

## 다탄두 공격에 대한 군 활주로 방호성능 평가

황인재\* · 한재덕\*\* · 유승한\*\*\* · 김성곤\*\*\*\*

Hwang, Injae\*, Han, Jaeduk\*\*, You, Seunghan\*\*\*, Kim, Sungkon\*\*\*\*

### A Study on the Military Runway Protection Performance for the Multiple Warheads Attack

#### ABSTRACT

Airfield pavements, such as runways and taxiways, are essential for smooth take-off and landing of fixed-wing aircraft and are the most important installation for the military to carry out air operations during wartime. Therefore, in wartime, it is necessary to reduce the damage to these installations and repair them in the shortest possible time. Recently, the pattern of attack is changing from the use of conventional high explosive which is to create large craters to the use of multiple warheads weapon system which is to effectively attack enemy's airfields but unrelated to accuracy. Hence in this study, through identifying the specification and composition of multiple warheads weapon system, we checked the protection performance and damage patterns of the pavement when explosion occurred on the installed military runway and taxiway by the multiple warheads weapon system. And The multiple warheads weapon systems is able to cause extensive damage but the destructive power of each warhead is not as great, so I would like to propose an airfield pavement design plan for minimal protection against such attacks.

**Key words :** Runway, Taxiway, Airport, Pavement design, Multiple warheads, Cluster bomb unit, Protection performance

#### 초 록

활주로 및 유도로 등의 비행장 포장체는 고정익 항공기의 원활한 이착륙을 위해 반드시 필요한 시설물로 군에서도 전평시 항공작전의 수행을 위해서 가장 중요한 시설물이라 할 수 있다. 따라서 전시에 이러한 시설의 피해를 줄이고 최단시간에 복구하는 것이 필요하다. 최근의 공격양상은 대형 폭발구를 조성하기 위한 고폭탄을 사용하기 보다는 적의 비행장을 효과적으로 공격하고자 정확도와 관계없는 다탄두 무기체계를 사용하는 것으로 변화되고 있다. 따라서 본 연구에서는 다탄두 무기체계에 적용된 탄두의 제원과 구성을 통해 현재 군에 설치된 활주로 및 유도로 등에 접촉하여 폭발이 이루어졌을 때 포장체의 방호성능 및 피해양상을 확인해 보았으며, 다탄두 무기체계는 광범위한 피해를 줄 수 있지만 각각의 탄두의 파괴력은 그리 크지 않으므로 이러한 공격에 대한 최소한의 방호를 위해서 필요한 비행장 포장체의 설계 방안을 제시하고자 한다.

**검색어 :** 활주로, 유도로, 비행장, 포장설계, 다탄두, 확산탄, 방호성능

\* 정회원 · 공군 방공유도탄사령부, 서울과학기술대학교 국방방호공학과, 박사과정

(Seoul National University of Science and Technology · injae2239@naver.com)

\*\* 정회원 · 청양ENC(주), 서울과학기술대학교 국방방호공학과, 석사과정

(Seoul National University of Science and Technology · jaeduk@longtermeng.co.kr)

\*\*\* 정회원 · 국방시설본부 경기북부, 서울과학기술대학교 국방방호공학과, 석사과정

(Seoul National University of Science and Technology · youshan89@naver.com)

\*\*\*\* 중신회원 · 교신저자 · 서울과학기술대학교 국방방호공학과 교수, 공학박사

(Corresponding Author · Seoul National University of Science and Technology · skkim@seoultech.ac.kr)

