

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.6.73>

JCCT 2024-11-9

# 시아노아크릴레이트-리피오돌 혼합 글루의 중합반응 관찰

## Observations on the polymerization reaction of cyanoacrylate-lipiodol mixture glues

이경민\*, 정윤수\*\*, 정현우\*\*\*, 박상수\*\*\*\*

**Kyong Min Lee\*, Yunsu Jeong\*\*, Hyun-Woo Jeong\*\*\*, Sangsoo Park\*\*\*\***

**요약** 시아노아크릴레이트 글루는 인체 체액 중의 음이온과 반응하여 고분자 반응이 일어나 경화되면서 인체 조직에 달라붙는 성질을 가지고 있다. 표피접합용 접착제로 개발되었으나, 임상에서는 출혈 중이거나 출혈 위험이 있는 혈관의 폐색을 위한 혈관색전술에도 많이 이용되고 있다. 혈관 색전술에서는 혈관의 크기와 혈류의 속도에 따라 경화속도의 조절이 필요하며, 이를 위해 리피오돌과 혼합하여 고분자 반응의 속도를 조절한다. 본 연구에서는 공업용 에틸 시아노아크릴레이트, n-부틸 시아노아크릴레이트, 리피오돌, 그리고 리피오돌의 원료인 양귀비 씨앗 오일 혼합용액을 제조하였다. 각각의 시아노아크릴레이트 글루와 리피오돌 혼합액수용액의 표면에서 경화되어 고체로 변화하는 과정을 동영상 촬영하여 분석하였다. 시아노아크릴레이트 글루는 수용액 표면과 접촉하면서 계면에서 즉시 중합반응이 일어나 원반형의 고체가 만들어졌으며 원반 내부의 단량체들이 빠져 나가면서 수용액과 접촉하면서 2차 중합반응이 천천히 진행되었다. NBCA의 고분자 반응시간은 약 1분이었고, 리피오돌이 50% 일 때 약 2분으로 증가하며 67%일 때는 약 4분으로 반응속도가 느려졌다. 이러한 관찰 결과는 임상 색전술의 혈관 폐색을 이해하는데 매우 유용할 것으로 기대된다.

**주요어** : 혈관색전술, 시아노아크릴레이트 글루, 리피오돌, 중합시간, 생체접착제

**Abstract** Cyanoacrylate glue has the property of sticking to human tissue as it reacts with anions in human body fluids and hardens through a polymerization reaction. It was developed as an adhesive for epidermal bonding, but is also widely used in clinical practice for vascular embolization to occlude blood vessels that are bleeding or at risk of bleeding. In vascular embolization, it is necessary to control the curing speed according to the size of the blood vessel and the speed of blood flow, and to achieve this, the speed of the polymer reaction is adjusted by mixing with lipiodol. In this study, we prepared the mixed solutions of industrial ethylcyanoacrylate and medical n-butyl cyanoacrylate glues with Lipiodol and poppy seed oil, the raw material of Lipiodol. Video was filmed of the process in which each cyanoacrylate glue and lipiodol mixture hardened on the surface of the aqueous solution and turned into a solid. When the cyanoacrylate glue came into contact with the surface of the aqueous solution, polymerization occurred immediately at the interface, forming a disk-shaped solid. As the monomers inside the disk escaped and came into contact with the aqueous solution, the secondary polymerization reaction proceeded slowly. NBCA's polymerization reaction time was about 1 minute, increased to about 2 minutes when Lipiodol was 50%, and to about 4 minutes when it was 67%. These observation results are expected to be very useful in understanding vascular occlusion in clinical embolization.

**Key words** : vascular embolization, cyanoacrylate glue, Lipiodol, polymerization time, bioadhesive

\*정희원, 을지대학교 의료공학 학생(제1저자)  
\*\*정희원, 을지대학교 의료공학과 학생(공동저자)  
\*\*\*정희원, 을지대학교 의료공학과 교수(교신저자)  
\*\*\*\*정희원, 을지대학교 의료공학과 교수(교신저자)  
접수일: 2024년 9월 20일, 수정완료일: 2024년 10월 24일  
게재확정일: 2024년 11월 1일

Received: September 20, 2024 / Revised: October 24, 2024  
Accepted: November 1, 2024  
\*Corresponding Authors: hwjeong & spark@eulji.ac.kr  
Dept. of Biomedical Engineering, Eulji Univ, Korea

## I. 서론

국내 의료기기 산업의 발전으로 기존에 수입에만 의존하던 많은 의료기기들이 국산화되어 수입 제품을 대체해 오고 있다[1-3]. 본 연구는 수입에 의존해 오던 생체접착제의 일종인 피부봉합용 접착제를 개발하여 임상에 적용하기 위한 연구이다.

