

Effect of ethylenediamine on luminol (or Bluestar) – bleach reaction

Seulgi Jang, Minkyong Kim, Heejin Kim, Munhee Lee, and Sungwook Hong[★]

Graduate School of Forensic Science, Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea

(Received July 14, 2022; Revised September 8, 2022; Accepted October 7, 2022)

Ethylenediamine이 luminol (or Bluestar) – 표백제 반응에 미치는 영향

장슬기 · 김민경 · 김희진 · 이문희 · 홍성욱[★]

순천향대학교 법과학대학원

(2022. 7. 14. 접수, 2022. 9. 8. 수정, 2022. 10. 7. 승인)

Abstract: The effect of ethylenediamine (EDA) on the reaction of luminol or Bluestar with blood and bleaches was studied. For this purpose, blood, chlorine bleach, and oxygen bleach were applied to filter paper, treated with EDA-containing luminol or Bluestar, and the changes in chemiluminescence intensity were observed. It was found that the chemiluminescence intensity of the luminol (or Bluestar)-blood reaction did not change with the increasing concentration of EDA. However, the chemiluminescence intensity of the luminol (or Bluestar)-chlorine bleach reaction decreased and the chemiluminescence intensity of the luminol (or Bluestar)-oxygen bleach reaction increased, with increasing EDA concentration. Thus, it was found that when EDA was added to luminol (or Bluestar), which is a blood-sensitive reagent, EDA suppressed the false-positive reaction induced by chlorine bleach and induced a false-positive reaction with oxygen bleach. Consequently, the addition of EDA is not recommended for enhancing bloodstains with luminol or Bluestar.

요약: Luminol 혹은 Bluestar가 혈액 및 표백제와 반응할 때 ethylenediamine (EDA)이 미치는 영향에 대해 연구하였다. 이를 위해 거름종이에 혈액, 염소계 표백제, 산소계 표백제를 묻힌 후 EDA를 첨가한 luminol 혹은 Bluestar로 처리한 후 화학발광의 세기 변화를 관찰하였다. 그 결과 EDA의 농도를 증가시켜도 luminol (혹은 Bluestar)-혈액 반응의 화학발광 세기는 변하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 그러나 EDA의 농도가 증가할수록 luminol (혹은 Bluestar)-염소계 표백제 반응의 화학발광 세기는 감소하였고, luminol (혹은 Bluestar)-산소계 표백제 반응의 화학발광 세기는 증가하는 현상이 관찰되었다. 이를 통해 luminol (혹은 Bluestar)로 혈액 검출 시약을 제조할 때 EDA를 첨가할 경우, EDA는 염소계 표백제에 의해 유발되는 위양성 반응을 억제하고 산소계 표백제의 위양성 반응을 유발한다는 것을 알 수 있었다. 이런 점을 종합해서 판단할 때 luminol이나 Bluestar로 혈액을 증강할 때 EDA를 첨가하는 것은 적절하지 않다.

Key words: luminol, Bluestar, ethylenediamine, bleach, false-positive, false-negative

[★] Corresponding author

Phone : +82-(0)41-530-4758 Fax : +82-(0)41-530-4755

E-mail : swhong524@naver.com

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

혈액은 현장에서 일어난 일을 재구성하거나 DNA 형 분석을 통해 신원을 확인하는 수단으로 사용되는 중요한 물질이기 때문에 사건현장에서 혈액을 확인하는 것은 대단히 중요하다.¹ 혈액은 붉은색을 띠는 물질이기 때문에 대부분의 경우에 혈액은 육안으로 쉽게 관찰할 수 있지만, 소량의 혈액이 존재하는 경우에는 육안으로 관찰하기 어려울 수 있고 이런 경우에는 광학적² 혹은 화학적³ 방법으로 혈액을 증강하여 관찰할 수 있다.