Received November 16, 2019/ revised January 14, 2020/ accepted April 17, 2020

## 1. 서론

활주로 및 유도로 등의 비행장 포장체는 고정익 항공기의 원활한 이착륙을 위해 반드시 필요한 시설물로 군에서도 전·평시 항공작전의 수행을 위해서는 필수적 시설물이라 할 수 있다. 최근의 많은 전쟁사례에서 입증되었듯이 공중전력 우세 확보가 전쟁의 승패를 좌우하므로 전쟁에서 승리하기 위해서는 원활한 항공작전이 이루어져야 하며, 이는 곧 항공기의 최대출격이 보장되어야 한다는 말과 같다. 역으로 전시에 적(敵)은 활주로에 효과적인 피해를 주기 위한 방법을 사용할 것이 자명하다. 이때 활주로에 피해를 주기 위한 방법으로는 큰 규모의 폭탄을 여러 발 투하하여 활주로에 대형폭발구(Crater)를 남기게 하거나 다량의 탄두를 가진 확산탄을 투하하여 폭발구의 크기는 작지만 한 번에 광범위한 피해를 주는 방법이 있다. 대형폭발구를 조성하기 위한 고폭탄은 정확도가 가장 중요하기 때문에 대기권 밖에서 중력에 의해 낙하되어 목표지역으로 정확히 유도하기 어려운 탄도탄을 투하하였을 경우 전혀 피해를 주지 못하는 경우가 발생할 수 있고 포장면에 떨어지더라도 항공기의 활주가 가능한 최소지역이 남게 되어 활주로의 완전 차단 효과를 달성할 수 없을 가능성이 많다. 그러므로 정확도와 관계없이 비행장에 광범위한 피해를 입히기 가장 좋은 방법은 다탄두 무기체계를 사용하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 활주로 시설의 효과적 방호방안으로, 다탄두 무기체계에 적용된 탄두의 제원과 구성을 통해 현재 군에 설치된 활주로 및 유도로 등에 접촉하여 폭발이 이루어졌을 때와 포장체에 관입되어 폭발이 되었을 때 포장체의 방호성능과 피해양상이 어느 정도인지 확인해 보고자 하였다. 다탄두 무기체계는 광범위한 피해를 줄 수 있지만 다수의 탄두를 하나의 발사체에 담아야 하는 무기체계의 특성 때문에 각각의 탄두의 파괴력은 그리 크지 않을 것으로 판단되므로 이러한 공격에 따른 포장체의 피해정도와 최소한의 방호 및 최단시간에 피해복구를 위해서는 활주로 및 유도로 등의 포장체를 어떻게 설계하는 것이 유리한지를 시뮬레이션 결과를 분석하여 예측하고 결과를 도출해 보았다. 이 결과를 고찰함으로써 향후 비행장 포장체 설계기준 및 피해복구 공법을 선정하는 데 기여하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 비행장 포장구조 설계

비행장 포장의 구역은 크게 활주로, 주/횡단/비상 유도로, 과주로, 주기장 등으로 구성되는데 포장 두께는 각 지역 교통구역 구분에 따라 결정되며, 포장구역별 제원은 Table 1과 같다(MND, 2019a). 비행장 포장의 경우는 일반적인 도로 포장의 경우에 비하여 항공기 하중으로 인해 설계하중이 크고, 항공기의 고속 활주에 따른 안전을

Table 1. Runway Application Section

| Area   | Road thickness | Thickness of cement stable treatment layer | Packing thickness | Paved concrete       |                  |
|--------|----------------|--|-------------------|----------------------|------------------|
|        |                |  |                   | Compressive strength | Tensile strength |
| A Area | 300 cm         | 15 cm                                      | 40 cm             | 36 MPa               | 4.5 MPa          |
| B Area | 300 cm         | 15 cm                                      | 30 cm             | 36 MPa               | 4.5 MPa          |

확보하기 위해 평탄성이나 미끄럼 저항이 엄격히 요구되지만 하중이 작용되는 빈도가 일반 도로보다 적고 활주로 중앙부 등 일부에 편중되는 경향이 있다. 일반적으로 비행장 포장은 연성포장과 강성포장으로 구분하는데, 전자는 주로 아스콘 포장이며, 후자는 시멘트 콘크리트 포장으로 무근 콘크리트 포장과 연속 철근 콘크리트 포장 등으로 분류된다(FAA, 2016). 군용 항공기는 민간 항공기에 비해 대부분의 항공기가 소형이며, 제트 분사구가 낮게 설치되어 있고 내부에 프로펠러가 없는 순수 제트엔진으로 구동되어 분사 온도가 매우 높으므로 고열에 약한 아스콘 포장은 적합하지 않으며, 평시 유지관리의 용이성 및 전시 비행장 피해를 신속하게 복구하기 위하여 무근콘크리트 포장으로 설계가 적용되어 현재 우리 군의 대부분의 비행장 포장은 자주 사용되지 않는 과주로를 제외하고는 대부분 무근콘크리트 포장으로 설치되어 있다.

