

병원의 표준 혈액재고량 산출식 개발

한림대학 의학부 사회의학교실

김 병 익

= Abstract =

Development of the Standard Blood Inventory Level Decision Rule in Hospitals

Byoung Yik Kim

*Department of Social Medicine,
Hallym University, College of Medicine*

Two major issues of the blood bank management are quality assurance and inventory control. Recently, in Korea blood donation has gained popularity increasingly to allow considerable improvement of the quality assurance with respect to blood collection, transportation, storage, component preparation skills and hematological tests.

Nevertheless the inventory control, the other issue of blood bank management, has been neglected so far. For the supply of blood by donation barely meets the demand, the blood bank policy on the inventory control has been 'the more the better.' The shortage itself by no means unnecessitate inventory control. In fact, in spite of shortage, no small amount of blood is outdated. The efficient blood inventory control makes it possible to economize the blood usage in the practice of state-of-the-art medical care.

For the efficient blood inventory control in Korean hospitals, this study is to develop formulae forecasting the standard blood inventory level and suggest a set of policies improving the blood inventory control.

For this study informations of A⁺ whole bloods and packed cells inventory control were collected from a University Hospital and the Central Blood Bank of the Korean Red Cross. Using this informations, 1,461 daily blood inventory records were formulated. 48 varieties of blood inventory control environment were identified on the basis of selected combinations of 4 inventory control variables-crossmatch, transfusion, in-hospital donation and age of bloods from external supply. In order to decide the optimal blood inventory level for each environment, simulation models were designed to calculate the measures of performance of each environment.

After the decision of 48 optimal blood inventory levels, stepwise multiple regression analysis was started where the independent variables were 4 inventory control variables and the dependent variable was optimal inventory level of each environment.

Finally the standard blood inventory level decision rule was developed using the backward elimination procedure to select the best regression equation. And the effective alternatives of the issuing policy and crossmatch release period were suggested according to the measures of performance under the condition of the standard blood inventory level.

The results of this study were as follows ;

1. The formulae to calculate the standard blood inventory level(S*) was

$$S^* = 2.8617 \times (d)^{0.9342}$$

where d is the mean daily crossmatch(demand) for a blood type.

2. The measures of performance - outdate rate, average period of storage, mean age of transfused bloods, and mean daily available inventory level - were improved after maintenance of the standard inventory level in comparison with the present system.

3. Issuing policy of First In-First Out(FIFO) decreased the outdate rate, while Last In-First Out(LIFO) decreased the mean age of transfused bloods. The decrease of the crossmatch release period reduced the outdate rate and the mean age of transfused bloods.

I. 서 론

환자의 생명과 직결되는 중요한 의료행위의 하나로 수혈요법이 광범하게 사용되면서, 수혈혈액에 대한 철저한 정도관리 및 효율적인 재고관리가 필수적인 과제로 대두되었다. 이에 따라 혈액의 채혈, 운반 및 보존, 성분제제의 제조, 그리고 각종 혈액학적 검사 등 수혈과정 전반에 걸친 정도관리기법은 급속하게 발전되었고, 혈액부족 및 실효혈액의 발생을 최소화하고 보다 신선한 혈액을 환자에게 수혈하기 위해 효율적인 재고관리의 기법을 개발하려는 노력도 계속되고 있다. 그동안 우리나라에서도 수혈혈액에 대한 정도관리는 상당한 개선이 이루어졌으나, 만성적인 혈액공급 부족사태(조, 1984)로 인하여 효율적인 재고관리보다 혈액의 충분한 확보에 급급한 실정이었다.

재고관리의 목적은 일반적으로 물품을 주문하고 구입하는 과정에서 소요되는 주문비용(ORDERING COST)과 구매량의 크기에 따라 좌우되는 단가의 차이로 발생하는 구매비용(PURCHASING COST)과, 재고로 남아 있는 물품을 보관하고 유지하는데 드는 보관비용(HOLDING COST), 그리고 재고가 없을 때 생산이나 출고를 중단함으로써 야기되는 손실에 의한 부족비용(SHORTAGE COST) 등의 재고관리비용을 최소화(Budnick FS 등, 1977)하는 것이다.

그러나 혈액재고관리에서는 이들 네가지 비용중 주문비용과 구매비용이 발생하지 않는 대신, 혈액의 보존기간이 경과하면서 야기되는 손실을 재고관리비용으로 추가시킬 필요가 있다. 왜냐하면 혈액의 단가가 고정되어 있어(보건사회부, 고시 제85-39호) 다량 구입에도 할인이 있을 수 없으며, 일상적인 혈액의 주문과 구입에는 비용이 소요되지 않기 때문이다. 다만 응급주문으로 혈액을 확보할 때 주문비용이 발생할 수 있는데, 이 비용은 혈액부족에 의해 파생되는 손실의 하나로 봄이 타당할 것이다. 부족비용은 혈액이 없어 수혈하지 못하거나, 응급주문으로 혈액을 확보하는 데 시간이 소요되어 수혈이 지연됨으로서, 환자의 예후에 치명적인 결과를 초래함으로써 발생하는 손실이라 할 수 있다.

혈액 보존기간의 경과에 따른 손실비용으로 실효비용(OUTDATE COST)과 가령화 비용(AGING COST)을 개념적으로 포함시킬 수 있을 것이다. 채혈후 시간이 경

과함에 따라 보존혈액의 성분은 계속 변화하기(Dohue DM 등, 1956; 조, 1978)때문에, 보존혈액의 시효를 법규로 규정(혈액관리법 시행령)하여, 전혈 및 적혈구 농축액의 보존기간이 21일을 경과하면 폐기처분하고 있다. 이와 같이 혈액의 실효는 곧 바로 손실로 귀결된다. 더불어 보존기간의 경과로 수혈효과가 감소하거나 또는 부작용이 초래된다면, 이 또한 손실이며, 이를 가령화비용으로 간주할 수 있을 것이다.

결국 혈액재고관리에 소요되는 비용은 혈액의 보관비용, 부족비용, 실효비용 및 가령화비용으로 대별할 수 있겠다. 그러나 이러한 비용의 산출이 현실적으로 어렵기 때문에, 재고관리의 성취도를 측정함으로써 이들 비용을 간접적으로 가능하게 된다. 따라서 보관비용은 혈액의 평균 재고기간(AVERAGE STORAGE PERIOD)으로, 부족비용은 혈액부족율(SHORTAGE RATE)로, 실효비용은 혈액실효율(OUDATE RATE)로, 그리고 가령화비용은 수혈혈액의 평균 혈령(MEAN AGE OF TRANSFUSED BLOODS)으로 대표할 수 있겠다. 효율적인 혈액재고관리는 바로 이와 같은 지표들의 값을 최소화하는 것이라 하겠다.

지금까지도 우리나라 각급 의료기관의 혈액재고관리를 관행적인 방법에 따르고 있어, 혈액이 부족하면서도 실효되는 혈액이 발생하는 모순된 결과를 보이는 경우가 나타나고 있는 실정(대한적십자사, 1983)이다. 이러한 문제의 해결뿐만 아니라, 수혈효과를 더욱 높여주고, 부작용의 발생을 극소화하기 위해서도 혈액재고관리의 효율화는 시급한 과제가 된다.

