

디지털 혈관 조영장치의 화질 개선에 관한 연구

김성룡 · 남문현* · 정 환** · 연경모

=Abstract=

A Study on the Improvement of Image Quality of the Digital Subtraction Angiography Unit

Sung-Ryong Kim, Moon-Hyon Nam*, Hwan Chung**, Kyung-Mo Yeon

Digital Subtraction Angiography(DSA) technique has been widely used to detect vascular diseases and hemodynamic parameters noninvasively. However, there factors in fluencing the resultant DSA image quality.

In this paper, several important factors are suggested to improve the DSA image quality based on mathematical analysis.

Experimental DSA images for different filters are shown and also dicussed the difference between original and processed image qualities.

1. 서 론

일반적인 촬영기법은 방사선을 인체에 투사한 후 증감지를 통하여 농도 차이를 필름에 나타내는 반면, 디지털 혈관조영장치(DSA)는 농도차이를 아나로그 신호에서 디지털 신호로 변환시켜 양적영상과 음적영상을 조합가감하여 조영제(contrast medium) 콘, 혈관만 나타나게 하는 방법이다.

그러나 인체를 투과한 방사선 에너지는 인체의 여건에 따라 명도차이가 한계치 이상으로 나타나므로 화질이 저하되는 등 여러가지 매개변수의 영향을 받는다.

본 연구는 화질을 향상시킬 목적으로 여러모양의 필터를 사용하여 투과된 방사선이 균일한 에너지를 가지고 영상증배관에 도달되도록 조절하고, 또한 조영제의 농도와 양을 효과적으로 주입하고 촬영당시 움직여진 상태를 제거하기 위하여 조영제가 주입되지 않은 마스크(Mask) 영상을 이동시키는 기

법과 화소병행 이동기법을 적용하여 임상적으로 화질을 향상시키는 방법에 대하여 연구한 것이다.

2. 디지털 혈관조영장치의 구성

디지털 혈관조영장치는 미국의 아리조나 대학교 퀴스콘신 대학의 연구팀이 1979년 개발한 이후 실용화되기 시작하여 많은 발전을 거듭하였고 국내에서도 서울대학교병원에서 SRM II(1983) 장치를 개발하여 임상적으로 실용화하여 많은 환자를 시술한 바 있다^{1,2,3,4}.

첨단 영상과학에 힘입어 최근에는 다양한 기종이 새로 등장하고 있으며, 디지털 혈관조영장치 DVI-CV

〈접수 : 1987년 12월 15일〉

서울대학교 소아진단방사선과

Dept. of Pediatric Diagnostic Radiology, Seoul National University

* 건국대학교 전기공학과

** Dept. of Electrical Eng., Kon kuk University

*** 서울대학교 진단방사선과

*** Dept. of Diagnostic Radiology, Seoul National University

의 개요도는 그림 1과 같다.

혈관조영술에 이용되는 디지털 혈관조영장치는 조영제 주입후 촬영조영 장치에 조영제가 도달하기 전 마스크 영상을 기억시킨후 다시 조영제가 주입된 영상을 총합하여 디지털 혈관조영상을 얻게되는데 영상출력은 다음과 같이 표시할 수 있다".

$$y(i, j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{k_1+N-1} f(i, j, k) - \frac{1}{N} \sum_{k=k_0}^{k_0+N-1} f(i, j, k) \quad (1)$$

여기서 $f(i, j, k)$: 입력영상

이때 i, j : 영상에서의 2차원 좌표

k : 영상순서

512×512화소 영상인 경우 i, j 의 범위는 $1 \leq i, j \leq 512$ 이며, N 은 평균가산 횟수를 표시하고 마스크 영상도 N 번 평균을 하므로 $k_1 - k_0 = N$ 이 된다.

디지털 혈관조영장치의 이론은 감광처리식에서와 같은 방법으로 설명 되는데 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터 처리를 하면 DSA 영상을 얻는데 감광처리식 혈관조영술의 과정은 그림 2와 같으며 디지털 혈관조영술의 촬영방식은 그림 3과 같다. 이렇게 얻어진 영상을 메모리 디스크에 보관하여 필요시 촬영 하므로써 자료를 영구적으로 보관할 수 있다.