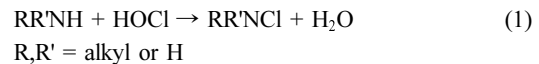
Luminol (5-amino-2,3-dihydrophthalazine-1,4-dione)은 혈액에 포함된 heme의 촉매작용을 이용하여 혈액의 화학발광(chemiluminescence)을 얻는 시약이다.⁴ Luminol은 혈액과 반응했을 때 나타나는 화학발광의 지속시간이 짧고 화학발광을 암실에서 관찰해야 하며⁵ 사용 직전에 조제해야⁴ 하는 등의 문제가 지적되어 왔음에도 불구하고 혈액을 높은 감도로 검출할 수 있다⁶는 장점이 있어 사건현장에서 혈액을 검출하는 유용한 수단으로 널리 사용되고 있다.⁷ Bluestar는 luminol의 단점을 보완하기 위해 tablet 형태로 만들어서 시판하는 상품으로서 luminol과 마찬가지로 heme과 반응하여 화학발광을 하는 것으로 알려져 있다.⁸ Bluestar는 luminol의 단점을 완전히 극복하지는 못하였지만 luminol에 비해 사용하기가 편하고 혈액과 반응했을 때 나타나는 화학발광의 세기가 강하고 화학발광의 지속시간이 길기 때문에 현대 과학수사 현장에서 널리 사용되고 있다.⁹

그러나 luminol이나 Bluestar는 철 또는 구리와 같은 전이금속,^{10,11} 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite, 염소계 표백제의 유효성분)¹² 등과 접촉하면 혈액이 아님에도 불구하고 혈액처럼 발광하는 위양성(false-positive) 반응¹³을 나타낸다는 문제가 있다. 경험있는 법과학자는 혈액에 의한 화학발광과 위양성에 의한 화학발광을 구분할 수 있기는 하지만 항상 구분할 수 있는 것은 아니라는 문제가 있다.¹⁴ 또한 이들 시약은 청산염이나 아스코르브산염^{15,16} 등과 섞여 있는 상태에서는 혈액이 있음에도 불구하고 화학발광이 나타나지 않는 위음성(false-positive)¹⁷ 반응이 나타날 수 있다는 문제가 있다.

Howard 등은 과산화수소(hydrogen peroxide, 산소계 표백제의 유효성분)에 의한 특이한 위음성을 보고하기도 했다. 그들은 혈액을 묻힌 천을 과산화수소가 포함된 물로 세척한 결과 천에 혈액의 얼룩이 여전히

남아 있는 것을 관찰했다. 그런데 이 천의 혈액 얼룩이 남은 부위를 luminol, Bluestar 및 RSID-Blood kit로 검사한 결과 RSID-Blood kit는 양성 반응을 나타낸 반면 luminol이나 Bluestar는 음성 반응을 나타냈다고 보고한 바 있다.¹⁸ 이런 결과를 통해 산소계 표백제로 천을 세탁한 후 luminol이나 Bluestar로 검사하면 위음성 반응이 나타날 가능성이 있다는 것을 알 수 있다.

EDA는 luminol의 위양성 반응을 억제하는 것으로 알려져 있다. Luminol을 제조하는 방법은 두 가지가 알려져 있는데, Kent 등¹⁴은 Grosky가 제안한 제조법¹⁹으로 제조한 luminol 용액에 EDA를 첨가한 결과, 혈액에 의한 화학발광은 감소시키지 않으면서 염소계 표백제가 유발하는 위양성 반응을 억제할 수 있었다고 보고한 바 있다. 그러면서 그들은 식 (1)에서 보인 것처럼 EDA가 hypochlorite의 counter acid인 hypochlorous acid와 빠르게 반응하여 chloramines를 만들고, 이 때 생성된 chloramines는 혈액이 있어도 화학발광을 유발하지 않기 때문에 이런 현상이 발생했다고 설명했고 이 반응식을 아래의 식 (1)에 나타내었다.¹⁴ 이런 현상은 Weber가 제안한 제조법²⁰으로 제조한 luminol 용액에서도 관찰되었다.²¹