효율적인 혈액재고관리에 영향을 미칠 수 있는 변수들은 인위적으로 통제가 가능한 내부변수(ENDOGENOUS VARIABLE)와 통제가 불가능한 외부변수(EXOGENOUS VARIABLE)로 대별된다(Cohen MA 등, 1979). 재고관리자의 의도에 의해 좌우되는 정책변수(POLICY VARIABLE)인 내부변수로는 재고수준(INVENTORY LEVEL)과 출고원칙(ISSUING POLICY)을 들 수 있다. 이에 반해 외부변수로는 혈액 청구량(수요량, DEMAND), 수혈량(사용량, USAGE), 입고혈액의 혈령(AGE OF ARRIVING UNITS) 및 반환혈액의 회수소요기간(CROSSMATCH - RELEASE PERIOD) 등 재고관리자의 의도와 관계없이 무작위로 나타나는 변수(RANDOM VARIABLE)들을 들 수 있다. 이들 변수들은 독립적으로 또는 상호작용을 통해 혈액재고관리의 성취도를

좌우하고 있는 것이다.

이러한 관점에서 이들 변수들을 여하히 통제하느냐가 효율적인 혈액재고관리의 관건이 될 것이며, 특히 인위적으로 통제 가능한 재고수준과 출고원칙이 재고관리의 요체라 하겠다. 이에 따라 본 연구는 효율적인 병원 혈액재고관리의 기초가 되는 적정재고수준을 결정할 수 있는 표준 혈액재고량 산출식을 개발하고, 보다 효과적인 재고관리대안을 모색하고자 시도되었다.

본 연구의 구체적 목적은 시뮬레이션 기법을 사용하여 다양한 혈액재고관리조건에서 재고관리의 성취도를 최적화할 수 있는 재고수준을 규명하고, 이같은 최적재고수준과 재고관리변수들간의 관계를 분석함으로써 표준 혈액재고량 산출식을 개발하는데 있었다. 또한 동 수식에 의해 결정되는 재고수준을 유지할 때와 그렇지 않을 때의 재고관리 성취도를 비교함으로써, 표준 혈액재고량의 적용타당성을 검토하는 것도 연구 목적의 하나였다. 이와 더불어 혈액재고관리에 있어 재고수준 이외에 통제 가능한 변수인 출고원칙과 반환혈액의 회수소요기간을 변화시키면서 재고관리를 시뮬레이션함으로써, 성취도가 보다 우수한 재고관리대안을 규명하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구의 범위

본 연구의 최종적인 목적은 병원의 효율적인 혈액재고관리에 필수적인 적정 재고수준을 결정할 수 있는 수식, 즉 표준 혈액재고량 산출식을 개발하고, 효과적인 재고관리대안을 제시하는 것이다. 먼저 표준 혈액재고량 산출식을 개발하기 위해서는 각기 다른 재고관리조건에서의 최적 재고량을 결정해야 하며, 여기에 어떠한 재고관리 변수들이 영향을 미치고 있고, 그들의 영향력은 어느 정도되는지를 측정해야 한다. 또한 효과적인 재고관리대안을 제시하기 위해서는 통제 가능한 정책변수들을 변화시킬 때 재고관리 성취도가 어떻게 달라지는지를 규명해야 한다.

이에 따라 본 연구는 그림1과 같이 단계적인 접근을 시도하였다. 그 첫 단계로 현행 혈액재고관리 현황자료를 수집하여, 이를 근거로 재고관리변수의 실체를 감안한 다수의 다양한 재고관리조건을 설정하였다. 한편 재고수준 또는 재고관리대안의 변화시킬 때 달라지는 재고관리 성취도를 측정할 수 있는 시뮬레이션 모형을 고안하였다.

고안된 모형에 따라 각각의 재고관리조건에서 시뮬레이션을 실행하여, 성취도가 최적인 재고수준을 결정한 뒤, 표준 혈액재고량 산출식을 개발하였다. 이와 같이 개발된 수식에 의한 표준 재고량을 유지하면서 시뮬레이션한 결과로 나타난 성취도를 현행 방식과 비교함으로써, 표준 혈액재고량 산출식의 적용 타당성을 검토하였고, 출고원칙과 반환혈액의 회수소요기간을 변화시키며 시뮬레이션을 실행하여 얻은 대안별 성취도를 비교함으로써, 효과적인 재고관리대안을 모색하였다.

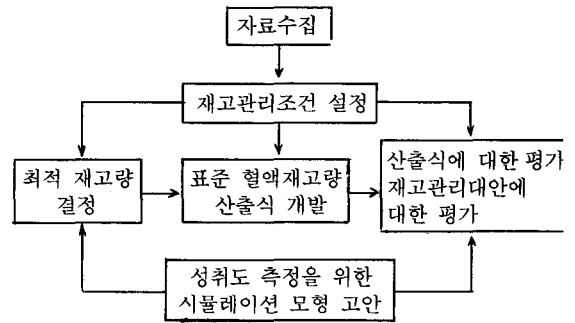


그림 1. 연구의 틀

2. 연구자료

1) 자료의 수집

본 연구를 시행하기 위하여 1980년 3월 22일부터 1984년 5월 2일까지 한 대학 병원 혈액은행에서 출고된 A+형 전혈 및 적혈구제제 41,107pints를 대상으로 자료를 수집하였다. 한 병원만을 대상으로 한 이유는 자료의 신뢰도와 충실도 그리고 조사용이도를 감안했기 때문이며, 조사대상 혈액형을 A+형으로 국한한 것은 우리나라 국민의 32.6%가 A+형으로 가장 보편적인 혈액형(강 등, 1976)이라는 이유와 더불어 자료처리의 용이도를 고려한 결과였다. 또한 전혈 및 적혈구제제만을 대상으로 선정된 이유는 성분 수혈이 저조한 우리나라 실정(ROK NRC, 1983)에서 이들이 가장 주된 혈액재고관리 대상 품목이기 때문이었다.

조사대상 혈액에 대하여 색인번호, 공급원, 채혈일, 입고일, 출고일 및 수혈여부를 혈액출고대장에서 확인하였다. 이 때 공급원은 외부에서 공급된 혈액, 원내에서 채혈된 혈액, 그리고 출고되었다가 반환된 혈액으로 구분하였다. 출고대장에 채혈일이나 입고일이 기재되어 있지

않은 혈액에 대해서는 원내 헌혈대장과 적십자 혈액원의 출고대장에서 이를 확인하여 보완하였다.