### 2.2 연구에 적용된 탄종

확산탄은 한 개의 탄체 내부에 또 다른 소형 폭탄들이 들어 있는 무기로서 요격 고도 이상에서 분리되어 확산 및 낙하하므로 방공무기체계로 요격이 어렵다. 확산탄은 내부에 탑재되는 자탄과 자탄을 담고 있는 용기에 따라 다양한 조합이 가능하다. 따라서 다양한 조합을 통해 인명살상, 장비파괴, 활주로 파괴 등 다양한 용도로 사용되는데 일반적으로 활주로를 공격하기 위한 다탄두 무기체계에는 모폭탄의 크기에 따라 약 16~40발 정도의 자탄이 들어 있으며, 모폭탄의 무게는 500 kg~1,000 kg 정도이다(Jane's strategic weapon system). 그러나 정보 획득의 제한으로 정확한 탄도탄 및 자탄의 제원을 산출하기는 곤란하나 공개된 자료들을 바탕으로 탄두 현황을 가정해 보면 Table 2와 같이 산출해 볼 수 있다.

또한, 자탄은 탄도탄 요격 무기체계의 요격을 피하기 위해 최대 요격 고도인 약 20 km 상공에서 자탄이 분리되어 자유낙하 하게 된다(Hansol Engineering, 2017).

Table 2. Applied Warhead Status (Suppose)

| Mo Bomb warhead weight | Zatan warhead | Shell weight | Pyrotechnic weight |
|------------------------|---------------|--------------|--------------------|
| About 500 kg           | About 20 Unit | 25 kg        | 3.5 kg             |
| About 750 kg           | About 30 Unit | 25 kg        | 3.5 kg             |
| About 1000 kg          | About 40 Unit | 25 kg        | 3.5 kg             |

### 2.3 폭발하중의 모델링

본 연구에서 해석하고자 하는 대상인 활주로는 다양한 재료가 복합적으로 구성되어 있다. 콘크리트, 기층, 지반 등 활주로의 용도에 따라서 각 재료의 층 두께는 조절하여 설계하는데, 수치해석을 통한 고체 재료의 모델링은 일반적으로 Lagrangian solver에 의한 강체운동 해석방법을 적용하고 있다(LSTC, 2007). 즉, 수치 모델을 구성하고 있는 단위요소를 해당하는 재료의 물리량 계산에 따라서 변화시키면서 해석을 수행하게 된다. 반면, TNT와 AIR를 구성하는 대변위 해석을 위한 Eulerian solver 를 이용하여 CFD 해석을 하게 되며, 실제에서는 이 두 방법이 조합되는 소위 Coupled analysis 방법이 적용된다(Seoul National University, 2012). 본 연구는 다단두에 의한 비행장 포장의 피해정도를 확인하는 것으로 LS-DYNA 프로그램(LS-DYNA, version 971)을 이용한 수치해석 시뮬레이션을 수행하였다.

### 2.4 비행장 방호수준 및 피해복구

방호등급은 적 위협과 함께 방호능력 및 시설의 사용목적 등을 종합적으로 고려하여 부여한 방호구조물의 방호목표이며, 이는 구조물의 상대적인 중요도 및 방호의 우선순위에 따라 부여된다(MND, 2019b). 방호능력은 예상되는 적의 위협에 대한 구조물의 방호수준을 구조적, 경제적, 전술적 측면을 종합적으로 고려하여 선정하여야 한다(MND, 2014). 방호 수준은 방호구조물이 지정된 방호등급에 따른 폭압 등의 하중효과에 대해서 확보해야 하는 구조 성능을 규정한 것으로 국방군사시설 기준에 정의되어 있으나 활주로 및 유도로 등 비행장 포장 구조물에는 적용되고 있지 않다. 현재 공군은 500 lbs 탄두의 피해를 기준으로 복구공법을 수행하고 있다. 500 lb 고폭탄에 의한 피해규모는 직경 약 11 m, 깊이 3 m 정도의 폭발구 규모를 가정하여 복구 계획을 적용하고 있으며, 이를 복구하기 위해서는 손상된 포장체 절단제거, 파석 및 유용토 제거, 충전재 투입/다짐, 보조기층재 투입/다짐, 매트 포설의 단계로 시행하며, 최대 4시간 이내 복구가 이루어져야 한다. 이러한 복구 절차는 임시 복구 절차이므로 전시 소강상태에서는 매트를 걷어내고 아스콘으로 재복구가 시행되어야 하며, 이 또한 강성포장이 아니므로 영구적인 복구 공법은 아니다. 그러나 포장체 하부 손상 없이 표면만 파손되었