시아노아크릴레이트(cyanoacrylate)는 공업용 혹은 가정용 접착제로 많이 사용되는 음이온 중합 고분자의 단량체이다. 공업용이나 가정용으로 사용되는 시아노아크릴레이트는 그림 1에서 R로 표시되는 측쇄로 메틸 혹은 에틸이 붙어 있으며, 일액형의 단량체 형태(A)로 판매된다. 단량체의 제품을 접착하려는 곳에 바르면 공기 중의 수분 속 음이온 혹은 인체에 사용하는 경우 체액 속의 음이온에 의해 중합반응이 시작되어 빠르게 고체(B)로 변화하는 특징을 가지고 있어 순간접착제로 불린다. 공업용 순간접착제는 대부분 측쇄가 에틸인 ethyl cyanoacrylate (ECA)이며 중합반응이 매우 빠르나 생체내 분해속도도 빨라서 의료용으로는 거의 사용되지 않는다[4].

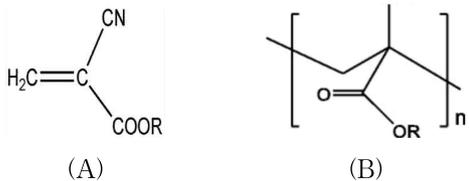


그림 1. 시아노아크릴레이트 접착제의 단량체와 중합체 구조  
Figure 1. Chemical structures of monomer (A) and polymer (B) of cyanoacrylate glues

의료용 시아노아크릴레이트계 조직접착제는 측쇄 R로 n-butyl, 혹은 n-octyl기가 붙어 있으며 n-butyl cyanoacrylate (NBCA) 로 제조되는 의료용 접착제로는 대표적으로 히스토아크릴(Histoacryl<sup>®</sup>, B. Braun Melsungen AG, 독일)이 있고, n-octyl cyanoacrylate 로는 미국의 Dermabond<sup>®</sup> (Closure Medical, Inc., U.S.A.)이 피부접착제(topical skin adhesive)로 승인을 받아 Johnson & Johnson의 계열사인 Ethicon사를 통하여 열상과 성형수술 및 재건 외과수술 후 절개부분의 피부를 봉합하는 목적으로 판매되고 있다[5].

NBCA 접착제는 빠르게 경화되며 인체 조직에 접착되는 특징을 이용하여 혈관 색전술(vascular embolization)에도 이용되고 있다[6-7]. 카테터를 통하여 혈관에 주입하면 혈액 중의 음이온이 중합반응을 촉발하여 고체로 변화하여 혈관을 폐색하고 출혈을 억제한다. 혈관 색전술은 위와 소장 등 위장관 출혈 동맥의 출혈 억제, 식도 정맥류와 하지 정맥류를 폐색시켜 정상적인 혈류 흐름을 재건하기 위한 목적으로 사용된다. 또한 동정맥 기형에서 혈관 출혈을 예방하기 위한 목적으로도 사용된다.

혈관색전술에서 시아노아크릴레이트의 경화속도 혹은 중합속도를 조절하는 것은 매우 중요하다. 경화속도가 너무 빠른 경우에는 카테터 내에서 굳어져 버리거나 카테터의 끝과 혈관이 달라붙어 카테터를 빼내기 어려워져 수술이 필요할 수도 있기 때문이다. 경화 속도가 너무 느린 경우에는 치료하려는 혈관 부위를 지나치거나 역류하여 정상적인 혈관을 폐색시키는 부작용이 발생하기도 한다[3].

