이 나타내는 스파이크 인발저항력의 유지를 위해서는 심부자상 밀도를 조정할 필요가 있을 것으로 판단된다. 즉 최대 자상 밀도수를 12000개/m²까지 올리지 않고 그 이하에서 크레오소오트유의 침윤도 또는 흡수량과의 관계를 면밀히 검토하여 스파이크 인발저항력의 저하 없이

크레오소오트유의 침투만을 촉진시킬 수 있는 최적의 자상 밀도수를 구명해야 할 것으로 판단된다.

이와 같이 리기다소나무나 잣나무에 비해서 인발저항력 감소 값이 작은 것은 비중이 이들 수종에 비하여 높고 재질이 강한 특성에 기인한 것으로 판단된다.



<그림 6-8> 심부자상 처리 낙엽송 침목의 스파이크 인발저항력

나. 심부자상처리 침목의 크레오소오트유 침투 특성

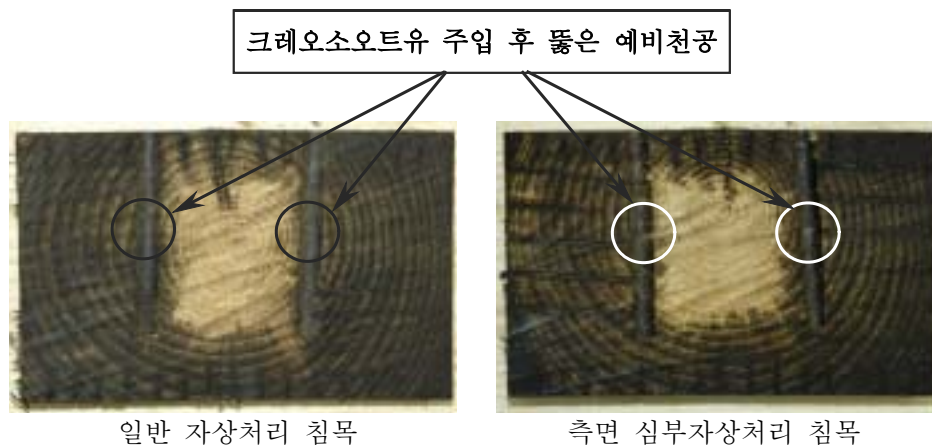
1) 크레오소오트유 침윤도

가) 리기다소나무와 잣나무 침목

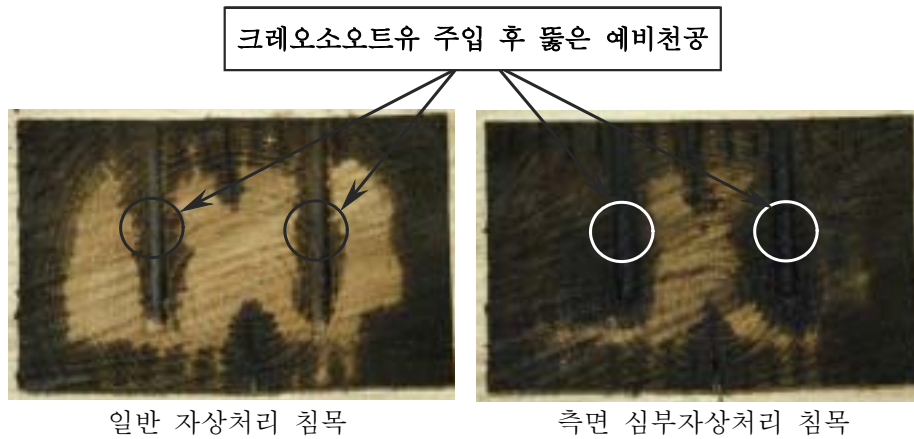
리기다소나무 침목에 일반자상 처리와 심부자상 처리를 실시하여 크레오소

오트유를 주입한 다음 침목을 절단하여 침목 내부로의 크레오소오트유의 침투 특성을 조사하였다. <그림 6-9>에서 볼 수 있듯이 일반 자상처리 침목이나 심부자상 처리를 한 침목이나 모두 동일한 크레오소오트유의 침투 양상을 보였다. 크레오소오트유를 주입한 다음 천공을 해도 크레오소오트유의 미침투 부위의 노출 위험성이 없는 것으로 나타났다. 이것은 리기다소나무의 경우 약액 침투성이 매우 양호한 수종일 뿐만 아니라 침목 실대재의 크기에서도 심재량이 적고 외주부가 거의 변재부로만 구성되어 있어 침목 내부 깊이까지 크레오소오트유의 침투가 이루어졌기 때문이다.

따라서 리기다소나무의 경우에는 약액 침투성이 매우 양호한 재질 특성 때문에 크레오소오트유를 처리할 경우 침투촉진을 위한 심부 자상처리를 실시하지 않고 크레오소오트유를 주입한 다음 선로 시공 현장에서 예비천공을 해도 미침투부위의 노출에 의한 부후발생 위험성은 매우 낮은 것으로 판단된다.



