

原子力發電所の 耐震設計用 入力地震의 決定

徐 廷 熙

〈서울大 工大 資源工學科 副教授·工博〉

解析 및 耐震試驗 入力으로 使用하게 되어있다.

1. 序 論

一般的으로 耐震設計라 함은 地震에 依하여 發生된 地振動이 特定한 構造物에 作用할 때 이 地振動의 影響下에서도 構造物의 正常的인 機能을 維持할 수 있도록 設計하는 것을 말하는 바, 原子力 發電所の 耐震設計에 있어서도 原則的으로 同一한 概念이나 實施하는 規定이 他構造物에 比하여 훨씬 嚴格한 것이 다른 點이라 하겠다.

現在 우리나라의 境遇 原子力 發電所는 1基(古里 #1)가 稼動中이고 2基(月城 #1, 古里 #2)가 거의 完工段階에 있으며 7基(古里 #3, #4, 月城 #2, 桂馬 #1, #2, 富丘 #1, #2)가 建設作業中인 바 이中 富丘의 境遇만 프랑스(?)에서 建設豫定이고 其他는 모두 美國 및 캐나다에서 建設하였거나 建設豫定이므로 따라서 그 設計에 있어서도 諸規定은 대체로 美國것을 準用하고 있는 形便이다. 그러므로 本稿에서는 美國에서 施行되고 있는 方法 또는 規定에 依據하여 耐震設計用 入力地震에 對하여 說明하고자 한다.

耐震設計에 入力으로 使用되는 地震을 設計基準地震(design basis earthquake, DBE)이라고 通稱하며 이 地震은 美國 規定에 依하면 應答스펙트럼(response spectrum)으로 定義되게 되어 있으며 또한 이 應答스펙트럼에 準하는 人工的인 地震의 時間記錄(artificial time history)을 作成 또는 選定하여 이를 發電所 構造物의 耐震

2. 設計基準地震의 決定

原子力 發電所の 耐震設計에 基準이 되는 設計基準地震에는 各國마다 그 名稱이 약간씩 다르나 대개 2種이 있는바, 美國 規定¹⁾에서는 이를 各己 SSE (safe shutdown earthquake) 및 OBE (operation basis earthquake)라고 부른다. OBE는 通常 SSE의 $\frac{1}{2}$ 程度의 크기로 하므로 實際問題로는 SSE의 決定이 設計基準地震 決定의 核心이 되며, SSE도 水平 및 垂直成分으로 區分되나 垂直成分의 크기는 普通 水平成分의 $\frac{2}{3}$ 로 잡으므로 本稿에서는 SSE의 水平成分만을 論하기로 한다.

SSE를 決定하기 爲하여는 原子力 發電所 敷地를 中心으로 하는 半徑 300km 內 地域에서의 過去의 모든 地震記錄을 調査하여 이 中에서 앞으로 建設될 原子力 發電所の 稼動期間中 敷地 基礎水準에 最大振動을 일으킬 것으로 豫想되는 地震을 選定하는 作業부터 于先 遂行하여야 한다.

一般的으로 地震은 震源地에서 發生할 當時의 에너지가 敷地 基礎까지 傳播되는 동안 震源, 傳播經路, 受振點 下部物質들의 組成 및 物理的 諸特性에 影響을 받아서 에너지의 減衰가 이루어지게 된다. 그러나 大部分의 歷史上의 地震의 境遇에는 震源地에서 發生當時의 에너지크기(earthquake magnitude)를 推定할 수 있는 資料가 없으며 그렇기 때문에 이 地震이 地表上에

□ 解 說

끼친 被害程度(earthquake intensity)의 記錄을 그 附近의 地質學 및 地體構造學的 事實과 聯關시켜 發生時의 에너지를 推定하는 것이다. 따라서 歷史의 地震의 調査와 竝行하여 敷地를 中心으로 하는 半徑 300km 內의 全域에서 地質學 및 地體構造學的 調査가 이루어져야 하며 特別히 潛在的으로 地震 發生이 可能하다고 判斷되는 活動性斷層들에 對하여 調査를 遂行하여야 한다. 地震發生과 關聯이 있다고 分明히 또는 疑心되는 活動性斷層들이 發見되었을 때는 이들 斷層線上에서 敷地까지의 最近點에, 그 斷層線上에서 過去에 發生했던 最大地震의 震央을 設定하고 이 때 發生할 에너지를 適當히 減衰시켜 敷地까지 이르게하여 敷地 基礎水準에서의 振動