시아노아크릴레이트의 경화 속도 혹은 중합 속도를 조절하기 위한 방법으로는 식물성 기름 성분인 poppy seed oil (PSO)에 요오드를 결합시킨 화학물질을 이용한다. 결합된 요오드는 원자번호가 커서 엑스선을 산란시켜 영상에 잘 보이게 하는 조영제의 목적으로 개발되었으며 대표적으로 리피오돌이 상품화되어 있다. 시아노아크릴레이트에 리피오돌을 혼합하면 시아노아크릴레이트 단량체의 농도가 낮아지므로 중합반응의 속도가 작아져서 고체로 변화하는 시간이 느려지는 것은 많은 실험적 연구결과로 보고되었다. 그리고 최근에는 고체로 변화하는 중합반응이 2단계로 진행된다는 사실도 보고되었으나 정확한 기전에 대한 설명은 아직 충분하지 않다. 본 연구에서는 시아노아크릴레이트와 리피오돌 혼합물의 수용액 표면에서의 중합반응 관찰을 통하여 중합반응이 2단계로 일어나는 이유에 대하여 알아보고자 하였다.

## II. 연구방법

### 연구 재료

에틸 시아노아크릴레이트(ethyl cyanoacrylate, ECA) 순간접착제(Okong, Seoul, Korea), 리피오돌(Guerbet,

Villepinte, France), poppy seed oil(Sennelier, Paris, France), bovine serum albumin(Sigma Aldrich Korea) 단백질, 인산완충 생리식염수 phosphate buffered saline(Sigma Aldrich Korea)은 구매한 상태로 사용하였다. N-부틸 시아노아크릴레이트(N-butyl cyanoacrylate, NBCA) 표피 접합용 접착제는 (주)이노트 회사에서 제공하였다.

시험에 사용한 시험기구들의 제조사는 다음과 같다: 3-way stopcock(Hyupsung, Daegu, South Korea), Micropipet(Discovery Comfort, HTL, Poland), Petri dish(SPL Life Sciences, Pocheon-si, South Korea). 1-cc syringe(Bukwang Meditec, Yangju-si, South Korea), BD emerald 3-cc syringe(Becton Dickinson, India).

중합반응의 관찰을 위한 수용액은 BSA 단백질을 PBS에 8 %로 녹여 사용하였다.

### 모델 시약 및 접착제의 혼합 시험

고가의 의료용 NBCA와 리피오돌을 대신하기 위하여 저가 모델 시약의 사용 가능성을 탐색하였다. 의료용 피부 봉합 접착제인 모델 시약으로는 공업용 ECA를, 그리고 리피오돌의 모델 시약으로는 poppy seed oil (PSO)이 사용가능한지를 다음과 같은 방법으로 시험하였다.

접착제 시약과 리피오돌 혹은 리피오돌 모델 시약인 PSO 시약을 1-ml 주사기로 각각 흡인하였다. 주사기들을 3-way stopcock에 연결한 후 두 개의 주사기를 번갈아 밀면서 혼합하였다. 이 혼합과정을 통하여 두 용액이 완전히 섞이는지를 관찰하였다.

### 시아노아크릴레이트와 수용액의 중합반응시험

시아노아크릴레이트 용액의 중합반응은 시아노아크릴레이트 용액을 마이크로 피펫으로 50  $\mu$ l 흡인하여 수용액에 떨어뜨리고 경화되어 고체로 변화되는 과정을 스마트폰으로 촬영하고 동영상으로 저장하였다. 저장된 동영상을 스캔하면서 경화된 고체의 모양 및 색깔이 더 이상 변화하지 않는 시간을 중합 시간으로 결정하였다.

## III. 연구결과

### 모델 시약 및 접착제의 혼합 시험

저가의 모델 시약인 국내 (주)오공 회사의 에틸시아노아크릴레이트(ECA) 순간접착제와 방사선 불투과성인 리피오돌의 원료인 poppy seed oil (PSO)을 3-way stopcock을 이용하여 혼합하였을 때, 두 용액은 100회 혼합에도 섞이지 않았으며 푸른 색의 순간접착제 ECA가 아래로 가라앉아 층이 분리되었다(그림 2A). 3-way stopcock으로 혼합한 용액을 주사기 밖으로 밀어내면 순간접착제는 푸른 색의 덩어리를 이루며 PSO와 분리되었다(그림 2B). ECA와 NBCA를 PSO 및 리피오돌과 혼합하여 서로 완전 혼합되는지의 여부를 조사한 결과는 표 1에 정리하였다.

