

무선전파막을 이용한 시계 비행항공기의 비행위험지역 회피용 경보장치의 설계

Design of a Warning System Using Radio Beacon Signal to Avoid Hazardous Area in VFR Mode

김연명*, 박동영**, 윤태원**, 황병원**

Yeon-Myung Kim*, Dong-Young Park**, Tae-Won Yun**, Byong-Won Hwang**

요 약

지역 여건상 ILS나 VOR/DME 등 항행안전시설을 이용한 착륙이 곤란한 활주로에서는 조종사가 직접 눈으로 확인하여 착륙하는 선회비행방식이 이용되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 김해공항 북측 활주로나 같이 항행안전시설을 설치하지 못하는 공항에 대하여 선회착륙하는 항공기가 악천후등으로 최종적으로 선회해야하는 지점을 발견하지 못하고 통과하여 사고가 발생하는 것을 막기 위하여 선회지점을 벗어난 지점에 무선전파의 전파막, 즉 마커신호로 조종사에게 위험신호를 알려주는 역할을 하는 장비를 개발하기로 한다. 이 경우 항공기에는 별도의 장비를 갖추지 않고 조종사가 별도의 조작을 하지 않아도 경보가 울리도록 하여 조종사의 부담을 최대한으로 줄여야 한다. 이를 만족하기 위해서 ILS의 구성장비로 사용중인 마커를 기반으로 하고, 현재 마커에 사용중인 송신기의 주파수 및 변조방식등을 그대로 이용하고, 변조주파수 및 신호만을 바꾸고, 안테나를 특수한 형태로 개발하기로 한다. 또한 안테나의 방사패턴의 크기를 시뮬레이션하고, 경보후의 비행경로를 계산하여 시스템의 유효성을 검증한다.

Abstract

When a straight-in landing from an instrument approach using ILS or VOR/DME is not possible or desirable because of topographical reason or bad weather, a circling approach maneuver is initiated by the pilot to align the aircraft with a runway for landing. Visual contact with the runway is necessary while conducting a circle to land maneuver. This research is to develop a new warning system based on a convention marker system which alerts pilots to watch out for exceeding the circling approach area. The airborne system also uses the same receiver unit without any new installations. The objective of this research is to design and develop a Yagi antenna in a special form. The research includes computer simulations to determine the size of antenna radiation pattern and to compute an expected flight path in case of alarm to validate effectiveness of the system.

Key words : radio beacon, Yagi-Uda antenna, ILS, warning system

I. 서 론

지역여건상 ILS(Instrument Landing System)나

* 교통개발원 항공교통연구실(Air Transportation Division, The Korea Transport Institute)

** 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(Dept. of Avionics, Graduate School, Hankuk Aviation University)

· 논문번호 : 2004-2-2

· 접수일자 : 2004년 10월 11일

VOR(VHF Omnidirectional Range)/DME(Distance Measuring Equipment)등 항행안전시설을 이용한 착륙이 곤란한 활주로에서는 조종사가 눈으로 직접 확인하여 착륙하는 선회착륙방식, 즉 시계비행방식(Visual Flight Rule, VFR)이 이용되고 있는 실정이다.

그러나, 선회착륙방식은 결항률이 높아질 뿐만 아니라, 일반적으로 항행안전시설을 이용하는 계기착륙방식보다 안전도가 낮은 것이 사실이다. 따라서, 본 논문에서는 김해공항 북측 활주로의 같이 항행안전시설을 설치하지 못하는 공항에 대하여 선회착륙하는 항공기가 악천후등으로 최종적으로 선회해야 하는 지점을 발견하지 못하고 통과하여 사고가 발생하는 것을 막기 위하여 선회지점을 벗어난 지점에 무선전파의 전파막, 즉 마커신호로 조종사에게 위험신호를 알려주는 역할을 하는 장비를 개발하기로 한다. 이 경우 항공기에는 새로운 장비를 갖추지 않고 조종사가 별도의 조작을 하지 않아도 경보가 울리도록 하여 조종사의 부담을 최대한으로 줄여야 한다.

이를 만족하기 위해서 ILS의 구성장비로 사용중인 마커를 기반으로 하고, 현재 마커에 사용중인 송신기의 주파수 및 변조방식등을 그대로 이용하고, 변조주파수 및 신호만을 바꾸고, 안테나를 특수한 형태로 개발하기로 한다.

