

탁도에 의한 구리·알킬암모늄화합물계 목재방부제(ACQ)의 농도 예측¹

이종신^{2,†}·김경태²·최광식³

Prediction of Alkaline Copper Quat (ACQ) Wood Preservative Concentration by Turbidity¹

Jong Shin Lee^{2,†} · Kyoung Tae Kim² · Gwang Sik Choi³

요약

균일한 품질의 방부처리 목재 생산을 위해서는 방부약액의 농도관리가 필요하다. 아직까지 목재방부처리 현장에서 농도관리를 위하여 간편하게 방부약액의 농도를 측정할 수 있는 방법은 개발되어 있지 않다. 본 연구에서는 ACQ 목재방부제를 대상으로 비교적 손쉽게 측정할 수 있는 탁도를 이용하여 농도를 예측할 수 있는 방법을 검토하였다. 탁도가 현저하게 작은 알칼리성의 ACQ 약액에 20%의 인산 용액을 첨가하면 백색의 현탁 물질이 생성되며 탁도가 증가한다. 인산 용액의 최적 첨가량은 약액의 탁도가 최고치에 도달하는 pH 7 수준이며, 첨가량이 많아지면 약액의 산성화와 함께 탁도가 급격하게 떨어지고 약액은 투명해진다. ACQ 약액의 농도와 탁도 간에는 정(正)의 상관을 가지며 고도의 유의성이 인정되었다. 농도와 탁도로부터 유도된 회귀방정식을 사용하여 산출한 현장 채취 약액의 예측 농도 값과 적정법으로 측정한 실측 농도 값 간의 농도 차이에는 t 검정 결과, 유의성이 인정되지 않았다. 따라서 탁도와 회귀방정식을 이용하여 ACQ 현장 약액의 농도 관리가 가능할 것으로 예상된다.

ABSTRACT

The concentration control of wood preservatives is necessary to produce a preservative treated wood having a uniform quality. Concentration measurement method of wood preservatives to be easily used in the field has not been developed yet. This study examined the way to estimate the concentration from turbidity of ACQ wood preservative that can be relatively easily measured by using a portable turbidity meter. The addition of phosphoric acid solution in an alkaline ACQ solution having a very low turbidity is created a suspension of the white substance and the turbidity suddenly increased. The optimum amount of addition of the phosphoric acid solution is until the pH of ACQ solution

¹ Date Received August 2, 2016, Date Accepted September 4, 2016

² 충남대학교 환경소재공학과. Department of Biobased Materials, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

³ 충남대학교 농업과학연구소. Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 이종신(e-mail: lee_js@cnu.ac.kr)

reaches 7, the turbidity of the ACQ solution reaches maximum value. Excessive addition of the phosphoric acid solution results in a turbidity decrease with acidification of the ACQ solution. Also ACQ solution becomes transparent. The high significance was recognized with positive correlation between the concentration and the turbidity of the ACQ solution. From the *t*-test, The significant difference between the actually measured concentrations and the concentrations predicted by the regression equation for industrial ACQ solutions was not recognized. Thus, it was possible to know that concentration prediction and control of industrial ACQ solution using the turbidity and a regression equation. Therefore, using the regression equation and turbidity is expected to be able to management the concentration of ACQ solution in the industrial field.

Keywords : alkaline copper quaternary wood preservatives, turbidity, concentration, phosphoric acid