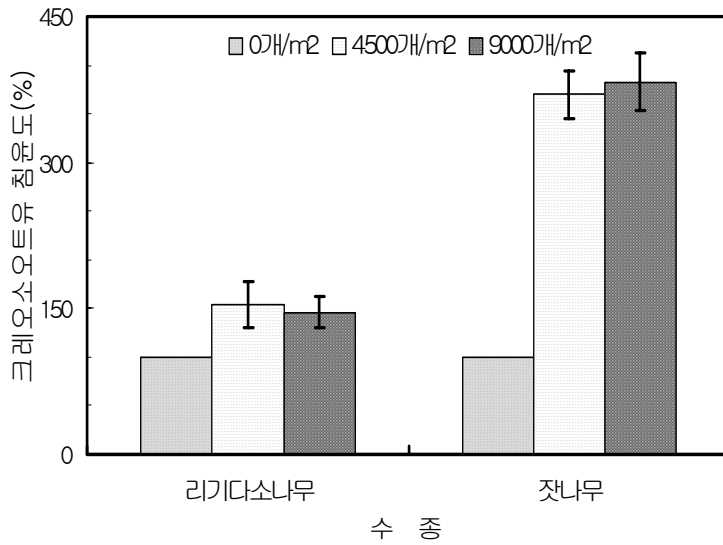
<그림 6-9> 자상처리 종류 별 리기다소나무 침목의 크레오소오트유 침투 상태



<그림 6-10> 자상처리 종류 별 잣나무 침목의 크레오소오트유 침투상태

잣나무 침목의 크레오소오트유 침투 상태를 <그림 6-10>에 나타냈다. 잣나무 침목의 경우에는 리기다소나무 침목과는 달리 약액 침투성이 양호하지 못하여 침목 내부 깊이까지 크레오소오트유의 침투는 이루어지지 않았다. 그러나 크레오소오트유 주입 후에 예비 천공을 실시해 본 결과 그림 <6-10>의 좌측에서 볼 수 있듯이 천공 주위에 크레오소오트유의 침투가 이루어진 것을 볼 수 있다. 이것은 일반 자상 처리에 의하여 침목 표층부로부터 일정 깊이까지 침투해 있던 다량의 크레오소오트유가 천공 작업 시에 드릴 날에 묻어 천공 주변으로 스며들어 간 것으로 조사되었다.

한편 침목의 측면에 심부자상 처리를 실시 한 경우에는 <그림 6-10>의 우측 그림에서 볼 수 있듯이 천공 위치까지 크레오소오트유가 침투되어 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 잣나무의 경우에는 철도 침목으로 사용할 때 현장 예비 천공 시 크레오소오트유 미침투부 노출을 방지하기 위하여 심부 자상 처리를 실시하는 것이 침목의 내구성 향상에 도움이 될 것으로 판단되었다.



<그림 6-11> 심부자상 처리 리기다소나무와 잣나무 침목의 크레오소오트유 침윤도

리기다소나무와 잣나무 침목의 심부자상 처리에 따른 측면부의 크레오소오트유의 침윤도를 조사하여 <그림 6-11>에 나타냈다. 리기다소나무 침목의 경우, 침목 측면부에 심부자상 처리를 하지 않았을 경우에는 침윤도가 100%를 나타내 침목 표면으로부터 변재부가 차지하고 있는 깊이까지 모두 크레오소오트유가 침투되는 것으로 나타났다. 이것으로 리기다소나무는 침투성이 매우 양호하다는 것이 입증되었다. 한편 측면에 심부자상처리를 하였을 경우에는 침윤도 150%까지 상승하여 변재부 깊이까지 뿐만 아니라 변재부를 통과하여 심재부 위치까지 침투되는 것으로 밝혀졌다. 그러나 <그림 6-9>에서 알 수 있듯이 측면부에 일반 자상처리만 하여도 스파이크 천공부위까지 침투되는 것으로 나타났기 때문에 리기다소나무의 경우에는 심부자상처리를 하지 않아도 크레오소오트유의 처리도가 매우 높은 침목을 생산할 수 있다는 결론에 이르렀다.

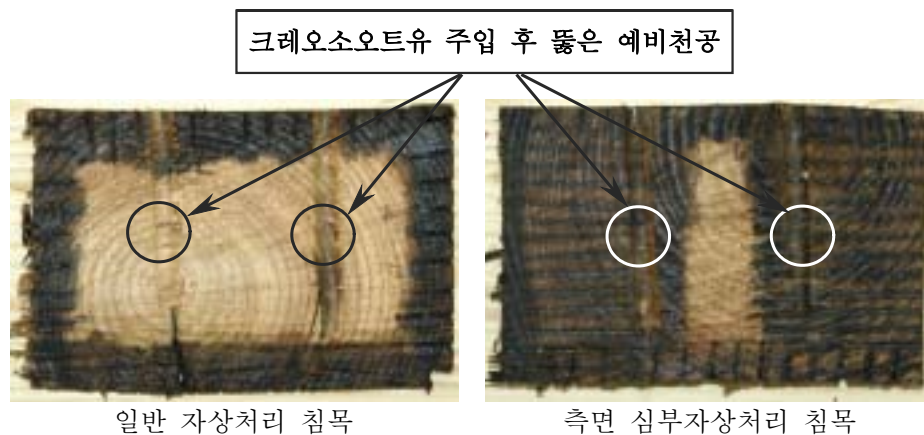
잣나무 침목의 경우에는 측면에 심부자상 처리를 하지 않았을 경우 침윤도가 100%를 나타내 일반자상 처리에 의해 심재부가 있는 부분에서 표면으로부

터 20mm 깊이까지는 크레오소오트유의 침투가 이루어지나 그 이상은 침투되지 않는 것으로 나타났다. 그러나 측면에 심부자상 처리를 함으로서 350%이상의 침윤도를 나타내 표면으로부터 750mm이상 크레오소오트유가 침투되는 것을 알 수 있었다. 따라서 잣나무의 경우에는 크레오소오트유의 처리도가 높은 고내구성의 침목을 생산하기 위해서는 심부자상처리가 필요하다고 할 수 있다.

