

pH와 첨가제에 의한 이산화염소의 분해율 및 펄프 표백 효과(2)

- 첨가제가 chlorate 생성량의 감소와 펄프 표백 효과에 미치는 영향 -

尹炳虎[†]·王立軍

Pulp Bleaching Effect and Ionization Rate of Chlorine Dioxide by Additives and Various pH Conditions (II)

- Effects of Additives on Chlorate Reduction and
Bleachability of ClO₂ Bleaching -

Byung-Ho Yoon[†] and Li-Jun Wang

ABSTRACT

In ClO₂ delignification and bleaching process, formation of chlorate corresponds to a loss of 20-36% of the original ClO₂ charge.¹⁾ Because chlorate is inactive and harmful to environmental, it will be of benefit to find methods that can reduce the formation of chlorate during chlorine dioxide bleaching.

Chlorate is mainly formed by the reaction $\text{HClO} + \text{ClO}_2^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{ClO}_3^-$.²⁾ On the other hand, AOX in chlorine dioxide bleaching is formed also due to the in-situ produced hypochlorous acid. Thus both AOX and chlorate could be reduced by addition of scavengers of hypochlorous acid. Some papers on the reduction of AOX by additives appeared,³⁻⁶⁾ but systematic data on chlorate reduction as well as pulp and effluent properties are not available. Thus this paper focused on the effects on the reduction of chlorate and chlorine dioxide bleachability.

The additives, sulfamic acid, DMSO, hydrogen peroxide, oxalic acid were found to eliminate chlorine selectively in chlorine and chlorine dioxide mixture. However, when they were added to bleaching process, sulfamic acid and DMSO showed significant reduction of chlorate formation but hydrogen peroxide and oxalic acid did not, and significant amount of hydrogen peroxide was found resided in the bleaching effluent. In addition, sulfamic acid and DMSO decreased the bleaching end pH values while hydrogen peroxide and oxalic acid did not, which also indicated that hydrogen peroxide and oxalic acid were ineffective. The difference

• 본 연구는 '98년도 한국과학재단 연구비에 의해 수행된 것의 일부임.

• 강원대학교 제지공학과.

† 주저자(Corresponding author): e-mail: bhyoon@cc.kangwon.ac.kr

might be ascribed to the competitive reactions of hypochlorous acid with lignin, chlorite (ClO_2^-) and additives.

Sulfamic acid and DMSO showed better pulp brightness development but less alkaline extraction efficiency than hydrogen peroxide, oxalic acid and control, which means that in-situ hypochlorous acid contributes to the formation of new chromophore structures that can be easily eliminated by alkaline extraction.

DMSO decreased the delignification ability of chlorine dioxide due to the elimination of hypochlorous acid, but sulfamic acid did not because the chlorinated sulfamic acid had stable bleachability. In addition, sulfamic acid, and DMSO showed decreased color and COD of bleaching effluents, hydrogen peroxide decreased effluent color but not COD content, and oxalic acid had no statistically significant effects. No significant decreases of pulp viscosity were found except for hydrogen peroxide.

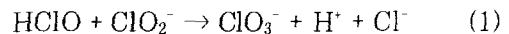
Based on our results, we suggest that the effectiveness of hydrogen peroxide on the reduction of AOX in literature⁷⁾ might be explained by other mechanisms not due to the elimination of hypochlorous acid, but to the direct decomposition of AOX by hydrogen peroxide.

1. 서론

현재 화학 펄프 표백에 있어서 ECF (Elemental Chlorine Free) 표백, 즉 무염소 표백(無鹽素漂白)은 가장 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히 이산화염소 표백 단계에서 배출되는 유기염소화합물에 대한 재인식에 따라 이산화염소 표백 단계에서 생성되는 AOX의 조성과 성질은 염소 단계에서 생성되는 것과 크게 다르며 자연계에 기존의 AOX의 성질과 유사하고 생분해성이 좋다는 것으로 알려진다.⁸⁻¹⁵⁾ 그러나 ECF 표백에 있어서 이산화염소의 사용은 아직 한 가지 문제가 남아 있다. 즉 표백시 이산화염소의 이온화에 의해서 아염소산이온(chlorite)과 염소산이온(chlorate) 등이 생성되는데 아염소산이온은 낮은 pH에서 펄프와 계속 반응할 수 있지만 염소산 이온은 표백의 전 pH 영역에서 리그닌과 반응하지 않는다. 표백 과정에서 생성되는 염소산이온의 양은 20-36%의 이산화염소의 양에 해당된다.¹⁾ 따라서 염소산염의 생성은 이산화염소의 산화력을 감소시켜 표백 효과를 저하시키는 큰 원인이 된다. 또한 염소산 이온은 선택성이 없는 제조제의 효과가 갖고 있고 어떤 어군(魚群)에도 해로운 영향이 있기 때문에 환경의 측면에서도 대단히 불리한 것이다. 따라서 이산화염소 표백 단계에서 염소산이온 생성의 억제나 감소에 대한 연구가 필요하다.

