

발수제 처리 소나무재의 치수안정성¹

한규성²

Dimensional Stability of Korean Red Pine Treated with Water Repellents¹

Gyu-Seong Han²

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the influence of the water repellents' treatment on the water absorptivity and the dimensional stability of Korean red pine wood (*Pinus densiflora*). The alkylketene dimer(AKD), fluororesin emulsion(Wood-seal, WS), and paraffin wax emulsions(PW25, PW40, and PW1200) were used as water repellents. PW40 and WS were proved as excellent water repellents for pine wood, because the samples treated with these agents showed high contact angles and large reduction in water absorptivities. Also, the dimensional stability(ant swelling efficiency) of pine wood was considerably improved by water repellents treatments, such as PW40 and WS at the pressure of 2MPa. The water repellent treated woods with WS, PW40, and PW1200 at the pressure of 2MPa were relatively stable to the wet-dry cyclic leaching test.

Keywords: Dimensional stability, water repellents, ant swelling efficiency, reduction in water absorptivity, contact angle.

1. 서론

목재는 인류 문화의 발달과 함께 해 온 오래되고도 친숙한 재료이다. 자연의 멋과 숨결이 살아있는 재료인 목재는 가구와 주택의 자재로 많이 이용되면서, 에너지 효율, 단열 및 차음 효과가 좋아 자연 친화적이며 쾌적한 환경을 제공한다. 목재는 이와 같은 특성 때문에 광범위하게 이용되어지고 있으며, 오늘날과 같은 기술 집약적 사회에서도 구조재료와 치장재료로서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다.

수분은 목재에 있어서 치수를 변화시킴으로써 할렬을 발생시키거나 부후를 일으키게 하는 등 목재 열화의 가장 큰 요인이 된다. 이러한 수분의 문제를 해결하는데 있어서, 비교적 간단하게 목재의 수분 흡수를 더디게 할 뿐만 아니라 목재의 건조 상태를 유지하는데 도움이 되는 처리법

1. 논문접수: 2008. 02. 14. 본 연구는 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

2. 충북대학교 목재·종이과학전공 Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea. E-mail: wood@chungbuk.ac.kr.

이 발수제(water-repellent) 처리이다. 또한 이 발수제에 방부제를 첨가하여 내부후성을 부여할 수 있게 한 것이 발수성 방부제(water-repellent preservative)이다(William, 1984; Williams and William, 1999; Williams, 1999; Williams, 2000). 이 두 가지 처리 물질의 구성 요소는 매우 비슷하다. 둘 다 발수성 물질(파라핀 왁스 등), 수지 또는 건성유, 그리고 터펜타인 또는 미네랄 스피리트 같은 용제를 함유하고 있다. 이 발수제에 펜타클로르페놀(pentachlorophenol) 또는 나프텐산구리(copper naphthenate)와 같은 방부제를 첨가하면 부후와 곰팡이 등으로부터 목재 표면을 보호하는데 도움이 된다. 발수성 방부제와 발수제로 처리한 창틀을 20년간 실험한 결과 발수성 방부제로 처리한 경우 부후로부터 목재를 보호할 수 있다는 연구 결과는 주목할 만한 것이다. 더욱이 가장 놀랄만한 결과는 방부제를 첨가하지 않은 발수제 자체로 처리한 목재창틀이 발수성 방부제로 처리한 만큼의 결과를 가져온 것이다. 이렇듯 방부제를 넣지 않고 발수제 자체로만 처리하여도 목재를 수분으로부터 어느 정도 보호할 수 있는 효과가 있다는 것이 확인되었다(William and Mraz, 1978).

따라서 본 연구에서는 독성이 없으며 다루기도 간편한 발수제를 목재에 처리하여 목재에 발수성을 부여하고, 발수제 처리에 따른 목재의 치수안정 효과를 조사하였다. 발수제로는 제지 분야에서 사용되는 알킬케텐다이어(alkylketene dimer, AKD)와 파라핀계 왁스에멀전 및 목조주택용의 불소수지계 발수제를 사용하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 목재 시편

본 연구에 사용한 공시재료로는 50mm(T)×50mm(L)×10mm(R)인 소나무(*Pinus densiflora* ; 경북 봉화산) 판목 시편을 사용하였다.

Table 1. Characteristics of pine wood sample

Species	Specific gravity	Moisture content(%)	Annual ring width (mm)
Korean red pine (<i>Pinus densiflora</i>)	0.43	12.8	3.7

2.1.2 발수제

AKD(Alkylketene Dimer)에멀전은 태광화학(주)로부터 제공된 EXPEL-200D를 사용하였으며, 우드씰(Wood-seal, 이하 WS)은 동화특수산업(주)로부터 분양받아 사용하였다. 파라핀왁스 에멀전은 Emtech(주)에서 제조된 PW-40b(이하 PW40), PW-25b(이하 PW25), PW-1200b(이하 PW1200)를 사용하였다. 사용한 발수제의 상세 성상은 표2와 같다.