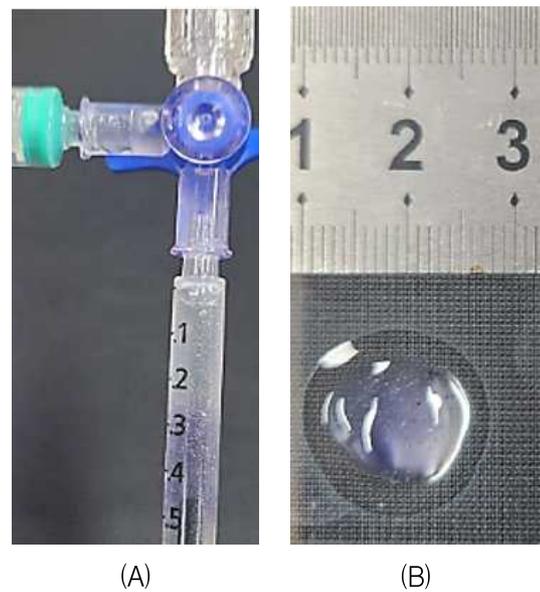


그림 2. 모델 시약의 혼합 시험  
 Figure 2. Miscibility test of model chemicals

표 1. 시약의 밀도와 완전 혼합 여부  
 Table 1. Density (g/ml) and miscibility of the chemicals

시약, 밀도	ECA, 1.06	NBCA, 1.44
PSO, 0.925	immiscible	immiscible
Lipiodol, 1.25	immiscible	miscible

Poppy seed oil (PSO)은 ECA나 NBCA에 비하여 낮은 밀도를 가지며 두 가지 접착제 모두와 혼합되지 않고 덩어리를 형성하였다. Lipiodol은 NBCA보다는 낮은 밀도를 가지지만 잘 혼합되어 용해되었다. 따라서 두 가지 용액이 혼합될 때, 밀도 차이에 의한 분리는 단시간에 발생할 수 있지만 3-way stopcock을 이용하여 혼합될 수 있음을 알 수 있다. 리피오들은 PSO에 요오드(I)가 결합되어 있는 형태이다. 극성인 요오드가 결합되면서 PSO 분자의 극성이 증가하여 극성이 강한 시아노기 -CN을 가지고 있는 NBCA와 잘 혼합되는 것으로 해석할 수 있다. 결과적으로 생체접착제의 혼합시험에서 PSO는 ECA나 NBCA와 혼합되지 않아 리피오들의 모델 시약으로 적합하지 않았다.

**공업용과 의료용 시아노아크릴레이트의 중합반응 비교.** 그림 2에 공업용 시아노아크릴레이트인 ECA와 의료용 시아노아크릴레이트인 N-butyl cyanoacrylate (NBCA)의 수용액 표면에서의 중합반응 결과를 보여준다. 두 접착제 모두 중합반응의 속도가 빨라서 주사기로 표면에 떨어뜨리자마자 수용액 표면에서 중합반응이 일어나 원반 형태의 고체로 변화하였다. 원반의 크기는 시간에 따라 변하지 않았으나 수용액과 접하고 있는 중합된 고체 원반의 두께가 두꺼워지면서 빛의 투과가 점점 어려워져 전체적으로 불투명한 흰색으로 변화하였다. 중합고체 원반의 모양과 흰색 색깔의 선명도가 더이상 변화하지 않는 시점을 중합시간으로 결정하였다. ECA의 경우 시간이 지나면서 원반 모양의 중합체에서 비늘 모양으로 밖으로 성장하는 중합체들이 관찰되었으며(그림 2A), NBCA의 경우에는 비늘 모양의 성장은 더 적은 수가 발생하였다(그림 2B).