을 경우에는 기층의 교란이 없으므로 손상된 포장면 제거 및 초속경 시멘트 또는 에폭시 포설 절차만 이루어지게 되어 매우 단순하고 신속한 절차로 진행되고 경화시간을 포함하여 2시간 이내에 완료되며, 재복구가 필요 없다. 따라서 비행장 포장면 피해가 표면 피해에 국한된다면 복구 절차 및 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있으며, 재복구도 필요 없으므로 확산탄에 의한 피해규모가 표면피해에 국한되도록 방호수준을 정하여 포장체를 설계하는 것이 필요하다.

## 3. 적용 결과

### 3.1 모델링 결과

각각의 시뮬레이션을 위한 비행장 포장 적용 단면은 실제 포장평가 결과 측정된 값을 적용하여야 하나, 전 비행장을 각각 모델링하여 계산하는 것이 제한되어 비행장 평균값으로 적용하였다. 폭발 위치 및 조건은 앞에서 가정한 대로 탄두무게는 18 kg, 폭약은 H.E 무게 3.5 kg을 TNT 환산값인 약 1.3배를 적용하여 4.55 kg이고 폭발위치는 활주로 표면 폭발로 적용하였으며, 일반적인 폭발구 형상은 모델링 결과 다음 Fig. 1과 같으며, 시간에 따른 폭발구 변화 양상은 Fig. 2와 같다(Seoul National University, 2012).

폭탄의 폭발현상이 일어날 경우 활주로 표면에 대한 압력은 고르게 장방향의 원형으로 발생되는데(Fig. 3) 이때, 활주로 표면에 폭발구와 장방향의 균열현상이 일어나며, 이는 실제 폭파 실험에서도 동일한 현상을 확인할 수 있고 폭발력의 크기에 따라 포장체 표면에 융기현상이 발생하게 된다. 이러한 표면 융기 현상은 활주로 피해를 복구하여야 할 경우 균열범위와 함께 절단하여 제거해야 할 대상으로 중요하게 고려되어야 한다.

해석결과를 바탕으로 결과를 도출해 보면 TNT의 중량이 증가하면 폭발구의 크기 즉, 폭발구의 직경과 깊이가 커지고 콘크리트의 강도가 클 수록 같은 TNT중량일 경우 폭발구의 규모는 작아진다. TNT중량별 폭발구의 직경 및 깊이를 모델링한 결과를 보면 Fig. 4와 같이 콘크리트 포장 두께가 B구역에 해당하는 약 30 cm일 경우 TNT중량이 증가함에 따라 폭발구의 직경 및 깊이가 증가하는 것을 알 수 있으며, 확산탄에 의한 폭발구의 포장표면에서의 깊이는 시뮬레이션 결과 TNT 76 kg일 때 2.7 m의 폭발구가 조성됨을 알 수 있다.

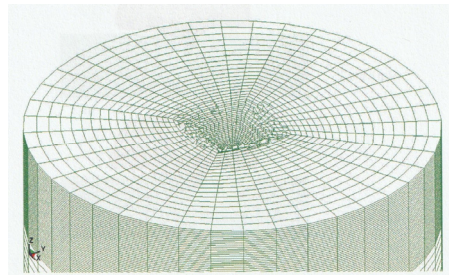
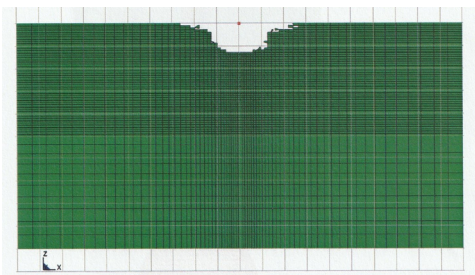


