

床板組立式橋梁構造開發에 관한 研究

A Study on the Fabricated Concrete Deck Bridges

구민세* 정 란** 김공환*** 오신동기****

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a new structural system for precast deck plate bridge. In order to investigate load distribution and composite effects by connecting diaphragms and precast deck plate to main girder with shear keys, computer analysis with F.E.M S/W package program ADINA was carried out. As results of analysis, the followings could be concluded:

- The distance between diaphragms with 6m is sufficient for crossing load distribution effects.
- The composite effects by connecting deck plate to main girder with shear key is reasonable.
- The gap between deck plate and main girder under given load is negligible.

1. 序論

組立式橋梁工法은 既存의 橋梁建設 工法의 短點을 改善시킬 수 있는 優秀한 工法으로 이에 대한 研究와 함께 여러가지 形態의 組立式 橋梁 工法이 實用化 되어 利用 되고 있다. 특히 組立式 橋梁 工法은 신속한 新設橋梁 建設이 要求되는 경우에는 물론 노후화된 既存橋梁의 上部構造 改築에 매우 有利하다. 그러나 現在 實用化 되어 주로 使用하고 있는 組立式 橋梁 工法들은 主桁을 P.C. 부재로 製作하고 현장타설 콘크리트 床板을 設置하거나 프리캐스트판을 設置하고 그 위에 鐵筋을 배근하여

現場 콘크리트를 타설하는 方法들이며 橋梁 上部構造 全體를 組立式화 하지는 못하고 있다. 물론 15m이하의 短徑間 橋梁에서는 채널 또는 상자형의 프리캐스트 部材를 現場 組立 함으로써 橋梁 上部構造 全體를 組立화 하는 工法도 있으나 中徑間 이상에서는 運搬 및 設置 등의 問題로 利用이 불가능하다. 또한 長徑間 橋梁에는 세그먼트 P.C. 橋梁形態로 上部構造 全體를 組立화 하고 있으나 이 工法은 中徑間(20m-40m) 橋梁에서는 非經濟的이다.

本 研究에서는 橋梁의 上部構造 全體 즉, 프리캐스트 콘크리트 主桁과 床板 및 Diaphragm을 分離 製作하므로 각 部品の 重量의 減少에 따른 設置 및 取扱上的 容易함은 물론 現場콘크리트를 使用하지 않고 그라우팅과 볼트로써 現場에서 組立시키는 方法으로

* 인하대학교 토목공학과 조교수 구민세
** 단국대학교 건축공학과 부교수 정 란
*** 한국건설기술연구원 기초실장 김공환
**** 인하대학교 토목공학과 박사과정 신동기

施工함으로써 工事 期間을 대폭 短縮시킬 수 있는 組立式 橋梁構造 開發에 目的을 두고, 主桁에 Diaphragm을 設置함에 따른 荷重分配 效果와 적절한 Diaphragm의 設置間隔, Shear Key를 利用한 主桁과 床板의 連結에 따른 荷重分配 效果 및 連結部의 Gap 擧動에 대하여 컴퓨터 해석을 遂行하였고 그 結果를 分析 提示 하였다.

2. 컴퓨터 시뮬레이션

2.1 解析 모델링 및 方法

床板 組立式 P.C. 橋梁構造의 開發을 위해 本 研究에서는 Computer를 利用하여 徑間의 길이 30m, 主桁의 間隔 3m, 橋幅이 9m인 單純 支持된 橋梁을 모델로 택하였다.

主桁과 主桁사이에 設置한 Diaphragm의 間隔과 그 配列 등을 달리 취했을 때의 主桁과 Diaphragm의 合成效果를 몇가지 서로 다른 모델의 解析을 통하여 調査하였으며, 床板을 設置하였을때의 合成效果를 調査하였다.

本 解析을 위해서는 構造解析 汎用 有限要素 프로그램인 ADINA를 使用하였으며 使用한 콘크리트는 設計基準強度 $\sigma_{ck}=450\text{kg/cm}^2$ 인 高強度 콘크리트, 彈性係數는 $E=3.2 \times 10^5\text{kg/cm}^2$, 프아송比는 $\nu=0.2$ 를 適用하였다. 本 解析 方法은 幾何學的 非線形을 考慮한 彈性解析을 택했다.