이와 같이 자료를 조사함에 있어 입고된 후 출고되지 않은 혈액과 가용재고가 없어 출고하지 못한 청구에 대해서는 확인할 수 없었기 때문에, 한번도 출고되지 못한 채 실효되거나 청구에 비해 부족한 혈액량을 파악하지 못하였다. 이로 인해 혈액실효율과 혈액부족률의 정확한 측정이 불가능했으며, 더우기 응급주문에 의한 혈액 확보로 부족한 혈액을 충당할 경우에 대해서도 확인할 수 없었다. 따라서 현행 재고관리에서의 혈액부족을 0%로 상정해야 하는 자료상의 제약점을 감수할 수밖에 없었다.

2) 일간 혈액재고표의 작성

조사된 41,107pints의 혈액에 대한 자료를 근거로 1980년 3월 22일부터 1984년 5월 24까지 1,503일 동안 매일의 혈액 재고관리 현황을 나타낼 수 있는 일간 혈액 재고표를 다음과 같이 작성하였다(표 1 참조).

기초재고(A.)는 전일의 기말재고(K.)의 혈령을 1일씩 가산하여 이월하였다. 따라서 t일의 Ki는 t+1일의 Ai+1과 동일하므로 혈령이 0일인 기초재고(A0)는 있을 수 없으나, 법정실효인 21일을 경과하여 실효 처분되어야 할 기초재고(A22)는 나타날 가능성이 있다.

반환입고(B.), 원내채혈(C.) 및 외부입고(D.)는 모두

입고일 기준으로 혈령별로 입고량을 정리하였다. 출고 당일뿐만 아니라 일정기간 경과후에도 반환입고될 수 있기 때문에, 혈령이 22일 이상인 혈액의 반환입고(B22)도 가능할 것이다. 원내채혈인 경우에는 채혈 당일 모두 입고되는 것으로 간주하였으며(C0), 혈액관리법상 혈령이 21일 이하인 혈액만을 공급하고 있기 때문에 실효된 외부입고(D22)는 나타날 수 없을 것이다.

가용재고(F.)는 당일 출고가 가능한 재고로 실효된 혈액이 제외되어야 하기 때문에, 기초재고와 반환입고 중에서 혈령이 22일 이상인 혈액(A22와 B22)을 실효(E.=E22)로 제외한 뒤 원내채혈과 외부입고를 합쳐 가용재고로 보았다. 결국 혈령별 가용재고(Fi)는 Ai+Bi+Ci+Di로 계산되었으며, F22는 실효로 제외되었다.

출고(G), 수혈(H), 그리고 비수혈(I)은 모두 출고일을 기준으로 하였기 때문에, 수혈일이 출고일과 다른 경우에도 출고한 날 수혈한 것으로 간주하였다. 혈령별 출고량(Gi)은 Hi+Ii와 같으며, 수혈되지 않은 혈액(I.)이 재고로 입고되기 전에는 이를 반환입고(B.)로 취급하지 않았다.

응급입고(J.)는 본 연구자료의 제약으로 인하여 파악될 수 없었으나, 당일 가용재고가 청구량보다 적을 때 응급주문으로 혈액을 확보하는 경우, 이를 외부입고나 원내채혈 또는 반환입고와 구분하기 위한 것이다. 이러한 구분은 시뮬레이션 실행시 유용하게 사용될 것이다.

표 1. 일간 혈액재고표

단위 ; pints

198 년 월	일 요일	혈 령 (일)									계
		0	1	2	·	i	·	21	22		
기초재고 (A)		-	A1	A2	·	Ai	·	A21	A22	A.	
반환입고 (B)		B0	B1	B2	·	Bi	·	B21	B22	B.	
원내채혈 (C)		C0	-	-	·	-	·	-	-	C.	
외부입고 (D)		D0	D1	D2	·	Di	·	D21	-	D.	
실효혈액 (E)		-	-	-	·	-	·	-	E22	E.	
가용재고 (F)		F0	F1	F2	·	Fi	·	F21	-	F.	
출 고 (G)		G0	G1	G2	·	Gi	·	G21	-	G.	
수 혈 (H)		H0	H1	H2	·	Hi	·	H21	-	H.	
비 수 혈 (I)		I0	I1	I2	·	Ii	·	I21	-	I.	
응급입고 (J)		J0	J1	J2	·	Ji	·	J21	-	J.	
기말재고 (K)		K0	K1	K2	·	Ki	·	K21	-	K.	

기말재고는 당일 가용재고에서 출고가 완료된 후 남아 있는 재고이며, 혈령별 기말재고(Ki)는 $F_i - G_i$ 로 계산되었다.

3. 혈액재고관리조건의 설정

최적 재고량의 결정 단위가 되는 재고관리조건(Env j)은 특정기간동안 특정병원의 특정혈액형에 대한 재고관리변수의 실적치를 그대로 사용하던지, 아니면 가상치를 투입하여 가상적인 재고관리조건을 설정할 수 있을 것이다. 실적치를 사용하여 최적 재고량을 결정한 연구로는 Elston과 Pickrel(1965), Jennings(1968, 1973) 등이 있으나, 이들 연구에서는 1개의 재고관리조건만을 사용하였기 때문에 표준재고량 산출식을 개발할 수 없었다. 이에 반해 Cohen과 Pierskalla(1979)는 실적치 대신 가상치를 투입하여 설정한 96개의 재고관리조건을 사용하여 표준재고량 산출식을 개발하였다. 그러나 이러한 가상치의 사용은 실제 혈액재고관리상황을 충분히 반영하지 못한다는 약점을 가지고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 실제 혈액재고관리상황을 그대로 반영하면서 동시에 다수의 재고관리조건을 설정하고자 하였다. 이를 위해 앞서 작성된 1,503일에 걸친 일간 혈액재고표중 1980년 5월 1일부터 1984년 4월 30일까지의 기간에 해당하는 1,461일의 재고표를 근거로 일별 혈액수요(출고량), 수혈량 및 원내채혈량 실적치를 월단위로 구분하여 48개의 월간 혈액재고관리조건으로 설정하였다. 그리고 매일 외부에서 공급받는 혈액의 혈령별 입고량을 매월 단위로 합산하여 이를 외부입고혈액의 혈령분포로 간주하였다.

그러나 이같이 혈액재고관리조건을 설정함에 있어, A⁺형 한가지 혈액형의 전혈 및 적혈구에 대한 한 병원의 재고관리기록이라는 점에서 그 타당성에 의문이 제기될 수 있겠다. 바로 이러한 의문을 해소하기 위해서 재고관리변수들의 변이도를 측정하여, 앞서 설정한 재고관리조건들이 다항함을 증명하였다.

4. 시뮬레이션 모형

1) 모 형

특정 혈액재고관리조건 of 최적재고량을 결정하고, 재고관리대안을 비교평가하기 위한 목적으로 재고관리 성취도를 측정하기 위해 고안한 시뮬레이션 모형을 설명하면 다음과 같다.

먼저 일간 혈액재고표(표 1 참조)에 출고량(G.), 수혈량(H.) 및 원내채혈량(C.)과 외부입고혈액의 혈령별 구성비(ei)를 투입한다. 그 다음 실행 최초일의 혈령별 기초재고(Ai)를 투입하고, 실행 최초일부터 반환혈액의 회수소요기간(v일)에 해당하는 날까지의 혈령별 반환입고(Bi)를 투입한다. 혈액의 출고는 정해진 출고원칙에 따라 하는 것으로 하고, 일정 재고수준(S)을 고정하여 다음 과정에 따라 매일의 혈액재고관리가 실행되도록 하여 그 결과를 일간 혈액재고표로 작성한다.