Fig. 1. Bombardment Shape

다탄두 공격에 대한 군 활주로 방호성능 평가

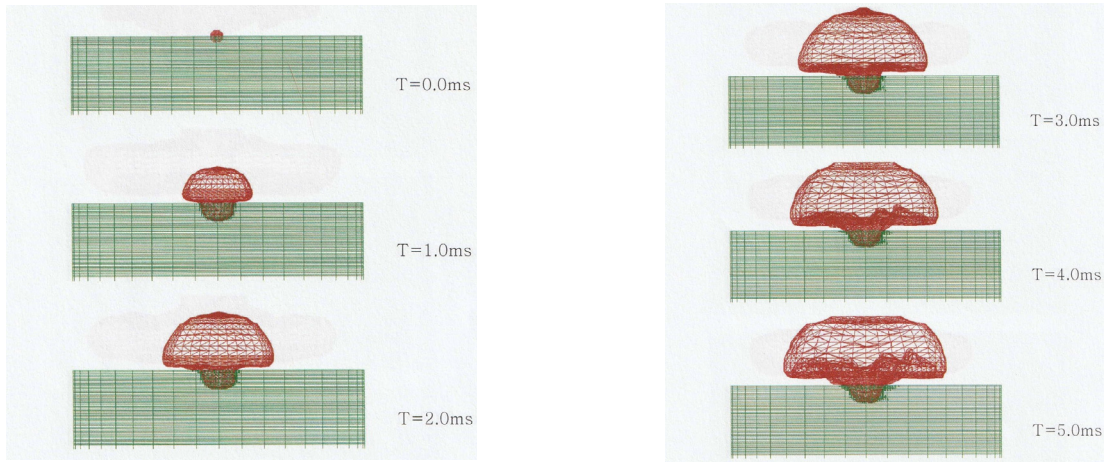


Fig. 2. Time-Based Explosive Balloon Variation

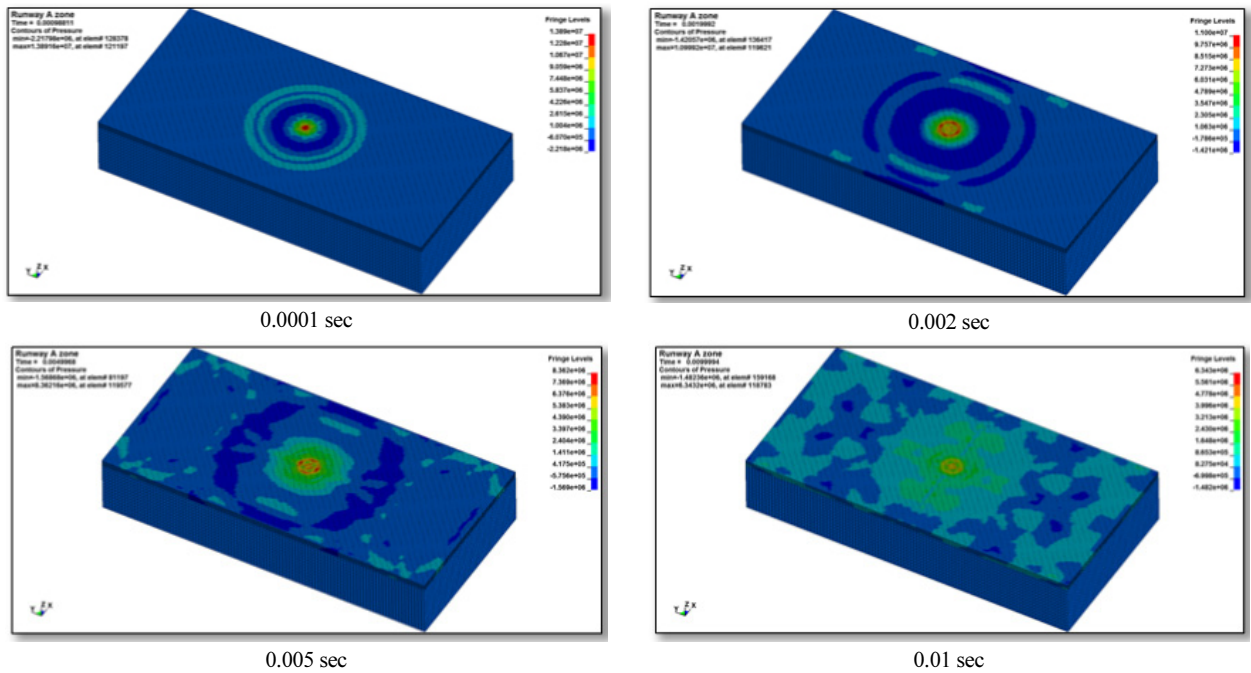


Fig. 3. Pavement Surface Pressure Propagation Pattern

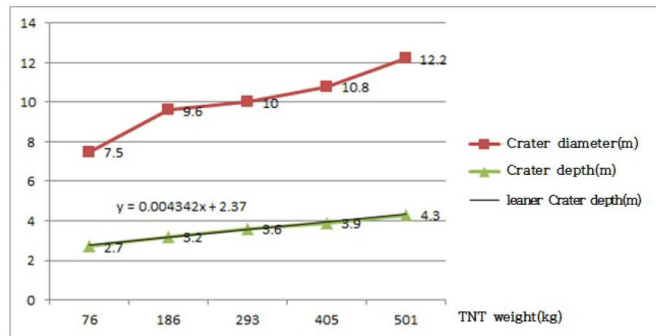


Fig. 4. Results of Analysis of Explosive Ball in Section B of Packing



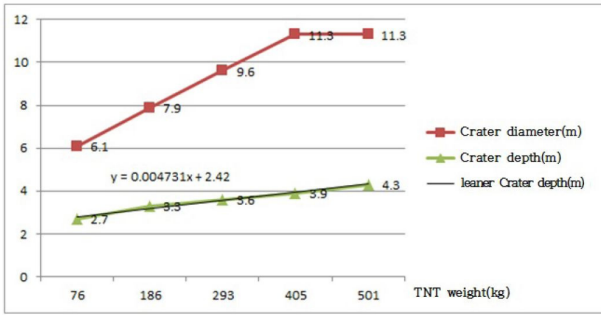


Fig. 5. Analysis of Packing A Zone Explosive Zone

Table 3. Analysis Results of Explosive Device According to Concrete Strength

| Concrete strength (psi) | TNT (kg) | Depth of explosion (m) | Explosion-ball diameter (m) | Depth of explosive hole (m) |
|-------------------------|----------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2000                    | 52       | 0                      | 2.4                         | 0.9                         |
|                         |          | 1                      | 5.0                         | 1.8                         |