본 논문에서는 김해공항을 전제로 하여 먼저 경보장치의 조건 및 적정한 전파막의 크기를 결정하고, 이에 알맞은 최적 야기 안테나를 설계한다. 그리고 안테나의 방사패턴, 즉 전파막의 크기를 시뮬레이션 한 다음, 장치를 설치하는 위치를 결정한다. 또한, 경보 후 비행경로를 계산하여 이 시스템의 유효성을 검증하기로 한다.

II. 전파막의 규모 및 방사패턴의 식

무선전파의 전파막의 적절한 규모를 알기 위해서는 해당 공항의 상황을 알지 않으면 안된다.

김해공항의 예를들면, 김해공항의 장애물도 및 김해공항의 활주로 유도등의 배치도를 참조하면 된다. 김해공항의 장애물도에 의하면, 활주로 끝에서 최초의 산까지의 거리는 약 3.8km이고, 김해공항 유도등

배치계획도에 의하면 활주로 끝에서 4km인 점에서 순회비행이 시작되는 것으로 되어 있기 때문에, 전파막의 폭은 3.6km이상이고, 가장높은 산의 높이는 650m이므로, 전파막의 규모는 폭이 3.6km이상이고, 높이는 700m이상이면 된다는 결론이 얻어진다.

한편, 전파막 장비의 조건은 항공기에는 새로운 장비를 추가로 장착하지 않아야하고, 조종사가 별도의 조작을 하지 않아도 악천후등으로 시계가 확보되지 않아 선회지점을 통과하는 경우에 경보와 불빛으로 조종사에게 경보를 알려주어야 한다. 이러한 조건을 만족하는 전파막 장비로는 ILS의 구성 장비인 마커(Marker)[1]를 응용하면 된다는 결론이 얻어진다. 마커는 ILS의 부속시설로, 착륙하는 항공기가 마커가 설치된 상공을 지날 경우에 항공기 내에 설치된 수신기가 이 신호를 수신하여 경보(음성 및 불

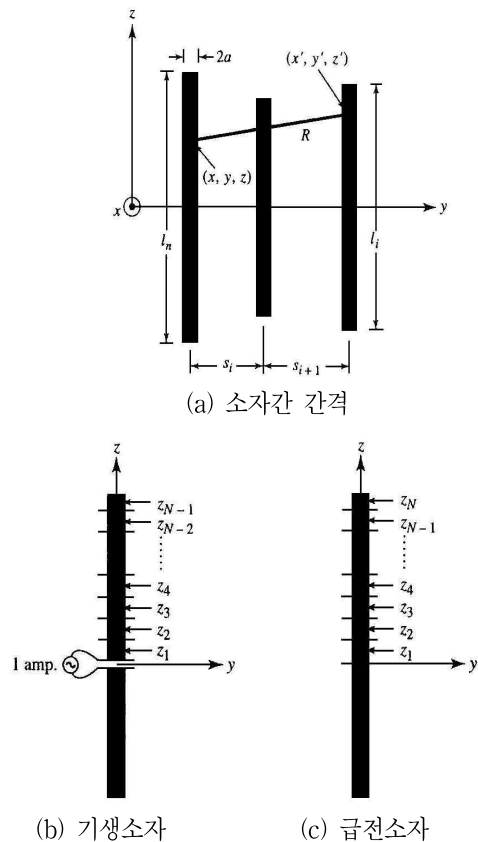


그림 1. 모멘트법 공식을 위한 Yagi-Uda 배열 안테나의 구조

Fig 1. The structure of Yagi-Uda array antenna for moment method

빛)를 울림으로써 조종사가 용이하게 통과 지점을 알 수 있도록 운영되고 있는 장비이다.

마커는 외방마커(Outer Marker), 중간마커(Middle Marker) 및 내방마커(Inner Marker) 등 3가지의 종류가 설치되어 운영되며, 마커용 안테나로는 야기(Yagi)안테나가 사용되고, 마커 표지는 95% 변조된 75MHz의 주파수를 사용하고 있다. 항공기가 외방, 중간 및 내방마커 상공을 통과할 때 서로 다른 변조 주파수의 가청음과 서로 다른 색의 불빛을 조종사에게 주고, 이 정보는 조종사에게 활주로부터의 거리를 제공하게 된다. 통달범위 안에서의 최소 전계강도는 1.5 mV/m 이상이어야 하고, 방위각과 활공각상에서 측정된 운용폭은, 내방마커인 경우 150m ± 50m, 중간마커인 경우 300m ± 100m, 외방마커인 경우 600m ± 200m의 범위안에 있어야 한다.