현재로는 염소산이온이 주로 차아염소산(HClO)과 아염소산이온의 반응에 의하여 생성되

는 것으로 알려져 있다.²⁾ 즉,



여기서 HClO 는 이산화염소 표백 과정에서 생성되는 중간체이다. 이 중간체는 또한 이산화염소 표백 단계에서 AOX가 생성되는 주요한 원인이다. 따라서 표백 과정에서 차아염소산을 포착할 수 있는 첨가제를 사용하여 AOX와 염소산이온의 생성량을 모두 줄일 수 있다고 판단될 수 있다. 첨가제의 사용에 의한 AOX의 감소에 대한 논문은 몇 가지 발표되어 있는데 이때 첨가제로서는 설판산(sulfamic acid, $\text{H}_2\text{NSO}_3\text{H}$), Dimethyl sulfoxide(DMSO, $(\text{CH}_3)_2\text{SO}$) 및 과산화수소(H_2O_2) 등을 들 수 있다. 절건 펄프에 대한 1%의 설판산, 과산화수소 및 DMSO의 첨가에 따라 AOX는 각각 22%, 14% 및 40%를 줄일 수 있었다.³⁻⁶⁾ 그러나 첨가제가 염소산이온의 생성량 및 펄프 표백 효과에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 설판산, DMSO, 과산화수소 및 수산(oxalic acid, HOCCOOH) 등 첨가제를 이용하여 그들이 염소산이온의 생성량과 펄프 표백 효과에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

함수율이 84.59%, 카파값 17.6, 백색도 41.0% ISO로 된 미표백 Kraft 펄프(동해 펄프

Table 1. DoE Bleaching conditions

	Do단	E단
표백제 첨가량	0.15 kappa factor	0.7% O.D. pulp
반응온도(°C)	60	70
반응시간(min)	60	60
펄프 농도(%)	3	3
End pH	1.7 ~ 2.0	11

(주)를 사용하고 DoE인 두 단계를 Table 1과 같은 조건하에서 실행했다. 이때 첨가제는 0.296 M의 수용액을 만들어 이산화염소와 같은 몰비(mole ratio)로 첨가되었다. 표백한 후 폐액을 수집하고 25℃를 유지하면서 pH를 측정했다.

염소, 이산화염소, 과산화수소 등 용액의 농도와 잔존 표백제 등의 산화력은 CPPA standard J. 14P를 참고하여 iodometry 방법으로 측정했다. 본 시험에서 사용한 이산화염소의 수용액에서는 5%의 활성 염소에 해당하는 염소가 포함되어 있었다.

백색도 측정은 Tappi Standard T 205 om-88에 의해서 평량 60 g/m²의 수초지를 제조한 후 Tappi Standard T 452 om-87을 참고하고 Datacolor International사의 Elrepho 3300을 사용하여 측정했다.

카파값 및 펄프 점도는 각각 Tappi Standard T 236 cm-85와 T 230 om-89에 의거하여 측정했다.

염소산이온의 측정은 Tappi standard T-700 om-93에 의거하여 Dionex-500 ion chromatography를 이용해서 측정했다.

폐액의 색도와 COD는 각각 CPPA standard H. 5P와 H. 3P에 의거하여 측정했다.

첨가제의 처리는 각각 5번을 중복했다. 데이터 분석은 SAS(Strategy Application System) 통계 패키지의 GLM procedure를 이용하여 5%의 유의 수준(level of significance)에서 첨가제들의 효과를 서로 비교하여 분석했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 첨가제와 염소(차아염소산)의 반응

설파산, DMSO, 수산 및 과산화수소 등 첨가제와 염소(차아염소산)의 반응성은 Table 2에서 나타났다.