| 5000                    | 52       | 0                      | 2.0                         | 0.6                         |
|                         |          | 1                      | 4.0                         | 1.6                         |

반면, Fig. 5에서 보는 바와 같이 포장A구역 폭발구 분석결과 확산탄에 의한 포장 피해 모델링 결과를 확인해 보면 TNT 76 kg일 때 B구역과 동일하게 피해 깊이가 2.7 m로 결과가 도출되었는데 이는 포장 두께는 폭탄 중량에 따라 비행장 포장 방호능력에 영향을 거의 주지 못한다는 것을 알 수 있다. 따라서 비행장 포장의 폭탄에 의한 방호능력은 콘크리트의 두께에 따라 폭발구 직경에는 약간의 차이가 있으나 피해 깊이에는 영향이 없음을 알 수 있다.

그러나 콘크리트 두께에 대한 시뮬레이션과는 다르게 콘크리트 강도에 따른 폭발구의 규모를 확인해 보면, Table 3과 같이 폭발구의 피해 규모가 상당히 차이가 나는 것을 볼 수 있는데 콘크리트의 강도가 강할수록 폭발구의 직경과 깊이가 상당히 줄어드는 것을 알 수 있다.

### 3.2 방호성능 평가

확산탄에 의한 현재 우리 군의 활주로 방호성능을 시뮬레이션해 보면 Fig. 6 및 Table 4와 같이 앞서 정의한 확산탄이 2 km 지점에서 확산되었을 경우 탄두는 16 cm가 포장체에 관입되어 폭발되며, 깊이는 19 cm의 피해가 발생하는 것으로 나타났다. 20 km 높이에서 확산탄이 가속력을 가지고 활주로 표면에 떨어지면 현재의 포장강도에서 30 cm가 관입되어 피해 깊이는 최종적으로 33 cm가 되는 것으로 나타났다(Hansol Engineering, 2017). 현재 활주로 포장체 두께는 구역에 따라 30 ~ 40 cm 로 시공되나 포장평가 결과 대부분 비행장의 A, B구역 실제 포장두께는 33 cm 이상으로