Bluestar는 luminol에 비해 제조 방법이 간단하고 혈액과 반응했을 때 나타나는 화학발광 세기가 강하고 화학발광 지속시간이 길며 한 번 뿌렸던 위치에 다시 분무하면 형광이 다시 나타난다⁹는 장점이 있기 때문에 최근 사건현장에서 혈액을 찾아낼 때 luminol 대신 널리 사용되는 시약이다.²² 그러나 Bluestar에 EDA를 첨가했을 경우 염소계 표백제가 유발하는 위양성 반응을 억제할 수 있는지에 대해 보고되어 있지 않다. 염소계 표백제 이외에도 산소계 표백제도 일상 생활에서 사용되고 있다. 그러나 luminol (혹은 Bluestar)-산소계 표백제와의 반응에서 EDA가 위양성/위음성 반응을 억제 혹은 촉진하는지에 대해서도 보고되어 있지 않다. 따라서 저자들은 luminol 혹은 Bluestar에 EDA를 첨가하였을 경우 염소계 및 산소계 표백제가 유발하는 위양성/위음성 반응이 억제/증가되는지에 대해 확인하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시약 및 기구

차아염소산나트륨, 과산화수소 및 luminol은 Daejung

(Korea) 제품을, EDA는 Junsei (Japan) 제품을 사용하였다. 염소계 표백제는 Yuhanrox (Yuhan Clorox, Korea)를, 산소계 표백제는 Oxyclean (Oxy Reckitt Benckiser, Korea)을 사용하였다. Bluestar tablet은 Sirchie사(USA) 완제품을 사용하였다. DSLR 카메라는 D5300 (Nikon, Japan)를 사용하였다.

혈액은 건강한 20대 성인 여성으로부터 총 10 cc를 채취하여 항응고제가 포함된 tube에 담아 보관하였고, 채취 당일에 모두 사용하였다(IRB number: 1040875-202112-SB-109).

2.2. 혈액증강시약 제조

Luminol은 Weber가 제안한 방법²⁰에 따라 제조하였다. 즉, stock solution A의 경우 sodium hydroxide 0.8 g을 탈이온수 50 mL에 완전히 녹여 제조하였으며, stock solution B는 30% hydrogen peroxidase 1 mL과 탈이온수 49 mL를 섞어 제조하였다. Stock solution C는 luminol 0.354 g을 탈이온수 48 mL에 녹인 후, solution A 용액 6.25 mL를 첨가하여 제조하였다. Solution A, B, C 각각 10 mL과 탈이온수 70 mL를 섞고 EDA를 첨가하여 EDA가 포함된 luminol 용액 100 mL을 제조하였다.

Bluestar 용액은 제조사에서 제공한 사용 설명서에 따라 제조하였고, 이 때 EDA를 첨가하였다.


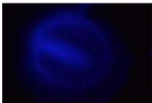
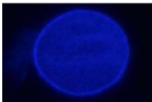
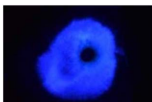
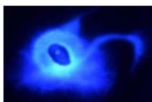
2.3. 혈액 유류 및 증강

거름종이에 혈액 혹은 표백제 20 μ L를 묻힌 후 실온에서 5분간 건조하였다. 이 거름종이에 luminol 혹은 Bluestar 용액을 3 초 동안 분무한 후 암실에서 DSLR 카메라로 촬영하였다. 모든 촬영에서 피사체와 렌즈와의 거리, 노출시간, 셔터스피드 등 모든 촬영 조건은 동일하게 유지하였다(F/11, 30", ISO 400). 모든 실험은 3회 반복하였다.

2.4. 증강 결과의 평가

Table 1은 암실에서 촬영한 화학발광 세기를 grading하기 위해 만든 평가 기준이다. 1년 이상 법과학을 공부한 5명의 평가자에게 Table 1에서 보인 평가기준과 luminol 혹은 Bluestar로 증강한 혈액의 화학발광 이미지와 이 기준 이미지를 함께 보여주고, 이 기준에 따라서 화학발광 이미지를 0~4점으로 평가하도록 하였다. 그리고 5명의 평가 결과를 평균하여 최종 grade로 하였다.