설파산의 첨가량에 따라 염소 수용액의 산화력이 거의 떨어지지 않은 것으로 나타났다. 이는 설파산이 염소와 반응하지 않는 것같이 보이지만 실은 반응 2에 의해 생성되는 염소화설파산(HCINSO₃H)이 산화력이 남아 있기 때문이다. 염소화설파산이 산화력을 갖고 있는 것은 Ni. Y의 연구에서도 언급한 바가 있었고⁶⁾ 다음 3.3절에서 폐액의 잔존 산화력에 대한 조사에 통해서도 알 수 있을 것이다.

DMSO와 수산의 처리에 의해 염소나 차아염소산이 거의 완전히 제거될 수 있는 것을 알 수 있다.

과산화수소의 처리에 의해 염소나 차아염소산이 제거될 수 있는데 과산화수소 자신이 산화력을 갖고 있기 때문에 과량으로 첨가될 때는 잔존 산화력이 다시 증가하는 추세를 볼 수 있었다.

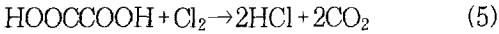
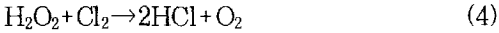
위 첨가제들과 염소 수용액의 반응은 각각 다음과 같이 표시할 수 있다.³⁻⁶⁾



Table 2. Data illustrating the reactivity of additives with chlorine or hypochlorous acid

Sulfamic Acid 첨가량(mmol)	0.00	0.51	1.03	1.54	2.06
Residual OXE(mmol)	1.29	1.25	1.21	1.22	1.21
DMSO 첨가량(mmol)	0.00	0.32	0.64	0.96	1.28
Residual OXE(mmol)	1.69	0.95	0.36	0.00	0.00
H ₂ O ₂ 첨가량(mmol)	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00
Residual OXE(mmol)	2.13	0.81	0.13	0.34	0.42
Oxalic Acid 첨가량(mmol)	0.00	0.06	0.12	0.24	0.47
Residual OXE(mmol)	3.10	1.67	1.12	0.28	0.02

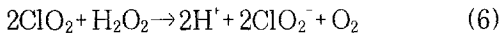
Note 1: Additive solutions and chlorine solutions were mixed at 25°C for 10 minutes and the residual oxidation equivalent (OXE) was measured by iodometry method.



3.2 첨가제와 이산화염소의 반응

첨가제를 첨가함으로 염소나 차아염소산을 제거하는 것은 염소산이온 감소의 면에서 보면 바람직한 것이지만 만약에 이런 첨가제들이 이산화염소와도 반응하면 이산화염소의 탈리그닌 및 표백 효과가 크게 감소될 것이다. 따라서 첨가제들이 이산화염소와 반응하는지에 대해서 검토해야 한다.

Fig. 1은 여러 pH 조건에서 과산화수소와 이산화염소의 반응성을 보여 주고 있다. pH 4 이하에서는 과산화수소와 이산화염소가 반응하지 않은 것으로 나타나는데 pH 4 이상의 경우는 과산화수소와 이산화염소가 반응하게 된다. 이때의 반응식은 다음과 같이 표시될 수 있다.



실제 산성의 표백조건에서 온도의 영향을 고려하지 않으면 과산화수소와 이산화염소가 반응하지 않는다고 할 수 있다.

참고적으로 표백의 산성 조건에서 기타 첨가제인 설파산, DMSO와 수산은 이산화염소와 반응하지 않는 것으로 나타났다.

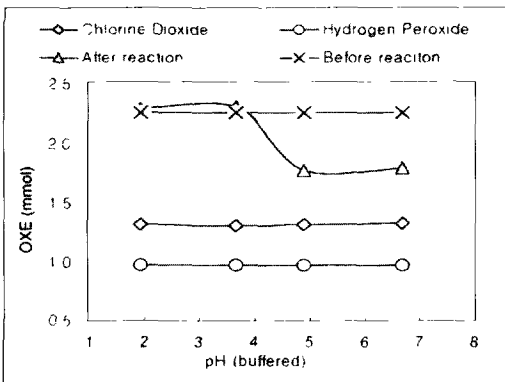


Fig. 1. Reaction of hydrogen peroxide with chlorine dioxide at various pH values at 25°C.