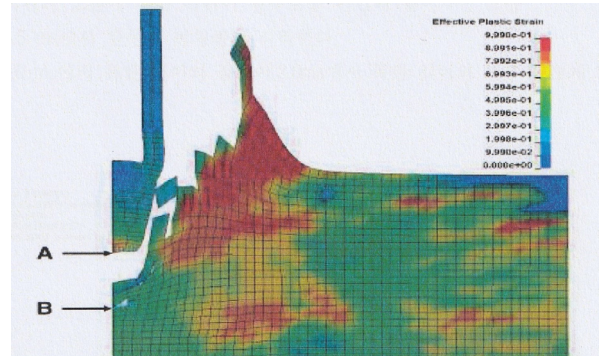


Fig. 6. Final Penetration and Damage Depth of Diffusion Missile

Table 4. Depth of Damage Caused by Diffusion of Diffused Coal

| TNT (kg) | Packing strength                      | Diffusion altitude | Packing penetration | Final Damage Depth |
|----------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 4.55     | Compression 36 MPa<br>Tensile 4.5 MPa | 2 km               | 16 cm               | 19 cm              |
|          |                                       | 20 km              | 30 cm               | 33 cm              |

설치되어 있어 포장체 하부 기층에는 영향이 없을 것으로 예상할 수 있다. 따라서 활주로 방호성능을 향상시키기 위하여 콘크리트 강도를 높여 피해 깊이를 포장체 내로 한정할 수 있게 되면 복구시간을 상당히 줄일 수 있다.

### 3.3 비행장 포장 방호성능 개선방안

본 연구에서는 시뮬레이션을 결과를 가지고 확산탄에 대한 활주로 방호성능을 검증해 보았는데 활주로 피폭에 관한 연구를 정확히 수행하기 위해서는 활주로 제원에 대한 정확한 자료를 적용하는 것이 필요하고 비행장 포장체를 공격하기 위한 무기체계의 탄두 무게, 폭약 양 등 폭발 입력을 정확히 계산하기 위한 제원을 파악하여 모델링에 적용하는 것이 필요할 것이다. 또한 비행장 포장은 강도는 거의 균일하나 구역별 두께가 다르게 적용되고 포장체 횡단 줄눈부에 다웰바의 설치 및 수축팽창 줄눈이 설치되기 때문에 줄눈 상부 표면에 폭발현상이 일어났을 경우 폭발압력이 포장체 하부 및 기층까지 도달할 것이므로 이런 경우의 포장체의 피해정도를 확인하는 것도 필요할 것이다. 본 연구에서는 시행하지 못했지만 좀 더 많은 시간과 장비를 가지고 추가로 시행되어야 할 부분으로 남겨두고 앞선 결과를 가지고 분석한 결과를 통해 개선방안을 도출하였다.

비행장은 앞서 언급했듯이 전시 초기에 적의 공격으로부터 가장 먼저 타격이 예상되는 아주 중요한 시설물로서 기본적인 방호능력을 갖추는 것이 우선되어야 하고, 피해를 입었을 경우 최소한의 인원과 장비로 빠른 시간에 복구될 수 있도록 건설되어야 할 것이다. 상기 연구결과에서 확인해 볼 수 있듯이 확산탄은 그 각각의 자탄 폭발력은 약하므로 비행장 포장표면에 떨어지더라도 포장을 뚫는