식별부호를 위하여 반송파의 변조신호는 내방마커인 경우 매초 6단점(· · · · · ·), 중간마커인 경우 단점과 장점을 반복신호로 하되, 단점은 매초 6개이고, 장점은 매초 2개의 속도(· - · -), 외방마커인 경우 매초 2개의 장점(--)으로 하고 있다. 그런데, 전파막의 폭은 3.6km 이상이어야 하므로, 마커용 안테나는 빔폭이 좁으므로 이용 불가능하다는 것을 알 수 있다. 또한, 변조신호도 조종사로 하여금 마커신호와 혼동을 피하기 위하여 마커신호와 다른 신호를 고안하지 않으면 안된다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 야기안테나를 설계하기 위해서는 먼저, 야기안테나의 방사패턴을 포클링톤(Pocklington) 적분방정식을 기초로하여 구하고, 이를 토대로 모멘트법에 의한 컴퓨터 프로그램을 개발한 다음, 시뮬레이션을 거쳐서 최적의 야기 안테나를 설계하지 않으면 안된다.

야기-우다(Yagi-Uda) 배열 안테나에 대한 많은 실험적인 연구와 해석적인 공식이 만들어져 있을 뿐만 아니라 배열 안테나에서 방사된 전계에 대해서는 적분방정식에 기초를 둔 상세한 방법이 제시되었고, 이 방법이 소자들에서의 복소 전류분포, 위상속도 및 해당 방사패턴등을 나타내는데 사용된다[2-9]. 대표적인 방법은 실레(Thiele)의 논문과 같이 Pocklington 적분방정식으로부터 출발하고, 이 논문에 제시된 것은 Balanis에 의해 수식화된 것을 이용

하였다[3].

모멘트법을 이용하여 방사패턴의 식을 구하기 위한 야기-우다 배열안테나의 구조를 그림 1에 표시하고, 이를 토대로 Pocklington 적분방정식을 모멘트법으로 구한 원거리 전계패턴의 식을 다음과 같이 표시한다[3].

$$E_{\theta} = \sum_{n=1}^N E_{\theta n} = -j\omega A_{\theta} \quad (1)$$

$$A_{\theta} = \sum_{n=1}^N A_{\theta n} = -\frac{\mu e^{-jkr}}{4\pi r} \cdot \sin\theta \sum_{n=1}^N \left\{ e^{jk(x_n \sin\theta \cos\phi + y_n \sin\theta \sin\phi)} \cdot \sum_{m=1}^M I_{nm} \left[\frac{\sin(Z^+)}{Z^+} + \frac{\sin(Z^-)}{Z^-} \right] \frac{I_n}{2} \right\} \quad (2)$$

III. 최적 안테나의 설계 및 설치방안

Pocklington 적분방정식(모멘트법)에 따라서 야기-우다 배열안테나의 E-면 및 H-면 전계패턴, 해당 전계패턴의 폭 및 지향성등을 계산하는 컴퓨터 프로그램의 순서도(Flow Chart)를 그림 2에 표시한다.

그림 2와 같은 순서도에 따라서 김해공항의 전파막 설치를 위한 최적 야기안테나를 설계하고, 그 설계된 야기 안테나를 이용하여 전파막 설치 장비의 조건 및 규모에 맞는 전파막 설치장비의 설치방안, 그리고 설치위치를 결정하기로 한다. 그림 2와 같은 순서도에 따라서, 사용주파수가 75MHz이고, 4소자(2개의 도파기, 1개의 반사기, 1개의 급전기) 야기안테나를 dual로 배치하고, 소자들의 길이 및 소자 사이의 간격을 그림 3과 같이 하여 시뮬레이션 한 결과의 방사패턴을 그림 4에 표시한다. 이 경우 송신기의 전력은 1.5W로 하였다.