- 실패량(E.)

$$E = E22 = A22 + B22$$

- 외부입고량(D.)

$$D = S - (A + B + C - E)$$

단, $D.(D. < 0) = 0$

- 혈령별 외부입고량(Di)

$$D_i = D \times e_i$$

- 혈령별 가용재고량(Fi)

$$F_i = A_i + B_i + C_i + D_i - E_i$$

- 응급입고량(J.)

$$J = G - F$$

단, $J.(J. < 0) = 0$

- 혈령별 응급입고량(Ji)

$$J_i = J \times e_i$$

- 혈령별 출고량(Gi)

$$G_i \text{ by LIFO} = G \times p$$

$$G_i \text{ by FIFO} = G \times (1 - p)$$

단, p; LIFO 원칙 적용을

$1 - p$; FIFO 원칙 적용을

- 혈령별 수혈량(Hi)

$$H_i = G_i \times H / G$$

- 혈령별 비수혈량(Ii)

$$I_i = G_i - H_i$$

- 혈령별 기말재고량(Ki)

$$K_i = F_i - G_i$$

- 혈령별 기초재고량(Ai)

$$A_{i+1, t+1} = K_i, t$$

- 혈령별 반환입고량(Bi)

$$B_{i+v, t+v} = I_i, t$$

이 과정에서 혈령별 혈액량이 소숫점 단위로 나타나는 것을 피하기 위해 혈령 순서에 따른 군집(cluster)을 감안하여 정수화 처리한다.

2) 재고관리 성취도 지표

혈액재고관리에 대한 시뮬레이션 실행에 끝나면 실행 기간 동안 계속하여 작성된 일간 혈액재고표를 종합하여, 입고혈액총량, 실패혈액총량, 연 가용재고총량, 수혈혈액총량 및 수혈혈액의 혈령 누계를 집계하고, 당일 가용재고량이 당일 출고량보다 작아 응급으로 혈액을 확보해야 하는 응급입고 발생일수를 확인하여, 다음과 같이 재고관리 성취도 지표를 계산한다.

- 혈액의 평균보존기간 = 연 가용재고총량 / 입고혈액총량
- 혈액부족율 = 응급입고 발생일수 / 실행기간 총일수
- 혈액실패율 = 실패혈액총량 / (수혈혈액총량 + 실패혈액총량)
- 수혈혈액의 평균 혈령 = 수혈 혈액의 혈령 누계 / 수혈혈액총량

5. 최적 재고량의 결정방법

1) 결정기준

최적 재고량은 다른 조건이 동일할 때 재고관리 성취도가 가장 우수한 재고수준을 의미한다. 즉 혈액의 평균보존기간이 가장 짧으면서, 혈액부족율과 혈액실패율이 최소화되고, 수혈시 평균 혈령이 가장 낮게 나타나도록 할 수 있는 재고수준을 최적 재고량이라 하겠다. 그러나 혈액부족율과 혈액실패율은 재고수준의 변화에 따라 서로 반대 방향으로 증감하는 trade-off관계에 놓여 있기(Cohen MA 등, 1979; Jennings JB, 1968, 1973)때문에,

최적 재고량을 결정하는 것은 쉽지 않다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 두 지표의 합이 최소가 되는 재고수준을 최소 재고량으로 결정하였다(그림 2-1 참조).

한편 우리나라의 혈액재고관리 자료를 사용한 오(1982)의 연구는 상기 두 지표가 동시에 0가 되는 재고수준이 일정 범위에 걸쳐 있음을 실증하였다. 이러한 경우를 상정하여 두 지표의 합이 0인 재고수준의 범위내에서는 수혈혈액의 평균 혈령이 최소인 재고수준을 최적 재고량으로 결정하였다(그림 2-2 참조).

2) 시뮬레이션 실행

앞서 설정된 48개 혈액재고관리조건 각각의 최적 재고량을 결정하기 위해 재고수준을 최소 10pints에서부터 최대 200pints까지 10pints단위로 증가시키면서 시뮬레이션을 반복 실행하였다. 그 결과 각각의 재고관리조건에서 20개 재고수준에 대한 재고관리 성취도를 측정하고, 상기 결정 기준에 의해 10pints 단위의 최적 재고 수준을 결정하였다. 이같이 결정된 최적 재고수준을 중심으로 상하 10pints 범위내의 21개 1pints 단위 재고량에 대해 각각 시뮬레이션을 실행하여, 최종적인 최적 재고량을 결정하였다.

재고수준을 변화시키면서 시뮬레이션을 실행함에 있어 인위적으로 통제할 수 있는 재고관리변수인 출고원칙과

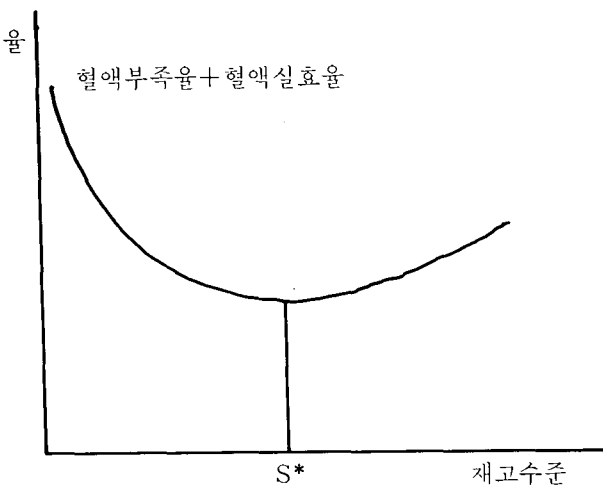


그림 2-1

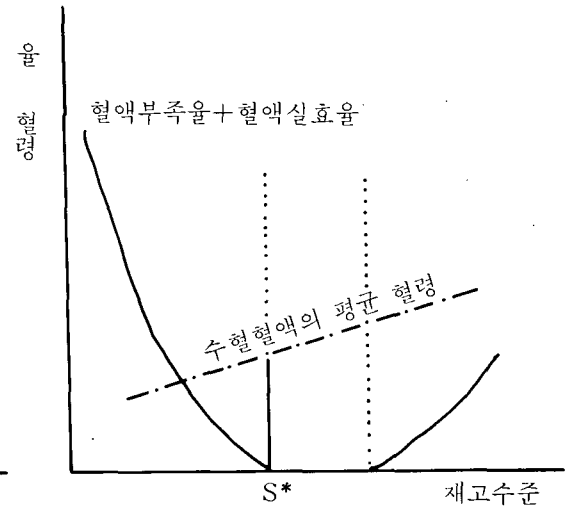


그림 2-2

그림 2. 최적 재고량(S*) 결정 기준

반환혈액의 회수소요기간을 달리 적용해 볼 필요가 있을 것이다. 왜냐하면 이들 변수에 의해서도 최적 재고량이 달라질 가능성이 있기 때문이다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 출고원칙을 완전 FIFO(First In-First Out), 완전 LIFO(Last In-First Out), 그리고 FIFO 70%-LIFO 30%등 세가지 원칙으로 구분하고, 반환혈액의 회수소요기간도 1, 2, 3일로 구분하여, 9개의 각가 다른 조건을 개별적으로 적용하여 시뮬레이션을 실행하였다.