2.2 床板 組立式 P.C. 橋梁의 構造의 特性

本 研究에서 開發하고자 하는 床板 組立式 P.C. 橋梁은 그림 1과 그림 2에 나타난 바와 같이 흔히 볼 수 있는 I-형의 主桁 上部플랜지에 延長 形成된 垂直突出부와 걸림턱을 가진 主桁에 채널형 斷面을 갖는 床板을 얹어 主桁과 床板을 一定한 間隔으로 設置된 Shear

Key를 利用하여 一體化 시키는 特性을 갖는 構造이다. 그림 2와 같이 Shear Key를 一定한 間隔으로 設置함에 따라 垂直荷重은 물론 車輛制動에 의한 水平荷重에 대해서도 床板과 主桁이 같이 擧動하도록 하였다. 그림 1, 2와 같은 모델을 解析하기 위해 本 研究에서 選擇한 要素(element)는 3-D SOLID 要素이며 그림 2에서 보인 점선으로 나타낸 主桁을 簡單하게 要素화 하기 위하여 選擇한 等價의 斷面과 그 제원은 그림 3에 실선으로 나타냈다.

여기서 採擇한 主桁斷面은 主桁과 床板이 一體화된 경우 主桁높이를 1.6m로 固定한 뒤 Full Prestressing을 考慮하여 設計한 斷面으로서, 本 解析에서는 Prestressing을 考慮하지 않음으로서 荷重에 대해 銳敏한 各種의 擧動分析이 可能하도록 하였다.

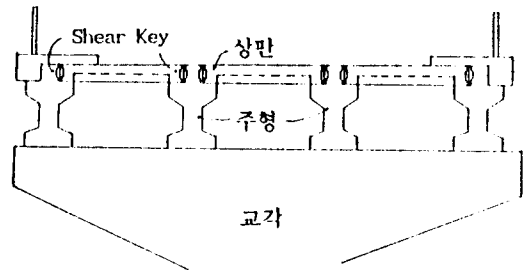


그림 1. 開發하고자 하는 橋梁의 側面圖

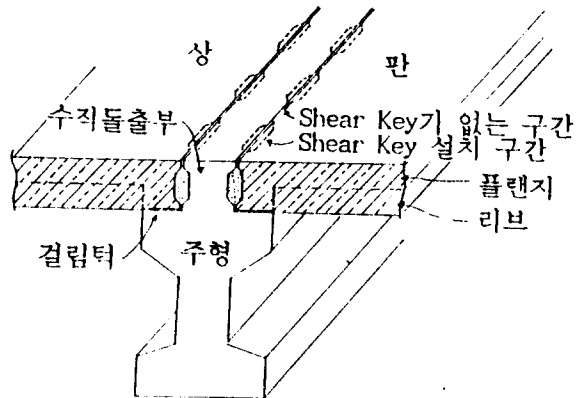


그림 2. 主桁과 床板의 連結 詳細圖

2.3 Diaphragm의 間隔決定

그림 5(a)와 그림 5(b)에서 보이는 바와 같이 Diaphragm의 間隔을 서로 달리 취했을때 한쪽으로 편심되어 作用하는 제일 不利한 狀態에 대해서 各各에 대한 主桁과 Diaphragm의 合成效果를 調査하였다. 이때 荷重은 DB-24와 衝擊係數를 1.3으로 취했으며 첫번째 主桁과 두번째 主桁의 하중분담은 차량바퀴 幅 1.8m를 考慮하여 한쪽 차량바퀴가 첫번째 主桁의 中央에 位置할때 1.4와 0.6으로 計算되었다. (그림 5참조)

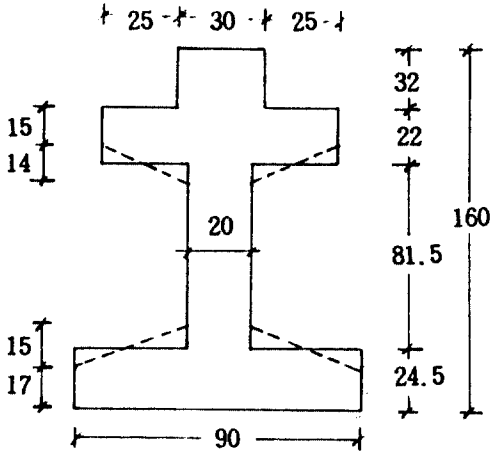
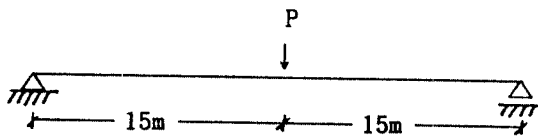


