

지지력에 미치는 재하속도에 관한 해석적 연구

Effect of Loading Rate to Bearing Capacities

박 중 배*

Park, Joong - Bai

Abstract

In this study, it is examined that partial drain has an effect of bearing capacities and deformations on intermediate soils. To compare the numerical and experimental results, this study uses CRISP90 which is composed of Modify Cam-Clay Model for calculation and Geotechnical Centrifuge in model test. As the results of analysis, we can classify relative loading rate into three ranges which are drain, undrain and partial drain. Besides it is proved that partial drain range is about 10^3 .

요 지

본연구는 유한요소법을 이용하여 중간토지반에 있어서의 부분배수의 정도가 지지력 및 변형 특성에 미치는 영향을 해석적으로 고찰한 것이다. 동시에 계산 결과를 모형실험 결과와 비교하여 계산법의 타당성 및 부분배수의 현상이 발생하는 지반의 지지력 문제의 적용성을 검토하였다. 해석에는 수정 Cam-clay를 이용한 프로그램 CRISP90을 이용하였고, 모형실험에서는 원심 모형시험장치를 이용하였다. 해석 결과, 부분배수의 영향을 받는 중간토지반의 하중-침하 관계를 충분한 정도로 표현할 수 있으며, 동법에 의해 상대재하속도를 배수, 비배수 및 부분배수영역의 3영역으로 분류 가능하고, 부분배수 영역의 범위는 10^3 정도임을 밝혔다.

Keywords : Intermediate soil, Relative loading rate, Deformation, Bearing Capacity.

1. 서 론

균일한 점토지반이나 조밀한 모래지반 등 지반을 구성하는 흙을 완전 소성체로 가정할 경우에는 upper bound theorem, lower bound theorem 등 극한해석법이나 극한평형법 등 소성론에 근거한 계산법에 의해 지지력을 구하는 것이 가능하다(Terzaghi, 1943, Chen,

1975). 또한 흙의 강도가 지반 깊이 방향으로 변화하는 지반(Davis & Booker, 1973, 竹村次朗, 1990)이나 장소에 따라 변화하는 지반(山口柏樹, 1959), 더 나아가 흙의 이방성이나 강도 의존성을 고려한 경우(Kusakabe etc, 1991, 岡村未對 등, 1993)에 관해서도 소성론에 입각한 지지력이 구해진다.

그러나 점토와 모래의 중간적 특성을 나타

* 정희원, (주)대우 건설기술연구소, 공학박사

내며, 그 역학적 특성이 점토와 모래의 경계선에 위치한 소성이 매우 작은 중간토지반 즉, 전형적인 점성토와 비교하여 투수계수가 크며 압축성이 작은 시료에 있어서는, 공사기간중에도 배수 효과를 어느 정도 기대할 수 있으며, 재하중에 부분배수가 발생하여 배수의 정도가 부분적으로 다른 경우나 소성영역과 탄성영역의 경계가 불분명한 경우 즉, 국부전단파괴가 발생하는 경우는 소성론에 의한 지지력 산정이 곤란하다. 이 경우 유한요소법을 대표로 하는 수치해석법에 의존하지 않으면 안된다.

유한요소법을 이용하여 물과 흙 입자의 연성 해석을 하면 복잡한 지하조건이나 응력 및 배수에 관한 경계조건하에서도 지반의 응력과 변형이 어느 정도 계산가능하기 때문이다. 또한 배수에 의한 지반의 체적변화에 따른 흙 골격의 강도변화를 고려할 수 있는 구성식을 이용하면 부분배수 효과가 어느 정도 평가 가능하다(Asaoka etc, 1988, Asaoka, 1992).

본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 부분배수의 정도가 지지력 및 변형특성에 미치는 영향을 해석적으로 고찰함과 동시에 계산결과를 실험결과와 비교함으로써 계산법의 타당성 및 부분배수 현상이 발생하는 지반의 지지력 문제에서의 적용성을 검토하였다. 모형실험은 원심모형시험장치를 이용한 실험으로서 지반의 투수계수와 재하속도의 비인 상대재하속도를 변화시켜 실험하였고, 해석에는 범용유한해석 프로그램 CRISP90을 이용하여 실험과 동일한 조건으로 계산하였다.