ECA와 NBCA의 중합반응 시험 결과는 표 2에 정리하였다. ECA의 중합시간은 50(±2)초로 측정되었으며, NBCA의 중합시간은 82(±3)초로 측정되었다. 중합된 원반의 크기는 ECA가 10.0(±0.4) mm로 더 작고, NBCA가 14.4(±0.6) mm로 40 % 정도 더 컸다. 중합시간과 중합된 원반의 크기 모두 ECA가 NBCA보다 더 중합 속도가 더 빠르다는 것을 의미한다. 즉 ECA는 중합 속도가 빨라서 액상인 단량체가 널리 퍼지기 전에 단량체와 수용액 사이에 중합된 고체의 벽이 만들어진다고 할 수 있다. 바늘 모양의 중합체들이 원반 바깥쪽으로 성장하는 것은 원반의 안쪽에 갇힌 단량체들이

그 벽을 통과하여 빠져 나오면서 수용액과 만나 추가적으로 중합반응이 일어나는 것으로 추론할 수 있다. NBCA의 경우 벽을 통과하여 수용액과 만나는 것보다는 원반의 벽을 통과해서 침투하는 수용액과 만나면서 내부에서 추가적인 중합반응이 일어나다가 밖으로 비늘이 생성되는 것은 더 늦게 일어났다.

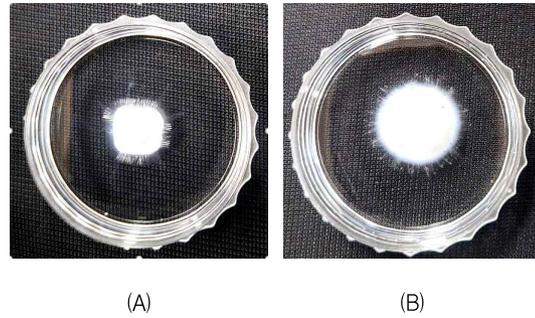


그림 3. ECA와 NBCA의 중합반응  
Figure 3. Polymerization of ECA and NBCA

표 2. ECA와 NBCA의 중합반응 비교  
Table 2. Comparison of ECA and NBCA Polymerization

	ECA	NBCA
중합시간	50(±2)	82(±3)
중합물 직경	10.0(±0.4) mm	14.4(±0.6) mm

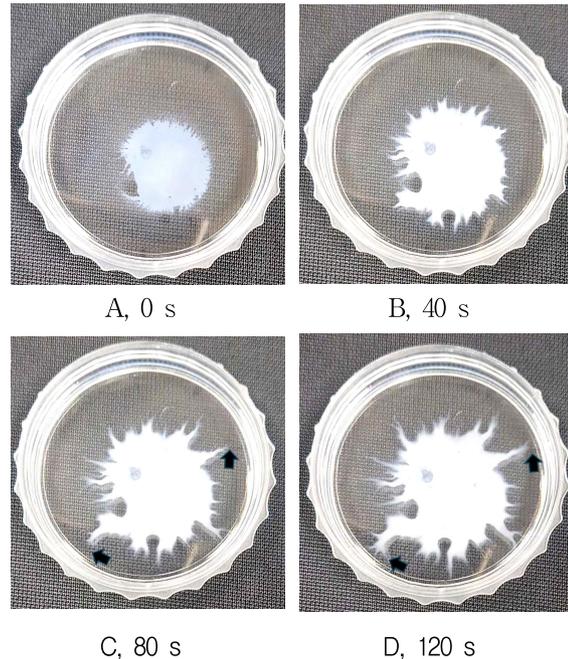


그림 4. NBCA와 리피오들 1: 1 혼합물 중합반응  
Figure 4. Polymerization of NBCA and Lipiodol 1: 1 mixture

### NBCA와 리피오돌 1 : 1 혼합물의 중합반응

그림 4는 NBCA와 리피오돌 1 : 1 혼합물의 수용액 표면에서의 중합반응 양상을 주입 직후(A), 40 초(B), 80 초(C), 120초(D)후의 영상을 캡처한 결과이다. NBCA와 리피오돌 1 : 1 혼합물은 주입 직후에 반투명한 막을 형성하고(A), 시간이 지남에 따라 점점 불투명도가 증가하는 것과 동시에 원반의 바깥쪽으로 확장되는 것을 볼 수 있다(B-D). 이 경우 동영상에서 흰색으로 중합된 고분자 원반의 크기와 모양이 더 이상 변화하지 않는 시점을 중합시간으로 결정하였다. NBCA와 리피오돌 1 : 1혼합물 중합체의 경우에는 순수 NBCA와 달리 고체로 변환 중합물 원반이 시간에 따라 팽창한다. NBCA 주입 후 80 초와 120 초 후의 중합물의 이미지는 크기와 모양이 동일해 보이지만(그림 4C & D), 화살표 부분을 비교해 보면 나무 가지 모양의 중합체가 80 초와 120 초 사이에 밖으로 더 팽창된 것을 알 수 있다. 이는 중합물의 내부에 존재하던 NBCA-리피오돌 혼합물 용액이 수용액 증으로 빠져 나오면서 중합반응이 지속적으로 일어나고 있음을 의미하며 Comby 등이 보고한 시아노아크릴레이트 중합의 2차 반응에 해당하는 것으로 판단된다[8].

