

차상통합신호시스템에서 k out of n 시스템 적용에 대한 신뢰도 및 손실비용 분석에 관한 연구

A Study on the Analysis of Reliability and Loss Cost by Applying k out of n System in Combined On-board Signaling System

김민규² · 차기호³ · 김민석^{1†} · 이종우⁴

Min-Kyu Kim · Gi-Ho Cha · Min-Seok Kim · Jong-Woo Lee

Abstract There are ATC (Automatic Train Control), ATP (Automatic Train Protection), ATS (Automatic Train Stop) and ATO (Automatic Train Operation) etc. in train control systems. As various train control systems are installed according to sections, on-board signaling systems are installed to apply to the section. Hence, operation flexibility of trains is decreased. In other words, when trains are operated in the section where other train control systems are used, the on-board signaling systems are changed. Recently, a study on the combined on-board signaling system has been researched to solve this problem. The combined on-board signaling system consists of ATC, ATP and ATS device. Because the train control systems are vital, it needs to design the combined on-board signaling system by using k out of n system. In this paper, when k out of n system is applied in the combined on-board signaling system, the reliability and loss cost are analyzed by using failure rate in each device. Hence, the ideal number of systems is presented according to the number of outputs.

Keywords : Combined on-board signaling system, Reliability, Loss cost, k out of n system, Train control system

초 록 열차제어시스템에는 자동열차제어, 자동열차방호, 자동열차정지, 자동열차운행 시스템 등이 있다. 다양한 열차제어시스템은 노선에 따라 다르게 설치되어 있으므로 열차노선에 맞는 차상신호시스템이 설치되어야 한다. 이로 인해 열차의 운행 유연성은 떨어진다. 즉, 다른 열차제어시스템을 사용하는 노선에 열차를 운행할 경우에는 차상신호시스템을 다시 설치해야 하는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 최근에 차상통합신호시스템을 개발하는 연구가 진행 중에 있다. 차상통합신호시스템은 자동열차제어, 자동열차방호, 자동열차정지장치로 구성되어 있다. 열차제어시스템은 안전성이 필수적인 시스템으로써 차상통합신호시스템을 k out of n 시스템으로 설계할 필요가 있다. 본 논문에서는 차상통합신호시스템에서 k out of n 시스템을 적용하였을 경우, 각 장치별 고장률을 이용하여 신뢰도 및 손실비용을 분석하여 전체 출력 수에 대한 이상적인 시스템 수를 제시하였다.

주요어 : 차상통합신호시스템, 신뢰도, 손실비용, k out of n 시스템, 열차제어시스템

1. 서 론

열차제어시스템은 열차의 간격과 진로를 제어한다. 열차제어시스템에는 ATC (Automatic Train Control), ATP (Automatic Train Protection) 및 ATS (Automatic Train Stop) 장치 등이 있으며 노선마다 다른 열차제어시스템을 사용하고 있다[1]. 고속철도 구간의 경우에는 ATC 및 ATP 장치를 사용하고 있으며 광역철도 구간의 경우에는 ATS 장치를 사용하고 있다[2]. 도시철도 구간의 경우에는 ATS 및 ATO 장치를 사용하고 있다. 이와 같이 다양한 열차제어시스템이 존재하므로 열차의 운행 유연성이 떨어지는 단점이

있다. 예를 들어 ATP 시스템이 차상에 설치된 열차는 ATC 혹은 ATS 장치가 설치된 노선에 진입할 수 없다.

이러한 문제점을 해결하는 하나의 방법으로 현재 차상통합신호시스템이 개발 중에 있다. 차상통합신호시스템은 ATC, ATP, ATS 장치를 모두 설치한 시스템으로 열차의 운행 유연성을 높일 수 있다. 기본적으로 열차제어시스템은 안전이 필수적인 시스템이고, 현재 PES (Programmable Electronic System)를 사용하여 제어를 하는 추세로 연구가 개발되고 있다[3]. 이에 차상통합신호시스템도 PES를 적용해야 할 필요가 있다[4].