Table 2. Characteristics of various water-repellents

Water-repellents	AKD	WS	PW40	PW25	PW1200
Type	Alkylketene dimer	Fluororesin	Paraffin wax	Paraffin wax	Paraffin wax
Appearance	Creamy emulsion	White emulsion	White emulsion	Pale yellow emulsion	White emulsion
Non-volatile content (% , 105±2°C, 2h)	20±0.5	10±0.5	54±1	20±1	36±1
Brookfield viscosity (cPs)	5-20 (at 25°C)	3.6 (at 17.4°C)	700 (at 25°C)	200 (at 25°C)	100 (at 25°C)
Ionic property	cationic	-	anionic	anionic	low cationic
Specific gravity	1.01	-	0.97	0.96	0.97
pH value	9.0±1	7.5	9.0±1	9.5-11.5	4.5±1

2.2 실험 방법

2.2.1 발수제의 처리

시편을 주약관에 넣고 진공펌프를 이용하여 1시간 감압하여 배기 후, 감압상태에서 발수제를 도입하였다. 발수제가 도입된 후 1~2MPa의 압력으로 1시간 가압하여 주입을 완료하였다. 발수제가 주입된 시험편은 표면에 묻은 약액을 가볍게 닦아낸 후 치수와 무게를 측정하고 105°C의 건조기에서 24시간 건조하여 처리를 완료하였다. 처리 정도를 나타내는 중량증가율(weight percent gain, WPG)은 처리 전·후의 각 진건상태에 있어서의 중량변화로부터 아래의 식에 의해 계산되었다.

$$WPG(\%) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100$$

(W₀ : 무처리 진건중량 , W_t : 처리후 진건중량)

2.2.2 수분흡수 특성 평가

수분흡수 억제효과를 나타내는 항흡수능(reduction in water absorptivity, RWA)은 처리 전후의 흡수율에 의거하여 아래의 식에 따라 구하였다.

$$RWA\left(\frac{WT_0 - WT_t}{WT_0} \%\right) = \times 100$$

(WT₀ : 무처리재의 흡수율 , WT_t : 처리재의 흡수율)

한편, 목재 표면의 발수 특성은 Sessile drop 방법을 이용하여 측정된 정접촉각으로 평가하였다. 25°C, 65% 상대습도 아래서 목재 표면에 4μl의 작은 물방울(탈이온수 사용)을 떨어뜨려 얻어진 정접촉각을 6회 측정 후 평균값을 구하였다.

2.2.3 치수안정효과 평가

치수안정성을 나타내는 항팽윤율(antiswelling efficiency, ASE)은 처리전후의 흡수에 의한 체적팽윤율에 의거하여 아래와 같이 계산하였으며, 상대효율(relative effectiveness, RE)도 아래의 식에 따라 계산하였다.

$$ASE(\%) = \frac{\beta_{vc} - \beta_v}{\beta_{vc}} \times 100$$

(β_v : 처리재의 체적팽윤율, β_{vc} : 무처리재의 체적팽윤율)

$$RE = ASE/WPG$$

2.2.4 발수제 용탈 시험

증류수가 들어있는 비커에 발수제 처리한 시편과 무처리 시편을 넣고, 시편이 뜨지 않도록 시편 사이에 플라스틱네트를 끼우고 추로 눌러준 후 3일 동안 침지시킨다. 이 시편을 105°C의 가열기에서 24시간 건조시킨다. 이러한 과정을 3회 반복하며 무게의 변화를 관찰하여 용탈량을 측정하였다. 용탈에 따른 치수의 변화도 함께 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 약제 주입 특성

약제 주입 특성은 중량증가율(WPG)로 나타낼 수 있는데, 중량증가율은 그림1과 같이 발수제 처리시의 가압력이 커지면 증가하였다. WS와 파라핀왁스 계열의 PW25, PW40, PW1200은 모두 주입처리 시의 가압력의 상승에 따라 중량증가율이 크게 증가하였다. 한편 40%로 희석한 AKD(AKD40)는 가압력을 높여도 중량증가율이 거의 증가하지 않았으나, 100%의 AKD 에멀전 처리(AKD100-2)에 의해서는 17.5%라는 비교적 높은 중량증가율을 나타냈다. 그런데 AKD100-2 처리의 경우 주입되지 못한 AKD 입자가 목재 표면에 응집되는 현상을 보였는데, 상대적으로 큰 입자들이 목재 내부로 들어가지 못했기 때문으로 여겨진다.

파라핀왁스계 발수제 중에서는 PW40-2 처리가 가장 높은 23.0%의 중량증가율을 나타냈는데, 비록 점도는 높지만 고형분량이 많아 목재 내의 잔류량이 많았기 때문으로 여겨진다. 반면, WS는 점도가 낮아 주입성은 우수하였지만, 고형분량이 적어 중량증가율은 그다지 높지 않았다.