### NBCA와 리피오돌 1 : 2 혼합물의 중합반응

NBCA와 리피오돌 1 : 2 혼합물의 중합반응 시 중합물 원반의 모양 변화는 NBCA와 리피오돌 1 : 1 혼합물의 경우와 비슷하였으며 중합시간은 두 배 정도 더 느려져서 약 4분으로 측정되었다. NBCA와 리피오돌 혼합물의 혼합비율에 따른 중합시간의 변화는 표 3과 그림 5에 정리하였다.

표 3. NBCA와 리피오돌의 혼합물의 중합시간  
 Table 3. Polymerization time of NBCA and Lioiodol mixtures

	NBCA : Lipiodol ratio		
	1 : 0	1 : 1	1 : 2
NBCA %	100	50	33
중합시간	82(±3)	124(±4)	240(±5)

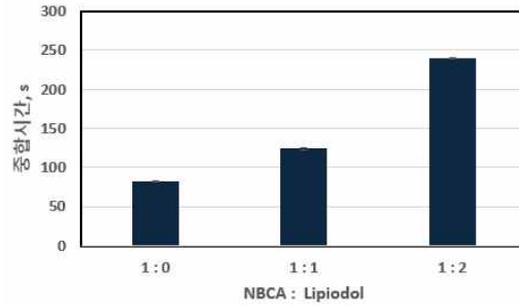


그림 5. NBCA와 리피오돌 1 : 2 혼합물 중합시간  
 Figure 5. Polymerization time of NBCA and Lioiodol 1 : 2 mixture

## IV. 고찰

Comby 등의 최근 논문은 NBCA의 혈관색전술 위험성을 잘 설명하고 있다[8]. 즉 NBCA가 너무 빠르게 굳어지는 경우 카테타와 혈관의 접촉이 일어나게 되므로 NBCA 주입후 즉시 카테타를 빼내는 등의 주의가 필요하다. 또한 NBCA 중합이 너무 느리게 일어나는 경우에는 색전시키려는 혈관부위를 지나쳐 흘러가서 원위부의 혈관을 폐색시키거나 역류하여 정상적인 측부 혈관을 폐색시키는 등의 부작용을 일으킬 수 있다.

따라서 NBCA 색전술을 시행하는 혈관중재 의사들에게 NBCA의 중합속도를 조절하는 것은 매우 중요한 테크닉이다. Comby 등은 본 연구와 같은 방식으로 페트리 접시 위의 수용액에 NBCA : Lipiodol 혼합용액을 점적하면서 비율이 1 : 1인 용액과 1 : 4인 용액의 중합반응을 비교하여 1 : 4 용액의 중합속도가 더 느리며, 더 넓은 면적으로 퍼지면서 고체로 변화하는 것을 보여주었다. 그러나 이들의 연구에서는 최종 결과만을 보여주었을 뿐, 최종 형태에 도달할 때까지 과정에서 어떤 변화가 일어나는 지는 보여주지 않았다.