그림 3. 主桁의 橫 斷面圖
 ---- 본래의 斷面
 —— 해석을 위한 等價斷面

要素分割에 따른 解析의 正確度를 檢證하기 위하여 한개의 主桁이 中央에 集中荷重을 받는 경우 手計算에 의한 結果와 Computer에 의한 數值解析 結果를 比較, 檢討하였다. 이 경우 各 要素의 Mesh는 길이 方向으로 30등분, 즉 1m씩 細分하였고 그 結果로부터 알 수 있듯이 手計算 값과 컴퓨터 解析結果는 약간 差異가 있으나 床板과 Diaphragm의 設置時 追加되는 엄청난 要素數(1m씩 細分한 경우 本 解析을 위한 절점수는 약 8000個)를 考慮하여, 그리고 解析時間(run time)의 節約을 위하여 要素는 더이상 細分화 하지 않았다.

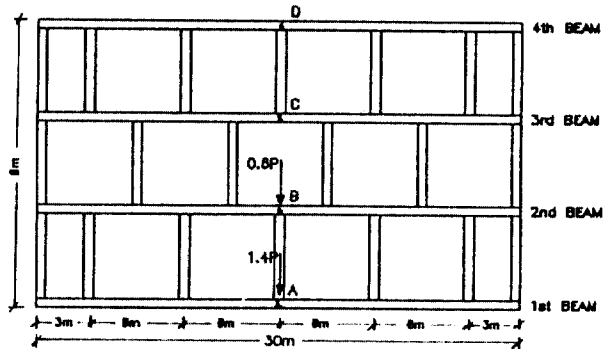


$$P = 1.4 \times 21.6 \text{ ton}$$

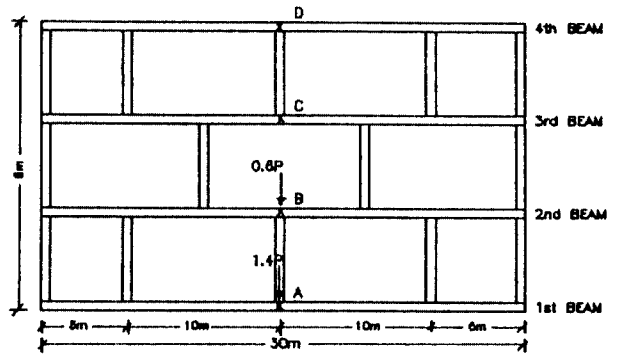
$$\delta_{\max} = 6.02 \text{ cm (수계산값)}$$

$$\delta_{\max} = 5.48 \text{ cm (해석값)}$$

그림 4 단순보에서의 手計算과 컴퓨터 解析에 의한 처짐비교



(a)



(b)

그림 5 Diaphragm配置 및 荷重載荷

- (a) Diaphragm의 間격이 6m인 경우
- (b) Diaphragm의 間격이 10m인 경우

表 1은 그림 5에 대한 解析結果로서 Diaphragm 間隔이 6m일때의 첫번째 主桁 A점

의 처짐 4.18cm는 荷重이 作用치 않는 4번째 主桁 D점의 처짐 1.27cm에 비해 약 3.3배의 처짐값을 보였으며, Diaphragm의 間隔이 10m 일때 A점의 처짐 4.45cm는 D점의 처짐 1.09cm에 비해 약 4.1배의 처짐값을 나타냈다. Diaphragm의 間隔을 4m, 5m로 設置했을시의 解析結果도 6m의 경우와 거의 差異가 없는 것으로 나타났다. Diaphragm의 間隔은 위의 解析結果와 施工時 床板의 取扱이 容易하도록 하기 위하여 6m로 決定했다. (길이 6m의 床板 重量은 약 7ton으로 計算됨)

表 1 Diaphragm의 간격에 따른 보의 수직처짐 (하중 $P=43.2/2 \times 1.3\text{ton}$, 처짐의 단위: cm)