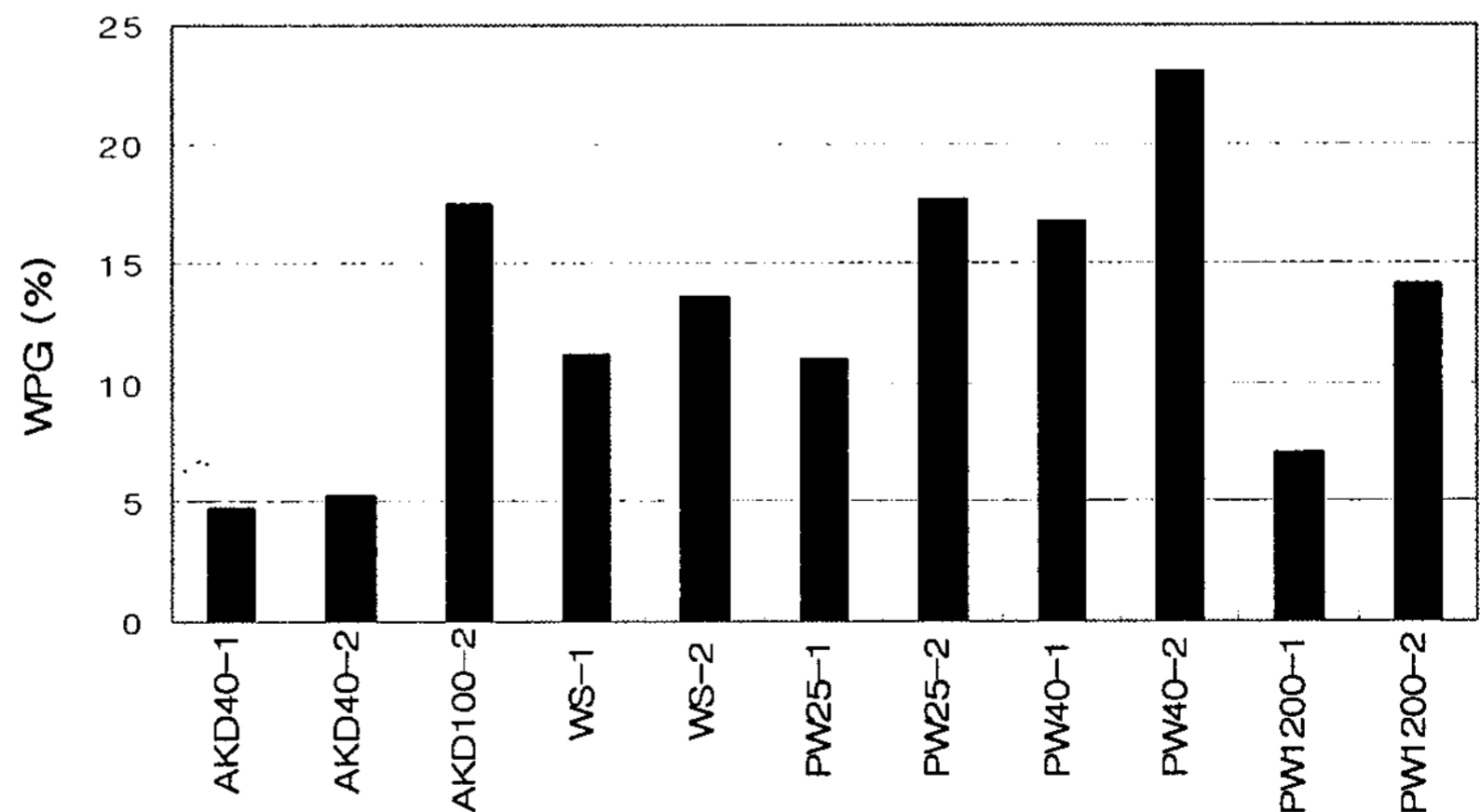


Fig. 1. WPGs of water-repellent treated pine woods. Notes : Numbers of AKD mean the dilution concentration of emulsion. Dashed numbers mean the impregnation pressure.

3.2 수분흡수 특성

약제 처리에 의해 수분 흡수가 얼마나 억제되는가를 나타내는 항흡수능(RWA)을 조사한 결과 그림2와 같은 패턴으로 나타났다. 즉, 같은 처리제의 경우 처리 농도와 압력이 높아지면 RWA의 값도 증가하는 결과를 나타냈다. AKD100-2, WS-2, PW40-2 처리는 각각 30% 전후의 RWA 값을 나타냈다. 이들 처리의 경우 WPG도 높은 편이어서 목재 내에 침투된 발수제가 건조 후에도 세포내강에 많이 남게 되고, 이를 통해 수분흡수 억제효과가 발현되는 것으로 여겨진다.

한편 표면에서의 접촉각은 발수성을 평가하는데 매우 적당한 지표로 사용되고 있는데(Han and Setoyama, 2000), Sessile drop법에 의해 측정된 처리제와 무처리제의 정접촉각을 그림3에 나타냈다. 발수제 처리에 의해 접촉각은 크게 증대하였으며, 처리 농도와 압력의 증가에 의해서도 접촉각이 증대될 수 있음을 나타냈다. PW40-2, AKD100-2, WS-2 처리가 120° 이상의 높은 접촉각을 나타냈는데, 이것은 RWA의 그래프와 비슷한 경향이였다. 두 실험 모두 수분에 대한 반발 특성에 관한 평가 방법이기 때문에 비슷한 결과를 나타낸 것으로 생각한다. 그런데 접촉각은 목재 표면의 발수성을 나타내는 것이고, RWA는 목재 전체에 있어서 수분 흡수에 대한 저