2. 계산방법

2.1 수정 Cam-Clay Model의 입력 파라메타

본 연구에서 사용한 시료는 소성지수 약 30의 해성점토에 모래 및 모래로 제작한 실트를 혼합한 인공시료로서 소성지수가 2 및 10인 중간토(박중배 등, 1995)이다. 이하 각각의 시료를 M2, M5라 하며 그 공학적, 물리적 특성을 표 1에 나타내다.

Cam-clay model은 계산에 필요한 입력 파라메타의 수가 적을 뿐만 아니라 간단한 토질시험으로 부터 산정이 가능하다는 특징을 가지고 있다. 또한 수정 Cam-clay model은 축차응력 q 가 제로의 평균주응력 축상에서 소성전단 변형이 발생하지 않게 original Cam-clay model (Roscoe etc, 1968)의 에너지 소비식에 약간의 수정을 하여 항복 곡면을 타원으로 한 것이다. 계산에 이용한 파라메타의 산정은, 한계상태의 기울기 M 은 등방삼축시험으로부터, 압축선 및 팽창선의 기울기 λ, κ , 와 단위평균 유효주응력 시의 한계 상태선상에서의 간극비 e_{cs} , 및 투수계수 k 는 등방압밀시험으로부터, 또한 포아슨 비 ν 는 K_0 값으로부터 산정 하였으며, 수평방향의 투수계수는, 시료가 인공적으로 제작된 경우에는 연직투수계수와 그 값 차이가 작으나, 본 연구에서의 지반은 슬러리상태의 시료를 원심모형시험장치를 이용하여 소정의 압밀압력으로 정규압밀시킨 지반이므로, 압밀시험으로부터의 연직방향 투수계수의 5배로 하였다. 그림 1에 등방압밀시험결과와 그림 2에 나타내는 등방압밀 공시체에 대한 삼축압축 시험

표 1. 시료의 공학적·물리적 특성

	M2	M10
비중 G_s	2.65	2.66
비액성한계 WL	19.2	27.0
비소성한계 WP	16.7	15.8
비소성지수 I_p	2	11.2
비모래 (%)	79.0	62.2
비실트 (%)	13.3	22.0
점토 (%)	25 μ 이하	15.8
(%)	2 μ 이하	13.1

표 2. 입력 파라메타

parameter	M2	M10
κ	0.00635	0.00757
λ	0.0348	0.0583
e_{cs}	0.784	0.842
M	1.43	1.51
k (m/sec)	1.32E-7	8.7E-10
G or ν' $\nu / (1-\nu) = k_0$	0.301	0.301

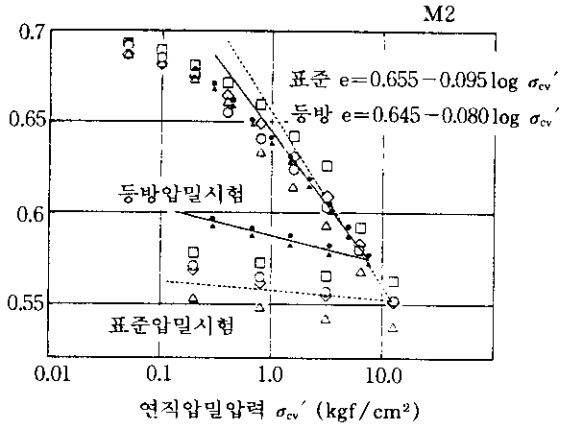
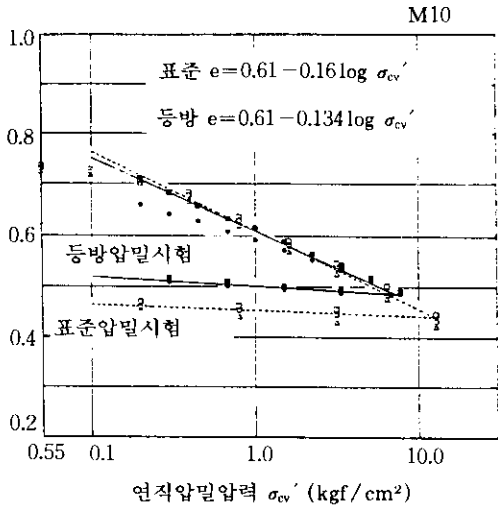