3. 화질인자에 대한 실험 및 결과

3-1. 전기적 특성

방사선이 인체에 투사되어 흡수와 산란 그리고 투과의 세가지 특성으로 이루어지게 되는데, 투과된 방사선 에너지가 흡수차로 영상을 이루게 된다. 전기적인 에너지를 방사선 에너지로 변환시키는데 필요한 것이 KVp, mA, Sec이나 이들 인자를 부위에 따라 적절히 사용하여 양질의 화질을 이루게 된다. KVp, mA, Sec를 감소시키면 흡수가 증가하게 되고 산란선(scatter-ray)이 감소되지만 투과량이 적어져 영상의 대조도(contrast)가 감소하게 되고 이들을 증가시키면 영상에 산란선이 발생하여 상의 대조도, 선에도(detail), 해상력(resolving power)을 저해시킨다.

방사선의 흡수율은 원자번호, 밀도 그리고 두께에 비례하여 이루어지며 물체를 투과한 방사선이 방향을 바꾸지 않으며 산란을 발생하지 않고 직진하는 단일 파장으로 생각할 때 지수법칙을 적용하면 식 (2)와 같이 표현할 수 있다⁶⁾. 곧, 두께 t 의 물질을 투과한 후의 방사선 강도는 다음과 같다.

$$I_t = I_0 e^{-\mu t} \quad (2)$$

여기서

I_0 : 입사 방사선강도

μ : 선흡수 계수

t : 두께

위 식에서 I_t 가 영상증배관의 광출력에 전달되면 영상이 나타나게 되는데 이때 I_t 가 영상의 화질에 영향을 미치게 된다.