Table 1. Grading scheme for chemiluminescence assessment

Grades	Remarks	Examples
0	Not visible	
1	Faintly visible	
2	Visible	
3	Clearly visible	
4	Brightly visible	

3. 결과 및 고찰

염소계 표백제는 차아염소산염을 유효성분으로 사용한다.¹² 또한 시판되는 산소계 표백제에는 과탄산나트륨이 포함되어 있고, 이 과탄산나트륨이 물과 반응하면 과산화수소가 만들어져서 표백작용을 한다고 알려져 있다.¹⁸ Luminol 혹은 Bluestar에 EDA를 첨가했을 때 표백제의 유효성분이 화학발광에 미치는 영향을 관찰하기 위해서 5% 차아염소산나트륨 수용액과 5% 과산화수소 수용액 20 μ L를 거름종이에 유류하고 실온에서 5분간 건조시킨 후 0.0 M, 0.1 M 및 0.2 M의 EDA를 첨가한 luminol 혹은 Bluestar로 처리하였다. 그리고 그 때 나타나는 화학발광의 세기를 2.4항에 보인 기준에 의해 grading하였다.

3.1. 차아염소산나트륨과 염소계 표백제

Fig. 1은 5% 차아염소산나트륨 용액 20 μ L를 묻힌 거름종이를 luminol 혹은 Bluestar로 증강한 결과를 보인 것이다. Fig. 1을 보면 luminol이나 Bluestar는 EDA가 첨가되기 전에는 차아염소산염과 반응하여 화학발광을 나타내지만 EDA를 첨가하면 화학발광의 세기가 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 luminol과 마찬가지로^{14,21} 혈액을 검출할 때 사용하는 Bluestar에 EDA를 첨가하면 차아염소산나트륨에 의한 위양성

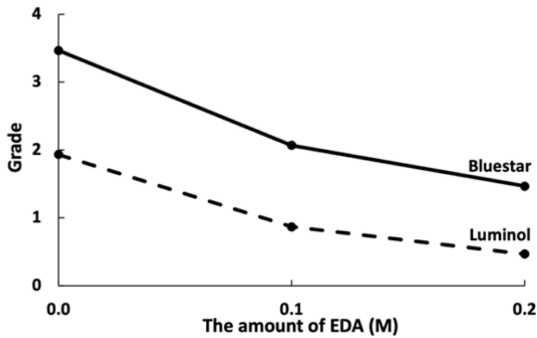


Fig. 1. Chemiluminescence intensity change of luminol (or Bluestar) – 5% sodium hypochlorite solution according to EDA content.

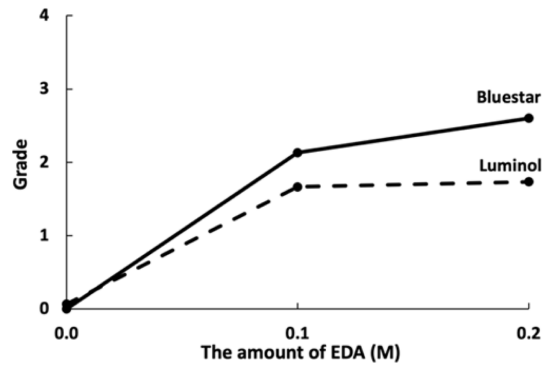


Fig. 3. Chemiluminescence intensity change of luminol (or Bluestar) – 5% hydrogen peroxide solution according to EDA content.

반응을 억제시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

시판되는 염소계 표백제는 차아염소산염을 유효성분으로 사용하지만,¹² 다른 첨가제를 함께 넣어 제조할 수 있다. 따라서 시판되는 염소계 표백제에 EDA를 첨가한 luminol 혹은 Bluestar를 분무했을 때 나타나는 실제 화학발광은 순수한 차아염소산염에 분무했을 때와 다를 수 있다. 이를 확인하기 위해 순수한 혈액 및 혈액과 염소계 표백제 1:1 혼합물을 거름종이에 묻히고, 이것을 EDA를 첨가한 luminol 혹은 Bluestar로 증강하였고, 그 때 화학발광 세기의 변화를 관찰하였다. Fig. 2는 그 결과를 나타낸 것으로서, 순수한 혈액이나 혈액과 염소계 표백제 1:1 혼합물에 EDA를 첨가하면 화학발광의 변화가 나타나지 않았지만 염소계 표백제에 EDA를 첨가하면 화학발광의 세기가 감소하는 것을 볼 수 있고, 이를 통해 EDA는 염소계 표백제의 위양성 반응을 억제하는 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