야기 안테나의 기본단위는 3소자 즉, 급전소자와 기생소자들로 구성되고, 급전소자는 여진기(driver)로 사용되는데, 여진기로는 공진 반파장 다이폴이 이용되고 있다. 기생소자가 여진기에 매우 가깝게

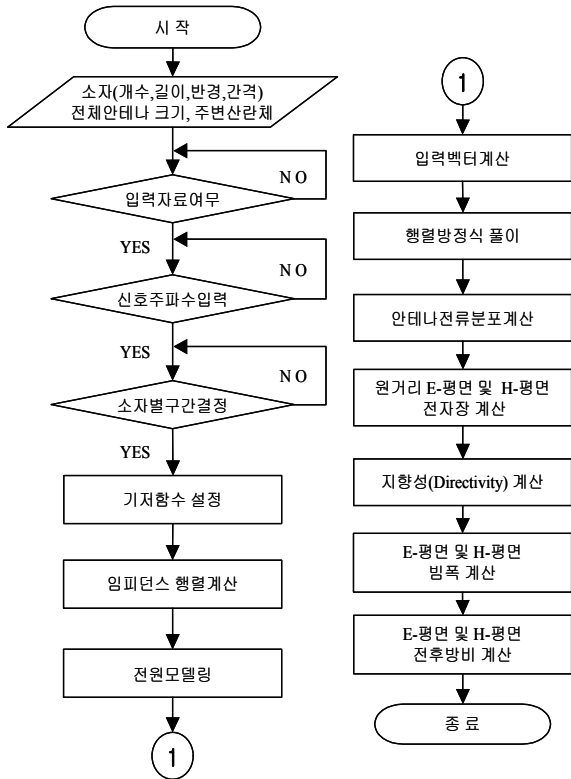


그림 2. 방사패턴을 구하는 순서도
Fig 2. Flow chart of obtaining radiation pattern

위치하면 여진기는 기생소자를 거의 같은 진폭으로 여기한다. 이때, 기생소자에서 여기된 전류와 그것에 의해 발생된 도선에 접하는 방사전계는 입사파에 대해 똑같은 크기와 반대 위상을 가지게 되는데, 이것은 여진기로부터 기생소자에 도달한 전계가 기생소자에 접선방향이고, 두 도체의 접선방향인 전체 전계는 0으로 되기 때문이다. 기생소자를 반파장 다 이폴보다 길게하면, 단일 주 빔(main beam)은 배열 축을 따라 기생소자로부터 여진기로의 엔드 파이어(endfire) 방향으로 발생하고, 이러한 기생소자는 여진기로부터의 방사를 반사하는 것처럼 보이므로 반사기(reflector)라고 한다. 만일 기생소자가 여진기보다 더 짧고 반사기와는 달리 여진기의 다른 한쪽에 위치할 때, 패턴에 미치는 영향은 주 빔과 동일방향으로 형성되므로, 이 기생소자를 도파기(director)라고 하는데, 그 이유는 여진기에서 도파기 방향으로 방사를 유도하는 것처럼 보이기 때문이다. 일반적으로 야기안테나는 전후방비가 발생하므로, 안테나를 공중을 향하게 하고 여진하면 후엽(back lobe)

의 간섭으로 단일 지향성 향상에 문제를 일으키지만, 본논문에서 설계한 안테나의 후엽은 거의 존재하지 않는다.

전파막의 폭은 3.6km이상은 되어야 하는데, 설계된 안테나의 방사패턴(전파막)의 폭은 2050m이므로, 하나의 안테나로는 전파막의 크기를 크게 하지 않으면 안되는데, 이 경우에는 다른 통신에 영향을 주게 되므로, 송신전력의 크기에는 한도가 있다. 따라서 설계된 안테나 2기를 적당한 거리를 두고 설치하지 않으면 안된다.

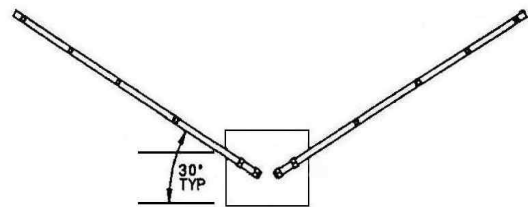
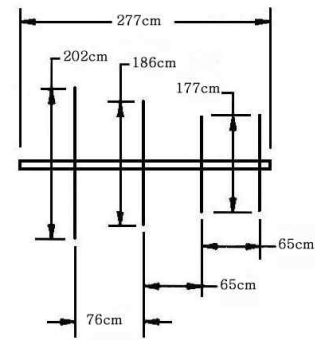


