

地盤 分離 시스템 Base Isolation System

전 귀 현*

1. 序論

一般的으로 構造物의 耐震 設計는 強地震시 構造物의 비탄성 舉動에 의존함으로써 비탄성 變形으로 인한 構造 요소의 漸進的인 破壞와 상당한 應變변위가 招來된다.¹⁾ 또한 構造物이 地盤 加速度를 증폭시키는 役割을 함으로써 構造物내의 각종 設備과 비구조체에 큰 被害를 초래할 수도 있다.²⁾ 따라서 強地震시 地盤(ground)으로 부터 上部 構造物에 전달되는 地震荷重 자체를 감소시킴으로써 構造物의 應變 加速度를 적게하여 構造物과 構造物내의 設備, 비구조체를 地震으로부터 保護하기 위한 새로운 耐震 設計 방법으로 地盤 분리 시스템이 研究開發되어 實用化 되고 있다.³⁾

이러한 地盤分離 시스템을 사용하는 새로운 耐震 設計 방법의 장점들을 열거하면 다음과 같다.

1) 強地震시 재래적인 耐震設計시 요구되는 構造物이 破壞됨이 없이 비탄성거동을 할 수 있도록 하는 충분한 연성(ductility)을 제공하기 위한 특별한 상세설계가 필요하다.

2) 上部構造에 傳達되는 地震荷重의 減少로 工事費 절감과 공기의 단축이 가능하며 構造物의 내진성을 높일 수 있다.

3) 強地震 후에도 그 기능을 유지해야하는 重要 構造物의 경우 기능상 필수적인 設備나 비구조체

를 地震으로부터 保護하는데 매우 效果的이다.

4) 기존 建物을 地震으로부터 保護하기 위하여 效果적인 補強方法으로 使用할 수 있다.

本 稿에서는 地盤分離 시스템의 基本概念과 特性 및 實用現況에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 地盤分離 시스템의 基本概念

一般的으로 地盤分離 시스템에 要求되는 基本적인 事項은 다음과 같다.

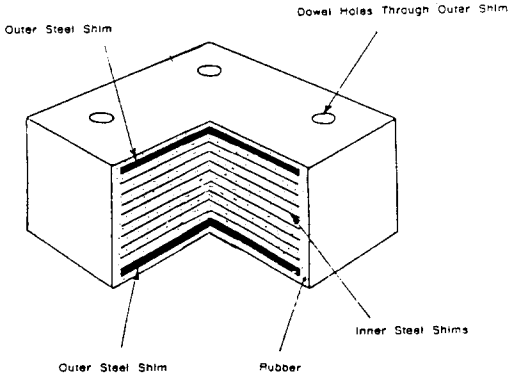
1) 地震시 地盤으로부터 上部構造에 傳達되는 荷重이 적어야 한다.

2) 기초와 地盤 사이에 상대변위를 許容範圍內로 制限할 수 있어야 한다.

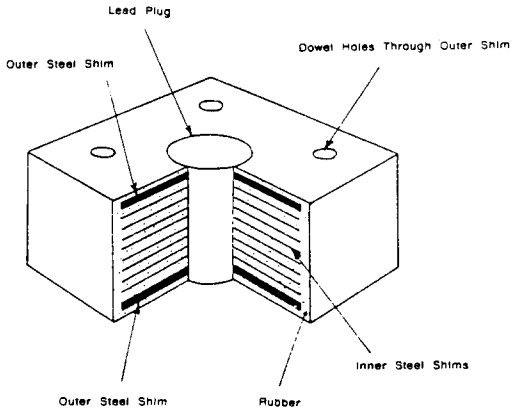
3) 약한 地震이나 바람에 의해 構造物의 기초가 흔들리지 않도록 충분한 초기강성을 지녀야 한다.