3.2. 과산화수소와 산소계 표백제

Fig. 3은 5% 과산화수소 수용액을 luminol 혹은

Bluestar로 증강한 결과를 보인 것이다. Fig. 3을 보면 EDA가 첨가되기 전에는 과산화수소가 있어도 luminol이나 Bluestar의 화학발광이 나타나지 않지만, 첨가된 EDA의 양이 증가하면 화학발광 세기가 점차 증가하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 EDA는 과산화수소가 있을 경우 luminol이나 Bluestar의 위양성 반응을 유발한다는 것을 알 수 있다.

시판되는 산소계 표백제는 과산화수소 대신에 과탄산나트륨을 사용하고(과탄산나트륨과 물을 반응시켜 과산화수소를 만든다),¹⁸ 과탄산나트륨에 색소 등 다른 첨가제를 섞어서 제조할 수 있다. 따라서 EDA를 첨가한 luminol이나 Bluestar를 시판되는 산소계 표백제에 분무했을 때 나타나는 화학발광은 순수한 과산화수소에 분무했을 때와 다를 수 있다. 이런 차이가 나타나는지 확인하기 위해 산소계 표백제인 Oxyclean 용액을 거름종이에 묻히고, 이것을 EDA를 첨가한 luminol 혹은 Bluestar로 증강하여 그 결과를 Fig. 4에 보였다. Fig. 4를 보면 luminol 혹은 Bluestar만 분무한

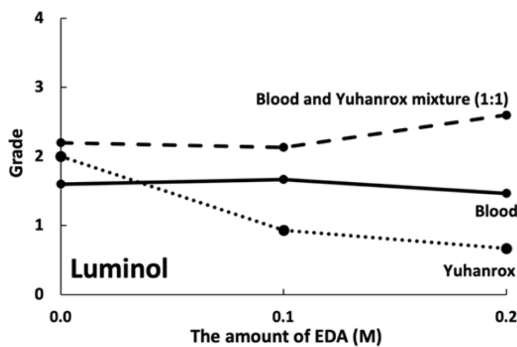
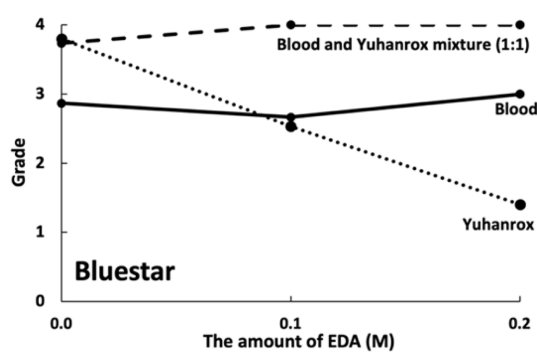


Fig. 2. Effect of EDA treatment of blood or chlorine bleach with luminol (or Bluestar).



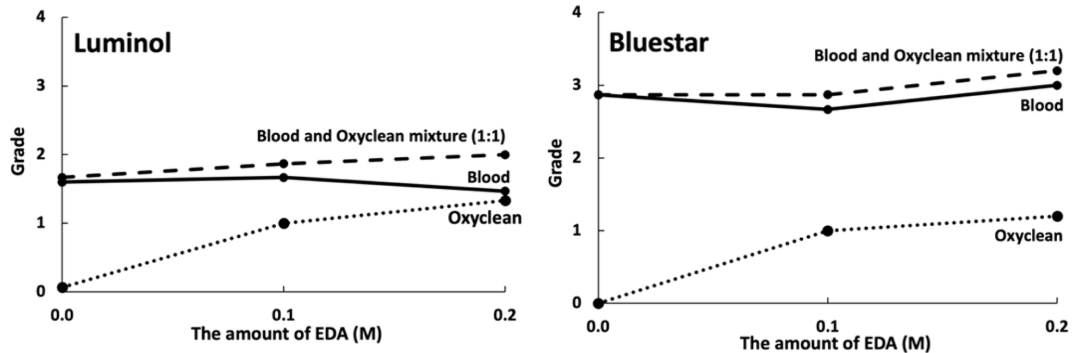


Fig. 4. Effect of EDA treatment of blood or oxygen bleach with luminol (or Bluestar).