현재까지 PES의 신뢰성을 확보하기 위해 이중화 방법 및 k out of n 시스템이 제안되었다[5]. 두 가지 방법 모두 RAMS (Reliability, Availability, Maintenance, Safety)는 현재까지 고려하였지만 신뢰도에 따른 손실비용에 대한 연구는 이루어지지 않았다. k out of n 시스템의 경우에 시스템의 수와 출력의 수를 결정하는데 있어서 손실비용은 운영기관입장에서 매우 크게 작용한다. 그러므로 신뢰도와 손실비용을 모

[†]교신저자 : 한국전기산업진흥회 연구개발팀
E-mail : kms4738@naver.com

¹한국전기산업진흥회 연구개발팀

²서울메트로 신호처

³고려개발 철도사업부

⁴서울과학기술대학교 철도전기신호공학과

두 고려한 k out of n 시스템의 최적 시스템 크기에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 차상통합신호시스템에 대한 구성에 대해 제시하고, 각 장치별 고장률을 제시하였다. 또한 k out of n 시스템을 차상통합신호시스템에 적용하였을 경우에 신뢰도에 따른 손실비용 식을 제안하였고 이를 통해 k out of n 시스템에서 출력 수에 대한 최적화 시스템 수를 제시하였다.

2. 차상통합신호시스템의 구성 및 각 장치별 고장률

2.1 차상통합신호시스템의 구성

차상통합신호시스템은 Fig. 1과 같이 크게 5개의 장치로 구성되어 있다[6].

Fig. 1과 같이 ATS, ATC 및 ATS 프로세서와 안테나 등으로 구성되며 또한 주행기록계 및 제동장치와의 인터페이스 장치들로 구성되어 있다. ATP안테나의 경우에는 BTM (Balise Transmission Module)을 사용하고 ATC의 경우에는 연속 열차정보를 수신하는 ATC 안테나와 불연속 열차제어 정보를 수신하는 ATC 루프안테나로 구성된다. 주행기록계는 열차속도를 검지하는 도플러 속도계와 회전속도계로 구성된다. 5개의 서브시스템의 역할은 Fig. 2와 같다[6].

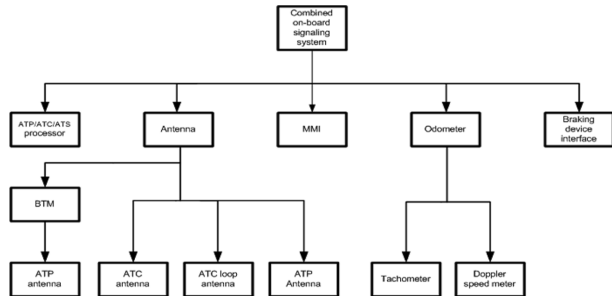


Fig. 1 Composition of combined on-board signaling system

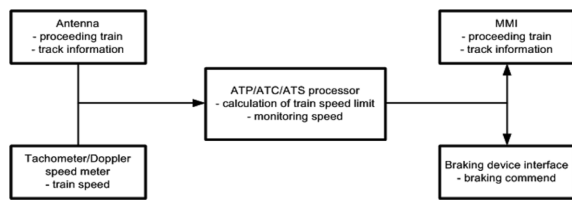


Fig. 2 Function of sub-device in combined on-board signaling system

통합차상의 모듈 중에 프로세서, 주행기록계 및 MMI (Man to Machine Interface)는 각 모드에서 공용을 한다. 프로세서는 모든 기능에 대한 연산을 수행하며 주행기록계는 열차의 속도를 측정하고 프로세서에 의해서 해당되는 소프트웨어를 로딩하여 이루어진다. 각 안테나는 각 제어모드에 따라 선택되며 열차제어 정보를 지상으로로부터 수신하게 된다.

2.2 장치별 고장률

차상통합신호시스템 고장의 발생은 부품 혹은 소프트웨어에 의해서 발생한다. 차상통합신호시스템의 고장을 예측하기 위해서는 부품단위의 고장률을 이용해야 한다. 부품단위의 고장률은 부품자체의 고장률과 부품조립에 사용된 방법에 따라 달라질 수 있어 부품별 고장예측은 오류를 발생할 확률이 높다. 따라서 차상통합신호시스템의 고장률을 장치별로 관리하는 것이 오류 발생확률을 낮출 수 있다.