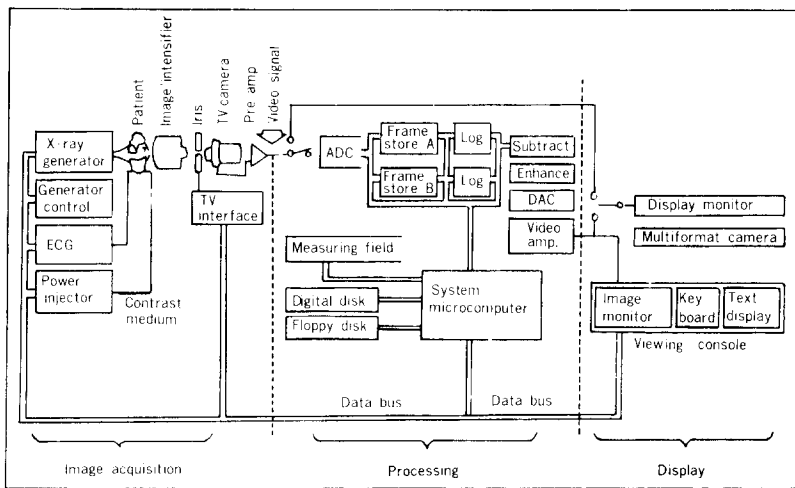


그림 1. DVI CV 블록선도

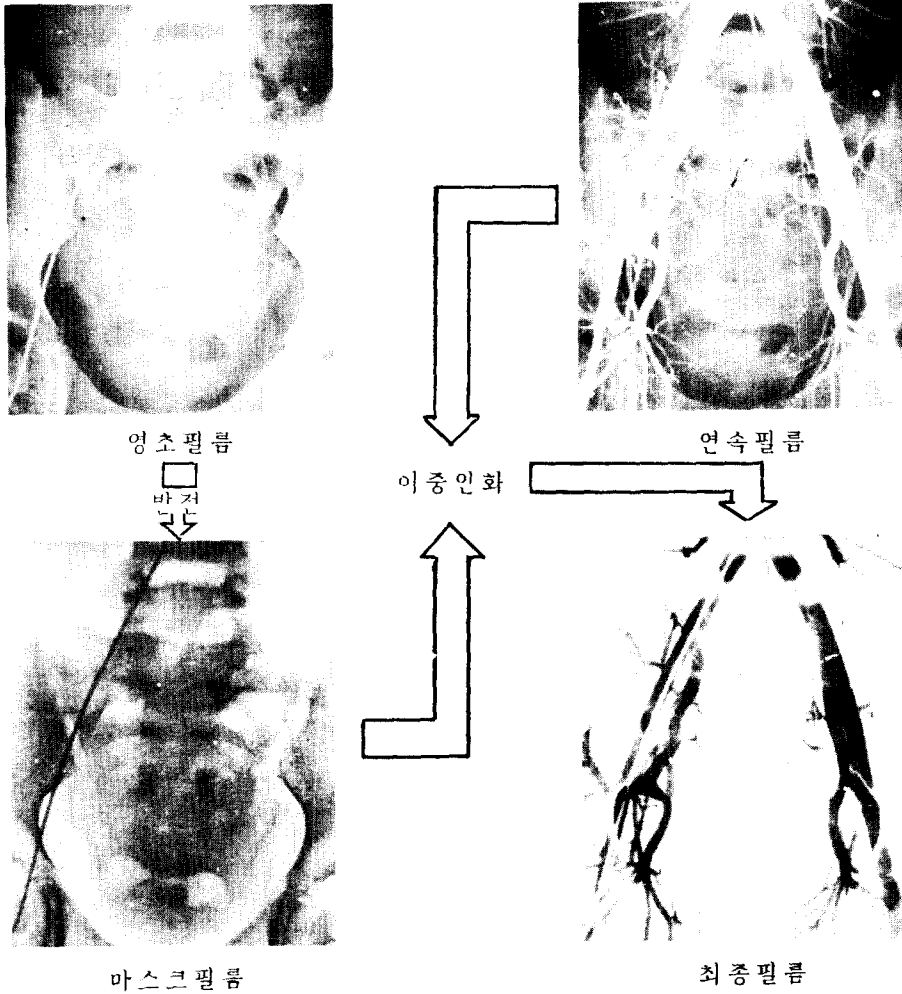


그림 2. 감물 처리식 혈관 조영 과정

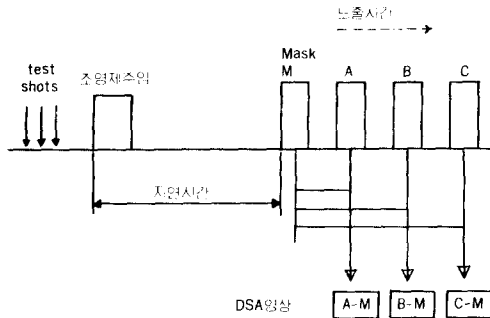


그림 3. 촬영 방식

3-2. 필터링

인체의 각 부분은 두께와 농도가 서로다르기 때문에 방사선이 방사되는 부분이나 피검자 신체부위에 필터를 부착시켜 농도차가 심한 부분을 보상하여 농도가 균일하도록 하여야 하는데 이때 췌기형 필터와 등가 필터를 삽입하고 디지털 혈관조영술을 시행한다.

(1) 등가 필터

일반적인 촬영시스템에서는 인체의 사지관절 등은 적은 KVp, mAS로도 촬영될 수 있으나 방사선

피폭선량이 많아지고 화질이 저하되기 때문에 진단용 방사선 촬영장치에서는 40~150KVp로 사용하도록 국제방사선 방어 위원회(NCRP)는 권장하고 있다.

한편, 디지털 혈관조영장치인 DVI CV는 실질적으로 50~90KVp범위에서만 촬영되도록 고안되어져 소아환자나 사지관절의 디지털 혈관조영술의 경우

다음과 같은 등가 필터를 사용하여 50~90KVp범위에 도달하도록 해야 한다.

Cu : 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0mm의 판

Al : 5, 10 20mm의 판

이러한 등가 필터를 사용하면 투과량이 균일하게 된다. 그림 4는 등가 및 썰기형 모형을 나타낸 것이고 그림 5는 등가필터 사진이며 그림 6은 부분적 등가필터 사진이다.