1. 서 론

목재의 방부처리 효과를 기대하기 위해서는 목재의 사용 환경에 맞게 방부제의 침투가 이루어져야 한다. 국립산림과학원 고시(제2015-8호) 부속서 2 (방부목재)와 각 관련 KS규격에서는 목재의 사용환경 범주별로 목재방부제 종류마다 적합한 방부제의 침윤도 및 흡수량을 규정하고 있다. 이들 규정에 맞는 제품을 생산하기 위해서는 방부처리 현장에서 방부약액의 농도관리가 무엇보다 중요하다. 그러나 약액의 농도 관리를 위한 농도 측정은 전문기관에 의뢰하여 고성능액체크로마토그래프(High performance liquid chromatograph, HPLC)나 유도결합플라즈마분광기(Inductively coupled plasma spectrometer, ICP) 등 고가의 정밀 분석 장비를 이용하는 방법 이외에 간편하게 현장에서 확인할 수 있는 기술은 개발되어 있지 않다. 한편, 고가의 첨단분석 장비를 사용하지 않고 실험실에서 구리·알킬암모늄화합물계(alkaline copper quaternary, ACQ) 목재방부제의 농도를 측정할 수 있는 방법으로 미국보존자협회(American wood protection association, AWP)A 규격의 적정법(AWPA A2-09, A17-09)이 있으나, 이 또한 복잡한 전처리 과정과 숙련된 측정 기술이 요구되기 때문에 방부처리 목재 생산 현장에서 편리하고 간편하게 활용하기에는 어려움이 있다. 이러한 이유 때문에 현재 국내 방부처리 목재 생산현장에서는 현장 작업자에 의해 목재의 방부 처리량 및 방부처리 후 회수되는 약액(회수액)의 양에 따라 원액을 희석한 희석액을 일정량 첨가하는 방식의 경험적인

방법에 의해 농도관리를 해 오고 있어 균질한 품질의 방부처리 목재를 생산하는데 한계가 있다.

적정법에 의해 ACQ 목재방부제의 유효성분인 didecyldimethylammonium chloride (이하 DDAC라 칭함)의 농도를 측정하는 과정에서 ACQ 약액에 인산을 첨가하게 되면 맑고 투명한 청색의 약액이 중성에 가까워지면서 하늘색으로 변하며 탁해지는 현상을 보이다가 정치해두면 백색의 침전물이 생성되는 현상을 확인할 수 있다. 이것은 알칼리성의 약액과 첨가하는 인산 간의 중화반응에 의해 생성되는 염으로 약액에 함유되어 있는 유효성분과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

탁도 측정은 일찍이 수질관리 분야에서 수질을 평가하는데 널리 사용되어 온 방법으로 우리나라에서도 음용수의 수질 기준을 탁도로 규정하고 있다(1 NTU 이하). 탁도는 물의 탁한 정도를 표시하는 것으로 여러 가지 부유물질에 의해 발생되며, 탁도는 용액 중에 부유하는 현탁 물질의 농도와 높은 상관관계를 가지는 것으로 보고되고 있다(Hannouche 등, 2011; Holliday 등, 2003; Minella 등, 2008; Pavanelli 와 Bigi, 2005). 탁도 측정방법 중에서 표면산란광 측정방법은 시료에 조사된 광원이 시료 중의 입자에 부딪쳐 산란되는 산란광을 측정하는 방법으로 산란광의 강도는 액중의 현탁 물질의 농도에 비례한다. 따라서 전술한 바와 같이 인산 첨가에 의해 ACQ 약액 중에 생성되는 부유물질은 약액 중의 유효성분의 농도와 비례 관계를 나타낼 것으로 생각되며, 이 관계가 명확하게 밝혀지면 휴대용 탁도계에 의한 ACQ 약액의 농도 측정을 목재방부처리 현장에서 간편하

게 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 ACQ 원액과 목재방부처리 산업현장에서 채취한 방부처리 후 회수액을 대상으로 약액의 유효성분 농도와 탁도의 관계를 밝히고 탁도를 이용한 ACQ 방부약액의 농도 측정 가능성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