3.3 첨가제가 펄프 표백 효과에 미치는 영향

3.3.1 첨가제가 표백 폐액의 성질(종말 pH, 잔존 산화력, 염소산이온 및 COD)에 미치는 영향

표백 종료시 가장 쉽게 얻을 수 있는 데이터는 종말 pH(end pH)이다. 첨가제의 사용에 따라 Do단의 end pH 값을 비교한 결과는 Fig. 2에서 나타나는 바와 같이 설파산과 DMSO의 첨가는 첨가제를 사용하지 않은 control의 경우보다 end pH를 저하시켰다. 반면에 과산화수소와 수산의 첨가는 end pH에 유의성이 있는 영향을 미치지 않았다. 첨가제가 end pH를 저하시키는 원인은 sulfamic acid의 경우에는 자신이 산이기 때문이고 다른 첨가제의 경우에는 반응식 (3), (4), (5)에 의해서 산이 생성되기 때문이다.

Fig. 2의 결과에 의하면 반응 3은 확실히 일어난다는 것을 판단할 수 있다. 반면에 3.1절에서 토론한 바와 같이 펄프가 존재하지 않을 때 일어나는 반응 4와 5는 펄프가 존재하고 있는 표백 과정에서는 거의 일어나지 않았다. 이에 의하면 과산화수소와 수산이 염소산이온 생성량의 감소에 큰 효과가 없을 것으로 기대할 수 있다.

Fig. 3은 첨가제가 표백 폐액의 잔존 산화력에 미치는 영향을 보여 주고 있다. 설파산과 과산화수소의 경우에만 잔존 산화력이 현저하게 나타났다. 설파산의 경우에는 염소화설파산이 잔존 산화

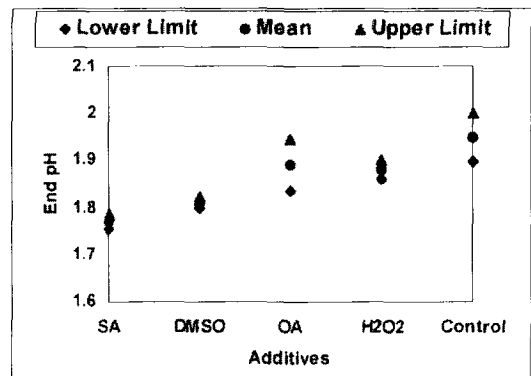


Fig. 2. Effect of additives on the end pH values of Do bleaching (SA: sulfamic acid, OA: oxalic acid).

력을 갖고 있기 때문이고 과산화수소의 경우에는 과산화수소가 많이 남아 있기 때문에 폐액이 잔존 산화력이 있는 것으로 나타났다. 잔존 산화력의 분석에 의해서도 과산화수소가 차아염소산과 크게 반응하지 않았다는 것을 간접적으로 알 수 있었다.

첨가제가 염소산이온의 생성량에 미치는 영향은 Fig. 4에서 나타나는 바와 같이 설판산과 DMSO의 첨가에 의해 염소산이온의 생성이 크게 감소되었다. 반면에 과산화수소와 수산의 경우는 control과 비슷했다. 염소산 이온의 생성은 주로 반응 (1)에 의해서 생성되는 것인데 앞에 언급한 바와 같이 과산화수소와 수산이 표백 과정 중에서 차아염소산을 포착하는 역할이 크지 않기 때문에

염소산이온의 감소에 큰 도움이 되지 않는 것으로 생각한다.

첨가제가 표백 폐액의 색도에 미치는 영향은 Fig. 5에서 보여 준 바와 같이 설판산의 첨가에 의해 폐액의 색도를 크게 감소시켰다. 이는 또한 염소산설판산이 산화력이 남아 있고 리그닌과 반응하는 동시에 폐액 속에 있는 발색구조와 반응할 수 있는 것으로 추정된다. DMSO와 과산화수소도 색도를 감소시켰다. 과산화수소는 폐액 속에 있는 발색구조와도 반응하고 색도를 저하시킬 수 있다. DMSO는 활성 물질인 차아염소산을 포착함에 따라 이산화염소의 탈리그닌 효과를 감소시켜 폐액 속에 용해되는 유기화합물의 양이 감소되기 때문에 색도가 저하된다는 것으로 생각한다.

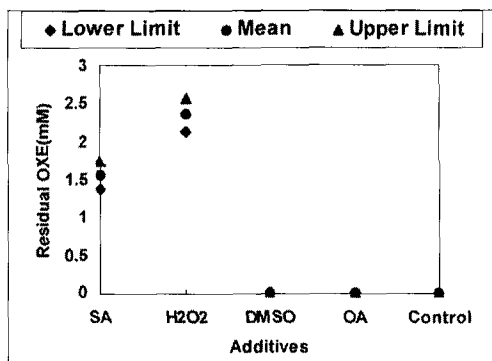


Fig. 3. Effect of additives on the residual oxidation equivalent of bleaching effluent.