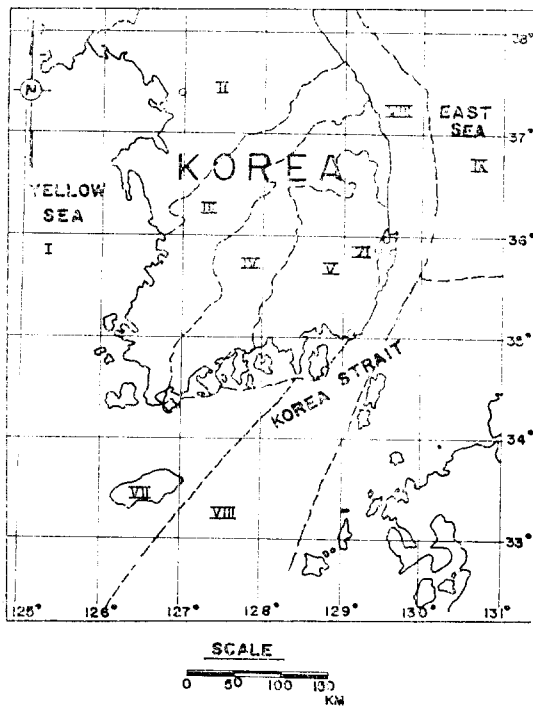
值들을 計算하여서 이들 中 最大值를 갖는 地震이 곧 SSE가 된다.

만일 이들 活動性斷層을 찾지 못하는 境遇에는 調査地域(敷地 中心 半徑 300km 區域)을 地質學的 및 地震學的 特性들이 비슷한 몇 개의 區域(地震 地體構造區, seismotectonic province, Fig.1 參照)으로 나눈 뒤 이들 各 構造區에서의 最大地震들을 選定, 이 地震들의 震央을 各 構造區에서 敷地까지의 最近點(通常 構造區들의 境界線)에 位置시킨 後 이 地震들이 減衰하면서 敷地에 이르렀을 때의 最大振動值를 갖는 地震이 SSE가 되게 된다.

따라서 이들 歷史上的의 地震被害記錄들로부터 特定敷地の SSE를 決定하는 作業에는 많은 問題點이 內在함을 알 수 있으며 (Fig. 2 參照) 이들 中 重要한 것을 大略 다음과 같이 指摘할 수 있겠다.

- 1) 歷史的 地震의 震源點, 震度等의 決定
- 2) 震度로부터 에너지크기로의 換算
- 3) 傳播中 에너지 減衰의 計算
- 4) 活動性斷層의 把握
- 5) 地震 地體構造區의 設定
- 6) 敷地 下部物資의 에너지 傳播特性

이러한 諸問題의 工學的 解決은 現在까지 알려진 地震學, 地質學, 地體構造學 및 地球物理學들의 諸理論 및 資料에 依存할 수 밖에 없으



Tectonic provinces

- I. Yellow sea
- II. Gyeonggi massif
- III. Ogcheon folded belt
- IV. Sobaegsan massif
- V. Gyeongsang basin
- VI. Pohang-Ulsan volcanic belt
- VII. Cheju island volcanic belt
- VIII. Korean continental shelf
- IX. East sea

Fig. 1. Seismotectonic provinces of south Korea.²⁾

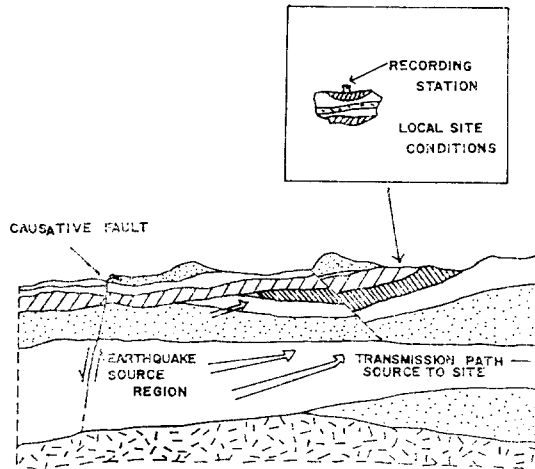


Fig. 2. Generation and transmission of seismic waves.