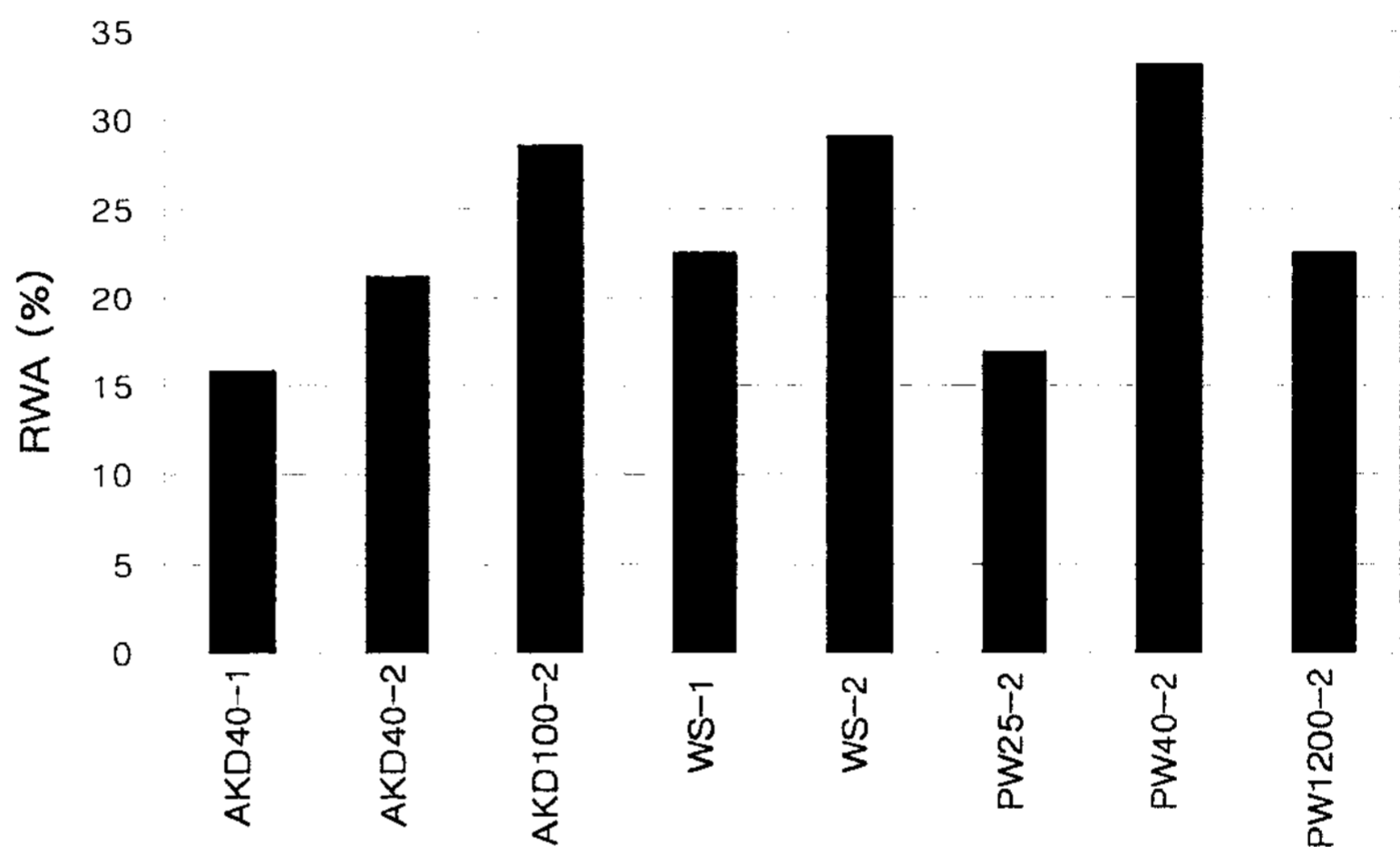


Fig. 2. RWAs of water-repellent treated pine woods. Notes : Numbers of AKD mean the dilution concentration of emulsion. Dashed numbers mean the impregnation pressure.

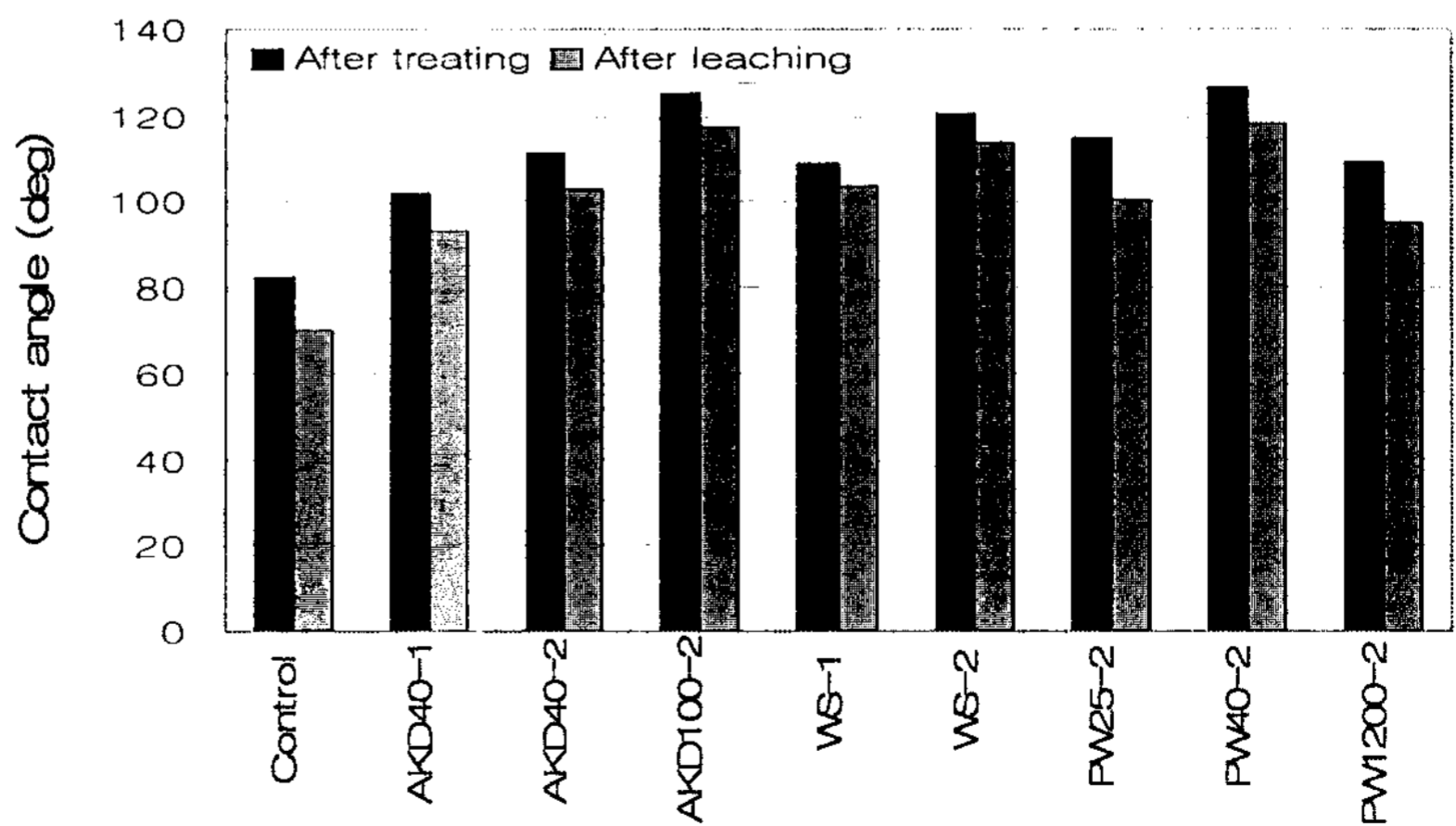


Fig. 3. Contact angles of water-repellent treated pine woods. Notes : Numbers of AKD mean the dilution concentration of emulsion. Dashed numbers mean the impregnation pressure.