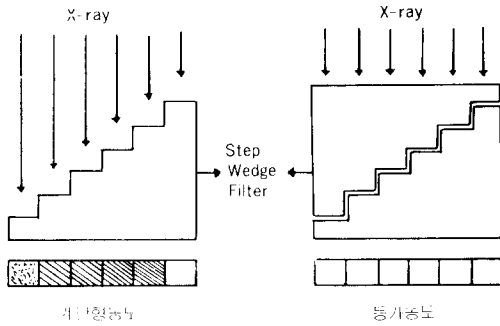


그림 4. 등가 및 썰기형 필터의 모형도

(2) 썰기형 필터

인체의 굴곡이 많이 형성되어 있는 부분이나 두께가 일정하지 않아 농도상으로 심한 차이가 나는 부분을 썰기형 필터를 사용하여 균일한 농도를 얻고자 하는 방법이다. 그림 7은 썰기형 필터를 사용하여 방사선 흡수를 나타낸 것이다⁸⁾. 썰기형 필터를 사용하여 비디오 전압출력을 살펴보면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V = KI^m$$

(3)

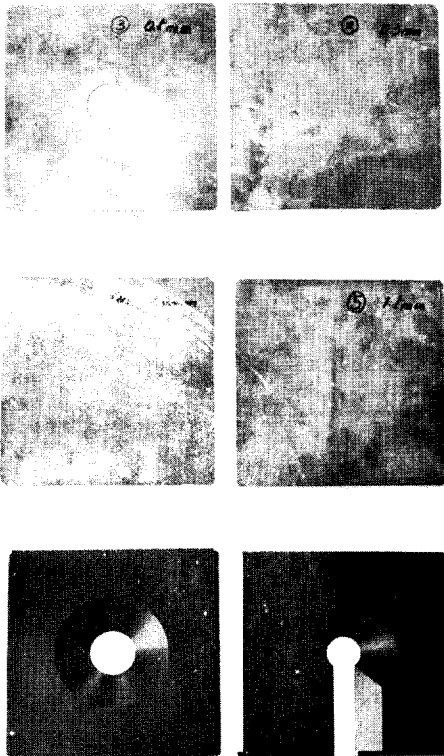


그림 5. 등가 필터 사진

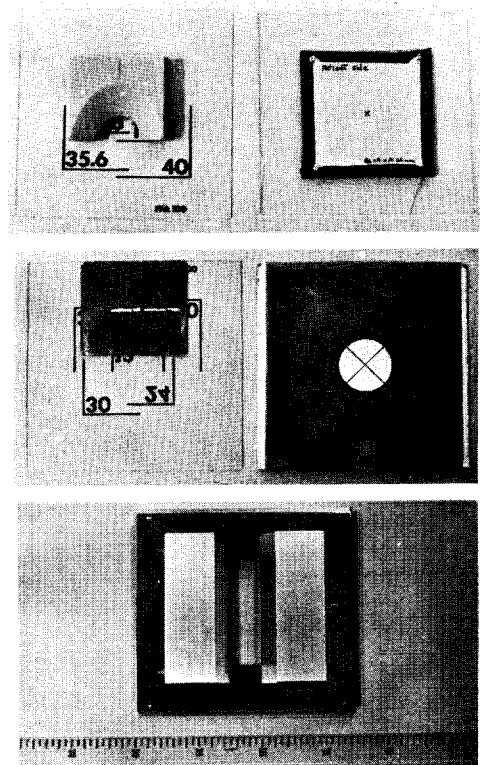
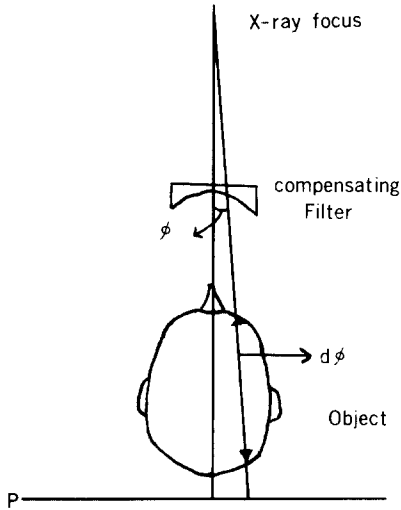