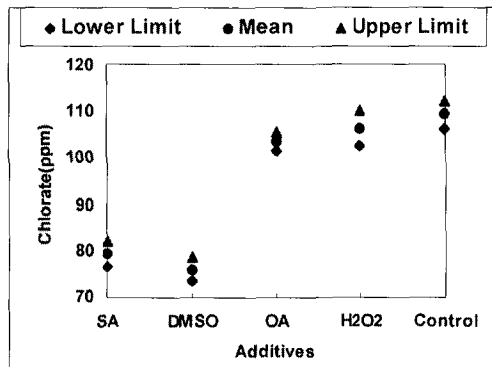


Fig. 4. Effect of additives on the amount of chlorate produced in chlorine dioxide bleaching.

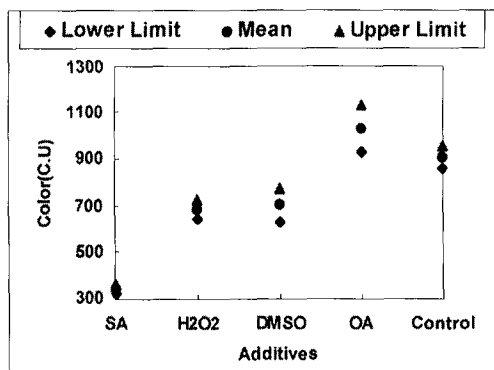


Fig. 5. Effect of additives on the color of chlorine dioxide bleaching effluent.

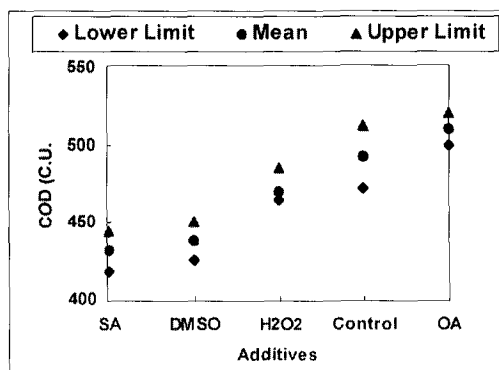


Fig. 6. Effect of additives on the COD of chlorine dioxide bleaching effluent.

그리고 수산의 첨가는 control보다 큰 차이가 없는 것으로 판단될 수 있다

첨가제들 중에서 설판산, DMSO와 수산이 유기화합물이고 그들을 사용함에 따라 폐액의 COD가 증대하는 우려가 있기 때문에 여기서 첨가제가 폐액의 COD에 미치는 영향을 조사했다. Fig. 6에서 나타나는 바와 같이 설판산과 DMSO의 첨가에 의해 COD를 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 이는 DMSO의 경우 control보다 탈리그닌이 덜 진행되기 때문에 COD의 생성도 저하되고 설판산의 경우는 탈리그닌 효과를 저하시키지 않지만 염소화설판산이 폐액 중의 유기성분과 작용해서 COD를 감소시킬 수 있다. 과산화수소와 수산이 COD에 미치는 영향이 control보다 역시 큰 차이가 없었다.

3.3.2 첨가제가 펄프의 성질(탈리그닌 효과, Do Brightness, DoE Brightness, 발색구조의 제거 및 펄프 점도)에 미치는 영향

Fig. 7에서 보여 준 바와 같이 DMSO의 경우 가장 높은 카파값을 나타냈다. 즉, DMSO의 첨가에 따라 이산화염소의 탈리그닌 효과는 저하된다. 반면에 설판산, 과산화수소 및 수산의 첨가는 탈리그닌에 큰 영향을 미치지 않았다. DMSO의 첨가에 따라 탈리그닌 효과가 저하되는 것은 활성 물질인 HClO가 DMSO에 의해 포착되므로 탈리그닌 작용이 없어지기 때문이다. 반면에 설판산의 경우 HClO가 설판산에 의해 포착되지만 생성된

염소화설판산이 산화력을 그대로 유지하기 때문에 탈리그닌 효과가 저하되지 않을 것이다. 한편 과산화수소와 수산의 경우 위에 언급한 바와 같이 차아염소산과 선택적으로 반응하지 않기 때문에 카파값에 큰 영향을 미치지 않는다고 사료된다.