경우에는 화학발광이 나타나지 않다가, 첨가한 EDA의 농도가 증가할수록 화학발광의 세기가 강해지는 것을 볼 수 있고 이는 Fig. 3에서 보인 결과와 일치하는 결과이다. 이를 통해 luminol이나 Bluestar를 제조할 때 EDA를 첨가하면 산소계 표백제에 의한 위양성 반응이 촉진된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4에는 순수한 혈액 혹은 혈액과 산소계 표백제의 1:1 혼합물을 거름종이에 묻히고, 이것을 EDA를 첨가한 luminol 혹은 Bluestar로 증강한 결과도 함께 나타내었다. 이 결과를 보면 순수한 Oxyclean을 증강한 결과와 달리 혈액 혹은 혈액과 Oxyclean의 혼합물을 증강한 경우에는 EDA의 함량이 증가해도 화학발광의 세기가 증가하는 현상이 나타나지 않았다는 것을 알 수 있다. 이는 Oxyclean의 양에 비해 혈액의 양이 지나치게 많기 때문에 나타나는 현상이라고 추정된다. 이 추정이 맞는지 확인하려면 Oxyclean의 양을 늘리고 혈액의 양을 줄인 검체에 EDA를 첨가했을 때 나타나는 화학발광의 변화를 관찰할 필요가 있다. 그래서 다음의 네 시료를 만들어서 이들 20 μ L씩을 거름종이 표면에 묻힌 후 이들을 EDA가 포함된 luminol 및 Bluestar로 증강하였고 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

- 희석하지 않은 않은 혈액
- 탈이온수로 1000배 희석한 혈액
- 희석하지 않은 혈액과 Oxyclean 원액을 1:1로 혼합
- 탈이온수로 1000배 희석한 혈액과 Oxyclean 원액을 1:1로 혼합

Fig. 5의 (c)와 (d)에서 보인 결과를 비교해 보면, 희석되지 않은 혈액과 Oxyclean의 혼합물을 증강했을 때에는 Fig. 4에서 보인 것처럼 EDA의 농도가 증가해도 화학발광 세기가 증가하는 현상이 관찰되지 않

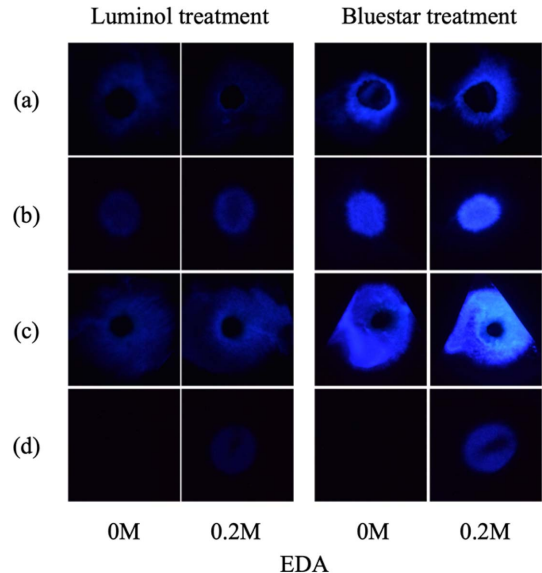


Fig. 5. Results of enhancement of blood and Oxyclean mixtures using luminol (or Blustar) with EDA.

- Neat blood
- 1/1000 diluted blood
- 1:1 mixture of neat blood and neat Oxyclean
- 1:1 mixture of 1/1000 diluted blood and neat Oxyclean

았으나, 희석된 혈액과 Oxyclean의 혼합물을 증강한 경우에는 EDA의 농도가 증가하면 화학발광 세기가 증가하는 현상이 관찰된다는 것을 관찰할 수 있고, 이를 통해서 저자가 추정한 것이 맞다는 것을 확인할 수 있었다.