그림 6. 부분적 등가 필터 사진



영상증배관 입력형광면
그림 7. 방사선 흡수

위 식에서

K, m : TV카메라 고유상수

V : 형광면에서의 카메라 비디오 전압

I : 형광면에서의 방사선 강도

a) 피사체가 없을때

$\mu\phi s$: 각도 ϕ 일때 피사체가 없을 경우 행로 $d\phi$ 를 따라 생기는 실효 감쇄계수

$I\phi s$: 영상증배관 표면 P에서의 방사선 강도

$V\phi s$: P에서의 신호에 따른 TV 카메라 출력 전압
그러므로, 식(3)에 따라

$$V\phi s = K\phi I\phi s^m = V_s \quad (4)$$

보상용 필터를 사용하여 영상전반에 걸쳐 일정한 출력이 되도록 조절한다.

b) 피사체가 있을때

$\mu\phi t$: 각도 ϕ 에서 행로 $d\phi$ 를 따라 생기는 실효감쇄계수

$I\phi t$: P에서의 방사선 강도

$$I\phi t = I\phi s \text{Exp}[-(\mu\phi t - \mu\phi s) d\phi] \quad (5)$$

$V\phi t$: P에서의 TV신호는 식(3)에 따라

$$V\phi t = V_s \text{Exp}[-m(\mu\phi t - \mu\phi s) d\phi] \quad (6)$$

그러므로, 실제의 영상신호는

$$\text{Exp}[m(\mu\phi t - \mu\phi s)d\phi] = V_s/V\phi t \quad (7)$$

그러므로,

$$(\mu\phi t - \mu\phi s)d\phi = \ln(V_s/V\phi t)/m \quad (8)$$

인체의 각부위는 $\mu\phi t$ 값이 각각 다르므로 보상필터가 없는 경우 결과적으로 얻는 영상의 대조도는 고르지 못하다. 따라서 $\mu\phi t$ 의 변화를 보상해 줄 수 있는 감쇄계수값($\mu\phi t$)을 갖는 필터를 사용하면 고른 화질의 영상을 결과로 얻을 수 있게 되는데, 그림 8은 보상용 필터를 나타낸 것이다. 이러한 보상용 필터를 두개골, 복부, 사지, 습관절 등의 디지털 혈관조영술의 경우에 사용하면 화질이 현저히 향상되는 것을 알 수가 있다. 또한 긴 물주머니등을 대퇴부나 습관절사이에 놓고 촬영하여도 화질이 향상된 영상을 결과로 얻을 수 있다.

3-3. 피조물의 움직임

환자의 움직임은 디지털혈관조영술의 경우 영상에 많은 영향을 미치므로 아주 중요한 문제이다. 환자를 고정하여 움직임을 방지하고 소장 및 내장은 연동운동 및 경련으로 움직이는 것은 인간의 의지로서는 고정시킬수 없으므로, 촬영직전 환자의 움직임을 억제시킬 수 있는 약을 주입하여 임시정지시키는 방법도 시행되는 반면, 이들 움직임에 대한 영상은 화소이동기법을 이용하여 화질이 향상된 영상을 얻을 수 있다.

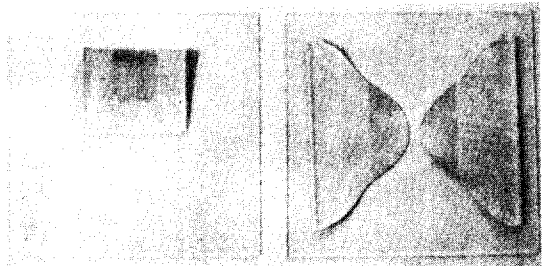


그림 8. 보상용 필터

3-4. 마스크 이동 기법

디지털 혈관조영술의 영상은 연속적으로 촬영하여 영상을 하나하나 연결하여 혈류의 이동상태에 따른 과정을 분석하여 보는데 목적이 있다. 이렇게 연속적으로 연결된 영상을 하나하나 시간적으로 분류하여 보면 촬영시간 동안 피조물의 운동 또는 호흡등으로 움직여져 영상의 화질이 저하되어 나타난다. 이렇게 움직여진 영상을 마스크 이동시키는 방법인데 조영제가 출현하기 직전의 영상이나 또는 보고자하는 혈관이 나타나기 직전의 마스크를 이동시키는 방법이다.