原子力 發電所의 耐震設計用 入力地震의 決定 □

며 이들을 最大한 活用하여 가장 合理的이면서도 原子力 發電所의 安全性을 考慮하여 比較的인 保守的인 方向으로 若干 높게 잡는 것이 慣例로 되어있다. 이 過程을 要約하면 表 1. 과 같다.

이렇게 求한 SSE는 定量的으로는 各周波數別 振幅의 變化 및 位相의 變化로써 決定되어야 하겠으나 歷史上 모든 最大地震에 對하여 이와 같은 仔細한 科學的 資料는 期待할 수 없는 것이

므로 美國을 비롯한 大部分의 國家에서는 通常 SSE가 敷地 基礎水準面에서 發生시키리라고 判斷되는 最大 地面加速度值를 于先 決定하고(耐震設計基準值 또는 SSE 값) 다음에 說明코자하는 應答스펙트럼의 크기를 이 SSE 값으로 調整하므로써 特定敷地의 SSE를 定量的으로 定義하게 된다. 表 2는 世界 여러나라 原子力 發電所의 耐震設計基準值의 實例를 보인 것이다.

表 1. 耐震設計 基準值 決定過程

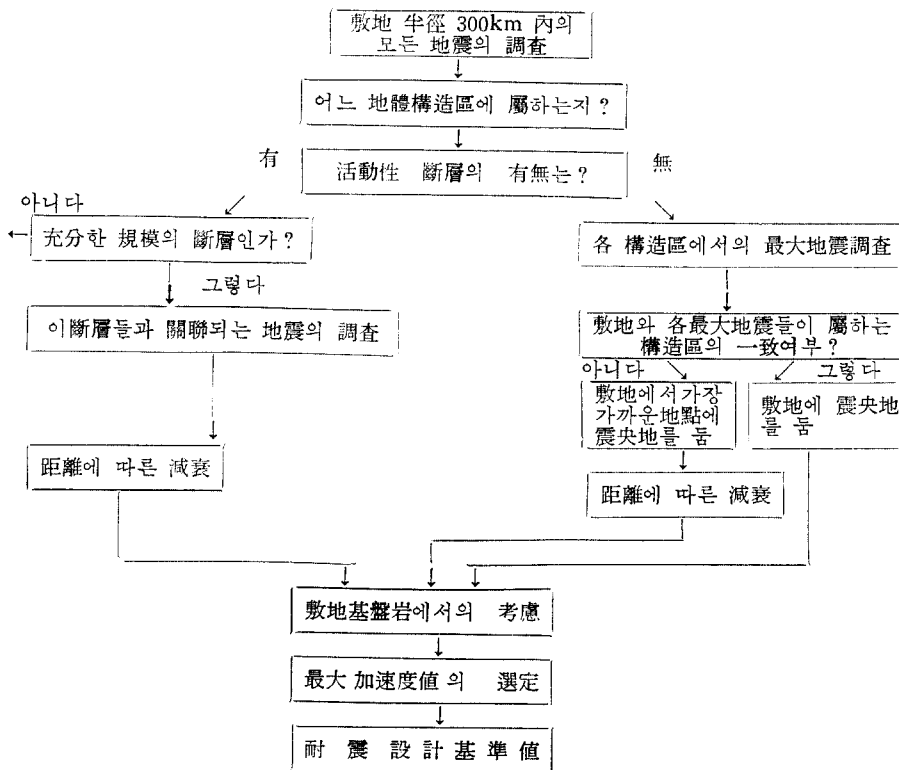


表 2. 耐震設計基準值의 實例

發電所名	國名	SSE의 g 값	發電所名	國名	SSE의 g 값
San Onofre	美國	0.66	KRSKO	유고슬라비아	0.3
Iran #1, #2	이란	0.5	KAISERAUGST	스위스	0.25
CHASHMA	파키스탄	0.35	ENEL #4	이탈리	0.24
ANGRA	브라질	0.1	FESSENHEIM	프랑스	0.2
古里 #1	韓國	0.15	VALDECABALLEROS	스페인	0.2
月城 #1	韓國	0.2	WYHL	獨逸	0.25

3. 應答스펙트럼의 決定

이러한 過程을 通하여 求하여진 SSE 값(敷地基礎水準面에서의 地面의 最大加速度值)은 實際耐震設計에 있어서는 直接的인 設計入力 (design input)이 되는 것은 아니고 設計入力으로 使用되는 設計스펙트럼 (design spectrum)의 크기를 調節하는 役割을 遂行하게 된다.