정도의 피해가 발생하지 않는 것을 확인하였다. 이러한 포장 표면 피해는 에폭시 공법이나 초속경 시멘트 공법으로 빠르게 복구할 수 있으며, 이러한 자재는 경화되는 시간도 매우 빠르기 때문에 피해를 입은 활주로를 신속하게 개방하여 항공작전을 개시할 수 있다. 그러나 일반적으로 확산탄은 자탄의 폭발력이 약하기 때문에 폭발 위력을 높이기 위해 활주로를 관통하게 하거나 관입된 후 지연하여 폭발하도록 지연신관을 포함하여 설계하고 있기 때문에 이러한 조건에서도 포장체가 일부라도 남아 있어서 안정처리기층 이하에 피해가 발생하지 않는다면 기층을 복구하기 위한 시간이 줄어들어 복구시간이 많이 단축될 것이다. 기층에 피해를 입게되면 포장면에 용기부가 발생하고 폭발 압력으로 인해 기층의 교란이 발생하므로 포장체의 절단과 기층의 복토 및 다짐 등이 포장 복구 전에 선행되어야 하기 때문에 완전한 복구에 매우 많은 시간이 소요된다. 따라서 활주로에 확산탄이 관입되지 않도록 포장체 표면에 희생부재의 설치나 탄이 포장체에 관입되지 않을 정도의 포장 강도의 보강이 필요하며, 활주로 전체 포장에 대한 강도를 증가시키기 어렵다면 최소운영활주로 구간을 정해 강도를 높여 시공할 수도 있을 것이다. 또한, 탄두가 관입되더라도 포장체 전체가 뚫려서 기층까지 피해를 입지 않도록 포장체 하부를 보강하는 것도 좋은 대안이라 할 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 확산탄 폭발에 의한 활주로 피폭양상을 분석하기 위해서 수치해석 기법을 적용한 시뮬레이션 결과와 현장 활주로 모형 폭파 실험 결과를 활용하여 연구결과를 도출하였다. 수치해석 결과를 보면, 폭탄에 의한 활주로의 피폭 양상에 영향을 주는 요인은 폭탄의 중량과 포장의 강도라 할 수 있다. 폭발 위치도 단단한 포장표면 위에서 폭발하는 것과 줄눈 사이에서의 폭발, 그루빙이 적용된 표면에서 폭발하는 상황 등 위치에 따라 포장 표면의 피해양상에 많은 영향을 주지만 본 연구에서는 이러한 결과를 도출하는데 제한사항이 되었다. 그러나 활주로에 피해를 주는 가장 큰 요인은 폭발물의 탄두 중량과 활주로의 강도라는 것을 본 연구를 통해 확실히 알 수 있었으며, 가정된 확산탄 자탄이 포장 표면에서 폭발하였을 경우 구역별 두께에 관계 없이 포장체 하부 기층에는 영향이 없음을 확인하였다. 이는 비행장 복구 측면에서 볼 때 포장 표면에 국한된 피해로 에폭시 또는 초속경 시멘트 공법 등의 아주 단순하고 신속한 복구 공법을 적용할 수 있는 수준이라 할 수 있다. 그러나 여기에서는 자탄의 포장체 관입 폭발은 고려하지 않았기 때문에 자탄이 포장체에 관입되어 폭발한다면 본 연구에서 도출된 결과

보다 더 큰 피해 즉, 더 큰 폭발구의 직경 및 깊은 포장체 피해를 유발하게 될 것이다. 그러나 이러한 폭발도 포장체 하부에 있는 기층까지 영향을 주지 못한다면 포장체 절단 및 교란된 기층의 복구, 다짐 및 재복구 등의 시간이 필요 없기 때문에 복구시간을 상당히 단축할 수 있다. 그러므로 비행장 포장설계에 포장체 하부 기층에 영향을 주지 못하는 수준의 방호성능을 고려하여 적용하는 것이 필요하다. 이렇게 포장 기층에 영향을 미치지 못하도록 비행장 포장의 방호성능이 고려되어 설계되고 건설된다면 다탄두 무기체계는 포장체에 미치는 피해 효과가 매우 적을 것으로 예상할 수 있으므로 이를 위한 포장 표면의 보강과 아울러 포장강도를 적절한 수준으로 증가시킨다면 피해를 최소화시킬 수 있고 피해가 발생하더라도 신속한 복구가 가능해지므로 전시 원활한 항공작전 수행에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 논문은 2019 CONVENTION 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

#### References

- Federal Aviation Administration (FAA) (2016). *Airport pavement design and evaluation*, FAA AC 150/5320-6E, Washington, USA.
- Hansol Engineering (2017). *A study on the pattern of runway damage by diffusion coal*, Air Force Operations Command Research Service Report (in Korean).
- Livermore Software Technology Corporation (LSTC) (2007). *LS-DYNA keyword user's manual*, version 971, Livermore Software Technology Corporation Livermore, California, USA.
- Ministry of National Defense (MND) (2014). *Defense military facilities standards, guidelines for design and construction of explosion proof and bulletproof facilities*, DMFC 3-90-70 (in Korean).
- Ministry of National Defense (MND) (2019a). *Defense military facilities standards, civil engineering facilities*, DMFC 3-70-10 (in Korean).
- Ministry of National Defense (MND) (2019b). *Defense military facilities standards, standard for protection of major military facilities*, DMFC 2-20-00 (in Korean).
- Seoul National University (2012). *Verification of changes in runway exposure patterns by bomb warhead weight to improve runway damage recovery*, Air Force Headquarters Research Service Report (in Korean).