이러한 기법을 적용하면 원래의 영상에서 움직여진 상태가 새로운 마스크로 이동된 상태는 움직임이 없는 균일한 농도의 조영제만 나타나게 된다. 반면, 시간적 분포로 볼 때 촬영조영장치에서 조영제가 완전히 제거되어 나타나지 않았을 때부터 새로운 마스크기법을 적용하여 역으로 영상을 나타나게 할 수도 있다.

사진 9의 A)에서 보면 원래의 영상(촬영시 영상)에서는 마스크를 이동시키지 않았으므로 겹쳐 나타난 부분 즉, 좌심실과 복부동맥이 중복되어 구별되지 않고 있으며 하대정맥(IVC)과 폐동맥(PA)은 시간적인 차이로 영상이 하얗게 나타나고 있다. 그러나 사진 9의 B)에서는 마스크 이동기법을 적용한 결과 좌심실, 대동맥궁, 복부동맥등이 잘 나타나고 있다. 사진 9의 A)와 B)는 촬영시 조영제가 나타나

는 시간은 같았지만 마스크를 이동 시킨 결과 많은 차이를 나타내어 영상의 화질이 향상되어졌다.

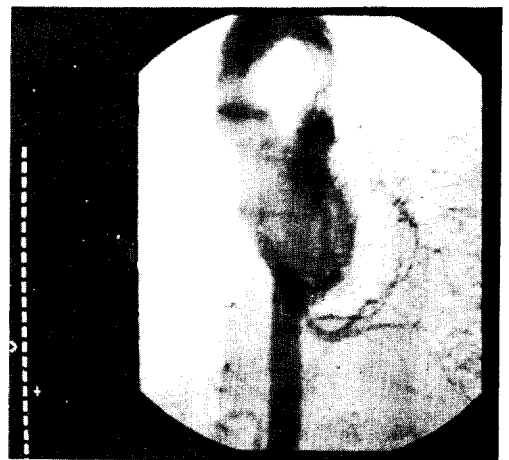
3-5. 조영제의 주입 방법

혈관내에 조영제를 주입하여 영상에 많은 영향을 미치는 것은 유속(ml/sec)이다. 유속을 증가시킨다고 해서 영상의 화질이 향상되지는 않는다. 대동맥궁이나 복부동맥은 압력이 높고 속도가 빠르기 때문에 유속을 높이기 위하여 생리식염수(normal saline)과 조영제를 1:1, 2:1, 또는 3:1의 비율로 희석하여 사용하므로써 압력도 높일 수 있고 많은 양을 주입하여 영상의 화질을 향상시킬 수 있다. 또한 장기나 특정혈관을 선택하여 혈관조영술을 시행할 경우 이때는 선택된 상태에 따라 조영제를 주입하게 되는데 압력이 높게 유지되면 선택된 혈관에서 카테타(catheter)가 빠지거나 조영제의 역류 또는 장기가 손상을 있게 되는 수도 있다.

조영제의 주입량은 카테타의 길이, 구경, 끝의 모양 또는 혈관의 부위에 따라 주입량이 정해지지만 경우에 따라서는 조영제의 소량을 카테타에 직접주사기를 연결하여 주입하는 방법도 있다. 이러한 조영제의 주입방법에서도 많은 매개변수의 작용으로 화질이 향상되는데 효과적인 조영제의 주입으로 진단의 정보가 많은 화질을 만들어야 한다.