地盤分離 시스템을 概念的으로 크게 分類하면 構造物의 기초와 地盤 사이에 水平方向으로 유연한 요소(flexible element)를 設置하여 構造物의 固有 振動數 移動을 통해 上部 構造物에 傳達되는 地震荷重을 減少시키는 Elastomeric 分離 시스템과 마찰요소(frictional element)를 사용함으로써 上部構造物에 傳達되는 地震荷重의 최대값이 그 마찰요소에 發生하는 摩擦力(friction force)이 되도록 하는 活動分離 시스템(Sliding Isolation system)이 있다.

* 정회원, 선경건설 구조설계부



(a) Laminated Rubber Bearing

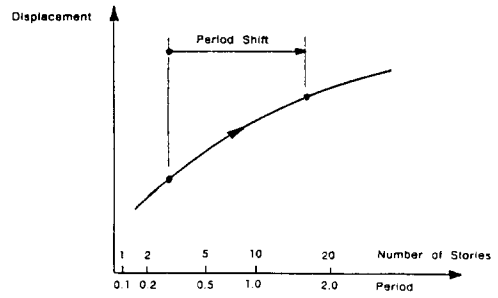
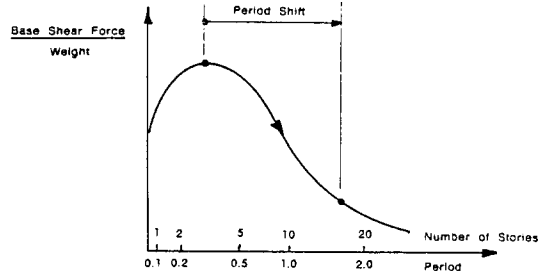


(b) Lead-rubber Bearing(NZ system)

그림 1. 지반 분리 베어링

Elastomeric 分離 시스템은 그림 1(a), (b)와 같은 베어링들은 사용한 것으로 이 베어링들의 水平方向 柔軟性에 따른 構造物의 고유 振動數 移動과 에너지 減衰 能力에 依存하는 시스템이다. 그림 1(a)의 Laminated Rubber Bearing(LRB)은 고무(rubber)와 강판(steel plate)을 여러겹 겹쳐 놓은 것으로 수직방향으로는 매우 강성이 높고 水平方向으로 柔軟性을 제공한다.

그림 2는 構造物의 固有振動數에 따른 構造物에 傳達되는 地震荷重과 지반과 기초의 상대 變位를 나타내는 것으로 固有振動數가 낮은 값으로 移動함에 따라 荷重은 減少하나 상대 變位는 증가함을 알 수 있다. 따라서 횡방향 柔軟性에 의해 發生하는 기초와 地盤사이의 상대변위를 줄이기 위해



PERIOD = 1 / FREQUENCY

그림 2. FORCE AND DISPLACEMENT RESPONSE CURVE

LRB 대신 그림 1(b)와 같은 Lead-Rubber 베어링이 사용된 이 베어링은 LRB의 중심부에 그림 3과 같은 荷重-變位 관계를 갖는 납(lead-core)을 設置한 것으로 납의 비탄성거동에 의한 에너지 減衰能力과 풍하중이나 약한 地震荷重이 作用시 상부구조물의 흔들림을 방지하기 위한 초기강성을

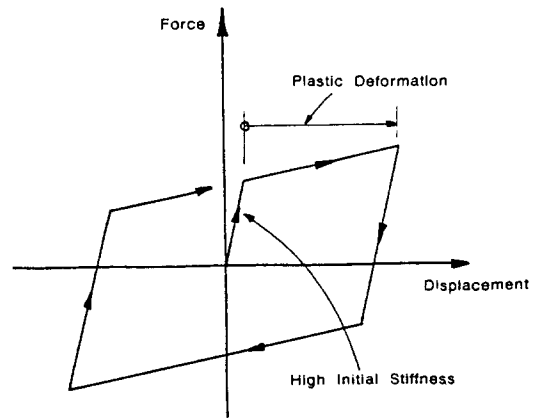


그림 3. HYSTERETIC CURVE OF LEAD

동시에 제공함으로써 LRB의 短點을 補完할 수 있다.