항성을 나타내는 것으로, 전자는 수분 흡수에 대한 단기적인 억제효과를 나타내는 지표로, 후자는 장기적인 억제효과를 표현하는 지표로 사용될 수 있다. 목재는 표면에서 처음으로 수분을 접하게 되므로 표면의 발수 특성이 매우 중요한데, PW40-2와 WS-2 처리는 발수효과가 커서 표면접촉각을 크게 할뿐만 아니라, 목재 내부로의 수분침투를 매우 효과적으로 차단하여 RWA도 크게 나타나 치수안정효과가 클 것으로 예상된다.

무처리재와 발수제 처리한 시편을 증류수에 3일간 침지하고 1일간 105℃에서 건조하는 건습반복 처리를 3회 실시한 후 접촉각을 측정하였더니 접촉각은 5.0-15.2% 감소하였다. 접촉각 감소의 비율은 무처리재(15.2%)가 가장 컸으며, WS 처리재(5.0-6.0%)가 가장 작았다.

3.3 치수안정화 특성

발수제 처리에 의해 얻어지는 치수안정효과를 그림4에 나타냈다. 발수제 처리에 의한 항팽윤율(ASE)은 아세틸화와 같은 화학적 치수안정화 처리에 비해서는 낮은 값을 나타냈지만 일부 처리에 있어서는 WPC 처리 수준과 비슷한 정도를 나타냈다.

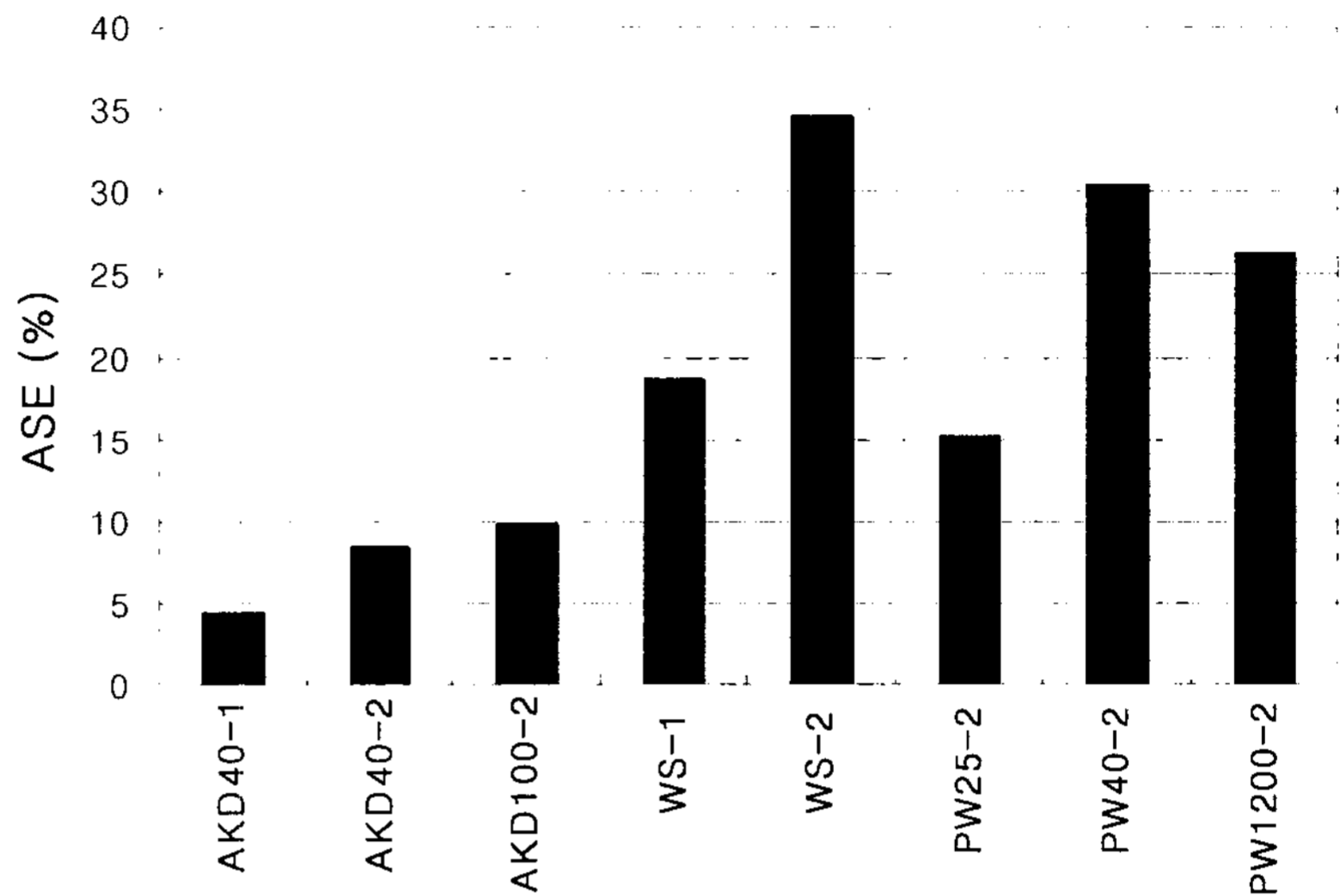


Fig. 4. ASEs of water-repellent treated pine woods. Notes : Numbers of AKD mean the dilution concentration of emulsion. Dashed numbers mean the impregnation pressure.