Howard는 혈액이 부착된 천을 산소계 표백제가 포함된 물로 세탁한 후 luminol이나 Bluestar로 증강한 결과(EDA는 사용하지 않았음) 산소계 표백제는 혈액의 위양성 반응을 유발한다는 사실을 확인하였다.¹⁸

그러나 Fig. 4를 보면 EDA의 농도가 0 M일 때에도 여전히 혈액과 Oxyclean 혼합물에서 화학발광이 관찰되고 있고, 이는 Howard의 발표 내용과¹⁸ 배치된다. 이런 현상은 Oxyclean에 비해 혈액의 양이 지나치게 많기 때문에 나타나는 현상이라고 추정된다.

이런 저자의 추정은 Fig. 5에서 보인 결과 중 EDA가 포함되지 않은 luminol 혹은 Bluestar로 증강한 결과를 통해 확인할 수 있다. 즉, 희석되지 않은 혈액을 증강한 (a)와 (c)를 비교해 보면 Oxyclean의 첨가 여부에 상관없이 화학발광이 관찰되고 있다. 그러나 100배 희석한 혈액으로 실험한 (b)와 (d)를 보면 혈액에 Oxyclean을 첨가하면 화학발광이 사라지는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 저자의 추정이 맞다는 것을 확인할 수 있었다.

3.3. EDA의 영향에 대한 고찰

Kent 등과¹⁴ Lee²¹는 luminol 용액을 제조할 때 0.1 M의 EDA를 첨가하면 염소계 표백제가 유발하는 위양성 반응을 억제할 수 있었다고 보고했다. 그리고 본 실험을 통해 이러한 효과는 Bluestar에서도 동일하게 나타난다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 위양성 반응 억제 효과는 염소계 표백제의 유효성분인 hypochlorite의 counter acid인 hypochlorous acid와 빠르게 반응하여 chloramines를 만들고, 이 때 생성된 chloramines는 혈액이 있어도 화학발광을 유발하지 않음으로써 위양성 반응을 억제하는 것으로 설명된다.¹⁴

Luminol의 화학발광은 reaction medium이나 반응하는 물질의 pH, 온도, 이온강도 등에 영향을 받는다고 보고되어 있으나 EDA가 어떠한 영향을 미치는지에 대하여는 보고되어 있지 않다.⁴ 그리고 luminol의 화학발광 세기는 과산화수소의 함량에 비례하기 때문에 luminol은 오래 전부터 과산화수소를 정량하는 수단으로 사용되어져 왔다.²³ 이런 점을 종합해 보면 산소계 표백제를 첨가하여 과산화수소의 함량이 증가하면 자연스럽게 luminol의 화학발광 세기가 증가한 것이라고 생각된다.

실제 사건과 관련된 의복 등에서 혈액을 검사하는 사람은 그 검체가 표백제에 오염되었는지 여부를 알 수 없고, 표백제에 오염되었다면 염소계 표백제와 산소계 표백제 중 어느 것에 오염되어 있는지 알 수 없는 경우가 대부분이다. 따라서 EDA가 염소계 표백제에 의한 위양성을 억제한다는 이유만으로 luminol이나 Bluestar를 제조할 때 EDA를 첨가하면 자칫 산소계 표백제로 오염된 검체에서 위양성 반응을 관찰할 수

있다. 이는 혈액이 없음에도 있다고 잘못 판단하는 결과를 초래할 수 있으므로 수사 실무에 사용할 luminol이나 Bluestar를 제조할 때 EDA를 첨가하는 것은 적절하지 않다고 판단된다. 단, 검체가 염소계 표백제에 오염되었다고 확인된 경우에 한해 EDA를 첨가한 luminol이나 Bluestar를 사용할 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

혈액, 염소계 표백제, 산소계 표백제를 ethylenediamine을 첨가한 luminol 혹은 Bluestar로 처리한 결과 ethylenediamine의 농도를 증가시켜도 luminol (혹은 Bluestar)-혈액 반응의 화학발광 세기는 변하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 그러나 첨가한 ethylenediamine의 양이 증가할수록 luminol (혹은 Bluestar)-염소계 표백제 반응의 화학발광 세기는 감소하였고, luminol (혹은 Bluestar)-산소계 표백제 반응의 화학발광 세기는 증가하는 현상이 관찰되었다.