이같이 시뮬레이션을 실행함에 있어 다음의 일곱가지 사항을 전제하였다.

첫째, 일간 혈액재고표의 출고량, 수혈량 및 원내채혈량을 실적치대로 적용한다.

둘째, 시뮬레이션 실행 최초일의 혈령별 기초재고(Ai)는 일간 재고표의 기록을 그대로 적용한다.

셋째, 실행 최초일부터 반환혈액의 회수소요기간에 해당하는 날까지의 혈령별 반환 입고(Bi)는 일간 재고표의 기록을 그대로 적용한다.

넷째, 시뮬레이션 실행시 결정되는 외부입고량은 당일 전량 입고되며, 입고혈액의 혈령분포는 월간 실적치를 그대로 적용한다.

다섯째, 토요일과 일요일의 재고수준은 평일의 1/2로 적용한다.

여섯째, 전제된 출고원칙에 따라 혈령 순서대로 출고하는 것으로 한다.

일곱째, 혈령별 수혈율은 동일한 것으로 간주하여, 당일 출고량에 대한 수혈량의 비를 모든 혈령에 똑같이 적용한다.

6. 표준 혈액재고량 산출식의 개발과정

앞서 결정된 최적 재고량(S*)은 해당 혈액재고관리 조건(Envj)을 대표하는 재고관리변수, 즉 혈액수요를 나타내는 출고량(Gj), 수혈량(Hj), 그리고 입고혈령을 나타내는 원내채혈량(Gi)과 월간 외부입고혈액의 혈령분포(Age.j)에 의해 영향을 받고 있다. 이를 함수로 표현하면 다음과 같다.

$$S^*j = F(Gj, Hj, Cj, Age j) \dots \dots \dots (1)$$

동 함수를 이용하여 표준재고량 산출식을 개발하려면 상기한 네가지 변수들을 계량적으로 표현해야 한다. 이에 본 연구에서는 다음과 같이 이들 변수들을 계량화하였다.

먼저 출고량은 일일 평균 출고량(dj)으로 계측하였으며, 수혈량은 출고량과 수혈율로 계산되기 때문에 출고혈액의

평균 수혈율(pj)을 그 지표로 계산하였다. 원내 채혈량은 입고혈령을 일부 설명하는 것이므로 전체 입고혈액중 차지하는 비중으로 계량화되어야 하나, 재고수준을 변화 시킴에 따라 외부입고량도 달라지기 때문에 원내채혈량의 출고량에 대한 비(wj)로 계산하였다. 외부입고혈액의 혈령분포는 평균혈령(aj)으로 계량화하였다. 이와 같이 계량화한 지표들을 (1)식에 대입하면 다음의 수식으로 대치된다.

$$S^*j = F(dj, pj, wj, aj) \dots \dots \dots (2)$$

동 수식에 48개의 혈액재고관리조건인 최적 재고량, 일일 평균 출고량, 평균 수혈율, 원내 채혈량의 출고량에 대한 비 및 외부입고혈액의 평균 혈령을 투입하여, 중회귀분석을 시행하였다. 이때 선형 모형과 모든 변수들을 자연대수로 치환한 비선형 모형을 사용하였으며, 그 중보다 설명력이 높은 모형으로 중회귀분석을 시행한 결과에 향후제거방법(Backward Elimination Procedure, Draper NR, 1966)을 적용하여 최적 회귀수식(Best Regression Equation)을 선정함으로써, 표준 혈액재고량 산출식을 개발하였다.

7. 대안에 대한 평가방법

1) 표준 혈액재고량 산출식의 평가

앞에서 개발한 표준 혈액재고량 산출식에 의해 계산된 표준재고량을 현행 재고관리조건에 적용했을 때의 성취도를 현행 재고관리방식하의 성취도와 비교 평가함으로써 산출식의 적용 타당성을 검증하였다. 비교에 이용된 성취도 지표는 혈액실효율, 수혈혈액의 평균 혈령 및 혈액의 평균 보존기간이었으며, 가용재고의 평균 수준도 비교하였다. 다만 연구자료의 제약점으로 인하여 현행 방식하에서 혈액부족율을 측정할 수 없었기 때문에 이에 대한 비교가 불가능하였다.

2) 재고관리대안에 대한 평가

혈액은행 관리자가 의도적으로 통제할 수 있는 혈액의 출고원칙과 부분적으로 통제 가능한 반환혈액의 회수소요기간을 변화시킬 때, 혈액부족율, 혈액실효율 그리고 수혈혈액의 평균 혈령이 어떻게 달라지는가를 측정하여 비교함으로써 효과적인 대안을 찾을 수 있을 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 출고원칙을 완전 FIFO, 완전 LIFO, 그리고 FIFO 70%-LIFO 30%등 세가지 원칙으로 구분하고, 반환혈액의 회수소요기간도 1, 2, 3일로 구분하였다.

이를 다른 재고관리변수들은 동일하고 표준 혈액 재고량을 유지하는 재고관리조건에 적용하여, 각각 시뮬레이션을 실행하고, 성취도를 측정 비교하였다.

III. 연구결과

1. 표준 혈액재고량 산출식의 개발

1) 혈액재고관리조건 설정 결과

표준 혈액재고량 산출식 개발에 종속변수로 사용될 최적 재고량(S^*)을 결정하기 위해 설정한 48개의 재고관리조건은 다양한 것으로 나타났다. 표 2에서 보는 바와 같이 1일 평균 출고량은 최소 11.5pints에서 최대 32.3pints까지 분포하였으며, 출고혈액의 평균 수혈율은 최적 0.713에서 최고 0.951까지, 원내채혈량의 출고량에 대한 비는 최저 0.027에서 최고 0.316까지, 그리고 외부입고혈액의 평균 혈령은 최저 0.7일에서 최고 5.3일까지 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 한 병원의 A+형 혈액형에 대한 매월 단위의 재고관리조건이 다양한 것은 혈액수급의 계절적 변동 요인 이외에도 일관성이 결여된 재고관리방식 때문인 것으로 사료된다. 이러한 혈액 재고관리조건들의 다양성은 결과적으로 본 연구의 내적 타당도를 높여 줄 수 있을 것으로 기대된다.

2) 최적 재고량 결정 결과

48개의 혈액재고관리조건에 대한 최적 재고량은 최소 30pints에서 최대 74pints의 범위내에서 결정되었다(그림 3 참조). 최적 재고량이 30pints로 결정된 2개의 경우를 제외하면 모두 46-74pints 범위내에서 최적 재고량이 결정되었다.