活用 分離 시스템(Sliding Isolation System)은 마찰요소(frictional element)와 스프링요소(spring element)로 조합구성된 것으로 활동면에 作用하는 摩擽力과 스프링 요소에 作用하는 復原力의 相對인 값과 배치 形態에 따라 각기 그 特性을 달리 한다. 가장 基本的인 것으로는 마찰력이 復原力에 비해 상당히 큰 경우 이 분리 시스템은 地盤運動의 加速度의 크기나 振動數 特性에 관계없이 摩擽力이 上部構造物에 傳達되는 최대 荷重이 되고 스프링 요소의 復原力은 활동면에서 發生하는 영구 상대변위를 調節하는 기능을 갖는다. 이 분리 시스템의 가장 큰 長點은 地盤運動의 振動數 特性에 민감하지 않아 그 使用地域에 制限이 없다는 것이다.

3. 地盤 分離 시스템의 特性⁴⁻¹⁰

最近까지 研究 開發되어온 여러가지 地盤分離 시스템들은 다음과 같은 基本 요소들(Basic element)로 構成되어 있다.

1) 스프링 요소(Spring-like element)

고무(Rubber), Neoprene Pad, Helical spring

2) 댐핑 요소(Damping element)

점성 댐퍼, Hysteretic 댐퍼

3) 摩擽 요소(Frictional element)

Teflon coated plate, stainless steel plate, lead-bronze plate

地盤分離 시스템들은 위의 세가지 基本 요소들을 直列(Serial) 혹은 竝列(Parallel)로 배치함으로써 각기 特性이 다른 分離效果를 얻는다. 그림 4는 대표적인 地盤分離 시스템들의 수학적 모델을 도식화한 것으로서 위의 세가지 요소들의 配列狀態를 잘 나타내주고 있다.

Laminated Rubber 베어링(LRB)은 構造物의 固有振動數를 0.5Hz 정도로 移動시킴으로써 地盤分離 效果를 얻는 것으로서 上部構造는 거의 剛體運動(rigid body motion)을 하게 된다. 따라서 건물의 경우 층간 상대 變位(interstory drift)가 매우 적고 층운동(floor motion)이 낮은 振動數 特性을