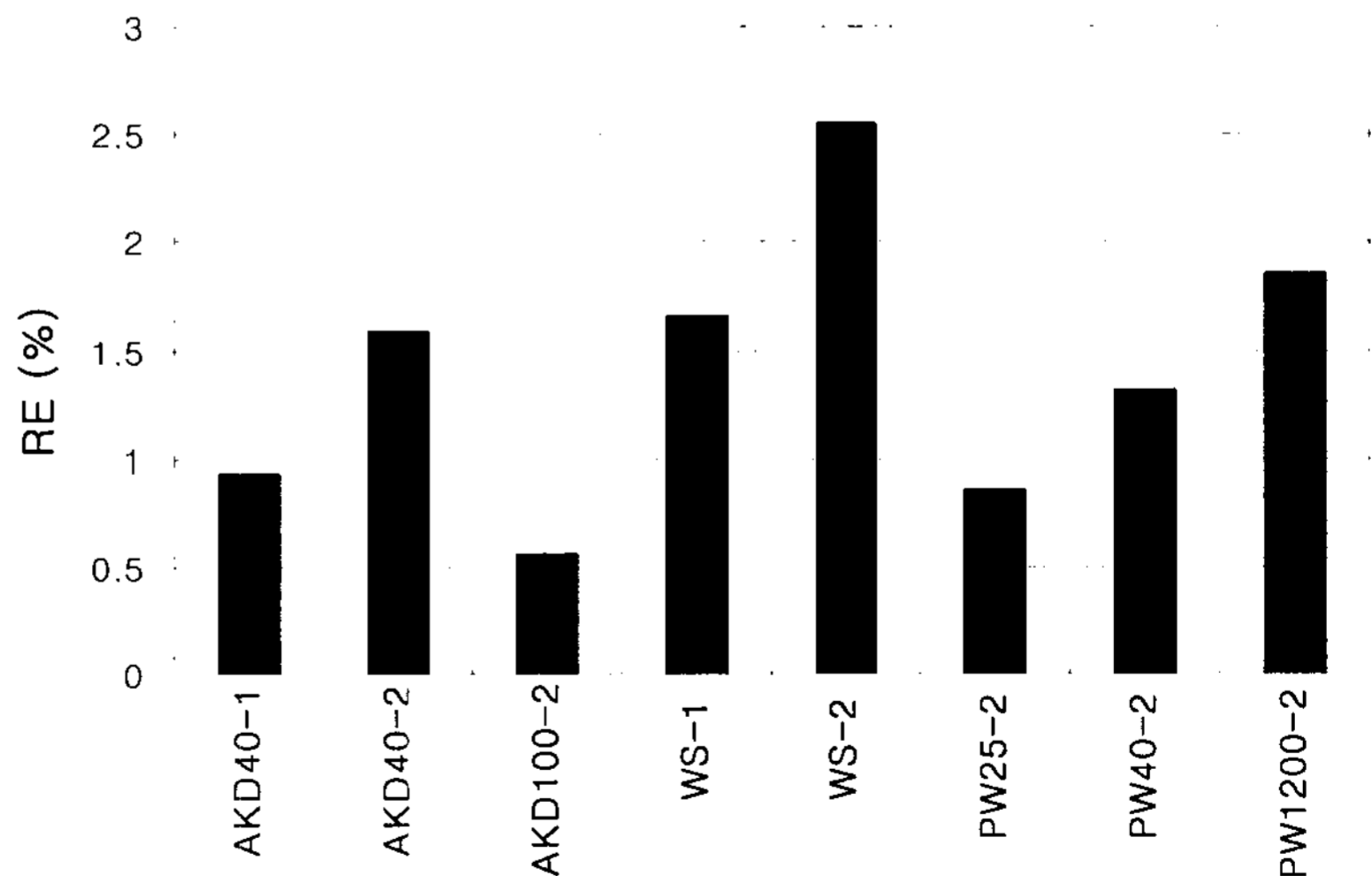


Fig. 5. REs of water-repellent treated pine woods. Notes : Numbers of AKD mean the dilution concentration of emulsion. Dashed numbers mean the impregnation pressure.

AKD 처리는 농도와 압력에 비례하여 ASE가 증가하는 결과를 보였으나 10% 이하의 아주 낮은 값을 나타냄으로써 높은 발수특성에 비해서는 현저하게 낮은 치수안정성을 부여하는 것으로 밝혀졌다. 파라핀왁스계 발수제의 경우에는 WPG가 가장 높았던 PW40-2 처리가 ASE도 높아 30.4%의 값을 나타냈다. 한편, WS-2의 경우 다른 처리에 비해 WPG가 13.6%로 낮았음에도 불구하고 상대적으로 가장 높은 34.6%의 ASE를 보였다. PW40-2와 WS-2 처리는 3.2항에서 설명한 바와 같이 수분흡수 억제효과에 의해 치수안정성이 발현되는 것으로 여겨진다. 이처럼 단순한 발수제 처리에 의해서도 중급 정도의 치수안정효과를 얻을 수 있었다.

중량 대비 치수안정성을 나타내는 상대효율(RE)은 그림5와 같이 WS-2 처리가 2.55로 가장 크게 나타났으며, PW1200도 1.86으로 비교적 높게 나타났다. 이처럼 WS-2 처리는 처리약제의 중량대비 처리효과가 가장 우수한 것으로 나타났다.