한편 출고원칙이나 반환혈액의 회수소요기간을 변화시켜 시뮬레이션을 실행했으나, 각 조건의 최적 재고량을 동일하였다. 이로서 이들 변수들이 최적 재고량에 대하여 영향을 미치지 않음을 실증할 수 있었다.

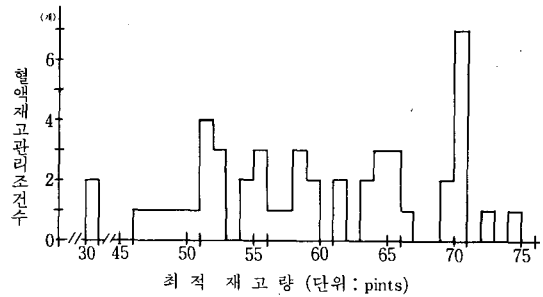


그림 3. 시뮬레이션 실행 결과에 의한 최적 재고량의 크기별 결정 빈도

3) 표준 혈액재고량 산출식의 개발 결과

48개의 혈액재고관리조건들의 최적 재고량(S^*)을 종속변수로 하고, 1일 평균 출고량(d_j), 출고혈액의 평균 수혈율(p_j), 원내채혈량의 출고량에 대한 비(w_j) 및 외부입고혈액의 평균 혈령(a_j)을 독립변수로 하는 중회귀분석을 시행한 결과, Cobb Douglas 생산함수(Wonnacott RJ 등, 1979)와 같은 비선형 모형일 때 최적 재고량에 대한 독립변수들의 설명력이 72.487%로 선형 모형일 때의 68.136% 보다 높았다. 이에 따라 산출식 개발은 비선형 회귀분석 결과를 이용하기로 하였다.

모든 변수들을 자연대수로 치환시킨 후 회귀분석을 시행한 결과, 1일 평균 출고량만으로 최적 재고량의 변화를 71.051%나 설명하고 있었다(표 3 참조). 이에 비해 다른 독립변수들에 의해 추가되는 설명력은 극히 미미하였다.

이 결과를 사용하여 최적 재고량(S^*)을 보다 정확하게 예측할 수 있는 최적 회귀수식(Best Regression Equation)을 표준 혈액 재고량 산출식으로 채택하기 위해, Partial F치가 가장 낮은 변수부터 Partial F 검정을 시행하였다. 그 결과 출고혈액의 평균 수혈율, 원내채혈량의 출고량에 대한 비와 외부입고혈액의 평균 혈령이 차례

표 2. 48개 혈액재고관리조건들의 변수별 분포 범위

재고관리변수	최 소 치	최 고 치
1일 평균 출고량(pints)	11.5	32.3
출고혈액의 평균 수혈율	0.713	0.951
원내채혈량의 출고량에 대한 비	0.027	0.316
외부입고혈액의 평균 혈령(일)	0.7	5.3

표 3. 자연대수로 치환한 최적 재고량에 대한 회귀분석 결과

독립변수	R ²	R ² Change	회귀계수	표준오차	F 치
Ln (dj)	0.71051	0.71051	0.97221	0.09621	102.100***
Ln (aj)	0.72138	0.01087	0.03147	0.03923	0.644
Ln (wj)	0.72273	0.00135	-0.02187	0.03459	0.400
Ln (pj)	0.72487	0.00214	-0.18568	0.32113	0.344
상수 ; 0.82731			Overall F ; 28.32222***		

*** ; p < 0.0001

단, dj : 1일 평균 출고량,

wj : 원내채혈량의 출고량에 대한 비,

dj : 외부입고혈액의 평균 혈령,

pj : 출고혈액의 평균 수혈율

대로 제거되어, 최종적으로는 1일 평균 출고량(d)만이 유일한 예측변수로 남았다. 이 변수의 회귀계수는 0.9342였으며, 상수는 1.0514으로, 수식화하면 다음과 같다.

$$\text{Ln}(S^*) = 1.0514 \times 0.9342 \text{ Ln}(d)$$

이 수식에서 자연대수를 제거함으로써 아래와 같은 표준 혈액재고량 산출식을 확정할 수 있었다.

$$S^* = 2.8617 \times (d)^{0.9342}$$

이같이 확정된 표준 혈액재고량 산출식을 사용하여 1일 평균 출고량과 표준 재고량의 관계를 그려보면 직선에 거의 근접하는 곡선으로 나타났다(그림 4 참조). 1일 평균 출고량이 11pints일 때 표준 재고량은 출고량의 2.5배인 27pints였으나, 출고량이 30pints일 때는 2.3배인 69pints로, 출고량의 증가율에 비해 표준 재고량의 증가율이 떨어지는 철면(convex) 곡선이었다.

4) 표준 혈액재고량 산출식의 평가 결과

개발된 표준 혈액재고량 산출식에 의한 표준 재고량을 현행 재고관리조건에 적용하여 시뮬레이션을 실행한 결과, 현행 방식보다 재고관리의 성취도가 개선됨을 확인할 수 있었다(표 4 참조). 특히 혈액실효율은 현행의 2.1%에서 0.1%로 대폭 감소되었다는 사실은 표준 재고량의 적용으로 귀중한 혈액의 낭비를 효과적으로 예방할 수

있음을 반증한 것이었다. 또한 입고혈액의 평균 보존기간도 3.7일에서 2.3일로 단축되었으며, 1일 평균 가용재고 수준도 94pints에서 59pints로 낮아졌다. 이러한 결과는 현행 재고관리방식하에서 적정 재고수준을 유지하기 보다 '다다익선'의 입장에서 지나치게 과다한 혈액을 재고로 유지하기 때문인 것으로 생각되었다. 따라서 표준 혈액 재고량 산출식에 의해 계산된 재고수준의 유지는 불필요하게 과다한 혈액의 보존으로 파생될 제반 비용을 크게 줄여줄 수 있을 것으로 사료되었다.

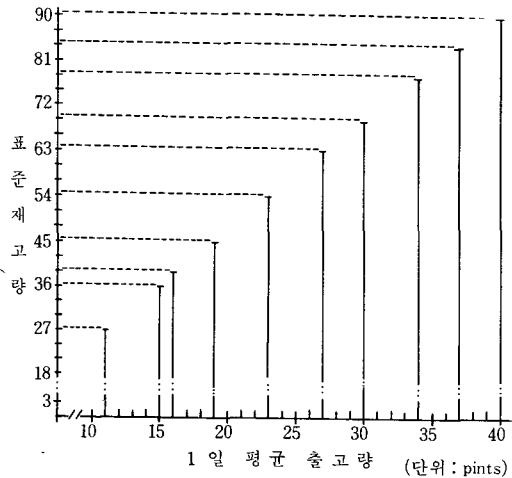


그림 4. 1일 평균 혈액출고량별 표준 혈액재고량

표 4. 표준 혈액재고량 적용시의 현행 방식 간의 성취도 비교

성취도 지표	표준혈액재고량 적용	현행 방식
1일 평균 가용재고 수준(pints)	59	94
혈액부족율(%)	1.8	?
혈액실효율(%)	0.1	2.1
수혈혈액의 평균 혈령(일)	4.2	4.5
입고혈액의 평균 보존기간(일)	2.3	3.7