국내 목재방부제 사용량의 90% 이상을 점하고 있는 구리·알킬암모늄화합물계 목재방부제(이하 ACQ-2로 칭함)를 D사로부터 원액을 분양받아 사용하였으며, 원액의 농도와 pH는 각각 13.5 wt%와 12.5로 국내에서 조제한 약제이다. 원액의 유효성분 함유 비율은 각각 구리화합물(CuO로써)이 8.8 wt% (함유 백분율 69 wt%), DDAC가 4.7 wt% (함유 백분율 31 wt%) 함유되어 있어 KS M 1701 (목재방부제)에서 규정하고 있는 ACQ-2호 품질 규정(구리화합물, CuO로써 62~71 wt%, DDAC 29~38 wt%)에 적합한 품질을 가지고 있었다. 또한 목재 방부처리 현장 약액으로 인천에 소재한 S사와 D사의 목재방부처리 공정라인에서 채취한 농도 불명의 ACQ-2호 회수액(이하 방부공정 현장 회수액이라 칭함)을 탁도를 이용한 약액의 농도 예측에 사용하였다. 이들 회수액의 pH를 측정된 결과, S사와 D사의 회수액 모두 10.2~10.6의 범위를 나타내 pH에 큰 차이는 보이지 않았다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 약액의 조제와 준비

D사로부터 분양받은 ACQ-2호 원액을 증류수를 사용하여 10배(농도 1.35 wt%), 20배(농도 0.68 wt%), 25배(농도 0.54 wt%)로 각각 희석한 희석액(이하 원액 희석액이라 칭함)을 조제하였다. 여기서 원액의 최고 희석 배율을 25배까지 한 것은 ACQ 목

재 방부처리 현장에서 목재사용환경범주 H3등급의 약제 흡수량을 갖는 방부목 제품 생산을 위해 희석하는 비율을 적용한 것이다. 이들 원액 희석액은 인산용액 처리와 무처리 간의 탁도 차이와 함께 pH와 탁도 간의 관계를 조사하는데 사용하였다. 한편, 희석액의 농도와 탁도 간의 상관관계를 조사하기 위해서 농도를 최고 1.0 wt%부터 최저 0.1 wt%까지 0.05 wt%의 차이를 두고 희석한 총 19종의 원액 희석액을 준비하였다. 목재방부처리 현장에서 채취한 미지의 농도를 가진 방부공정 현장 회수액은 희석하지 않고 그대로 농도와 탁도 측정에 사용하였다.

2.2.2. 약액의 농도 측정

목재방부처리 현장에서 채취하여 유효성분의 농도를 알 수 없는 방부공정 현장 회수액의 농도 측정은 AWPA에서 규정하고 있는 적정법(Cu; AWPA A2-11, DDAC; AWPA A17-09)에 의하여 수행하였다. 방부공정 현장 회수액의 시료 채취 수는 S사와 D사 모두 각각 5점씩 총 10점이며, 시료 채취일과 시간을 모두 달리하여 각각 500 ml씩 채취하여 실험에 사용하였다.

2.2.3. 약액의 탁도 측정

ACQ-2호 원액을 희석하여 조제한 원액 희석액과 방부처리 현장에서 채취한 방부공정 현장 회수액을 대상으로 탁도를 측정하였다. 탁도 측정에 앞서 약액의 전처리를 실시하였으며, 전처리는 AWPA A17-09의 적정법에 의한 DDAC 농도 측정방법을 준용하였다. 그 전처리 방법은 준비된 원액 희석액 또는 방부공정 현장 회수액으로부터 시료 2 g을 취한 후 증류수 25 ml를 첨가하여 희석한 다음 여기에 농도 20 wt%로 조제한 인산용액을 서서히 첨가하며 균질하게 혼합하여 pH 7이 되도록 하였다. 이와 같이 전처리를 마친 원액 희석액 또는 방부공정 현장 회수액으로부터 15 ml를 채취하여 휴대용 탁도계(HACH, 2100Q)의 측정 셀에 넣고 충분히 흔들어서 생성된 부유물질을 균일하게 분산시킨 다음 탁도를 측정하였다.