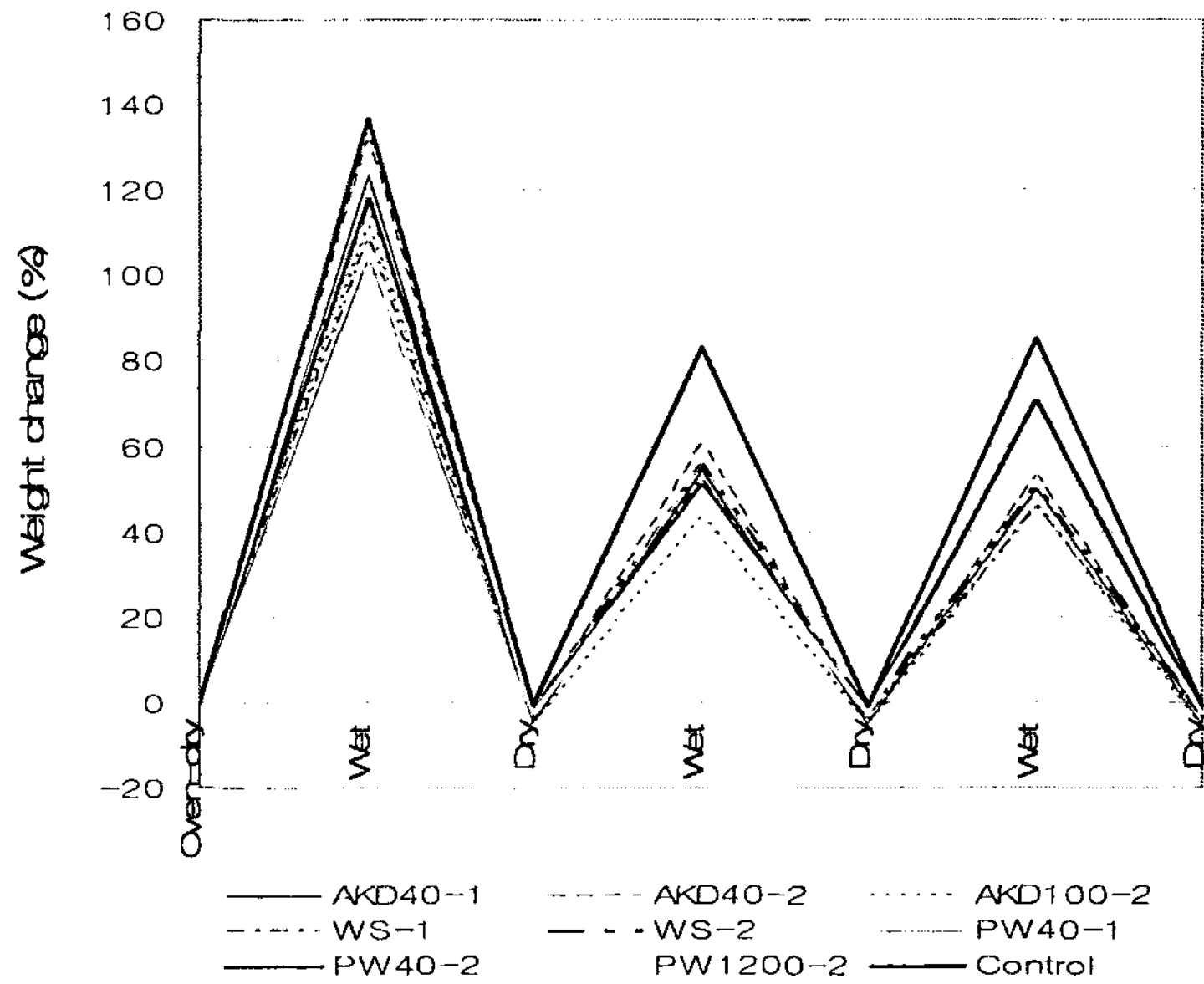


Fig. 6. Weight changes of water-repellent treated pine woods. Notes : Numbers of AKD mean the dilution concentration of emulsion. Dashed numbers mean the impregnation pressure.