A) 원래의 영상



B) 마스크 이동 영상

그림 9. 마스크 이동 기법의 비교 분석

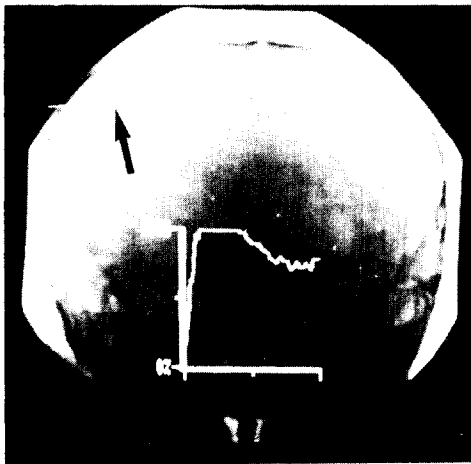
4. 고 찰

4-1. 필터링의 해석

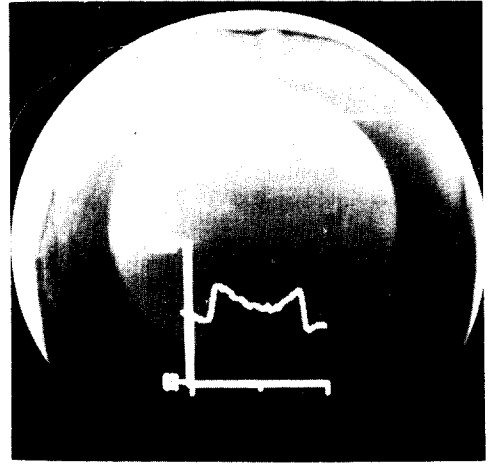
인체를 투과한 방사선이 균등하지 않다는 것은 식(2)에서 언급된 바와 같이 투과된 방사선이 균등하여야 영상의 화질이 향상된다. 그림 10의 사진에서 농도 프로파일(density profile) 측정기준은 하얀 부분을 100%로 정하고 검은 부분을 0%(zero)로 정한 사진이다. A)에서의 농도 프로파일은 필터가 없기 때문에 머리상부 끝, 화살표 부분의 농도는 100

%로 가장 중요한 마스크영상에서부터 영상이 형성되지 않고 있으므로 B)에서와 같이 디지털 혈관조영영상의 화살표 부분 농도가 없는 결과로 영상이 나타나지 않고 있다.

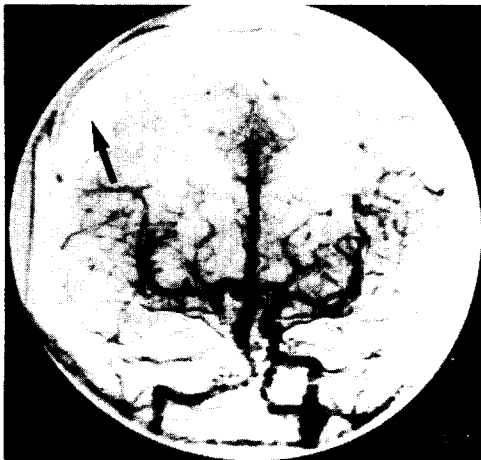
반면, C)에서는 Cu : 0.5mm + Al : 12mm의 이중 필터를 사용하여 촬영한 결과 원형 양쪽 가장자리만 농도가 약간 증가하고 나머지 부분은 농도가 균등한 것을 알 수 있다. 마스크 농도가 균등하므로 사진 D)에서와 같이 디지털 혈관조영영상의 화질이 향상되어 진단의 정보가 많은 사진을 결과로 얻을 수 있다.



A) 필터 없는 마스크 영상



B) 필터 없는 혈관 조영영상



C) Cu : 0.5mm + Al : 12mm의 필터를 삽입한 마스크 영상



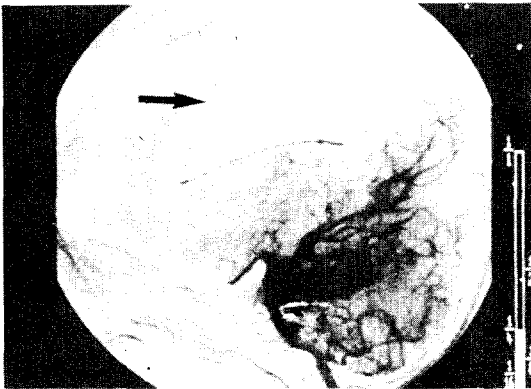
D) Cu : 0.5mm + Al : 12mm의 필터를 삽입한 혈관 조영영상