리기다소나무와 잣나무 간에 침윤도의 차이가 크게 나타난 것은 실험방법에서 설명한 것처럼 침윤도 산출방식이 다르기 때문이다.

나) 낙엽송 침목

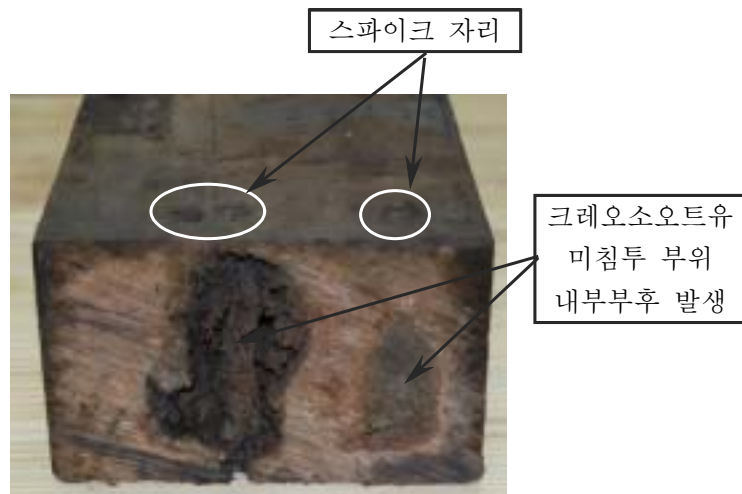
침목 측면에 심부자상처리 실시 여부에 따라 낙엽송 침목 내부로 크레오소오트유의 침투에 차이가 있음을 <그림 6-12>에 나타냈다.



<그림 6-12> 자상처리 종류 별 낙엽송 침목의 크레오소오트유 침투상태

낙엽송은 국산재 중에서 대표적인 약제의 난주입성 수종으로 알려져 있다. 측면에 심부자상 처리를 하지 않았을 경우에는 <그림 6-12>의 좌측 그림에서도 볼 수 있듯이 일반 자상처리 깊이까지만 크레오소오트유의 침투가 진행될

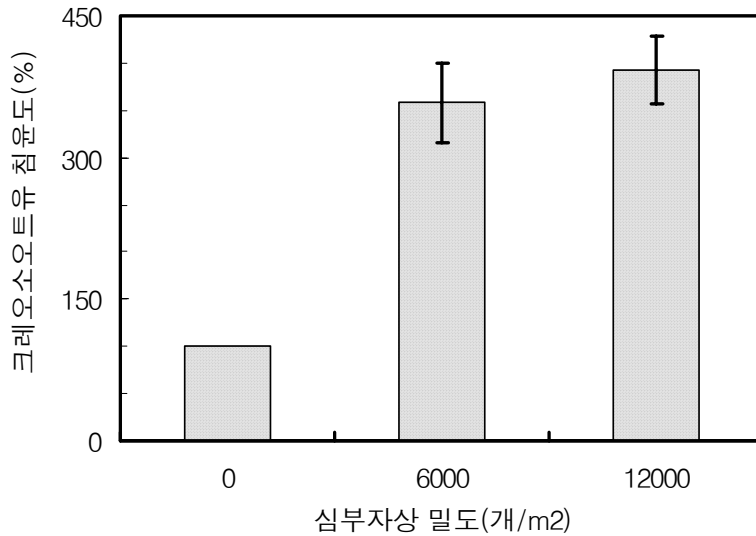
뿐 스파이크를 박을 천공부위까지는 침투하지 않는다. 이러한 크레오소오트유 침투 상태의 침목을 생산할 경우, 현장에서 예비 천공하여 스파이크를 박게 되면 침목 내부의 크레오소오트유 미침투 부위가 노출이 되어 침목 설치기간 동안 수분 침투와 목재부후균의 공격을 받아 스파이크 체결력이 떨어져 침목의 사용수명이 단축된다. 이와 같은 문제가 발생한 남양 활엽수재 침목의 예를 <그림 6-13>에 나타냈다. 약제 침투성이 매우 나쁜 남양 활엽수재를 사용하여 침목을 생산할 경우 침목 표층부 일부에만 크레오소오트유의 침투가 이루어지고 내부 깊이까지는 침투되지 않게 된다. 이러한 상태의 침목에 현장에서 예비 천공을 한 후 스파이크를 박게 되면 내부의 크레오소오트유에 의해 방부처리가 되지 않은 부위에서 부후가 발생하여 침목을 조기에 폐기화해야 된다. <그림 6-13>에서도 알 수 있듯이 스파이크 부위 이외에는 매우 건전한 상태를 유지하고 있다.



<그림 6-13> 남양 활엽수 침목의 스파이크 위치에 발생한 내부 부후

따라서 국내산 낙엽송재와 같이 크레오소오트유의 침투성이 불량한 목재로 침목을 생산할 경우에는 침목의 내구성을 향상시키기 위하여 스파이크 위치까지 크레오소오트유를 침투시킬 수 있는 전가공 방법을 적용해야 하며 본 연구

에서 시도한 침목 측면부에서의 심부자상 처리가 좋은 예라 할 것이다.