간격	A점	B점	C점	D점
6m	4.18	3.07	1.98	1.27
10m	4.45	3.13	1.80	1.09

2.4 Diaphragm의 설치배열에 따른 主桁의 처짐비교

6m 間隔의 Diaphragm이 그림 6(a)와 그림 6(b)에서와 같이 配列을 달리 취했을때 各各에 대한 主桁과 Diaphragm의 合成效果를 調査하였다. 表 2는 그림 6(a)와 그림 6(b)와 같은 荷重을 構造物에 作用시켰을 경우에 대한 垂直처짐의 解析結果이며, 表 3은 A점에 10ton의 水平荷重을 作用시켰을 경우에 대한 主桁의 水平變位 結果이다.

表 2와 表 3에 나타난 結果로부터 알 수 있듯이 Diaphragm의 配列이 나란한 경우와 지그재그인 경우의 解析結果는 垂直荷重에 대해서는 거의 差異가 없으나 水平方向으로 作用하는 荷重에 대해서는 지그재그로 配列한 경우가 다소 작은 變位값을 갖는것으로 보아 合成效果가 나란한 配列에 비해서 약간 優秀한것으로 나타났다. 따라서 本 解析에서는 지그재그배열을 解析모델로 택했다.

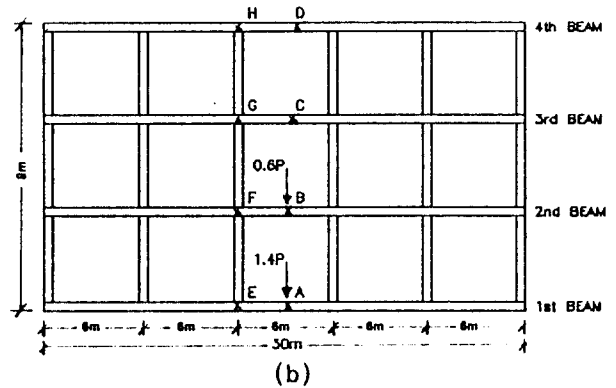
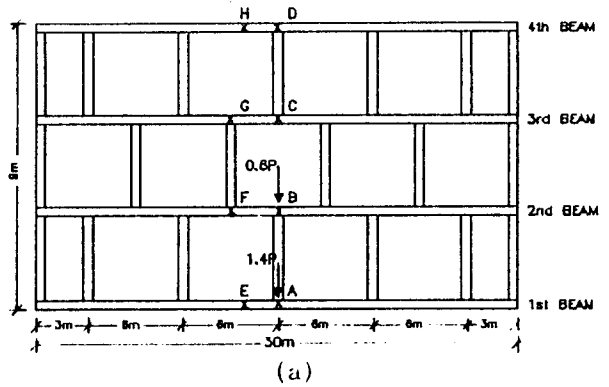


그림 6 Diaphragm의 배열 및 하중재하
(a) Diaphragm의 지그재그 배열도
(b) Diaphragm의 나란한 배열도

表 2 Diaphragm의 배열에 따른 보의 수직처짐 (작용하중: 수직하중 $P=21.6\text{ton}$, 처짐단위: cm)

구분	A점	B점	C점	D점
지그재그배열	2.90	2.19	1.46	0.10
나란한 배열	2.91	2.18	1.46	0.10

表 3 Diaphragm의 배열에 따른 보의 수평변위 (작용하중: 수평하중 $P=10\text{ton}$, 변위단위: cm)

구분	A점	B점	C점	D점
지그재그배열	0.810	0.780	0.768	0.766
나란한 배열	0.828	0.796	0.774	0.772

구분	E점	F점	G점	H점
지그재그배열	0.734	0.724	0.720	0.712
나란한 배열	0.738	0.728	0.724	0.722

2.5 床板設置後의 合成效果 比較

床板의 上部플랜지 두께는 道路橋示方書에 서의 規定에 따라 Solid Slab의 경우에 適用하는 최소두께인 16cm를 維持했고 리브의 치수 및 리브의 갯수결정은 다음과 같은 算出에 근거하였다. Solid Slab인 場合의 Slab 最小두께 t_{min} (도로고 5.4.1)은 다음과 같다.

$$t_{min} = 4l + 11$$

$$= 4 \times 2.5 + 11 = 21\text{cm}$$

여기서 l =(主桁間隔-突出部幅-床板리브두께)

이로부터 計算된 Solid Slab의 경우 最小

두께 21cm에 해당되는 斷面 2次모멘트는 床板 리브 높이 16cm, 幅 20cm, 間隔 3m로 충분히 對應되는 것으로 計算되었다.