그림 3. 설계된 야기안테나의 소자의 길이 및 소자간 간격
Fig 3. Element's length and distance of designed Yagi antenna

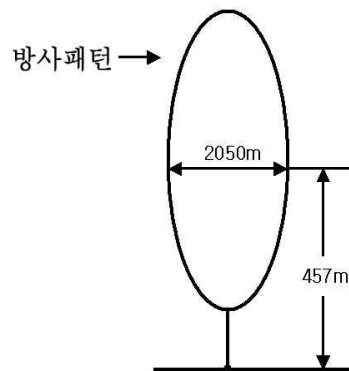


그림 4. 프로그램에 의해 설계된 안테나의 방사패턴
Fig 4. The radiation pattern of designed antenna

활주로 중앙에서 유도등을 향한 1500m인 지점과 활주로 끝에서 산을 향한 2km 지점인 위치에 1기의 설계된 야기안테나를 설치하고, 또 그곳에서 활주로 유도등을 향한 2500m인 지점에 또 하나의 설계된 야기안테나를 설치하면 된다.

이 경우 종합 방사패턴(전파막)의 폭은 3.6km 이상으로 된다. 이와같이 설치하면 조건에 맞는 전파막 규모에 해당되나 방사패턴이 겹친 부분은 두 전파의 간섭에 의해서 문제가 발생할 소지가 있으나 방사패턴의 두께가 거의 600m이므로 경보를 울리는 데는 지장이 없다고 판단된다.

IV. 경보이후 비행경로

김해공항 북측활주로와 같이 항행안전시설을 이용하지 못하는 공항에 대하여 선회착륙하는 항공기가 최종적으로 선회해야하는 지점을 통과하여 항공기 사고가 발생하는 것을 막기 위하여 그림 5와 같이 최종선회지점을 벗어난 지점에 그림 3과 같은 안테나 2기를 설치하는 것에 의해서 무선전파, 즉 마커신호로 조종사에게 경보를 알려주는 장비를 설치

하였을 경우, 전파막에 의한 경보 이후의 항공기의 비행경로를 검토하기로 한다. 일반적으로 여객기를 조종하는 조종사의 경우 경보음을 듣고 조작할 때까지 걸리는 시간은 대략 1.36초(청각 = 0.12~0.16초, 시각 = 0.15~0.20초, 인지 = 0.3초, 판단 0.3초, 조작 = 0.4초)가 소요되는 것으로 알려지고 있고, 한편, 항공기에 따라 다소차이는 있으나 일반적인 여객기의 경우, 최대 상승고도는 순항 중 1분당 4000피트 정도 상승할 수 있는 것으로 알려지고 있으므로, 예를들면 항공기의 속도가 180노트인 경우에 약 3NM당 4000피트 상승하므로 이것을 미터로 환산하면 거리 5400m당 고도는 1200m이고 상승각은 약 12.53°로 된다.

공항근처에서 순회 비행하는 경우의 속도는 일반적으로 140~180노트이고, 180노트인 경우 1초당 거리는 100m정도이다.

따라서, 경보음을 듣고, 조종사가 조작할 때까지의 시간을 약 10초(일반적인 경우의 5배)로 하고, 항공기의 고도를 700피트(213m : 일반적인 경우의 절반)로 한 경우의 항공기의 비행경로를 계산한 것을 그림 6에 표시한다.