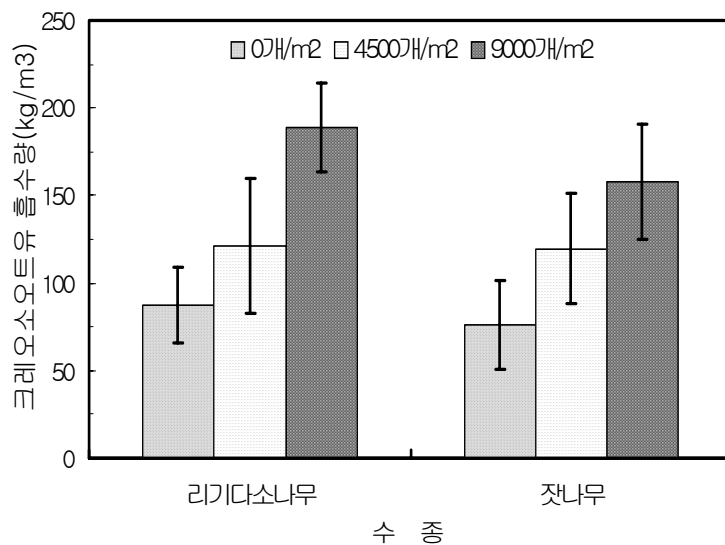
<그림 6-14> 심부자상 처리 낙엽송 침목의 크레오소오트유 침윤도

낙엽송 침목의 크레오소오트유의 침윤도를 조사하여 <그림 6-14>에 나타냈다. 일반 자상처리 침목의 경우에는 자상 깊이 20mm까지에만 크레오소오트유가 침투되어 100%의 침윤도를 보였다. 반면에 측면에 깊이 약 75mm까지 심부자상 처리한 부위에서는 자상 깊이까지 침투되어 300% 이상의 침윤도를 보였다. 따라서 측면 심부자상 처리 침목에서는 현장에서 스파이크용 예비 천공을 실시하더라도 크레오소오트유가 충분한 깊이까지 침투되어 있기 때문에 미침투부 노출로 인한 내부 부후를 방지할 수 있어 침목의 사용수명을 연장시킬 수 있다.

2) 크레오소오트유 흡수량

가) 리기다소나무와 잣나무 침목

심부자상 처리한 침목에서 시료를 채취하여 크레오소오트유의 흡수량을 조사하였다. 약제 침투성이 좋은 리기다소나무와 잣나무에서는 일반 자상처리한 부위의 흡수량도 $80\text{kg}/\text{m}^3$ 이상을 나타내 철도 침목의 크레오소오트유 흡수량 적합 기준을 만족시켰다. 심부자상 처리한 부위에서는 일반 자상처리 부위에 비하여 당연히 크레오소오트유의 침투가 촉진되어 심부자상 밀도의 증가와 함께 흡수량도 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. 리기다소나무의 경우 자상 밀도를 $9000\text{개}/\text{m}^2$ 로 증가시켜 처리한 결과, 크레오소오트유 흡수량이 $170\text{kg}/\text{m}^3$ 이상을 나타내 방부처리 목재 사용 환경 기준 중에서 가장 극심한 환경인 H5 환경에서도 사용이 가능한 방부처리 목재 생산이 가능하였다.

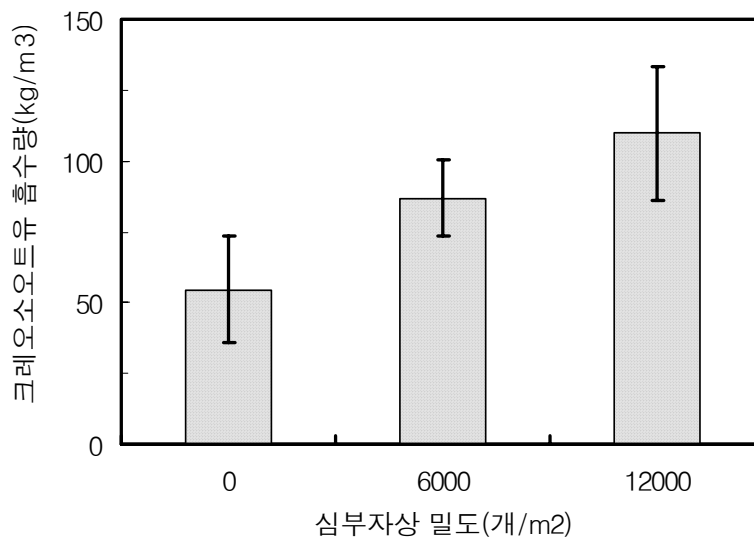


<그림 6-15> 심부자상 처리 리기다소나무와 잣나무 침목의 크레오소오트유 흡수량

나) 낙엽송 침목

낙엽송 침목의 일반자상 처리와 심부자상 처리에 있어 크레오소오트유의 흡수량을 <그림 6-16>에 나타냈다. 약제 침투성이 불량한 재질로 인해 일반 자상처리 침목에서는 약 50kg/m²의 흡수량을 나타내 철도 침목 사용가능 환경기준인 H4의 흡수량 적합 기준에는 크게 못 미쳤다. 그러나 측면에 심부자상 처리를 적용함으로써 침윤도 증가와 함께 흡수량도 증가하여 침목 사용 환경 기준을 만족시키는 침목 생산이 가능하였다.