차상통합신호시스템의 구성에서 각기 다른 제작사에 의해서 생산된 장치를 사용하는 경우가 많으므로 차상통합신호시스템의 고장률 예측은 장치의 고장률을 근거로 하여 수행된다. 통합차상신호시스템의 장치별 MTTF (Mean Time to Failure)는 Table 1과 같고 Table 1에서 안테나에 해당하는 MTTF는 프랑스 제작업체에 명시된 값을 인용하였다. 또한 프로세서는 국내 제작업체에 명시된 값을 인용하였다[6]. 차상통합신호시스템의 장치별 연결형태는 Fig. 3과 같다[7].

Table 1 및 Fig. 3을 이용하여 장치별 고장률을 계산한다. Fig. 3과 같이 장치의 연결형태가 직렬과 병렬이 있으므로 형태별로 분류하여 먼저 계산하고 전체 차상통합신호시스템에 대한 고장률을 계산해야 한다.

Table 1 MTTF in combined on-board signaling system

Device	MTTF (hours)
ATP antenna	261,834
BTM	213,246
ATC loop antenna	668,852
ATC antenna	10,593,220
ATS antenna	10,416,667
Tachometer	104,251
Doppler speed meter	166,389
ATP/ATC/ATS processor	10,017
MMI	25,000

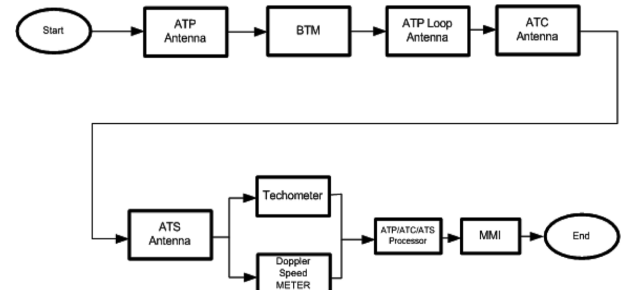


Fig. 3 Connection about each device in combined on-board signaling system

ATP안테나부터 ATS안테나까지의 총 MTTF를 계산하면 식 (1)과 같고, 고장률을 계산하면 식(2)와 같다.

$$\frac{1}{(MTTF)_1} = \frac{1}{261,834} + \frac{1}{213,246} + \frac{1}{668,852} + \frac{1}{10,593,220} + \frac{1}{10,416,667} = \frac{1}{98,095} \quad (1)$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{(MTTF)_1} = 1.0194 \times 10^{-5}/h \quad (2)$$

λ 는 고장률이다. 회전속도계와 도플러 속도계의 총 MTTF를 계산하면 식(3)과 같고, 고장률을 계산하면 식(4)와 같다.

$$\frac{1}{(MTTF)_2} = \frac{1}{104,251 + 166,389} = \frac{104,251 \times 166,389}{104,251 + 166,389} \quad (3)$$

$$= \frac{1}{206,546}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{(MTTF)_2} = 4.8415 \times 10^{-6}/h \quad (4)$$

ATP/ATC/ATS 프로세서와 MMI의 총MTTF를 계산하면 식(5)와 같고, 고장률은 식(6)과 같다.

$$\frac{1}{(MTTF)_3} = \frac{1}{10,017} + \frac{1}{25,000} = \frac{1}{7,151} \quad (5)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{(MTTF)_3} = 1.3983 \times 10^{-4}/h \quad (6)$$

식(1)~식(6)을 이용하여 차상통합신호시스템의 총 고장률을 계산하면 식(7)과 같다.

$$\lambda_T = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1.5486 \times 10^{-4}/h \quad (7)$$

3. k out of n 시스템의 적용에 대한 신뢰도 및 손실비용 분석

k out of n시스템은 n개의 동일하며 서로 독립적인 부품으로 구성되어 있으며 최소한 k개의 부품이 폐회로가 되어야만 시스템은 폐회로가 되고, n+k+1개 이상의 부품이 폐회로 고장을 일으키면 시스템이 폐회로 고장을 일으킨다. 또한 k개 이상의 부품이 개회로 고장을 일으키면 시스템이 개회로 고장을 일으키게 된다. k요소는 시스템을 동작시키기 위한 기본적인 요소이다. 고정된 k 값에서 더 높은 시스템 크기 n일수록 더 높은 시스템의 신뢰도를 가지게 된다.