Grace등은[9] 중합반응이 일어나 액체 상태의 용액이 고체로 변화하면 빛의 통과를 못하게 되는 특성을 이용하여 빛의 통과가 완전히 차단되는 시간을 중합시간으로 측정하였으며, ethyl cyanoacrylate가 가장 빠른 중합시간을 보이고 의료용 시아노아크릴레이트들은 이보다 더 늦은 중합시간을 보인다고 보고하였다. 저자들이 보고한 ethyl cyanoacrylate의 중합시간은 1.4분이었다. 이들은 30 마이크로리터의 cyanoacrylate에 150 마이크로리터의 수용액을 떨어뜨리는 방법을 사용하였다. 이 방법에 의한 중합시간의 결정은 큰 오류가 발생

할 수 있는데 시아노아크릴레이트와 용액과 수용액간의 비중과 극성의 차이에 두 용액 사이의 섞이는 속도가 달라지기 때문이다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 시아노아크릴레이트와 poppy seed oil은 서로 전혀 섞이지 않는다. 이 두 가지 용액들을 가지고 Grace 등의 방법으로[9] 시험한다면, 두 용액은 표면에서만 중합반응이 일어나게 되고 따라서 전체적인 중합반응은 매우 느리게 일어나게 된다. 이와 반대로 극성이 수용액과 비슷한 시아노아크릴레이트 용액은 서로 혼합이 잘 일어나서 반응시간이 매우 빠르게 측정될 것이다. 즉 Grace 등의 연구에서는[9] 중합반응을 일으키는 두 용액의 혼합 난이도를 전혀 고려하지 않는 치명적인 문제를 가지고 있다. NBCA-리피오돌 용액과 수용액과의 혼합이 잘 일어날수록 중합반응은 더 쉽고 빠르게 일어나기 때문이다.

Li 등은[10] 직경 1 mm의 모세관 속에 있는 NBCA에 생리식염수를 추가 주입하면서 중합반응이 일어나는 시간을 측정하였다. 저자들은 단량체의 C=C 이중결합의 농도가 중합반응에 의하여 감소하는 것을 Raman Spectroscopy로 관찰하였다. 이 연구를 통하여 저자들은 시아노아크릴레이트의 중합반응이 2단계로 이루어짐을 보고하였는데 1단계의 매우 빠른 속도의 중합반응이 계면에서 일어나고 2단계의 매우 느린 중합반응이 일어난다고 보고하였다. 이들의 연구는 육안관찰이 아닌 적외선 영역의 흡수 형태를 시간에 따라 분석한 것이므로 본 연구에서와 같은 중합물의 형태의 변화는 관찰하지 못하였다. 본 연구는 Li 등의 연구와는 달리 중합물의 형태의 변화가 2단계로 일어나는 것을 최초로 보고한다는 의미가 있다. 즉 본 연구에서는 시아노아크릴레이트와 수용액이 만나는 계면에서 중합반응이 빠르게 일어나며 중합이 아직 일어나지 않은 단량체들은 1차 반응으로 만들어진 시아노아크릴레이트 원반테두리의 벽을 통과해서 수용액과 만나 중합반응이 일어난다는 사실을 동영상 사진을 캡처하여 증명하였다.

Mine 등은[11]. 본 연구와 유사한 방법으로 시아노아크릴레이트-리피오돌 혼합물의 중합시간을 측정하였다. 저자들은 1 ml 용량의 투명 컵에 담긴 수용액에 NBCA-리피오돌 혼합 용액을 떨어뜨리고, 중합반응이 일어나 고체로 변화하는 과정을 동영상으로 촬영하여 분석하였다. 그러나 이들의 연구결과는 리피오돌 혼합 비율에 따라 일관성있는 중합 지연 효과를 보이지 않는

등의 문제점이 있다.

## V. 결론

시아노아크릴레이트 글루를 수용액과 반응시키며 중합시간을 측정하는 시험을 통하여 다음과 같은 사실을 알게 되었다

1) 값비싼 의료용 시아노아크릴레이트 글루 대신 공업용 시아노아크릴레이트 글루를 중합시간 측정의 연습용으로 사용할 수 있으나, 리피오돌 대신 poppy seed oil은 모델 시약으로 사용하는 것은 적합하지 않았는데 poppy seed oil은 리피오돌과는 달리 시아노아크릴레이트와 서로 섞이지 않기 때문이다.

2) 공업용 ECA는 NBCA와 비교하여 더 빠르게 중합이 일어났으며, 두 가지 모두 초기 중합반응이 일어난 후 형성된 원반 모양의 고체에서 단량체가 빠져 나오면서 추가적인 2차 중합반응이 일어났다.