이들 결과로부터 본 연구에서 적용한 측면 심부자상 처리와 같은 기술을 현재 생산하고 있는 남양 활엽수재 침목에도 적용할 필요성이 있을 것으로 판단된다.



<그림 6-16> 심부자상 처리 낙엽송 침목의 크레오소오트유 흡수량

제 7 절 철도 침목용 국산 침엽수재 선발 및 사용 기준

1. 철도 침목 생산용 최적의 국산 침엽수재 선발

본 연구에 사용한 주요 국산 침엽수재 3수종에 대하여 철도 침목 생산용으로의 적합성 및 최적의 수종을 선발하기 위한 기초 자료를 얻기 위하여 각 수종들의 강도적 성질 및 크레오소오트유의 침투성을 비교하였다.

침엽수재 3수종이 자상처리를 하지 않은 상태에서 나타내는 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 스파이크 인발저항력을 <표 7-1>에 나타냈다. 강도적 성질은 비중이 가장 높고 재질이 단단한 낙엽송이 가장 우수한 성질을 가지고 있으며 리기다소나무와 잣나무는 거의 유사하거나 리기다소나무가 약간 양호한 것으로 나타났다.

<표 7-1> 주요 국산 침엽수재의 강도적 성질

수종	강도적 성질	
	부분압축 비례한도 응력 ¹⁾ (kgf/cm ²)	스�파이크 인발저항력 (kgf/cm)
리기다소나무	31.0±4.9	1202.0±112.5
잣 나 무	30.0±6.4	909.7±274.6
낙 엽 송	38.3±8.5	1119.7± 91.9

¹⁾ 하중방향: 섬유직각방향

크레오소오트유의 침투축진을 위해 실시하는 자상처리를 하지 않은 상태에서 침엽수 3수종이 나타내는 고유의 크레오소오트유의 침투성을 비교한 것이 <표 7-2>이다.

크레오소오트유의 침투깊이를 알 수 있는 침윤도에서는 리기다소나무가 변

재부 전체에 걸쳐 침투가 이루어져 침윤도 100%를 나타냈으며 잣나무의 경우도 거의 100%에 가까운 침윤도를 보였다. 그러나 난주입성 수종인 낙엽송의 경우에는 침윤도가 24.3%에 불과해 침투촉진을 위한 자상처리가 필요하다는 결론에 도달하였다.

한편 크레오소오트유의 흡수량을 비교하면 잣나무가 철도 침목 사용환경 조건인 H4 수준에서 요구하는 80kg/m³를 충족시키는 흡수량을 보였고 리기다소나무의 경우에는 적합기준에 약간 못 미쳤으나 낙엽송에서는 현저하게 적은 흡수량을 보여 침윤도에서와 같이 자상처리가 반드시 필요하다는 것을 알 수 있었다.

<표 7-2> 주요 국산 침엽수재의 크레오소오트유 침투성

수종	크레오소오트유 침투성	
	침윤도(%)	흡수량(kg/m ³)
리기다소나무	100	76.3±18.3
잣 나무	97.5±10.9	83.2±24.8
낙 엽 송	24.3±11.2	31.8±11.8

철도 침목을 생산할 시에는 크레오소오트유의 침투를 촉진시키기 위하여 자상처리를 실시하게 된다. 이와 같이 현재 적용하고 있는 자상처리를 하였을 경우 국산 침엽수 3수종이 나타내는 강도적 성질과 크레오소오트유의 침투성을 비교하였다.

표준 자상처리가 침엽수 침목의 강도에 미치는 영향을 조사한 결과 <표 7-3>에서 알 수 있듯이 부부압축 비례한도 응력이나 스파이크 인발저항력에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

한편 크레오소오트유의 침투성에서는 자상처리에 의하여 침윤도 및 흡수량이 크게 개선되었으며, 특히 리기다소나무의 경우에는 흡수량이 크게 향상되어

침목 사용 환경 기준에서 요구하는 흡수량을 크게 상회하는 결과를 보였다. 그러나 낙엽송의 경우에는 향상은 되었으나 침윤도 및 흡수량 적합 기준에 크게 못 미쳤다. 따라서 낙엽송을 사용하여 침목을 생산할 시에는 현행의 표준 자상 처리 조건보다는 강하게 처리해야 할 것으로 밝혀졌다.

<표 7-3> 표준 자상 처리한 국산 침엽수재의 강도적 성질

수종	강도적 성질	
	부분압축 비례한도 응력 ¹⁾ (kgf/cm ²)	스파이크 인발저항력 (kgf/cm)
리기다소나무	30.7±3.9	1014.0± 83.7
갯 나 무	29.4±8.1	822.0± 82.9
낙 엽 송	38.1±2.5	1404.3±164.1

¹⁾ 하중방향: 섬유직각방향

* 표준 자상처리 조건: 자상 깊이 20mm, 자상 밀도 800개/m²

<표 7-4> 표준 자상 처리한 국산 침엽수재의 크레오소오트유 침투성

수종	크레오소오트유 침투성	
	침윤도(%)	흡수량(kg/m ³)
리기다소나무	100	133.4±48.7
갯 나 무	100	85.6±39.0
낙 엽 송	97.7±13.5	59.1±13.5

* 표준 자상처리 조건: 자상 깊이 20mm, 자상 밀도 800개/m²

이상의 결과로부터 국산 침엽수재 중에서 리기다소나무와 낙엽송이 철도 침목생산용 수종으로 가장 적합하다는 결론에 이르렀다. 특히 리기다소나무의 경우에는 현행의 자상처리 조건 또는 이 보다 다소 약한 조건에서도 크레오소오트유의 침투가 충분히 이루어진다는 것을 알 수 있었다. 잣나무의 경우에는 크레오소오트유의 침투성 면에서는 만족할 만한 결과를 얻었으나 재질 측면에서 집중 응이의 발생으로 부적합하다는 결론에 이르렀다.