通常 設計入力이라고 부르는 設計스펙트럼이란 正確히는 應答스펙트럼 (response spectrum)이라고 불리우며 이는 地震이 質量-스프링 (mass-spring)을 갖는 一自由度振動系 (single-degree of freedom system)에 入力되었을 때 出力(反應)을 各 周波數에 對한 速度, 變位 및 加速度의 振幅變化로써 tripartite logarithmic graph 상에 表示한 스펙트럼 (Fig. 3 參照)을 말한다. Newmark, Blume 및 Kapur 3人은 1973年 11月에 發表된 研究³⁾에서 美洲에서의 總 33個 地震에 對한 一自由度振動系의 應答스펙트럼을 作

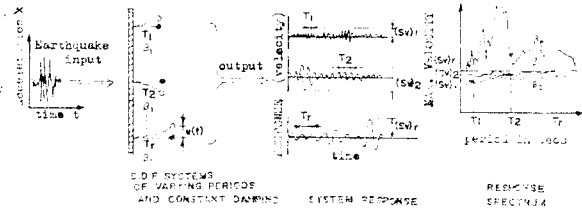


Fig. 3. Schematic interpretation of response spectrum.

成하여 統計的으로 84.1%의 確率水準(平均值+平均偏差)에 이르는 境遇들을 包含하는 限界를 算出하였으며 이를 實際使用에 便利하도록 部分的으로 直線線分化시켜 作成한 標準스펙트럼이 美國 原子力規制委員會의 規制指針⁴⁾ (U.S. Nuclear Regulatory Commission—Regulatory Guide 1.60)으로써 採擇되어 現在까지 使用되고 있다 (Fig. 4參照)

이 스펙트럼은 4個 基準周波數(0.25, 2.5, 9, 33 Hz)를 設定하고 이들을 連結하는 線分들로 構成되어 있다.

이 標準스펙트럼에서 33Hz 以後의 高周波數

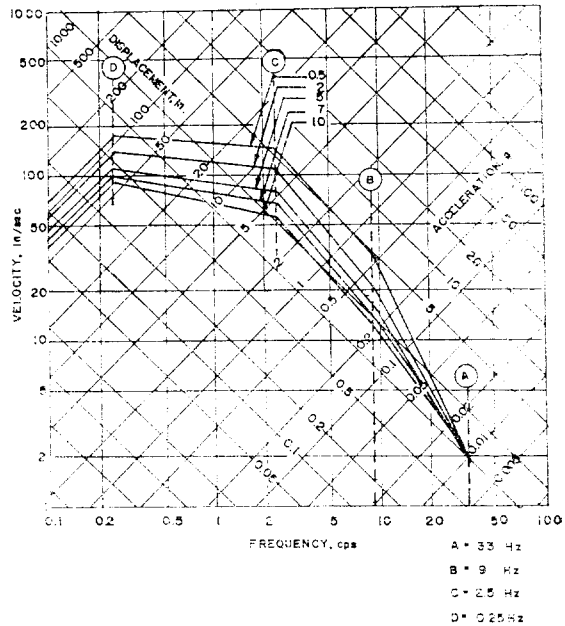


Fig. 4. Regulatory guide 1.60 response spectra-horizantal ground motion.

帶域은 1g ($\approx 980\text{cm/sec}^2$)의 加速度를 갖도록 規定되어 있는바 앞에서 求한 SSE 값에 따라서 이 帶域에서의 加速度值가 SSE의 값이 되도록 調整하므로써 特定敷地에서의 SSE가 이 應答스펙트럼이 되도록 決定하면 이를 耐震設計時의 設計入力으로 使用하게 된다.