Table 1. Difference of turbidity (NTU) in before and after adding phosphoric acid in pre-treatment process of ACQ preservative solution for turbidity measurement

Phosphoric acid treatment		Concentrations of ACQ solution (wt%)			
		13.5	1.35	0.68	0.54
Untreated	pH	10.7	10.5	10.4	10.4
	turbidity	1.37 ± 0.02	1.06 ± 0.04	0.66 ± 0.08	0.61 ± 0.07
Treated	pH	7.0	7.0	7.0	7.0
	turbidity	6,897.8 ± 118.9	564.8 ± 4.0	256.6 ± 7.7	212.4 ± 8.4

3. 결과 및 고찰

3.1. ACQ 약액의 인산용액 처리와 탁도의 변화

탁도는 물의 흐린 정도를 정량적으로 나타낸 지표로서 빛의 통과에 대한 저항도를 말한다. 빛이 순수한 물을 통과할 때, 빛은 상대적으로 방해받지 않는 경로를 따라 이동한다. 그러나 액체 중에 부유물이 존재하면, 부유 입자에 의해 빛이 산란하게 되며 산란되는 산란광을 광원과 90° 각도에서 측정한다. 이때 산란광의 강도는 액중 현탁물질의 농도에 비례하며, 이 원리를 이용하는 방식이 표면산란광 측정방법으로 현재 광범위하게 사용되는 방식이다.

ACQ 원액을 증류수로 희석하여 일정 농도로 조제한 4가지 종류(농도 13.5, 1.35, 0.68, 0.54 wt%)의 원액 희석액에 대하여 인산 처리(pH 7로 조정) 유무에 따른 탁도의 차이를 조사하여 Table 1에 나타냈다. 먼저 전처리하는 과정에서 인산 처리하기 전의 원액 희석액의 pH를 측정한 결과, 10.4에서 10.7 범위를 보였다. 참고로 희석하기 전의 ACQ 원액의 pH는 12.5로 강알칼리성을 띠고 있었다. 인산처리하기 전의 이들 원액 희석액의 탁도는 0.61 ~ 1.37 NTU로 매우 낮은 값을 보였으며, 농도가 낮아질수록 그 차이는 미미하지만 탁도도 약간 작아지는 경향을 보였다. 동일한 원액 희석액에 인산용액을 서서히 첨가하며 pH를 7.0으로 맞춘 후에 탁도를 측정한 결과, 탁도는 최저 212.4 NTU에서 최고 6,897.8 NTU로 급격하게 증가하였다. 이것은 알칼리성을 띠는 약액에 산을 첨가함으로써 중화반응이 일어나며 염이 생

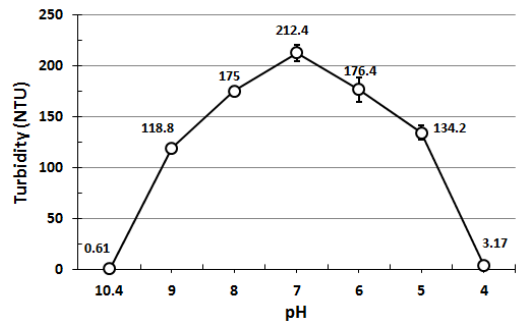


Fig. 1. Changes of turbidity in 0.54 wt% ACQ solution under addition of phosphoric acid solution.

성되어 이들 염이 탁도의 증가 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 한편, 높은 농도를 가진 원액 희석액이 낮은 농도의 원액 희석액에 비하여 높은 탁도 값을 보임으로써 염의 생성량이 많았음을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 인산 첨가에 의해 생성된 염은 원액 희석액에 함유되어 있던 유효성분(구리화합물과 DDAC)의 반응 생성물인 것으로 판단되나 이를 명확하게 밝히기 위해서는 추가적인 생성물에 대한 정성분석이 필요하다.