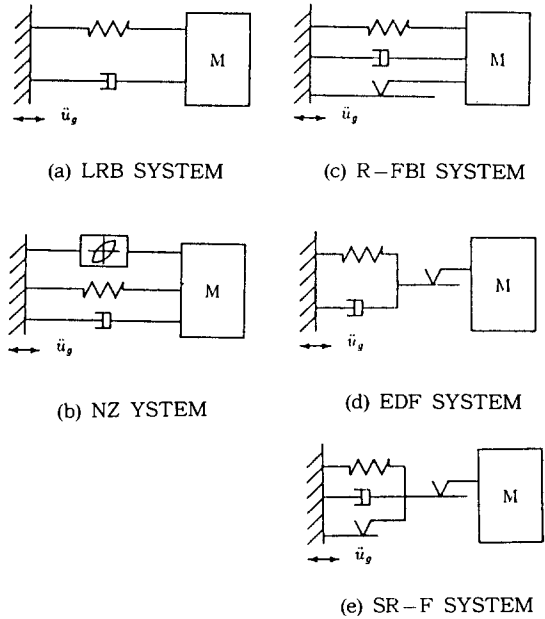


그림 4. 지반 분리 시스템들의 수학적 모델

갖음으로써 建物내의 各種 設備나 비구조체를 地震으로부터 保護하는데 가장 效果的이다. 그러나 LRB의 횡방향으로의 柔軟性으로 인한 상대변위가 크게 發生하고 初期강성이 충분치 못한 短點이 있다. 이러한 短點을 補完하기 위해 여러가지 기계적인 감쇠장치들이 고안되었으나 그중에서 가장 代表的인 것이 납을 LRB 중심부에 設置한 Lead-rubber 베어링이다. 이것은 뉴질랜드 시스템(NZ)이라고도 하며, 납의 사용량을 增加시키면 상대변위는 減少하나 上部構造에 傳達되는 地震荷重은 增加함으로 地盤 分離效果가 減少하게 된다. 따라서 許容 상대 변위내에서 地盤分離 效果를 最大化할 수 있는 납의 사용량 결정이 이 분리 베어링의 設計에 매우 중요한 要因이 된다. 이와 같이 構造物의 固有振動數 이동의 결과로 地盤 분리 效果를 얻는 시스템들은 1985년 멕시코 시티 地震과 같이 낮은 振動數대에 地震 에너지를 포함하고 있는 地震이 豫想되는 地域에서는 오히려 逆效果를 招來할 可能性이 있어 그 사용에 制限이 있다.

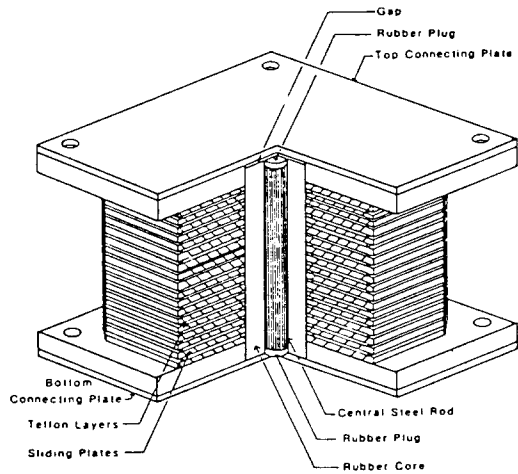
다음으로 마찰요소를 포함하고 있는 代表的인

分離 시스템들에는 그림 4의 Resilient-Friction Base Isolator(R-FBI), Electricite de France(EDF), Sliding Resilient-Friction(SR-F) 등이 있다. R-FBI는 그림 5(a)와 같이 여러층의 마찰판(Teflon coated plates)과 중심부의 고무(Rubber core)로 구성되어 있으며 두 구성요소의 平行作用을 통해 地盤分離 效果를 얻는다. EDF 시스템은 水平方向 柔軟性を 제공하는 보강된 Neoprene Pad와 마찰판을 直列로 배치한 것으로서 入力 地震의 크기나 振動數 特性에 관계없이 上部構造物에 作用하는 최대 荷重이 마찰판에 作用하는 摩擦力이 됨에 따라 上部構造物의 耐震設計 標準化가 可能하다. 이 시스템에서 사용된 마찰요소는 스테인레스 철판(stainless steel plate)과 납과 동의 합금판(lead-bronze alloy plate) 사이의 摩擦을 이용한 것이다. SR-F 시스템은 EDF 시스템에 있어서 Neoprene pad 대신 R-FBI를 使用한 것으로 2층의 마찰요소를 지니고 있다. 이 시스템은 가장 복잡하나 R-FBI나 EDF에 비해 效果의임이 연구결과가 밝혀졌으나 아직 實用化 段階에는 이르지 못하고 있다.