그림 10. 필터링의 분석

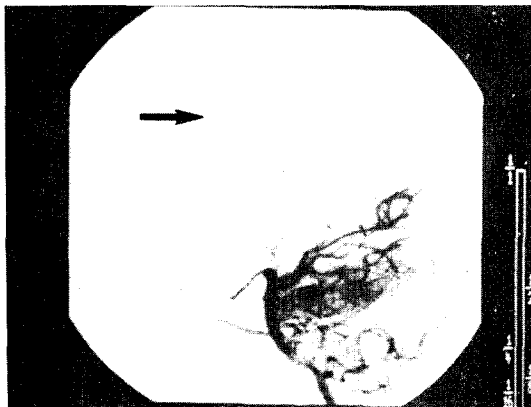
4-2. 화소이동 기법의 이용

피조물의 움직임 때문에 영상의 농도가 균일하지 않아 영상에 영향을 미치게 된다. 움직임은 미세혈관에 대한 영상의 화질을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 피조물의 운동에 의한 것들은 영상을 병행 이동하여 영상을 제조함으로써 화질을 보완 향상시켰다. 그림 11 사진 A)에서 머리속에 있는 기다란 모양의 관이 화살표에서 나타난 것처럼 뚜렷하게 보이는데 이것은 디지털 혈관조영술을 시행할 때 환자 자신이 움직인 영상의 결과이다.

이러한 움직임 때문에 나타난 영상을 제거하여야 하는데 사진 B)에서 보면 화살표 부분의 농도가 균일한 것을 알 수 있는데, 이 영상은 화소 이동기법을 적용하여 영상을 제조함시킨 결과로 화질이 향상된 것을 알 수 있다.



A) 원래의 영상



B) 병행 이동 시킨 영상

그림 11. 화소 병행 이동 시킨 영상

5. 결 론

본 연구는 화질개선에 관한 연구로 실험을 통하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

디지털 혈관조영장치로 부터 영상을 얻는 과정에서 농도가 균일하지 않아 좋은 화질을 얻을 수 없으므로 보상 필터 콘, 프라스틱, 알루미늄, 동 그리고 물주머니등을 부가하여 균일한 디지털 혈관조영상을 얻을 수 있었으며, 조영제의 주입방법에 따라 영상에 영향을 미치므로 조영제 주입시 선형상승시간(linear rise time)을 되도록 짧게하고 조영제와 생리식염수를 1:1, 1:2 또는 1:3의 비율로 혼합하여 가능한 한 혈관 용적에 비례하여 조영제를 주입함으로써 이상적인 영상의 화질을 얻을 수 있음을 알았다.

경미한 피조물의 운동은 화소 이동기법과 마스크 이동기법을 적용하여 해결할 수 있으며, 조영제의 양과 화질면에서 볼 때 선택적 조영술로써 디지털 혈관조영 상을 얻는것이 효과적임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Joachim H. Bunsch, M. D., et al : *Assessment of Arterial Blood Flow Measurements by Digital Angiography ; Radiology 141 : 39~41, October 1981.*
- 2) Edward Buonocore, M. D., et al : *Digital Subtraction Angiography of the Abdominal Aorta and Renal Arteries ; Radiology 139 : 281~286, May 1981.*
- 3) Thomas F. Meaney, M. A. Weinstein, et al : *Digital Subtraction Angiography of the Human Cardiovascular System : AJR 135 : 1153 ~1160, December 1980.*
- 4) 남문현 : 인간의 머리운동 제어에 대한 생체공학자 연구 ; 건국대학교 학술지 제 27집(2) 1985.
- 5) *Digital Subtraction Angiography in Clinical Practice : Published by Philips Medical Systems Bests, The Netherlands., 1986.*
- 6) 허준편 : X 선, 기술 원론 ; 고문사, 1974.
- 7) 김희찬, 이대수, 박광석, 한만청, 민병구 : 디지털 혈관조영장치의 개발 및 국산화에 관한 연

- 구, 의공학회지 제 6권 제 2호, pp 29~32, 1985.
- 9) *Merrill's Atlas of Radiographic Positions and Radiologic Procedures. 5th ed, Vol. 3, 1986.*
- 9) *DVI-CV, Release 4. 2; Philips Operator's manual., 1984.*