2. 철도 침목 생산용 국산 침엽수재의 사용 기준

국산 침엽수재 중에서 리기다소나무와 낙엽송이 침목생산에 적합하다는 결론에 이르렀다. 이들 수종을 사용하여 침목을 생산할 시에 적용해야 할 주요 사용기준에 대해서 KS F 3005의 규격을 인용하면 다음 <표 7-5~7>과 같으며 크레오소오트유의 흡수량 기준은 80kg/m³이다.

<표 7-5> 철도 침목의 크레오소오트유의 침윤도

구 분	침 윤 도(%)
변재 부분	80 이상
심재 부분	재면으로부터 깊이 20mm까지 부분의 80 이상

<표 7-6> 철도 침목의 스파이크 부분의 크레오소오트유의 침윤도

구 분	침 윤 도(%)
변재 부분	구멍 내면으로부터 길이 방향 70mm, 나비 방향 45mm까지 부분의 80 이상
심재 부분	구멍 내면으로부터 길이 및 나비 방향 20mm까지 부분의 80 이상

<표 7-7> 철도 침목용 침엽수재의 품질(보통침목의 경우)

결점구분		침목의 종류		단위	보통 침 목
옹이 (짧은 지름)	레일 부분		mm	30 이하	
	기타 부분		mm	60 이하	
코떨어짐	레일 부분		%	0	
	뒷면		%	0	
	기타 부분	두께면	%	20 이하	
		나비면	%	10 이하	
등근모	두께면	레일 부분	%	30 이하	
		기타 부분	%	35 이하	
	나비면	레일면	%	15 이하	
		뒷면	%	15 이하	
틀어짐	나비(수평) 굽음		%	35 이하	
	길이(수직) 굽음		%	10 이하	
갈라짐	분할			없을 것	
	윤할		%	10 이하	
	할열	재면	레일 부분		없을 것
			기타 부분		두께의 1/2 이하
	마구리		%	10 이하	
섬유 주행 경사				1/4 이하	
마구리의 썩음 또는 공동	깊이		%	2 이하	
	면적		%	10 이하	
재면의 썩음				없을 것	
평균 나이테 간격			mm	6 이하	
취약 심재				없을 것	

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

국내산 주요 침엽수재인 소나무, 잣나무, 낙엽송 및 삼나무의 유상 목재방부제 크레오소오트유 침투성에 관한 조사는 국내에서 수행된 바가 없으나 이번 연구를 통하여 각 수종 별 크레오소오트유의 침투 특성에 관한 귀중한 자료를 확보하게 되었다. 특히, 현재 국내에 대량 식재되어 대경목 생산이 많은 리기다 소나무의 경우 수지 성분의 다량 함유로 크레오소오트유의 침투성이 나쁠 것으로 예상하였으나 삼나무나 잣나무에 비하여 우수한 침투성을 보여 철도 침목용으로서의 개발 가능성이 충분하다는 의외의 연구 결과를 얻었으며 리기다 소나무의 새로운 활용 방안을 제시할 수 있을 것으로 기대되었다.

낙엽송에 대한 크레오소오트유 침투성을 조사한 결과, 비록 난주입성 수종으로 알려져 있으나 현재 국내 침목 생산의 표준이 되는 KS F 3005 규격의 자상 처리 조건(자상 밀도 800개/m², 자상 깊이 18~20mm)에 의해서도 KS 규격의 크레오소오트유 처리도 규정 조건을 충족시킬 수 없음이 밝혀졌다. 본 연구를 통하여 자상 밀도를 KS 규격의 2.5배(2000개/m²)로 증가시킬 경우 KS 규격을 충족시킬 수 있는 수준까지 크레오소오트유의 침투성이 개선됨이 확인되었다. 그러나 강도적 성질, 특히 철도 침목에서 요구되는 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력이 저하되는 문제가 발생됨으로서 크레오소오트유의 침투성 개선을 위한 새로운 처리법을 개발해야 할 필요성이 제기되었다.

낙엽송에 비하여 액체 침투성이 양호한 소나무, 잣나무, 삼나무의 경우에는 현행의 KS 규격 자상 처리 조건보다 마일드한 조건(자상 깊이 15mm)에서 처리해도 높은 크레오소오트유 처리도를 달성할 수 있을 뿐만 아니라 강도적 성질의 저하를 방지할 수 있는 것으로 밝혀져 이들 수종의 처리에 참고할 수 있는 자료를 획득하였다.

또한 본 연구를 통하여 대표적인 국산 침엽수재 4수종의 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 스파이크 인발 저항력에 관한 기초 자료가 얻어져 향후 목재의 강도적 성질 연구에 참고 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대되었다.