인산 첨가에 따른 ACQ 약액의 탁도 변화 경향을 보다 명확하게 밝히기 위하여 농도 0.54 wt% (25배 희석)로 희석한 원액 희석액을 대상으로 일정량의 인산 용액을 첨가하며 일정 pH에 도달했을 때의 탁도를 측정하여 탁도와 pH 간의 관계를 조사하였다 (Fig. 1). 인산용액 첨가량의 증가와 함께 원액 희석액의 pH가 알칼리성에서 산성 쪽으로 변화함에 따라 탁도에서도 변화가 나타났다. pH가 10.4에서 9까지

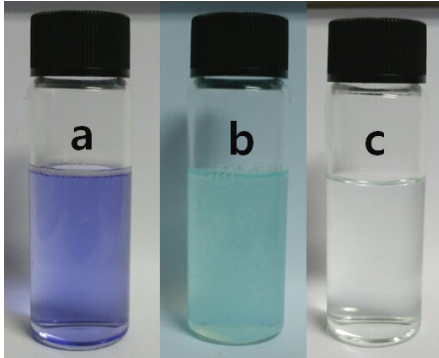


Fig. 2. Changes of color and turbidity in 0.54 wt% ACQ solution under addition of phosphoric acid solution (a: pH 10.4, b: pH 7.0 c: pH 4.0).

저하하는 초기 단계에서 탁도 값이 급격하게 증가하는 경향을 보였으며, 이후 서서히 증가하다가 pH 7인 중성 상태에서 최대치에 이르렀다. pH 7를 기점으로 인산용액의 첨가량이 증가하여 원액 희석액이 산성 쪽으로 변화하자 탁도는 감소하기 시작하였으며, pH 5에서 4구간에서 탁도는 급격하게 떨어지는 경향을 보였다. 인산용액 첨가와 함께 pH와 탁도 변화를 조사하는 과정에서 관찰된 원액 희석액의 색상과 탁한 상태의 변화를 Fig. 2에 나타냈다. 인산을 첨가하기 전의 원액 희석액(pH 10.4, 탁도 평균 0.61 NTU)은 투명한 청색을 띠고 있었으나 인산을 첨가하자 서서히 백색의 침전물이 생성되며 하늘색 계통으로 변화하였다. 이후 원액 희석액의 색상이 하늘색을 유지하다가 계속하여 인산용액을 첨가하자 pH가 산성 측으로 변화하며 하늘색의 색상이 서서히 사라져 pH 4에 이르러서는 거의 투명한 상태가 되었다. 이러한 원액 희석액에서 발생하는 색상과 탁한 상태의 변화는 Fig. 1에 나타난 pH와 탁도의 관계를 뒷받침한다. 이상과 같이 ACQ의 원액 희석액에서 인산 첨가와 함께 탁도가 증가하다가 pH 7을 전환점으로 해서 다시 감소하는 것은 중화반응과 산 용해 반응의 결과라고 판단된다. 즉, pH 7까지는 중화반응에 의해 염이 생성되어 탁도의 증가 효과를 나타내다가 이어서 중성에서 산성 측으로 이행함에 따라 생성된 염이 용액의 산성화에 의해 용해됨으로써 색

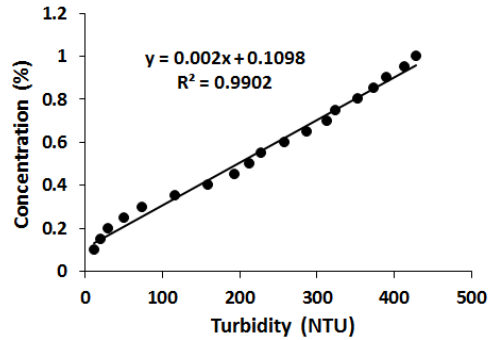


Fig. 3. Relationship between turbidity and active ingredient concentration in ACQ solution.