Figs. 8과 9에서 보여 준 바와 같이 설판산 첨가의 경우 Do Brightness와 DoE Brightness가 가장 높게 나타났다. DMSO와 과산화수소의 경우도 control과 수산의 경우보다 백색도가 높았다. 그리고 수산의 경우는 control과 비슷했다.

과산화수소의 경우 백색도가 향상되는 원인은 과산화수소 자신도 산화제이고 발색구조도 반응하기 때문이라고 생각한다.

수산의 첨가가 백색도에 영향을 미치지 않은 것은 앞에 토론한 바와 같이 표백의 조건에서 수산이 HClO과 선택적으로 반응하지 못하기 때문이라고 생각한다.

그러나 DMSO의 경우 HClO과 반응해서 생성되는 DMSO₂가 산화력을 갖고 있지 않아도 백색도를 향상시키는 것은 예기치 않은 것이다. 이는 표백 과정에서 이산화염소로부터 생성되는 차아염소산은 리그닌에 계속 공격하지만 이때 리그닌이 분해되면서 새로운 발색구조가 많이 생성된다는 성질을 갖고 있다고 추정한다. 이런 추정된 HClO의 성질은 설판산을 첨가한 경우에도 존재한다고 사료된다. 또한 반응 (3)에서 생성되는 염소화설판산이 산화력을 갖고 있고 염소화설판산이 폐액 속에 일정 양으로 잔존하는 사실로부터 염소화설판산이 백색도를 향상시킬 수 있는 능력을 갖고 있는 것으로 추정된다.

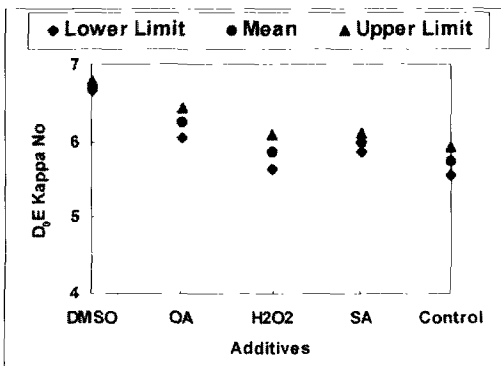


Fig. 7. Effect of additives on the DoE kappa number of DoE bleached pulp.

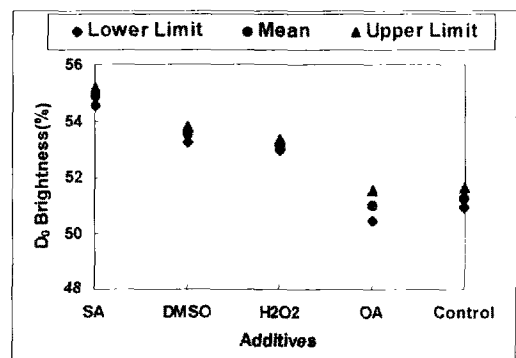


Fig. 8. Effect of additives on Do brightness of chlorine dioxide bleached pulp.

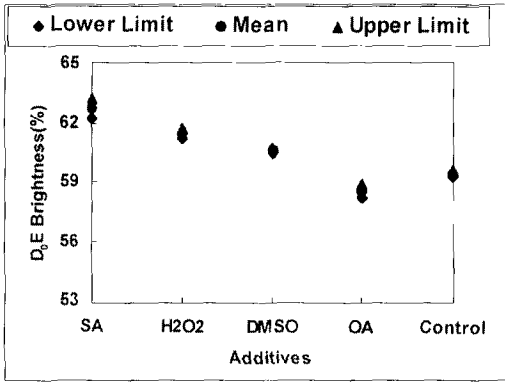


Fig. 9. Effect of additives on DoE brightness of DoE bleached pulp.