차상통합신호시스템을 k out of n 시스템에 적용하기 전에 차상통합신호시스템의 기준 점검 시간에 대한 신뢰도가 필요하므로 식(8)의 시간에 대한 신뢰도 식에 대입하여 신뢰도를 계산하면 Fig. 4와 같다. 기준신뢰도는 15일 (360시간)마다 시스템을 점검하는 기준으로 하였다[8,9].

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (8)$$

Fig. 4에서 기준 점검시간에 해당하는 신뢰도를 해석하면 0.9458이다.

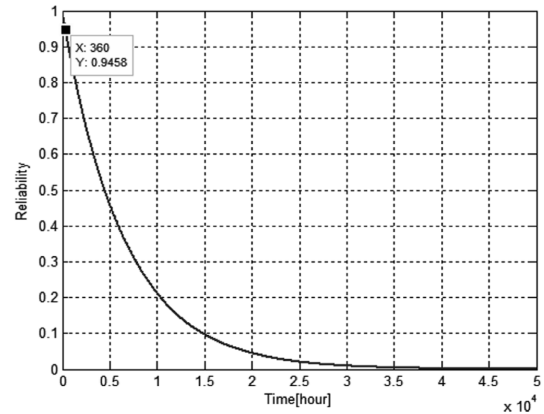


Fig. 4 Reliability of combined on-board signaling system according to time

기준 점검시간에 해당하는 신뢰도를 이용하여 통합차상신호시스템을 k out of n 시스템에 적용한다. k out of n의 요소에서 동작하는 요소의 수는 시스템 크기인 n과 정확히 동작할 확률 p의 이항분포인 식(9)와 같다.

$$P_r = \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \quad (9)$$

식(9)를 이용하여 k out of n 시스템에서 신뢰도를 계산하면 식(10)과 같다.

$$R(k, n) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \quad (10)$$

n과 k의 차이는 k out of n시스템이 내장된 여분 시스템의 수를 나타낸다. n이 증가함으로써 각 추가적인 요소에 대해 절감하는 이점이 있다.

본 논문에서는 최적 시스템 크기인 n을 계산하기 위해 비용함수와 신뢰도의 관계를 분석하기 위해 아래와 같은 가정 및 변수를 적용하였다.

- 모든 구성품들은 같은 신뢰도 R을 가진다.
- 각 구성품의 비용 : C_n
- 시스템 결함 비용 : C_f
- 신뢰도가 고려된 비용함수 : $F(T_n)$

가정 및 변수를 이용하여 신뢰도가 고려된 비용 함수를 계산하면 식(11)과 같다.

$$F(T_n) = C_n \cdot n + C_f (1 - R(k, n))$$

$$= C_n \cdot n + C_f \left(1 - \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \right) \quad (11)$$

차상통합신호시스템에서 k변화에 대한 신뢰도를 포함하는 최적화된 비용을 해석하기 위해 k=2인 경우와 k=3인 경우로 분류하고 각 비용은 가정된 구성품을 기준으로 하여 선로용량에 따라 시스템 비용을 5배, 10배, 20배의 시스템 비용을 적용하였다. 5배, 10배, 20배로 적용한 근거는 예를 들

Table 2 Assumed cost according to k of combined on-board signaling system

The number of output	Loss cost	Component cost
k=2	₩5,000,000	₩1,000,000
	₩10,000,000	
	₩20,000,000	
k=3	₩5,000,000	
	₩10,000,000	
	₩20,000,000	

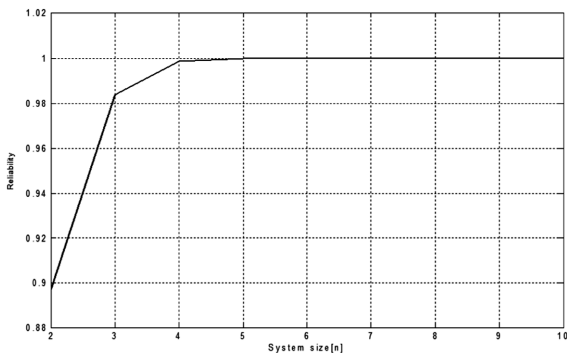


Fig. 5 Reliability of combined on-board signaling system according to n (k=2)