그림 6(a)와 같이 Diaphragm의 間隔이 6m, 크기가 6m×2.7m인 床板을 Shear Key를 利用하여 設置할 경우 2.3절의 Diaphragm의 間隔決定에서와 마찬가지로 편심되어 作用하는 設計荷重에 대하여 床板設置後의 合成效果를 調査하였다.

床板設置를 考慮한 構造解析모델은 床板과 主桁을 Shear Key部分에서 서로 水平과 垂直方向의 變位에 대하여 같은 舉動을 하게 拘束(constraint)시켰다. (그림 7참조)

즉, Shear Key가 設置될 部分의 床板의 結점에 해당하는 主桁의 縱방향인 x , 횡방향인

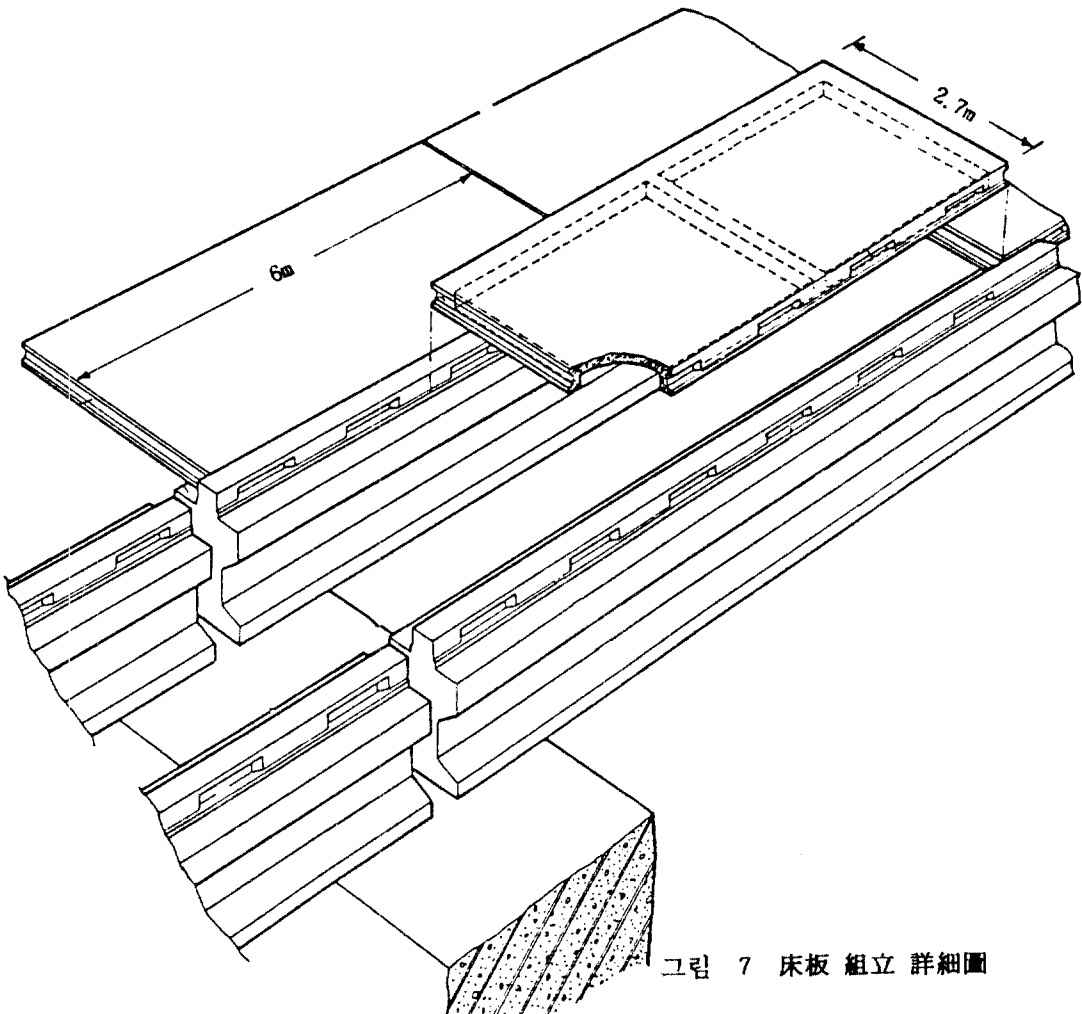


그림 7 床板 組立 詳細圖

y, 수직인 z방향의 전위자유도(Translational Degree of Freedom)는 그 위치에 있는 主桁에서의 자유도와 같은 값을 갖도록 하였다. Shear Key이외의 床板과 主桁의 接觸面에서 Shear Key의 壓縮狀態에서는 힘의 傳達이 可能하고 引張狀態 즉, Shear Key의 接觸面이 部材와 틈이 생겼을시에는 힘의 傳達이 不可能한 機能인 Contact Problem을 適用하므로써 사실 舉動에 接近하는 解析을 시도하였고, 接觸面 사이의 摩擦은 無視하였다.

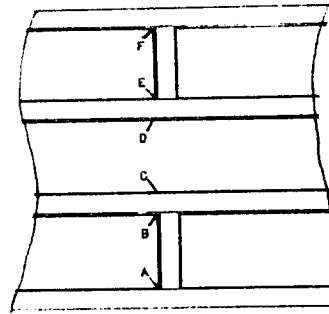


그림 8 Gap의 거동에 대한 고찰위치

床板 設置後의 처짐에 대한 解析結果는 表 4에서 보이는 바와 같이 床板이 없는 경우에 비해 床板이 있는 경우의 最大垂直 처짐이 약 35%減少하였다. 이는 Shear Key로 連結된 床板의 設置로 인한 合成效果가 매우 커졌음을 意味한다. 또한 床板과 主桁사이의 作用荷重으로 인해 벌어지는 틈(gap)은 表 5에 수록하였으며 틈의 考察位置는 그림 8과 같다. 解析結果 主桁과 床板사이에서 發生하는 틈은 最大가 0.04cm로 本 解析에서 원래 Prestressing을 無視함에 따른 剛性이 약한 主桁을 採擇했음을 考慮할때 無視할 수 있을 정도의 작은값이다.