이를 통해 luminol (혹은 Bluestar)로 혈액 검출 시약을 제조할 때 ethylenediamine을 첨가할 경우, ethylenediamine은 염소계 표백제에 의해 유발되는 위양성 반응을 억제하고 산소계 표백제의 위양성 반응을 유발한다는 것을 알 수 있었다. 이런 결과를 종합한 결과 수사 실무에 사용할 luminol이나 Bluestar를 제조할 때 ethylenediamine을 첨가하는 것은 적절하지 않다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

References

1. H. C. Lee, T. Palmbach, and M. T. Miller, 'Henry Lee's crime scene handbook', 1st Ed, Academic Press, London, 2001.
2. T. G. Schotman, A. A. Westen, J. Weerd, and K. G. Bruin, *Forensic Sci. Int.*, **257**, 214-219 (2015).
3. S. J. Seashols, H. D. Cross, and D. L. Shrader, *J. Forensic Sci.*, **58**(1), 130-133 (2013).
4. F. Barni, S. W. Lewis, A. Berti, G. M. Miskelly, and G. Lago, *Talanta*, **72**(3), 896-913 (2007).
5. J. C. Niebauer, J. B. Booth, and B. L. Brewer, *J. Foren-*

- sic Identif.*, **40**(5), 271-278 (1990).
6. K. Virkler and I. K. Lednev, *Forensic Sci. Int.*, **188**(1-3), 1-17 (2009).
 7. J. L. Webb, J. I. Creamer, and T. I. Quickenden, *Luminescence*, **21**(4), 214-220 (2006).
 8. Bluestar Forensic, <https://www.bluestar-forensic.com/>, Assessed 4 April 2022.
 9. L. Dilbeck, *J. Forensic Identif.*, **56**(5), 706-720 (2006).
 10. K. J. Farrugia, K. A. Savage, H. Bandey, T. Ciuksza, and N. N. Daéid, *Science & Justice*, **51**(3), 110-121 (2011).
 11. L. T. Lytle and D. G. Hedgecock, *J. Forensic Sci.*, **23**(3), 550-562 (1978).
 12. T. I. Quickenden and P. D. Cooper, *Luminescence*, **16**(3), 251-253 (2001).
 13. J. I. Creamer, T. I. Quickenden, M. V. Apanah, K. A. Kerr, and P. Robertson, *Luminescence*, **18**(4), 193-198 (2003).
 14. E. Kent, D. Elliot, and G. Miskelly, *J. Forensic Sci.*, **48**(1), 1-4 (2003).
 15. M. Bancirova, *Science & Justice*, **52**(2), 102-105 (2012).
 16. A. Castelló, M. Alvarez, and F. Verdú, *J. Can. Soc. Forensic Sci.*, **35**(3), 113-121 (2002).
 17. A. Castelló, F. Francès, D. Corella, and F. Verdú, *Naturwissenschaften*, **96**(2), 303-307 (2009).
 18. D. Howard, J. Chaseling, and K. Wright, *Forensic Sci. Int.*, **302**, 109885 (2019).
 19. M. Grodsky, K. Wright, and P. Kirk, *J. Crim. L. Criminology & Police Sci.*, **42**, 95 (1951).
 20. K. Weber and Z. Dtsch, *Gesamte Gerichtl. Med.*, **57**(3) 410-423 (1966).
 21. M. H. Lee, 'A study on the chemiluminescence intensity variation and the method of inhibiting the false-positive reaction of the blood diluted with chlorinated bleach based on drying time, (M.Sc. Thesis)', Soonchunhyang University, Asan, 2018.
 22. S. Cullen, A. Otto, and P. Cheetham, *J. Forensic Identif.*, **60**(1), 45-86 (2010).
 23. K. Hool and T. A. Nieman, *Anal. Chem.*, **60**, 834-837 (2010).

Authors' Positions

Seulgi Jang	: Graduate Student
Minkyong Kim	: Graduate Student
Heejin Kim	: Graduate Student
Munhee Lee	: Graduate Student
Sungwook Hong	: Professor