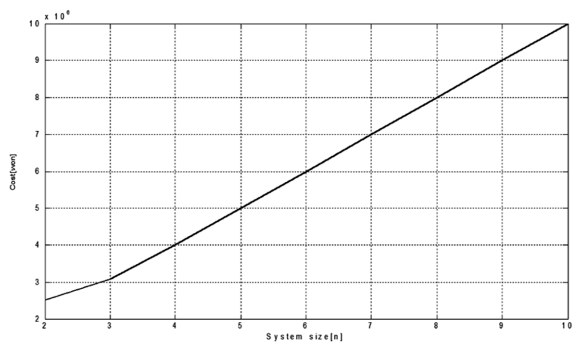


Fig. 6 Total cost according to n ($C_f=5C_n$, $k=2$)

어 경부선의 경우에는 선로용량이 크기 때문에 손실비용이 많고 영동선의 경우에는 선로용량이 작아 손실비용이 적다. 또한 호남선의 경우에는 경부선과 태백선의 선로용량의 중간으로 가정한 결과이다. Table 2는 차상통합신호시스템에서 k변화에 따른 가정된 비용을 나타낸다.

k가 2이고 시스템 크기 n이 2부터 10까지 증가되는 경우에 차상통합신호시스템의 신뢰도를 분석하면 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 시스템 크기 n이 증가할수록 차상통합신호시스템의 신뢰도가 높아진다. k와 n이 동일한 2의 경우에 신뢰도는 k와 n이 1인 경우보다 낮는데 이는 식(10)의 k가 증가함에 따라 시스템이 정상적으로 동작할 확률의 제공으로 인해 감소하기 때문이다. k가 2인 경우에 대한 차상통합신호시스템의 신뢰도와 시스템 결합비용에 따른 총 비용을 해

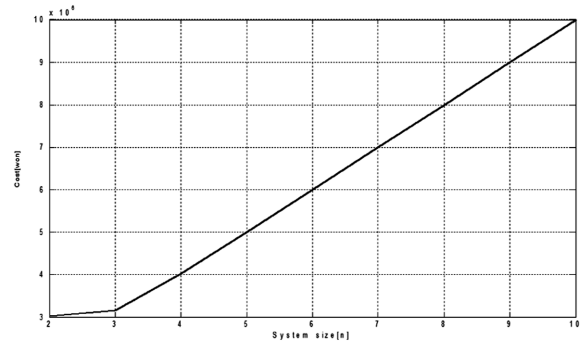


Fig. 7 Total cost according to n ($C_f=10C_n$, $k=2$)

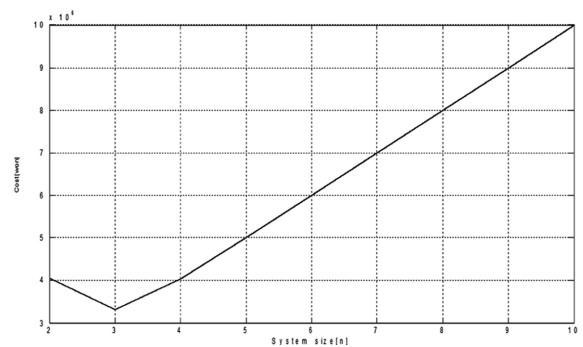


Fig. 8 Total cost according to n ($C_f=20C_n$, $k=2$)

석하면 Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8과 같다.

Fig. 6~Fig. 8의 분석결과, Table 3과 같이 시스템 크기 n에 대한 총 비용은 시스템 결합비용에 따라 달라진다.

Table 3의 분석결과, 시스템 결합비용이 각 구성품 비용의 5배인 경우에는 시스템 크기 n이 증가됨에 따라 총 비용이 비례적으로 증가하였다. 이 경우에는 신뢰도를 기준으로 시스템의 기준 신뢰도에 맞도록 시스템 크기를 결정해야 한다. 시스템 결합비용이 각 구성품 비용의 10배인 경우에는 n이 3인 경우부터 n이 증가됨에 따라 총 비용이 비례적으로 증가하였다. n이 2인 경우에는 총 비용이 약 300만원이고 n이 3인 경우에는 총 비용이 약 320만원이다. 총 비용차이는 약 1.06배 차이를 보였으며 이 경우에 신뢰도 차이 0.085를 감안하면 n이 3인 경우가 가장 적합하다.