표 5. 혈액재고관리 대안별 성취도 비교

출고원칙	성취도 지표	반환혈액의 회수소요기간(일)		
		1	2	3
LIFO	혈액실효율(%)	3.14	3.41	3.66
	수혈혈액의 평균 혈령(일)	3.31	3.26	3.27
LIFO : 0.3	혈액실효율(%)	0.12	0.14	0.15
FIFO : 0.7	수혈혈액의 평균 혈령(일)	4.24	4.35	4.37
FIFO	혈액실효율(%)	0.08	0.08	0.09
	수혈혈액의 평균 혈령(일)	4.30	4.41	4.52

더우기 수혈혈액의 평균 혈령도 4.5일에서 4.2일로 낮아져, 표준 재고량의 적용은 수혈환자들에게 보다 신선한 혈액의 제공을 가능케 할 것으로 기대되었다. 다만 표준 재고량의 적용으로 혈액부족율이 1.8%였다는 점이 문제되었으나, 현행 방식하에서의 혈액부족율을 확인할 수 없어 비교가 불가능하였다.

2. 효과적인 혈액재고관리 대안

혈액재고관리변수 중 인위적인 통제가 가능한 정책변수로 재고수준외에도 혈액의 출고원칙을 들 수 있다. 이 변수가 최적 재고량의 결정에는 영향을 미치지 않음을 앞서 확인하였으나, 동일한 재고관리조건에서 출고원칙만을 변화시키면 혈액실효율과 수혈혈액의 평균 혈령이 달라졌다(표 5 참조). 오래된 혈액부터 먼저 출고하는 FIFO원칙의 적용율이 높아질수록 혈액실효율을 크게 감소하였으나, 수혈혈액의 평균 혈령은 그와 반대로 증가하였다. 이러한 결과는 기존의 연구 결과(Cohen MA 등, 1975; Chazan D 등, 1977)와도 일치하는 것으로 효율적인 재고관리를 위해서는 FIFO 원칙 적용율을 높이는 것이 유리하겠다. 다만 수혈혈액의 신선도가 낮아진다는 점에서 문제가 있겠으나, 신선한 혈액이 필요한 환자에게 제한적으로 LIFO원칙을 적용한다면 혈액실효율을 크게 증가시키지 않으면서도 소기의 성과를 거둘 수 있으리라 생각된다.

한편 완전한 통제는 불가능하나 제도적인 규제로 일부 통제할 수 있는 반환혈액의 회수소요기간을 변화시켜도 혈액실효율과 수혈혈액의 평균 혈령이 달라졌다(표 5 참조). 기존의 연구 결과(Cohen MA 등, 1975; Prastacos GP, 1984)와 마찬가지로 그 기간을 짧게 할수록 이들 성취도가 개선되고 있는 것을 보더라도, 효율적인 혈액

재고관리를 위해서는 반환혈액을 빨리 회수하는 것이 바람직하겠다.

IV. 고 찰

표준 혈액재고량을 결정할 수 있는 방법을 개발하기 위해 그 동안 수행되었던 연구 결과를 검토하면 몇가지 문제가 있음을 알 수 있다. 한 예로 Brodheim 등(1976)은 혈액부족율만으로 표준재고량을 결정하고 있는 바, 혈액실효율을 무시하고 있기 때문에 최적 재고수준이라 하기 어렵겠다. 반면 Cobb Douglas 함수로 산출식을 개발한 Cohen과 Pierskalla(1979)의 연구는 가상적인 재고관리 조건을 사용하였기 때문에, 재고관리의 실상이 충분히 반영되지 못하였을 뿐 아니라, 입고혈액의 혈령이 채혈 당일 입고되는 원내채혈의 총당율에 의해 크게 영향을 받는다는 점을 감안하지 않았다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 최적 재고량의 결정기준으로 혈액부족율, 혈액실효율 그리고 수혈혈액의 평균 혈령을 동시에 사용하였다. 또한 현행 실적치를 그대로 적용한 재고관리조건에서 최적 재고량을 결정하였으며, 입고혈액의 혈령을 외부입고와 원내채혈을 구분하여 개별적인 재고관리변수로 간주하였다.

그럼에도 본 연구에서 사용한 48개 재고관리조건 중 1일 평균 출고량의 분포가 11.5pints에서 32.3pints범위 안에 한정되어 있다는 것이 가장 큰 제약점이 된다. 이로 인하여 1일 평균 출고량이 이 범위를 벗어나는 재고관리조건에서 산출되는 표준재고량은 외삽법에 의한 예측치라는 점을 유념해야 하겠다.

그러나 1일 평균 출고량이 상기 범위내라면, 어떤 병원,

어떤 혈액형에 대한 혈액재고관리에서든지 본 연구에서 개발한 표준 혈액재고량 산출식을 사용하여 계산한 재고수준의 가용재고를 유지하는 것이 그렇지 않을 때 보다 재고관리 성취도를 크게 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 각급 의료기관의 가용재고 수준을 낮출 수 있어 지역단위의 혈액수급조절이 용이해질 것이며, 지역 내 모든 의료기관의 표준 재고량을 근거로 합리적인 혈액수급계획의 수립이 가능할 것이다.

한편 각급 병원에서 혈액형별 가용재고수준을 항상 표준 혈액재고량만큼 유지할 수 있을 것인가 하는 의문이 제기될 여지가 있다. 주문량대로 공급받지 못하고 있는 현실(조, 1984)을 고려하면 표준 재고량보다 낮은 수준으로 가용재고를 유지해야 하는 경우를 충분히 예상할 수 있겠다. 이러한 경우 혈액부족율이 증가하는 문제에 봉착하게 되므로, 본 연구에서 제시한 산출식에 의한 표준 재고량은 혈액은행이 반드시 유지해야 할 최소 수준의 가용재고량으로 보아야 한다. 최적 재고량을 중심으로 재고수준이 증가하는 방향에서의 성취도 변화가 감소할 때보다 둔감하다는 Cohen 등(1979)의 연구 결과를 감안하더라도, 산출식에 의한 표준 재고량은 혈액은행이 확보해야 할 최소한의 가용재고 수준으로 간주하는 것이 바람직하겠다.

끝으로 본 연구에서 제약점으로 지적될 수 있거나, 전혀 다루지 못하였지만 앞으로 계속되어야 할 연구과제를 제시한다면 다음과 같다.

첫째, 표준 혈액재고량을 산출하기 위해 투입해야 할 1일 평균 출고량을 어떻게 구할 것인가도 하나의 과제가 된다. 표준 재고량을 보다 정확하게 산출하기 위해서도 앞으로 이에 대한 연구가 시급히 수행되어야 하겠다. 현재로서는 경험치를 사용하되 계속 update시키도록 함이 바람직하겠다.