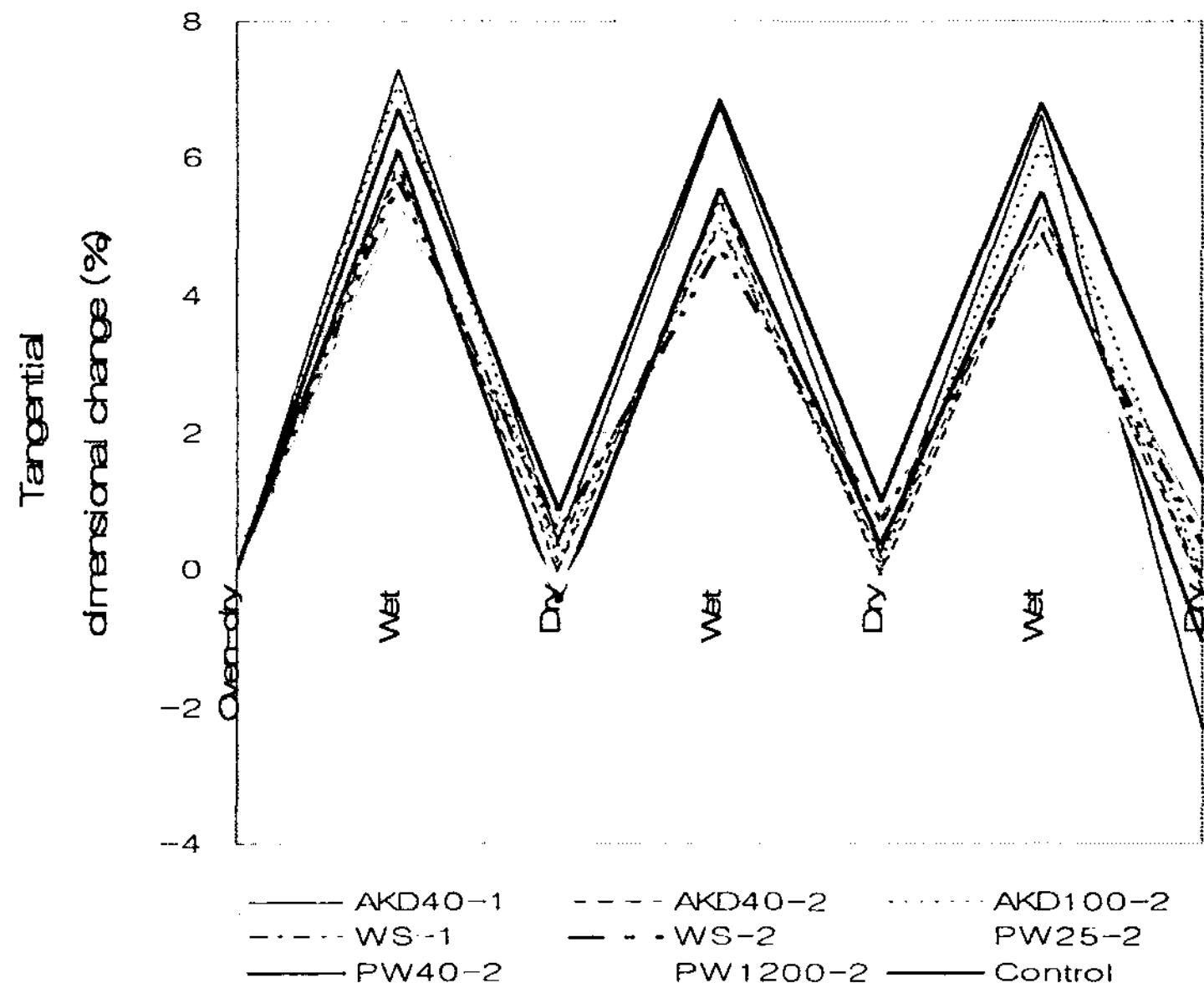


Fig. 7. Tangential dimensional changes of water-repellent treated pine woods. Notes : Numbers of AKD mean the dilution concentration of emulsion. Dashed numbers mean the impregnation pressure.

3.5 건습 반복에 따른 중량변화 및 치수변화

건습반복 실험을 통한 중량변화와 치수변화를 측정하여 발수제의 용탈 및 용탈에 따른 치수 안정효과의 변화를 조사하였다. 3일간 침지 후 1일 건조를 3회 반복하는 가혹한 건습반복 처리에 의해 무처리재는 1% 미만의 중량감소를 보였으나, 처리재는 2.2-6.4%의 용탈량을 나타냈다. ASE가 상대적으로 컸던 WS-2(3.3%), PW40-2(2.2%), PW1200-2(2.4%) 처리재의 용탈량은 다른 처리재에 비해 비교적 적은 편이었다(그림6).

한편 발수제 처리재의 접선방향 치수변화율은 2회 처리까지는 다소 변화율이 적어지는 듯하였으나, 3회 처리 후 변화율이 다시 커지는 경향도 나타났다. 대체적으로 WS와 파라핀왁스 처리재는 AKD 처리재에 비해 건습반복에 따른 치수변화의 폭이 작았다(그림7).

4. 결 론

AKD, WS, 파라핀왁스 등의 발수제를 소나무재에 처리하여 발수제 처리에 따른 목재의 수분 흡수 특성과 치수안정성을 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PW40-2와 WS-2 처리는 발수효과가 커서 표면접촉각을 크게 할뿐만 아니라, 목재 내부로의 수분침투를 매우 효과적으로 차단하여 항흡수능도 크게 나타났다.
2. PW40-2와 WS-2 처리는 수분흡수 억제효과에 의해 높은 항팽윤율을 나타냈으며, WS-2 처리는 상대효율이 가장 우수한 것으로 나타났다.
3. WS-2, PW40-2, PW1200-2 처리재는 매우 혹독한 건습반복 시험에도 불구하고 발수제의 용탈량이 매우 적었으며, 이들 처리재의 치수변화도 상대적으로 작았다.

참고문헌

- Han, G. S. and K. Setoyama. 2000. Chemical Modification of Japanese Cedar with 2-Methacryloyloxyethyl Isocyanate. *Mokchae Konghak*. 28(1): 36-41.
- William, C. F. and E. A. Mraz. 1978. Wood Finishing: Water Repellents and Water-Repellent Preservatives. Res. Note FPL-0124. U.S. Dept. Agri., For. Serv., For. Prod. Lab., p.12.
- William, C. F. 1984. The Role of Water Repellents and Chemicals in Controlling Mildew on Wood Exposed Outdoors. Res. Note FPL-0274. U.S. Dept. Agri., For. Serv., For. Prod. Lab. p.15.
- Williams, R. S. and C. F. William. 1999. Water Repellents and Water-Repellent Preservatives for Wood. Res. Note FPL-GTR-109. U.S. Dept. Agri., For. Serv., For. Prod. Lab. p.14.
- Williams, R. S. 1999. Effect of Water Repellents on Long-term Durability of Millwork Treated with Water-Repellent Preservatives. *For. Prod. J.* 49(2): 52-58.
- Williams, R. S. 2000. Effect of Water Repellent Preservatives and Other Wood Treatments on Restoration and Durability of Millwork. Proc. 97th Annual Meeting of the American Wood-Preservers' Association. pp.84-102.