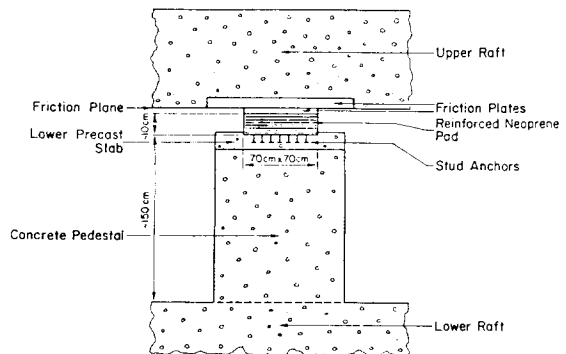
4. 地盤分離 시스템의 實用 現況

Elastomeric 分離 시스템은 현재까지 가장 간단한 地盤分離 시스템으로서 美國, 뉴질랜드, 日本에서 약 25개의 建物과 45개의 橋梁에 設置되어 있다. 그중 代表的인 것으로 98개의 LRB가 設置된 美國의 Foothill Communities Law and Justice Center(126m×35.5m, 4층, steel frame)¹¹⁾와 80개의 Lead Rubber 베어링들이 設置된 뉴질랜드의 Clayton Building(97m×40m, 4층, 鐵筋 콘크리트)¹²⁾ 등이 있다. Clayton Building의 경우 地盤分離 시스템을 設置함으로써 50%의 층간 변위가 減少하는 것으로 計算되었다.

위의 두 建物들은 地盤分離 베어링의 設置를 위해 2층 기초를 使用하였으나 최근에 美國 California 의 Seal Beach에 있는 기존의 8층짜리 鐵筋 콘크리트 建物의 내진성을 向上시키기 위하여 26개의 LRB와 24개의 Lead Rubber 베어링을 1층 기둥 꼭대기 부분에 設置한 경우도 있다.¹³⁾



(a) Resilient-Friction Base Isolator(R-FBI)



(b) Electricite de France(EDF)

그림 5. 활동 지반 분리 베어링

活動分離 시스템의 代表的인 경우로는 남아공화국의 原子力 發電所(Kroeberg Nuclear Plant)의 기초에 EDF 시스템을 設置하였다.¹⁰⁾ 여기서 使用된 마찰판의 마찰계수는 0.2로서 上部構造物은 0.2g의 地震荷重으로 標準設計되었다.

참 고 문 헌

1. Uniform Building Code(UBC), 1988 Edition.
2. Federal Emergency Management Agency(FEMA), "An assessment of the consequences and preparations for a catastrophic California earthquake; Findings and actions taken",

- FEMA Report, Washington, D.C., 1981.
3. J.M.Kelly, "Aseismic base isolation : review and bibliography", Vol.5, No.3. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1986.
 4. W.H.Robinson, "Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes", Earthquake Engineering and structural Dynamics, 10, 1982.
 5. N.Mostaghel and M.Khodaverdian, "Dynamics of resilient-friction base isolator(R-FBI)." Earthquake Engineering and structural Dynamics, 15, 1987.
 6. L.Su, G.Ahmadi, and I.G.Tadjbakhsh, "Comparative study of base isolation systems." J. of EM, ASCE, Vol.115, No.9, 1989.
 7. L.Su, G.Ahmadi, and I.G.Tadjbakhsh, "Performance of sliding resilient-friction base isolation system." J. of ST, ASCE, Vol.117, No.1, 1991.
 8. M.C.Constantinou and I.G.Tadjbakhsh, "Hysteretic dampers in base isolation : Random approach.", J. of ST, ASCE, Vol.111, No.4, 1985.
 9. M.C.Constantinou, A.S.Mokha and A.M.Reinhorn, "Study of Sliding bearing and helical steel-spring isolation system.", J. of ST, ASCE, Vol.117, No.4, 1991.
 10. R.Gueraud and etc., "Seismic isolation using sliding-elastomer bearing pads.", Nuclear Engineering and design, 84, 1985.
 11. A.G.Tarics, D.Way, and J.M.Kelly, "The implementation of base isolation for the Foothill Communities Law and Justice Center." A Report to the National science Foundation and the county of San Bernardino, 1984.
 12. L.M.Megget, "The design and construction of a base-isolated concrete frame building in Wellington, New Zealand," 8th world Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, Calif., 5, 1984.
 13. C.T.Dooley and R.Robison, Seismic Surgery, Civil Engineering, September, 1990.