상이 투명해지고 탁도도 급격하게 감소하는 것으로 생각된다. 용액의 탁도는 그 용액 중에 분산해 있는 입자의 종류와 크기에 영향을 받으며, 특히 입자의 크기가 어느 범위 내에 속할 때 용액의 탁도는 최대치를 나타내고, 그 전후에서는 저하한다(Oki 등, 1994). 전술한 ACQ 원액 희석액에서 나타난 용액의 pH와 탁도의 관계를 보다 명확하게 밝히기 위해서는 생성된 물질의 종류와 함께 입자 크기에 대한 추가적인 조사가 필요하다.

3.2. ACQ 약액의 농도와 탁도의 상관관계

농도 13.5 wt%의 ACQ의 원액을 사용하여 농도 1.0 wt%부터 0.1 wt%까지 0.05 wt%의 차이를 두고 희석하여 조제한 총 19종의 원액 희석액에 대하여 농도 20 wt% 인산용액을 pH가 7.0이 될 때까지 서서히 첨가한 후에 원액 희석액의 농도 별로 탁도를 조사하였다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 원액 희석액의 탁도와 농도 간에는 매우 강한 상관관계를 가지며, 희석액 중에 함유되어 있는 유효성분의 농도가 증가하면 탁도도 증가하는 정(正)의 상관이 있는 것으로 나타났다. 또한 상관계수($r = 0.99507$)에 대하여 유의수준을 조사한 결과, 1% 수준(0.575)보다 큰 값으로 고도의 유의성이 인정되었다. Fig. 3에서 얻어진 회귀식, $y = 0.002x + 0.1098$ 에서 y 는 농도, x 는 탁도를 각각 나타내며, 회귀식 적합도의 척도가 되는 결

Table 2. Concentrations calculated by regression equation derived from correlation between concentration and turbidity of ACQ solution

Collected ACQ solutions from industry		Turbidity (NTU)	Concentrations (%)		
Manufacturer	Sample No.		Calculated values ¹⁾ (A)	Determined values ²⁾ (B)	<i>t</i> -test
S	1	161.2	0.43	0.50	0.56
	2	170.1	0.45	0.52	
	3	176.4	0.46	0.47	
	4	213.2	0.54	0.57	
	5	436.6	0.98	1.45	
D	1	9.3	0.13	0.05	0.67
	2	18.0	0.15	0.10	
	3	22.7	0.16	0.15	
	4	33.7	0.18	0.19	
	5	46.0	0.20	0.25	

¹⁾ Concentrations calculated by regression equation ($y = 0.002x + 0.1098$)

²⁾ Concentrations determined by titration (AWPA A2-09 and A17-09)

정 계수 R^2 는 0.9902로 거의 1에 가깝기 때문에 회귀식의 적합도는 매우 높다고 할 수 있다. 따라서 이와 같은 결과로부터 목재방부처리 현장에서 간편하게 ACQ 약액의 탁도를 측정된 후 상기 회귀식을 적용하여 ACQ 약액의 농도를 예측함으로써 손쉽게 약액의 농도 관리가 가능할 것으로 예상되며, 또한 균일한 품질의 방부목 생산에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3. 방부공정 현장 회수액의 농도 예측

목재방부처리 현장의 공정라인에서 임의로 채취한 농도 미지의 현장 회수액의 탁도를 측정된 후 상관관계 분석으로부터 얻어진 회귀식을 이용하여 산출한 농도 예측 값과 실제 적정법에 의해 측정된 농도를 Table 2에 나타냈다. 예측 값과 실측 값 간의 농도를 비교하면 회귀식을 이용하여 예측한 농도 값이 실측 값에 비하여 다소 낮은 값을 보였다. 이들 양측 간에 발생하는 농도 차이에 대한 유의성 여부를 조사하기 위하여 *t* 검정을 실시하였다. 그 결과 S사와 D사에서 채집한 방부공정 현장 회수액의 예측 농도

값과 실측 농도 값 간에 *t* 값이 각각 0.56과 0.67로 나타나 *t* 분포표의 5% 수준의 *t* 값(2.776)보다 작아 두 농도 값 차이에는 유의성이 인정되지 않았다. 따라서 ACQ 약액의 농도와 탁도 간의 상관관계로부터 유도된 회귀식을 사용하여 간편하게 현장 약액의 탁도를 측정된 후 이들 탁도 값으로부터 농도를 예측하는 방법으로 현장 약액의 농도 관리가 가능하다는 것을 의미한다.