상기 Do 단계에서 HClO가 탈리그닌을 축진하지만 새로운 발색구조를 생성시키는 성질을 입증하기 위함과 추출 단계 E의 효과를 보다 자세히 알기 위해서 광흡수계수와 광산란계수의 비율(K/S)의 변화를 계산했다. 광흡수계수(K)는 발색구조의 농도와 정비례관계가 있고 광산란계수는 주로 평량에 의해서 결정된다. 따라서 평량이 약 60 g/m²로 유지할 때 광흡수계수와 광산란계수의 비율인 K/S도 발색구조와 정비례의 관계가 있다.¹⁶⁾ E단의 알칼리 추출에 의해서 발색구조를 제거할 수 있는 양이, 식 (7)과 같이 계산되고 그 결과는 Fig. 10에서 나타났다.

$$\Delta(K/S) = [(1-R_{\infty})^2 / (2R_{\infty})]_{D_{0E}} - [(1-R_{\infty})^2 / (2R_{\infty})]_{D_0} \quad (7)$$

Fig. 10에서 나타난 바와 같이 설판산과 DMSO의 경우 $\Delta(K/S)$ 의 값이 수산, 과산화수소 및 control의 경우보다 낮게 나타났다. 이는 수산, 과산화수소와 control의 경우 차아염소산이 잘 제거되지 않아 차아염소산과 리그닌의 염소화반응(chlorination)에 의해 발색구조가 더 많이 생성되기 때문이라고 사료된다. 또한 염소화된 발색구조의 대부분이 알칼리 추출에 의해서 쉽게 제거될 수 있다고 판단될 수 있다. HClO의 이와 같은 성질과 현상은 Fig. 11에서 보여 주고 있다.

Fig. 12는 첨가제가 펄프의 점도에 미치는 영향을 보여 주고 있다. 설판산, DMSO 및 수산을 첨가하는 경우에는 펄프의 점도가 control과 비슷

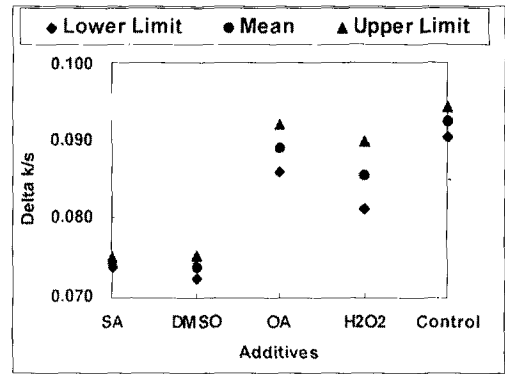


Fig. 10. Effect of additives on chromophore removal efficiency of alkaline extraction.

하고 과산화수소를 첨가하는 경우에만 점도가 저하되었다. 여기서 과산화수소가 산성 조건에서 펄프의 점도를 저하시키는 것은 잘 알려진 사실이다. 수산의 효과가 없는 것은 앞에 설명한 바와 같다. 그러나 설판산과 DMSO의 경우에는 점도 저하의 주원인이 된 차아염소산을 포착함에 따라 점도가 향상되어야 하는데 반응식 (2), (3)에 의해서 산이 생성되기 때문에 산에 의해서 점도를 저하시키는 역할을 고려해야 된다고 사료된다.

앞에서 언급한 바와 같이 과산화수소와 수산이 펄프가 존재하지 않은 염소 수용액에서는 염소나 차아염소산을 잘 제거할 수 있는데 표백 과정에서

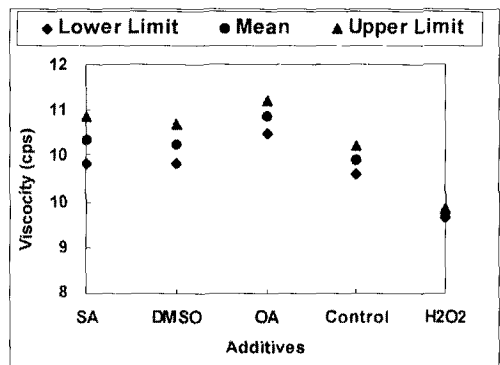


Fig. 11. Illustration that HClO leads to the production of chlorinated chromophore structures which can be eliminated by alkaline extraction.

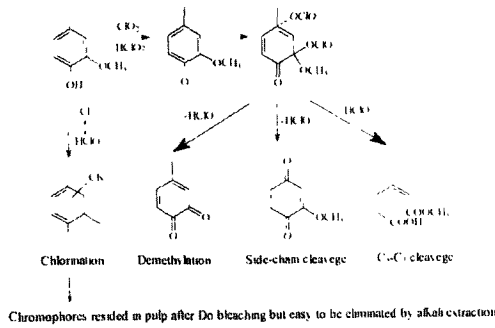


Fig. 12. Effect of additives on the viscosity of DoE bleached pulp.