자상 처리가 침목의 강도에 미치는 영향을 조사한 결과, 특히 침목에서 요구

되는 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력은 직접적인 영향을 받아 자상 밀도 및 깊이의 증가함에 따라 거의 직선적으로 감소하는 것으로 밝혀졌다. 그러나 스파이크 인발 저항력의 경우에는 자상 처리 영향이 미미하거나 거의 없는 것으로 나타났다.

철도 침목 생산에 있어 자상 처리 이외에도 재중에 침투된 크레오소오트유에 의한 강도적 성질의 변화를 조사한 결과 크레오소오트유에 의한 목재 강도 저하는 거의 발생하지 않는 것으로 밝혀졌다.

국내산 주요 침엽수재인 리기다소나무, 잣나무, 낙엽송을 이용한 철도 침목 개발을 위하여 크레오소오트유 침투성에 관하여 조사한 결과 리기다소나무 및 잣나무의 경우에는 약제 침투성 촉진을 위한 기계적 전가공 처리를 실시하지 않아도 KS F 3005 "가압식 크레오소오트유 방부처리 침목" 기준에 적합한 크레오소오트유 침윤도 및 흡수량을 얻을 수 있음이 밝혀졌다.

현재 국내에 대량 식재되어 대경목 생산이 많은 리기다소나무의 경우 수지 성분의 다량 함유로 크레오소오트유의 침투성이 나쁠 것으로 예상하였으나 오히려 잣나무에 비하여 우수한 침투성을 보여 철도 침목용으로서의 개발 가능성이 매우 높다는 것을 재차 확인하였다.

리기다소나무 및 잣나무에 횡압축 처리를 실시한 결과 크레오소오트유의 침투성이 더욱 촉진되어 무처리에 비하여 침윤도 및 흡수량이 증가하여 보다 내구성이 우수한 철도 침목생산을 위해 새로운 기계적 전가공법으로 도입이 가능할 것으로 판단되었다.

국내산 침엽수 중에서 가장 난주입성 수종으로 알려진 낙엽송에 대하여 약제의 침투성 개선을 위해 관행적으로 실시되고 있는 자상처리 후에 횡압축 처리를 재차 실시함으로써 크레오소오트유의 주입성(침윤도 및 흡수량)이 월등하게 향상되어 KS F 3005 규격의 철도침목 사용기준을 만족시킬 수 있음이 밝혀졌다. 그러나 횡압축 또는 자상처리 만을 실시한 경우 크레오소오트유 침윤도 및 흡수량은 KS 규격 기준에 미치지 못하였다. 따라서 낙엽송을 이용한 침목생산에 자상처리 후 횡압축 처리를 도입함으로써 보다 우수한 품질의 침목생산이 가능할 것으로 판단되었다.

횡압축 처리가 침목의 강도적 성질에 미치는 영향을 조사한 결과, 철도 침목에서 중요한 섬유직각방향 부분압축 비례한도 응력과 스파이크 인발저항력에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다. 또한 횡압축 처리에 따른 침목 두께방향의 변형량을 조사한 결과, 횡압축 처리 후 24시간 경과 시점에서 원치수의 98-99%까지 회복됨으로서 횡압축 처리에 의한 침목의 치수변화는 거의 발생하지 않는 것으로 조사되었다.

횡압축 처리에 따른 침목 내부의 조직변화를 주사전자현미경 관찰을 통하여 확인한 결과, 리기다소나무의 경우에는 가도관 내강 측에 다량의 spiral crack이 발생한 것을 알 수 있었다. 그러나 잣나무 및 낙엽송의 경우에는 일부 가도관 내강 측에 crack의 발생이 인정되었으나 리기다소나무에 비하면 미미한 수준에 머물렀다. 횡압축 처리에 의한 크레오소오트유의 주입성 향상은 가도관 벽에 발생한 이들 미세 crack에 의한 결과라고 판단되었다. 한편 횡압축 처리에 의해 강도적성질의 저하는 발생하지 않은 것으로 조사되어 이들 미세 crack이 침목의 강도적 성질에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 생각되었다.

본 연구과제 수행 과정에서 횡압축 처리에 의하여 크레오소오트유의 주입성이 향상된다는 결과가 얻어짐으로서 향후 국산 침엽수재를 이용한 철도 침목 생산에서 새로운 기계적 전가공 처리법으로 도입할 수 있을 것으로 판단되었다.

또한 기존의 자상처리에 횡압축 처리공정을 도입함으로써 난주입성 수종인 낙엽송의 크레오소오트유의 주입성이 자상 단독처리에 비하여 향상된다는 결과가 얻어져 자상처리 후 횡압축 병행처리법도 크레오소오트유 주입성 향상을 위한 새로운 처리법으로 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

스파이크 부위의 크레오소오트유의 미침투부위의 노출로 인한 침목의 사용수명 단축을 방지하기 위하여 본 연구에서 새롭게 적용한 침목 측면 부위에서의 깊은 자상처리(심부자상 처리)에 대해서 검토하였다. 그 결과 약제 침투성이 매우 좋은 리기다소나무와 잣나무의 경우에는 심부자상 처리를 하지 않아도 스파이크 부위에서의 크레오소오트유 미침투 부위의 노출은 거의 없어 침목 내부부후의 발생으로 침목의 사용수명을 단축시킬 위험성은 극히 낮은 것