시스템 결합비용이 각 구성품 비용의 20배인 경우에는 n이 3인 경우에 총 비용이 가장 낮게 해석되었다. n이 3인 경우에 총 비용은 약 330만원이다. n이 2인 경우와 4인 경우의 총 비용은 비슷 하게 해석되었다. 신뢰도를 0.985이상으로 만족 하는 기준에서는 신뢰도를 감안하여 n을 4로 하는 것이 2보다 유리하다.

k가 3이고 시스템 크기 n이 3부터 10까지 증가되는 경우에 차상통합신호시스템의 신뢰도를 해석하면 Fig. 9와 같다.

Fig. 9에서 시스템 크기 n이 증가할수록 통합차상 신호시스템의 신뢰도가 높아진다. k와 n이 동일한 3의 경우에 신뢰도는 k와 n이 동일한 2인 경우 보다 낮아지는데 k가 증가함에 따라 동작할 확률의 제공으로 인해 감소하기 때문이다. k가 3인 경우에 대한 통합차상신호시스템의 신뢰도와 시

Table 3 Total cost in combined on-board signaling system (k=2)

Classification	Total cost								
	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10
$C_f=5C_n$	₩2,600,000	₩3,100,000	₩4,000,000	₩5,000,000	₩6,000,000	₩7,000,000	₩8,000,000	₩9,000,000	₩10,000,000
$C_f=10C_n$	₩3,000,000	₩3,200,000	₩4,000,000	₩5,000,000	₩6,000,000	₩7,000,000	₩8,000,000	₩9,000,000	₩10,000,000
$C_f=20C_n$	₩4,000,000	₩3,300,000	₩4,000,000	₩5,000,000	₩6,000,000	₩7,000,000	₩8,000,000	₩9,000,000	₩10,000,000

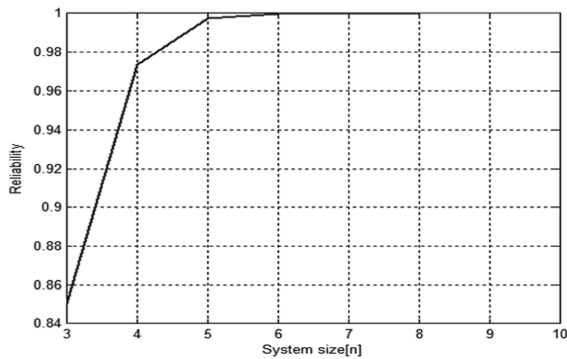


Fig. 9 Reliability of combined on-board signaling system according to n (k=3)

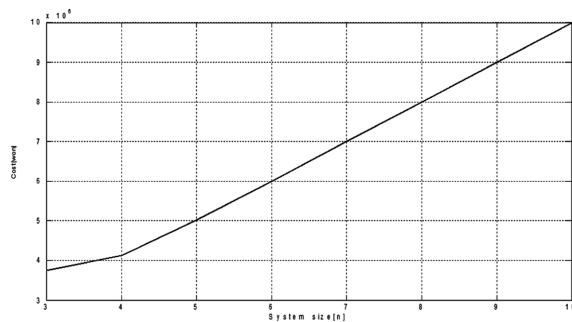


Fig. 10 Total cost according to n ($C_f=5C_n$, k=3)

시스템 결합 비용에 따른 총 비용을 해석하면 Fig. 10, Fig. 11 및 Fig. 12와 같다.

Fig. 10~Fig. 12의 분석결과, Table 4와 같이 시스템 크기 n에 대한 총 비용은 시스템 결합비용에 따라 달라진다. 또한 k가 증가함에 따라 시스템 결합비용이 적어질수록 총 비용에 대한 최적 시스템의 크기가 결정되었다.