그 효과가 별로 없는 것으로 나타났다. 표백 과정에서 이산화염소로부터 생성되는 차아염소산이 리그닌과 계속 반응할 수 있고 아염소산이온과 식(1)에 표시하는 대로 반응할 수 있고 또한 식(4), (5)에 표시하는 대로 첨가제와 반응할 수 있다. 과산화수소와 수산의 효과가 나타나지 않은 것은 차아염소산과 리그닌 및 아염소산이온의 반응 속도가 첨가제와의 반응 속도보다 더 빠르기 때문이라고 사료된다. 따라서 이에 대한 동력학적인 연구를 더 진행해야 한다고 생각한다.

또한 첨가제로서의 과산화수소가 차아염소산을 포착하고 AOX를 줄일 수 있다는 보고가 있는데⁷⁾ 본 연구의 결과에 따르면 이런 포착 메커니즘은 과산화수소의 경우에 적당하지 않고 과산화수소가 AOX를 직접 분해할 수 있다는 것으로 해석하고자 한다.

4. 결론

이산화염소 표백시 설파산과 DMSO는 차아염소산의 좋은 포착제이고, 표백 과정에서 염소산이온의 생성량을 크게 줄일 수 있다. 설파산을 사용함에 따라 이산화염소에 의한 탈리그닌 효율을 유지하면서 DoE 백색도를 향상시키고 폐액의 색과 COD의 양을 감소시킨다. DMSO의 경우는 이산화염소에 의한 탈리그닌 효과가 약간 감소하지만 기타 성질에 큰 영향을 미치지 않는다. 반면에 과

산화수소와 수산은 현저한 효과가 없는 것으로 나타난다. 이는 주로 표백시 차아염소산과 수산이나 과산화수소의 반응 속도가 차아염소산과 리그닌의 반응 속도보다 낮은 것이기 때문이라고 생각한다. 따라서 향후의 연구는 차아염소산을 포착할 수 있는 동시에 산화력을 저하시키지 않은 첨가제를 개발해야 하고 차아염소산과 첨가제들의 반응 동력학에 대해서도 연구해야 한다. 그리고 본 연구의 결과에 따라 과산화수소의 참가가 AOX를 줄일 수 있는 메커니즘은 과산화수소가 포착제로서 하는 것이 아니라 과산화수소가 AOX를 직접 분해할 수 있는 것으로 해석된다.

인용문헌

1. Torsten Nilsson and Lars Sjötrön, *Svensk Papperstidning* nr 17: 643 (1974).
2. Ni, Y., Kubes, G. J., and Van Heiningen, A. R. P., *JPPS* 19 (1):1 (1993).
3. Lachenal, D., Joncourt, M. J., Froment, P., *International Pulp Bleaching Conference*, 417-420 (1996).
4. Joncourt, M. J., Mortha, G., Lachenal, D., *International Symposium of Wood and Pulping Chemistry*, J6-1 (1997).
5. Lachenal, D., Joncourt, M. J., Froment, P., and Chirat, C., *JPPS* 24(1):14 (1998).
6. Shen, N. Y., and van Heiningen, A. R. P., *Nordic Pulp and Paper Research J.* 4:35 (1993).
7. Yin, G., and Ni, Y., *Pulp & Paper Canada* 100(9): 52 (1999).
8. McCubbin, N., and Folke, J., *Pulp & Paper Canada* 96(2):T64 (1995).
9. Douglas, W. R., *Japan Tappi* 51(10):124 (1997).
10. Douglas, W. R., *Proceedings of the 3rd International Non-Wood Fiber Pulping and Papermaking Conference*, Vol. 1, 23 (1996).
11. Doug, A. B., Peter, V. H., Lehtinen, K. J., McKague, B., Rodgers, J., and Solomon, K., *International Pulp Bleaching Conference*, Helsinki, Finland, 195 (1998).

12. Wiegand, P., Thacker, W., and Miner, R., Tappi J. 82(4):135 (1999).
13. Richard, T., Clapp, C. A., Truemper, S. A., and Terri R., Tappi, J. 79(3):111 (1996).
14. Shintani, H., Matsumoto, Y., and Meshitsuks, G., J. of Pulp and Paper Sci. 22(10):J372 (1996).
15. Pratima, B., and Pramod, K. B., Pira International, 51 (1996).
16. Jerry, S. P., David, D. M., and Patrick, C. R., Tappi J. 80 (9):137 (1997).