으로 파악되었다. 그러나 크레오소오트유의 침투성이 극히 불량한 낙엽송재의 경우에는 침목 수명의 단축을 방지하기 위하여 반드시 침목 측면에서 심부자상 처리를 해야 하는 것으로 밝혀졌다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

국내에서 생산되고 있는 주요 침엽수재인 리기다소나무, 잣나무 및 낙엽송의 크레오소오트유 침투성이 밝혀짐에 따라 이들 수종을 이용한 침목 생산에 있어 크레오소오트유의 처리 또는 침투성 향상을 위한 자상 처리 조건을 확립하는데 활용할 수 있다. 또한 관행의 자상 처리 기술 이외에 방부제 주입성 향상을 위한 새로운 기계적 가공 기술로 횡압축 처리나 자상 처리 후 횡압축 처리 기술이 개발되어 조경용재, 토목용재 등 기타 다른 침엽수 방부처리 목재 생산에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

현재 철도 침목 부설 시에 시행되고 있는 현장 예비 천공 작업의 경우 크레오소오트유 미침투 부위의 노출로 인하여 내부 부후가 발생하여 침목의 수명을 단축시키는 단점을 가지고 있으나 침목 측면에서 스파이크 위치까지 깊게 자상 처리하는 深部 자상 처리 기술을 소개하여 침목 생산에 활용할 계획이다.

국산 침엽수재의 새로운 용도 개발로 국산재 이용의 활성화를 도모할 수 있을 뿐만 아니라 철도 침목 생산에 사용되고 있는 남양 활엽수재의 수입 대체 효과로 외화를 절감할 수 있고 국내산 침엽수재의 고부부가치화를 창출하는 효과를 얻을 수 있다.

저가의 국산 침엽수재를 이용할 수 있기 때문에 생산비 절감으로 PC 침목에 경쟁할 수 있는 고품질의 침엽수 침목 생산이 가능하여 공장 가동율이 32%에 머물고 있는 국내 철도 침목 생산 업계의 활성화를 도모할 수 있다.

침목 이외의 국내 방부처리 목재생산에 개발된 기술을 도입함으로써 국내 목재 방부산업 발전에 활용할 수 있으며 개발된 침엽수 침목 생산 기술을 본 과제 참여기업을 중심으로 국내 8개의 철도 침목 생산 업체에 기술을 이전하여 침목 생산에 활용토록 할 계획이다.

제 6 장 참고문헌

Abdurahim Martawijaya, Iding Kartasujana, Kosasi Kadir and Soewanda Among Prawira. 1992. Indonesian Wood Atlas Vol. I, II. Forest products research and development centre Bogor-Indonesia.

Brooks, K. M. 1996. Assessing the environmental risks associated with creosote treated piling use in aquatic environments. In: Proc. of the American wood preservers' Assoc. 92:70-103.

Environment Canada. 1992. Creosote impregnated waste materials. environment Canada, Western and Region, Edmondton, Alberta. pp. 111.

Ikuo Iida, Akira Ikeuchi, and Yuji Imamura. 1995. Liquied penetration of precompressed woods III (Effects of moisture contents of specimens and ambient temperatures while compression on liquied uptake of softwoods and hardwoods). Mokuzai Gakkaishi 41(9): 811-819.

Ikuo Iida, Chikako Takayama, Osamu Miyagawa, and Yuji Imamura. 1992. Liquied penetration of precompressed wood I (Effects of compressive deformation and recovery upon liquid uptake). Mokuzai Gakkaishi 38(3): 233-240.

Miller. D. J. and P. R. Houghton. 1990. Performance of western wood species as crossties in mainline railroad track. Proceeding of american wood-preservers' association. Vol. 86. pp. 152-168.

Railway Tie Association. 1993. Specifications for timber cross tie. American

Wood-Preserver's Association. 1997. Crossties and switch ties-preservative treatment by pressure processes. AWPA C6

日本工業規格協會. 1995. 加壓式クレオソート油防腐處理まくら木. JIS A 9104

日本農林規格協會. 1966. まくら木の日本農林規格. 農林水産省告示第539號

日本國有鐵道協會. まくら木の日本國有鐵道規格. JRS 03100-IG-13AR7B

日本木材防腐工業協同組合. 2001. 木材防腐の手帳

김규혁, 이동흡. 열대산 활엽수 5수종의 CCA 주입성. 미발표

조명원, 강승모, 김규혁, 구자운, 정두진. 2006. 크레오소오트 처리제로부터 토양으로 유출된 PAHs 성분의 함량분석. 한국목재공학회 2006 학술발표 논문집: 116-117.

산림청. 1999. 목재의 방부·방충처리기준. 산림청고시 1999-8호

한국목재공학회, 임업연구원. 2001. 철도침목의 내구성 향상과 향후 전망. 제6회 한국목재공학회 2001 산학연심포지엄: 58-62.

한국열대목재연구원. 1996. 수입원목도감.

한국표준협회. 1999. KS F 2206 목재의 압축시험 방법.

한국표준협회. 1999. KS F 2208 목재의 휨시험 방법.

한국표준협회. 2001. KS F 2198 목재의 밀도 및 비중 측정방법.

한국표준협회. 2001. KS F 3025 토대용 가압식 방부처리 목재.

한국표준협회. 2002. KS F 3026 바닥데크용 가압식 방부처리 목재.

한국표준협회. 2003. KS F 3005 가압식 크레오소오트유 방부처리 침목.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.