3) NBCA와 리피오돌이 혼합용액은 리피오돌의 비율이 0%에서 50%, 66.7%로 증가하면서 중합시간은 약 1.3 분에서 2 분, 4 분으로 느려졌다.

4) 임상에서의 NBCA에 의한 혈관 색전은 흐르는 혈액 속에서 일어나지만 본 연구는 정적인 페트리 접시의 표면에서 일어난다는 한계가 있다. 그러나 이러한 한계에도 불구하고 페트리 접시 위의 중합반응은 혈관 속에서의 중합반응 보다 관찰하기 쉽다는 장점이 있어 NBCA 혈관 색전술을 이해하는데 많은 도움이 될 것으로 기대된다. 특히 NBCA의 중합반응이 계면에서부터 시작하여 내부의 액상 물질이 시술 후에 흘러나올 수 있음에 유의해야 할 것이다.

## References

- [1] S. Lee, K. Choi, I. H. Moon, and S. Park, "International Trends in Wheelchair Power Assist Add-ons Development," *The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)*, Vol. 9, No. 2, pp. 143-150, 2023. <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.2.141>.
- [2] H. Yeom, H. W. Jeong, and S. Park, "A Study on the History of the Korean Medical Device Industry and its Global Competitiveness," *The*

Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 8, No. 5, pp. 1-7, 2022.  
<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.5.1>.

- [3] G. C. Cha, S. M. Lee, K. W. Choi, & S. Park..  
“Development of Gripping Force and Durability Test Standard for Myoelectric Prosthetic Hand,”  
The Journal of the Convergence on Culture Technology, Vol. 9, No. 4, pp. 393-399, 2023.  
<http://doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.4.393>
- [4] D. K. Han, K. D. Ahn, “Biomedical Adhesive”.  
Polym Sci Tech. Vol. 11, pp. 436-442, 2000.
- [5]. Z. Bao, M. Gao, Y. Sun, et al., “The Recent Progress of Tissue Adhesives in Design Strategies, Adhesive Mechanism and Applications,”  
Materials Science and Engineering: C, 111, 110796, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110796>
- [6] M. Nakashima, M. Shimohira, K. Nagai, et al.,  
“Embolization for Acute Arterial Bleeding: Use of the Triaxial System and N-butyl-2-cyanoacrylate,”  
Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies, Vol. 31, No. 3, pp. 389-395, 2022. <https://doi.org/10.1080/13645706.2020.1830801>.
- [7] S. Alberto, S. Salvatore, T. Marco, et al.,  
“Embolization of Extrahepatic Biliary Leakage using NBCA,”  
Radiology Case Reports, Vol. 16, No. 6, pp. 1315-1319, 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.radcr.2021.03.005>
- [8] P. O. Comby, K. Guillen, O. Chevallier et al.,  
“Endovascular Use of Cyanoacrylate-lipiodol Mixture for Peripheral Embolization: Properties, Techniques, Pitfalls, and Applications,”  
Journal of Clinical Medicine, Vol. 10, No. 19, 4320, 2021.
- [9] J. Grace, D. Connor, L. Bester et al.,  
“Polymerisation of Cyanoacrylates: The Effect of Sclero-embolic and Contrast Agents,”  
Phlebology, Vol. 39, No. 2, pp. 114-124, 2024.  
[doi:10.1177/02683555231214343](https://doi.org/10.1177/02683555231214343)
- [10] Y. Li, L. Xiao, Z. Wang, Z, et al., “Raman Spectroscopic Characterization of Polymerization Kinetics of Cyanoacrylate Embolic Glues for Vascular Embolization,”  
Polymers, Vol. 13, No. 19, 3362, 2021.
- [11] T. Mine, D. Yasui, H. Saito, T. Ueda, T. Yokoyama, S. Ikeda, & S. I. Kumita, “Effects of Temperature Alteration on Viscosity, Polymerization, and in-vivo Arterial Distribution of N-butyl Cyanoacrylate-iodized Oil Mixtures,”  
Japanese Journal of Radiology, Vol. 39, No. 11, pp. 1111-1118, 2021..  
<http://doi.org/10.1007/s11604-021-01143-3>

※ 본 연구는 2024년도 을지대학교 교육혁신지원 사업으로 연구되었음