둘째, 본 연구에서 제한되었던 1일 평균 출고량의 범위를 확대하여, 동 실적치가 아주 낮은 재고관리 조건에서도 적용할 수 있는 산출식을 개발해야 하겠다.

셋째, 지역단위의 효율적인 혈액수급조절계획을 수립해야 하겠다. 예를 든다면 혈액확보능력을 감안하여 기간 혈액원에 혈액수요처인 의료기관들을 적정하게 배치하는 방안과 더불어 지역내의 혈액 재순환 사용(recycling) 방안을 모색해야 하겠다.

넷째, 혈액의 효과적인 이용을 위하여 성분제제에 대한 효율적인 재고관리방안을 마련해야 하겠다. 특히 성분제

제의 적정 제조량을 결정할 수 있는 모형의 개발이 시급히 요청되며, 이는 표준 혈액재고량 산출식에도 상당한 영향을 미칠 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 우리나라 병원에서 효율적인 재고관리를 위해 필수적인 표준 혈액재고량을 결정할 수 있는 수식을 개발하고, 효과적인 재고관리대안을 제시하고자 시도되었다. 이를 위해 1980년 3월 22일부터 1984년 5월 2일까지 한 대학병원의 혈액은행에서 출고한 A⁺형 전혈 및 적혈구제제 41,107pints의 재고관리기록을 전수 조사하여, 매일의 출고량, 수혈량, 원내채혈량 및 혈령별 외부입고량을 파악할 수 있는 일간 혈액재고표를 작성하였다. 이같이 작성된 1,503일 동안의 일간 혈액재고표 중에서 1980년 5월 1일부터 1984년 4월 30일까지 1,461일 동안의 재고표를 해당 월별로 분류하여, 48개의 월단위 혈액재고관리조건을 설정하였다. 한편 특정 혈액재고관리조건에서 성취도를 측정할 수 있는 시뮬레이션 모형을 고안하여, 최적 재고량의 결정과 재고관리 대안의 비교평가에 사용하였다.

최적 재고량은 당일의 출고량, 수혈량 및 원내 채혈량 그리고 월간 외부입고혈액의 혈령분포를 실적치대로 적용한 48개의 재고관리조건에서 각각 결정되었고, 이 때 적용한 재고관리변수들을 독립변수로 사용하여 최적 재고량을 가장 정확하게 예측할 수 있는 수식을 표준 혈액재고량 산출식으로 확정하였다. 이같이 개발된 수식의 적용 타당성을 검증하기 위해, 표준 재고량을 유지할 때의 재고관리 성취도를 현행 방식과 비교하였다. 또한 표준 재고량하의 재고관리조건에서 출고원칙과 반환혈액의 회수소요기간의 변화에 따른 재고관리의 성취도를 비교하여, 효과적인 혈액재고관리 대안을 모색하였다.

이와 같이 본 연구를 수행하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 표준 혈액재고량(S*) 산출식은

$$S^* = 2.8617 \times (d)^{0.9342}$$

로, 1일 평균 출고량(d)의 지수함수였으며, 동 산출식에 의한 표준 재고량을 유지할 때 현행 재고관리방식보다 혈액실효율, 수혈혈액의 평균 혈령, 입고혈액의 평균 보존기간 그리고 1일 평균 가용재고 수준을 감소시킬 수 있었다.

2. 출고원칙은 선입선출(FIFO : First In-First Out)의 적용율을 높일 수록 혈액실효율이 감소되었으나, 수혈혈액의 평균 연령은 다소 증가하였고, 반환혈액의 회수 소요기간을 단축할수록 혈액실효율과 수혈시 평균혈령이 감소하였다.

결론적으로 어떤 병원, 어떤 혈액형이건 1일 평균 출고량이 10pints에서 30pints의 범위에 해당한다면, 본 연구에서 제시한 표준 혈액재고량 산출식으로 계산한 표준 재고량 수준을 하한선으로 혈액의 가용재고를 유지하는 것이 효율적인 재고관리에 큰 도움이 되리라 생각된다. 또한 모든 혈액의 출고시 선입선출 원칙의 적용율을 높이고, 수혈되지 않은 혈액을 빨리 회수하도록 하는 것도 혈액재고관리의 효율화를 이룰 수 있는 대안이라 하겠다.

(본 연구를 수행함에 있어 많은 협조와 자문을 아끼지 않으신 강원대 산업공학과 손 권익 교수에게 깊이 감사드리며, 본 논문을 검토하시고 좋은 권고를 주신 학회의 심사위원 선생님들께도 감사의 말씀을 올린다. 아울러 본 연구 비용의 일부는 문교부의 1987년도 학술연구조성비로 충당되었음을 밝힌다.)

참 고 문 헌

- 강득룡 등. 한국인의 혈액군과 혈액형. 대한의학협회지 1976 ; 19(11) : 5
- 대한적십자사. 적십자 혈액사업 1983
- 보건사회부. 고시 제 85-39호(1985. 4. 17)
- 보건사회부. 혈액관리법 시행령(대통령령 제10285호)
- 오형재. 혈액은행의 효율적 재고관리에 관한 연구. 한국군사운영학회지 1982 ; 8(2) : 37
- 조한익. 보존혈액의 성분변화. 대한의학협회지 1978 ; 21 : 307
- 조한익. 혈액관리의 개선. 의협신문, 1984. 1. 9
- Brodheim E, Hirsch R, Prastacos GP. *Setting Inventory Levels for Hospital Blood Banks. Transfusion* 1976 ; 16 : 63
- Budnick FS, Mojena R, Vollmann TE. *Principles of Operations Research for Management. Illinois, Richard D. Irwin, Inc., 1977, pp. 391-392*
- Chazan D, Gal S. *A Markovian Model for the Perishable Product Inventory. Management Science* 1977 ; 23 : 512
- Cohen MA, Pierskalla WP. *Target Inventory Levels for a Hospital Blood Bank or a Decentralized Regional Blood Banking System. Transfusion* 1979 ; 19 : 444
- Cohen MA, Pierskalla WP. *Management Policies for a Regional Blood Bank. Transfusion* 1975 ; 15 : 58
- Dohue DM, Garbrio BW, Finch. *Preservation and Transfusion of Blood. JAMA* 1956 ; 161 : 784
- Draper NR, Smith H. *Applied Regression Analysis. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1966, pp. 167-169*
- Elston RC, Pickrel JC. *Guide to Inventory Levels for a Hospital Blood Bank Determined by Electronic Computer Simulation. Transfusion* 1965 ; 5 : 465
- Jennings JB. *An Analysis of Hospital Blood Bank Whole Blood Inventory Control Policies. Transfusion* 1968 ; 8 : 335
- Jennings JB. *Blood Bank Inventory Control Policies. Management Science* 1973 ; 19 : 637
- Prastacos GP. *Blood Inventory Management : An Overview of Theory and Practice. Management Science* 1984 ; 30 : 777
- The ROK National Red Cross. *Red Cross Blood Program Annual Report* 1983
- Wonnacott RJ, Wannacott TH. *Econometrics, 2nd ed. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1979, pp. 124-125*