Table 4의 분석결과, 시스템 결합비용이 각 구성품 비용의 5배인 경우에는 시스템 크기 n이 4이상부터 증가됨에 따라 총 비용이 비례적으로 증가하였다. n이 3인 경우에는 총 비

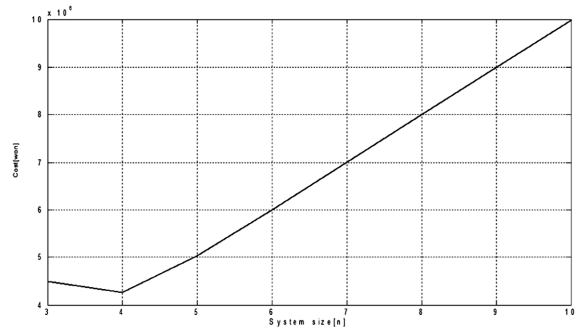


Fig. 11 Total cost according to n ($C_f=10C_n$, k=3)

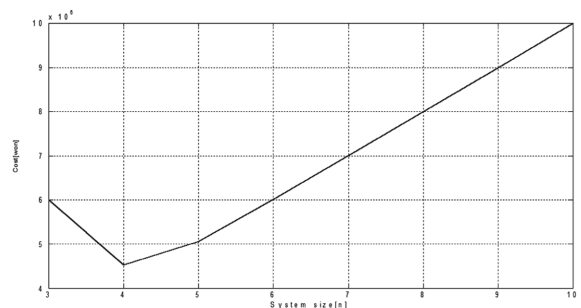


Fig. 12 Total cost according to n ($C_f=20C_n$, k=3)

용이 약 380만원이고 n이 4인 경우에는 총 비용이 420만원이다. 총 비용의 차이는 약 1.1배 차이를 보였으며 이 경우에 신뢰도 차이 0.12를 감안하면 n이 4인 경우가 적합하다. 시스템 결합비용이 각 구성품 비용의 10배인 경우에는 n이 4인 경우에 총 비용이 가장 낮게 해석되었다. n이 4인 경우에 총 비용은 약 430만원이다. 신뢰도를 0.975이상으로 만족하는 기준에서는 n을 5로 결정해야 한다. 시스템 결합 비용이 각 구성품 비용의 20배인 경우에는 10배인 경우와 마찬가지로 n이 4인 경우에 총 비용이 가장 낮게 해석되었다.

n이 4인 경우에 총 비용은 약 460만원이다. 신뢰도를 0.975 이상으로 만족하는 기준에서는 n이 3인 경우보다 총 비용

Table 4 Total cost in combined on-board signaling system (k=3)

Classification	Total cost							
	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10
$C_f=5C_n$	₩3,800,000	₩4,200,000	₩5,000,000	₩6,000,000	₩7,000,000	₩8,000,000	₩9,000,000	₩10,000,000
$C_f=10C_n$	₩4,500,000	₩4,300,000	₩5,000,000	₩6,000,000	₩7,000,000	₩8,000,000	₩9,000,000	₩10,000,000
$C_f=20C_n$	₩6,000,000	₩4,600,000	₩5,000,000	₩6,000,000	₩7,000,000	₩8,000,000	₩9,000,000	₩10,000,000

이 적은 n을 5로 결정하는 것이 유리하다.

4. 결 론

k out of n 시스템은 보통 시스템의 신뢰도를 높이기 위해 병렬로 구성한다. k out of n 시스템은 안전성 확보를 위해 출력의 동일여부를 비교함에 따라 안전출력을 보장하도록 한다. 안전한 시스템에서 k out of n 시스템은 안전성을 위해 k개의 시스템을 사용하고 신뢰도 및 가용도를 위해 n개의 시스템을 사용한다. k out of n 시스템에서 시스템의 크기가 높아질수록 안전성, 신뢰도 및 가용도가 높아진다. 하지만 시스템의 크기가 증가함에 따라 시스템의 설치비용은 증가한다. 그러므로 시스템의 크기에 따른 신뢰도와 비용을 모두 고려하여 최적의 시스템 크기를 분석하는 것이 필요하다. 이에 본 논문에서는 k가 2인 경우와 3인 경우에 k out of n 시스템을 통합차상신호시스템에 적용하여 신뢰도와 비용을 모두 고려한 최적의 시스템 크기를 도출하였다.