表 4 床板設置後 合成效果에 따른 보의 垂直처짐

(하중 $P=43.2/2 \times 1.3\text{ton}$, 처짐 단위:cm)

구분	A점	B점	C점	D점
床板이없을때	4.18	3.07	1.98	1.27
床板 설치후	2.82	2.12	1.46	1.04

表 5 床板과 主桁의 벌어진 틈(Gap)

(하중 $P=43.2/2 \times 1.3\text{ton}$, 틈의 단위:cm)

	A점	B점	C점	D점	E점	F점
GAP	0.04	0.02	0.03	0.001	0.003	0.00

3. 結論

Diaphragm을 利用한 主桁의 竝列連結은 Diaphragm間隔 6m로서 충분한 橫分配效果를 얻을 수 있었고 床板配列은 지그재그로 設置함이 나란하게 設置한 경우보다 水平力에 대해 약간 有利한것으로 나타났다.

本 研究에서 다루는 組立式 床板 P.C. 橋梁 構造의 核心이라 할 수 있는 連結狀態 즉, 主桁 突出部와 床板連結部가 단지 Shear Key에 의해 連結되었음에도 불구하고 橫方向으로의 Gap현상이 매우 미미한것으로 解析된 結果를 참작할때 實用化의 可能性이 크다고 判斷된다.

感謝의 글

本 研究는 대능건설(주) 박 후근 사장님과 大능산업(주) 김 일봉 사장님의 積極적인 재정지원에 의하여 이루어진 것으로 그 후의에 감사드립니다.

4. 參考文獻

- 1) 구민세 등, 찬널형 P.C교의 실물실험 연구, 한국 콘크리트 학회 학술발표회 논문집 제 2권 2호, 1990.11.
- 2) Fang, I. Behavior of Ontario-type Bridge Deck on Steel Girder, Ph.D dissertation, University of Texas at Austin, 1985.
- 3) 도로교 표준시방서, 건설부
- 4) 구민세, 정란, 김공환, 床板組立式 P.C. 교량의 피로시험 연구, 한국 콘크리트 학회 학술발표회 논문집 제 3권 2호, 1991.11.