한편, S사의 5번 시료의 경우, *t* 검정에서는 유의성이 인정되지 않았으나 예측 농도 값과 실측 농도 값 간에 다른 시료에 비하여 큰 차이를 보였다. 이러한 결과로부터 탁도를 이용하여 예측 가능한 농도 상한치의 유무와 함께 일정 농도 이상의 고농도 시료의 경우 희석처리 후 탁도 측정에 의한 농도 예측 방법을 추가적으로 조사할 필요가 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

균일한 품질의 ACQ 방부처리 목재 생산에 반드시 필요한 산업 현장에서의 간편한 방부처리 약액의

농도 관리 방법을 개발하기 위하여 농도에 비하여 비교적 측정 방법이 손쉬운 탁도의 이용 가능성을 검토하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 알칼리성인 ACQ 약액에 20%의 인산 용액을 첨가하면 백색의 현탁 물질이 생성되어 탁도 증가효과를 얻을 수 있다.
2. 20% 인산 용액의 최적 첨가량은 약액의 탁도가 최고치에 도달하는 pH 7 수준이며, 이를 초과하게 되면 약액의 산성화와 함께 약액이 투명해지고 탁도가 급격하게 감소한다.
3. ACQ 약액의 농도와 탁도 간에는 정(正)의 상관 관계를 가지며 고도의 유의성이 인정되고 얻어진 회귀식의 결정계수는 1에 근접하여 높은 적합도를 보인다.
4. 방부처리 현장에서 임의로 채취한 ACQ 약액에서 회귀식에 의해 예측한 농도와 실측한 농도 간의 차이에 유의성이 인정되지 않으므로 현장의 ACQ 약액의 농도 측정과 관리에 탁도의 활용 가능성은 매우 높다.

사 사

이 연구는 2014년도 충남대학교 학술연구비(CNU 학술연구과제)에 의해 지원되었음.

REFERENCES

- American wood protection association (AWPA). 2010. Standard methods for analysis of waterborne preservatives and fire-retardant formulations. A2-09. AWPA. Birmingham. pp. 188.
- American wood protection association (AWPA). 2010. Standard for determination of didecyldimethylammonium chloride in ACQ solutions. A17-09. AWPA. Birmingham. pp. 247.
- Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., Lemaire, J., Joannis, C. 2011. Relationship between turbidity and total suspended solids concentration within a combined sewer system. *Water Science & Technology*. 64(12): 2445-2452.
- Holliday, C.P., Rasmussen, T.C., Miller, W.P. 2003. Establishing the relationship between turbidity and total suspended sediment concentration. *Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference*.
- Korean industrial standard. 2010. Wood preservatives. KS M 1701. Korean agency for technology and standards.
- Minella, J.P.G., Merten, G.H., Reichert, J.M., Clarke, R.T. 2008. Estimation suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem. *Hydrological Process*. 22: 1819-1830.
- Notification of national institute of forest science. 2015. Specifications and quality standards of wood products (2015-8). preservative treated wood (annex 2). National institute of forest science.
- Michinori, O., Toshiyaki, O., Gynji, T., Hideko, C. 1994. *Kagakujiten*. pp. 1014. Kabushikikaisya Tokyokagakudoujin. Tokyo.
- Pavanelli, D., Bigi, A. 2005. Indirect methods of estimate suspended sediment concentration: Reliability and relationship of turbidity and settleable solids. *Biosystems Engineering*. 90(1): 75-83.