k가 2인 경우에 시스템 결합비용이 구성품 비용의 5배인 경우에는 시스템의 기준 신뢰도를 고려하여 시스템 크기를 결정해야 한다. 10배인 경우에는 신뢰도와 총 비용의 차이인 1.06배를 감안하면 최적 시스템 크기는 3으로 해석되었다. 20배인 경우에 최적 시스템 크기는 3인 경우로 해석되었다. 이 경우 신뢰도는 0.985로 해석되었다. 시스템 크기 n이 2와 4인 경우에 비용이 동일한 수준으로 해석되었다. 따라서 기준 신뢰도가 0.985보다 높아야 하는 경우에는 k를 4로 결정하는 것이 유리하다.

k가 3인 경우에 시스템 결합비용이 5배인 경우에는 신뢰도와 총비용의 차이인 1.1배를 감안하면 최적 시스템 크기는 4인 경우로 해석되었다. 10배인 경우에도 최적 시스템 크기는 4인 경우로 해석되었다. 20배인 경우에는 n이 4일 때 총 비용은 최소로 해석되었다. 신뢰도를 0.975이상으로 만족해야 하는 경우에는 n이 3인 경우보다 총 비용이 적은 n을 5로 결정하는 것이 유리하다.

시스템 결합비용이 증가할수록 시스템 크기 n이 작은 경우에 총 비용은 증가한다. 이에 따라 총비용을 최소로 하는 적절한 시스템 크기 n이 존재하게 된다. 해석결과, k가 2인 경우에는 n이 3이고, k가 3인 경우에는 n이 4이다. 또한 Table 1의 MTTF를 활용하여 차상통합신호시스템에서 비용을 더 감소시킬 수 있는 방법이 있다. 안테나의 경우에 프로세서나 MMI에 비해 MTTF가 약 2~100배 높으므로 안테나는 단일장치를 설치하고 프로세서나 MMI만 다중화하여 설치함으로써 설치비용을 절감시킬 수 있다.

본 연구는 향후 k out of n 시스템을 적용하는 통합차상신호시스템 외에도 일반적인 안전과 관련된 모든 시스템의 크기를 선정하는 경우에 활용될 수 있다. 또한 비용과 신뢰도 외에 가용도와 유지보수까지 포함한 연구가 필요하고 최적화 시뮬레이션이나 기법을 활용하여 최적화 도출에 대한 연구도 필요하다.

후 기

본 연구는 국토해양부의 지원하에 “차세대 고속철도 차상신호장치의 RAMS활동” 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] S.-C. Seo (2009) Reliability Analysis for Train Control System by Software Fault Tolerance Techniques, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(6), pp. 1043-1048.
- [2] M.-S. Kim (2011) Reliability Analysis for Train Control System by Hardware Architecture in Fault Tolerance System, *Journal of International Council on Electrical Engineering*, 1(2), pp. 140-144.
- [3] G.-H. Min (2008) A Study on a Safety Activity on Safety Critical Related Software in Train Control System, *Proceedings of the Annual Conference & Exhibition The Korean Society of Automotive Engineers*, 2, pp. 1077-1083.
- [4] J.-K. Hwang (2000) Software Design as Simulator in Signal Control System, *Proceedings of the Korean Society for Railway*, pp. 269-275.
- [5] D.-H. Shin (2000) A Study on Hardware Redundancy Architecture on Fault-Tolerant System, *Proceedings of the Korean Society for Railway*, pp. 598-604.
- [6] Hunter Technology (2010) Development of combined on-board signaling system, pp. 135-141.
- [7] Hyundai Rotem (2010) RAMS of on-board signaling system in next generation high speed transit, pp. 144-149.
- [8] W. Nelson (1990) *Accelerated Testing : Statistical Models, Test Plans and Data Analysis*, Wiley, pp. 201-206.
- [9] S.G. Papastavridis (1989) Reliability of a consecutive-k-out-of-n : F system for Markov-dependent components, *IEEE Trans. on reliability*, 38(4), pp. 460-461.

접수일(2011년 11월 7일), 수정일(2012년 1월 20일),
게재확정일(2012년 2월 6일)