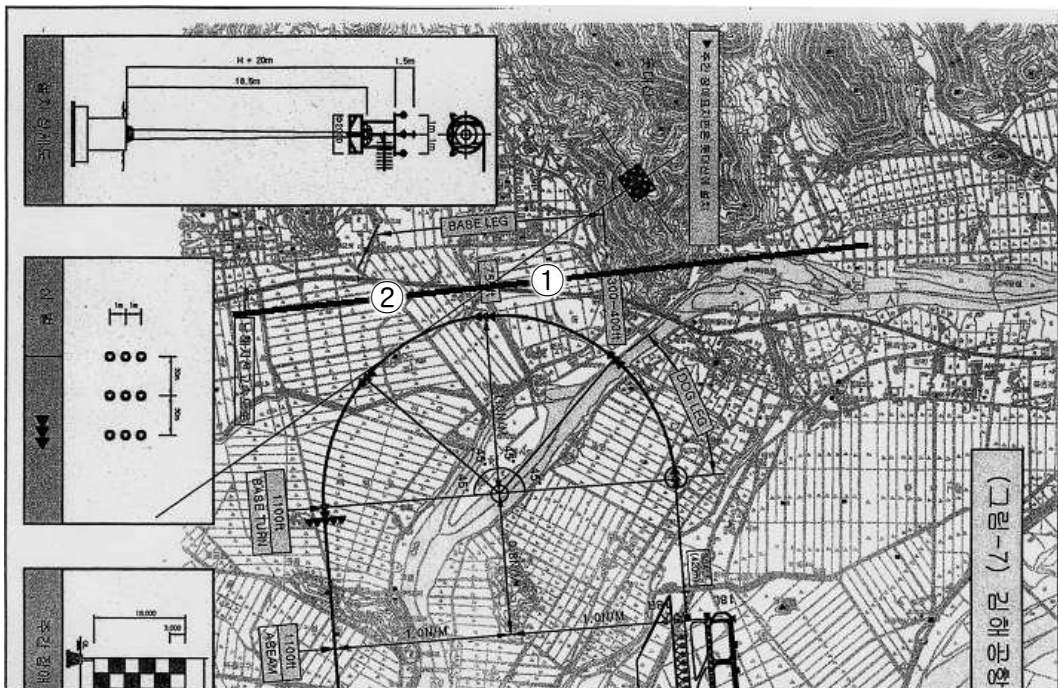


그림 5. 야기안테나의 설치장소
Fig 5. Location of Yagi antenna

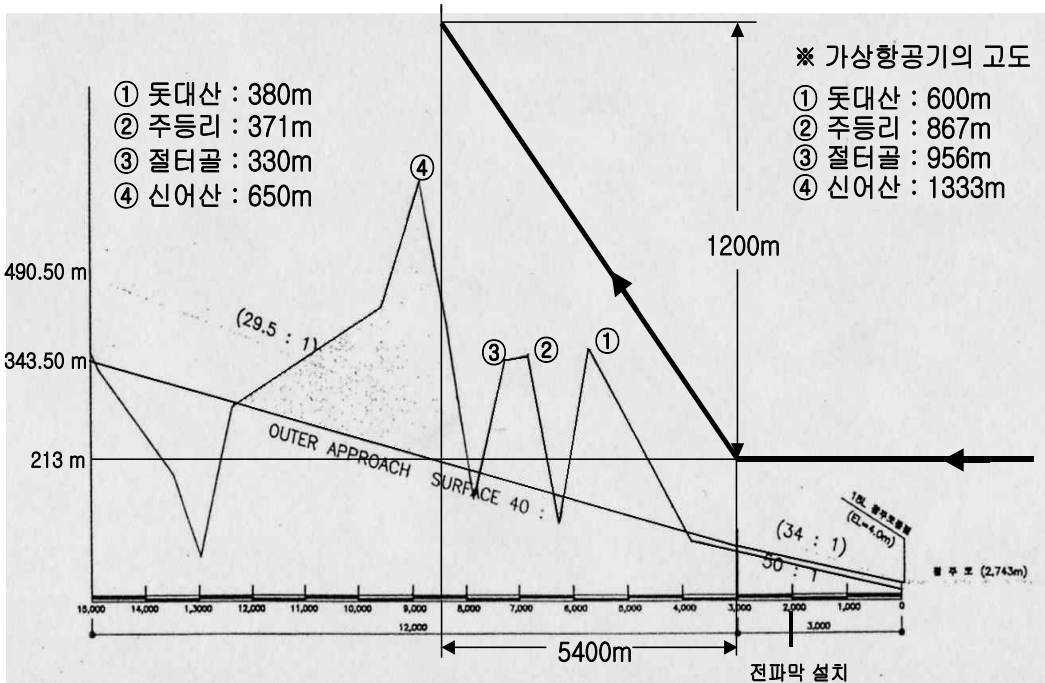


그림 6. 전파막에 의한 경보이후의 비행경로
 Fig 6. The flight path in case of radio beacon alarm

그림 6으로 부터 알 수 있는 것처럼, 위험지역에서 전파막을 이용하여 경보를 제공하는 경우, 조종사는 장애물을 회피할 수 있는 충분한 시간과 기회를 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