4. 設計用 時間記錄의 決定

耐震設計用 設計基準地震은 앞에서와 같은 過程을 거쳐서 決定된 SSE의 應答스펙트럼으로써 一且 定量的으로 定義되나 原子力 發電所 建物 및 諸附隨施設의 耐震設計 및 耐震試驗에는 이 設計基準地震의 應答스펙트럼에 準하는 振動의 時間記錄의 作成이 必要하게 된다. 이 時間記錄의 作成은 通常 다음과 같이 SSE의 局地的 地震特性을 考慮하여 이들 特性에 맞도록 任意 實測 地震의 時間記錄을 修正(modification)하여 作成하게 된다.

1) 最大 地面加速度 (peak ground acceleration)

2) 地震 運動時間 (total duration)

3) 最大 揺動時間 및 最大揺動에 이르기까지의 時間과 衰退에 걸리는 時間

4) 其他 周波數 스펙트럼에서의 特異한 現象 (unusual "spikes" in the spectra)

이와같이 하여 SSE의 局地的 特性和 SSE의 應答스펙트럼에 맞도록 作成된 人工地震의 時間記錄 (Fig. 5 參照)은 原子力 發電所 諸構造物의 動力學的 解析 및 耐震試驗의 入力으로 使用하게 된다.

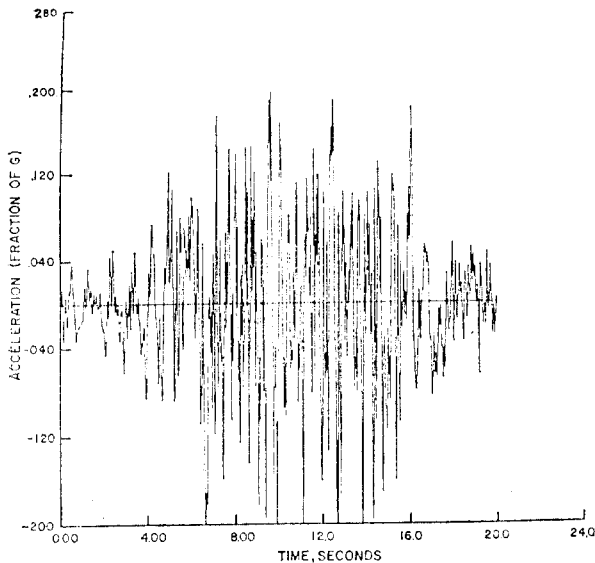


Fig. 5. Artificial time history.

5. 後 記

以上에서 原子力 發電所の 耐震設計用入力地震의 內容 및 그 決定方法에 關하여 簡略히 살

펴 보았다.

現代 科學技術의 尖端的 產物인 原子力發電所는 워낙 그 自體가 現代의 技術水準으로도 建設, 運轉等 모든 作動이 매우 複雜한 分野이고 特히 公衆의 安全에 危險性이 크며 政治的으로 도 敏感한 分野로서 他 構造物의 耐震設計보다 훨씬 더 複雜함을 알 수 있으나 最近 Three Mile Island의 原子力 發電所 事故 以後에는 規制 自體도 날로 더 嚴格한 方向으로 發展돼 가고 있는것이 現今의 趨勢이다. 따라서 앞으로 15年內에 40餘基의 原子力 發電所를 建設코자 하는 우리나라의 立場으로서는 本稿에서 指摘한 耐震設計用 地震의 決定에 關聯되는 諸分野의 活潑한 研究開發이 切實히 必要하다.

參 考 文 獻

- 1) U.S. Atomic Energy Commission, 1971, Seismic and geologic siting criteria for nuclear power plants (Proposed Appendix A to 10 CFR, Part 100) : Federal Register, Vol. 36, No. 228
- 2) D'Appolonia, 1979, Preliminary Safety Analysis Report (Kyema Site), Sec. 2.5
- 3) Newmark, N.M., Blume, J.A. Kapur, K.K., 1973, Seismic design spectra for nuclear power plants: Am. Soc. Civil Eng. Jour., Power Div., No. 2
- 4) U.S. Atomic Energy Commission, 1973, Regulatory Guide 1.60