V. 결 론

지역여건상 ILS나 VOR/DME등 항행안전시설을 이용하여 착륙이 곤란한 활주로는 부득이 조종사가 눈으로 활주로를 직접 확인하여 착륙하는 선회착륙 방식이 이용되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 김해공항 북측활주로와 같이 항행안전 무선시설을 설치하지 못하는 공항에 대하여 선회착륙하는 항공기가 최종적으로 선회해야 하는 지점을 통과하여 항공 사고가 발생하는 것을 막기 위하여 최종 선회지점을 벗어난 지점에서 조종사에게 무선전파, 즉 마커신호로 경보를 알려주는 장비를 개발하였다. 여기에서는 현재 마커에서 사용중인 주파수 및 변조방식등은 동일한 방식을 사용하도록 하여, 항공기에 탑재된 장비도 개조하지 않고, 그대로 사용할 수 있도록 하였다. 다만, 안테나를 특수한 형태로 개발하고, 변조주

파수 및 변조신호만을 변형하여 기존 마커신호와 다르게 한다. 결론적으로 경보이후 비행경로에서 설명한 것처럼, 위험지역에서 전파막을 이용하여 정보를 제공하는 경우, 조종사는 장애물을 회피할 수 있는 충분한 시간과 기회를 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] AIRSYS. ATM, "Instruction Manual Mark 10 System", June 1992.
 [2] H. Yagi, "Beam Transmission of Ultra Short Waves," Proc. IRE, Vol. 26, pp.715-741, June 1928. Also Proc. IEEE, Vol. 72, No. 5, pp. 634-645, May 1984.
 [3] Constrantiner A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design", Third edition, John wiley&sons, Inc. 1998.
 [4] H. E. Green, "Design Data for Short and Medium Length Yagi-Uda Arrays," Elec. Engrg. Trans. Inst. Engrgs. (Australia), pp. 1-8, March 1966.

- [5] D. Kajfez, "Nonlinear Optimization Extends the Bandwidth of Yagi Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-23, pp. 287-289, September 1975.
- [6] G. A. Thiele, "Analysis of Yagi-Uda Type Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-17, No 1, pp. 24-31, January 1969.
- [7] G. A. Thiele, "Calculation of the Current Distribution on a Thin Antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-14, No. 5, pp. 648-649, September 1966.
- [8] N. K. Takla and L.-C. Shen, "Bandwidth of a Yagi Array with Optimum Directivity," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-25, No. 6, pp. 913-914, November 1977.
- [9] P. P. Viezbicke, "Yagi Antenna Design," NBS Technical Note 688, U.S. Department of Commerce/National Bureau of Standards, December 1968.

김 연 명(김연명)



e-mail : ymkim@koti.re.kr

1985년 인하대학교 산업공학과
(공학사)

1987년 서울대학교 환경대학원
교통계획학과(교통계획학석사)

1997년 미국 University of Mary-
land at College Park(공학박사)

1997년 8월~현재 교통개발연구원 연구위원, 항공교통
연구실장

관심분야 : 항공교통, 교통계획, 항공안전

박 동 영(박동영)



e-mail : nonoise@chollian.net

1996년 한국항공대학교 항공전자공
학과(공학사)

1999년 한국항공대학교 대학원
전자공학과(공학석사)

1999년 9월~현재 한국항공대학교
대학원 전자공학과(박사과정)

관심분야 : 영상처리, 동영상 신호처리

윤 태 원(尹泰元)



e-mail : watchamp@empal.com

2003년 한국항공대학교 항공전자공
학과(공학사)

2003년 9월~현재 한국항공대학교
대학원 전자공학과(석사과정)

관심분야 : 동영상 신호처리, 영상
디스플레이, 교통류해석 및 제어

황 병 원(黃秉元)



e-mail : bwhwang@mail.hau.ac.kr

1972년 한국항공대학교 항공전자공
학과(공학사)

1981년 동경대학 대학원 전자공학
과(공학석사)

1984년 동경대학 대학원 전자공학
과(공학박사)

1984년 5월~1985년 3월 국방과학연구소 선임연구원

1993년 8월~1994년 8월 동경대학 전자공학과 교환교수

1985년 8월~현재 한국항공대학교 항공전자공학과 교수

관심분야 : 영상처리, 영상인식 및 음성인식,
동영상 신호처리, 교통류 해석 및 제어