그림 1. 압밀시험 결과

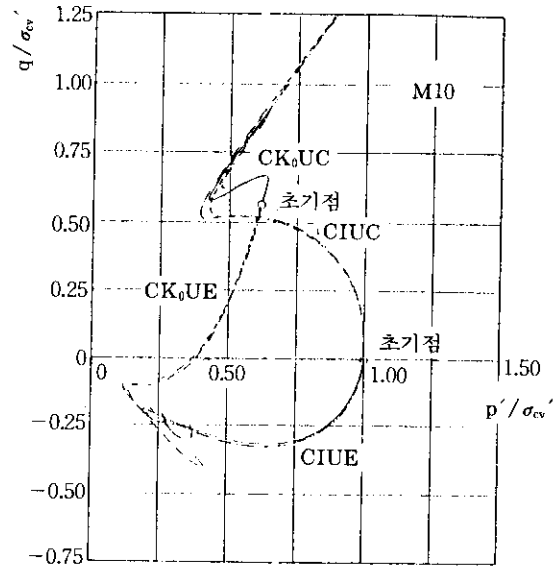
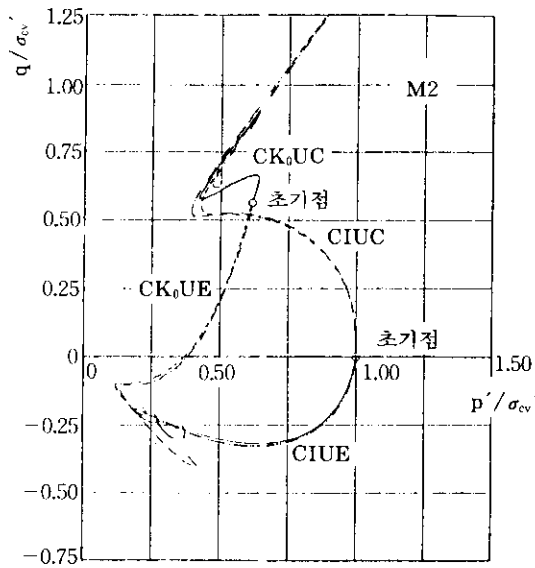


그림 2. 삼축시험 결과

결과를 참고로 하여 표 2와 같이 입력 파라메타를 결정하였다.

2.2 계산조건

본 연구에서의 계산조직은 원심모형시험장

치를 이용한 지지력 실험(박중배, 1996)의 결과와 비교 분석하기 위하여 가능한 한 실험 조건에 맞춰 입력치 및 계산 방법을 산정하였다.

계산에 이용한 유한요소망을 그림 3에 나타낸다. 지표 표면에는 실험조건과 동일하게 하

기 위하여 연직방향의 경계응력 11kPa를 부여하였고, 지반저면과 지반표면의 경계조건을 배수 조건으로 하였으며, 대칭성을 이용하여 반영역만 계산하였다. 계산에는 1 단계마다 지반상의 기초의 중심에 점하중을 증가시켜 재하하였으며, 각 단계별로 압밀계산하여 부분 배수를 계산하였다. 또한, 수정 Cam-clay model에서는 변형률 연화 및 경화 현상을 표현할 수 없기 때문에 본 논문에서는 배수조건의 차이 즉 재하속도와 지지력의 관계에 착목하여 1차원적인 정규압밀 지반에 대하여 계산하였다. 각 실험에서의 재하속도 및 상대재하속도에 관한 내용을 표 3에 나타낸다.

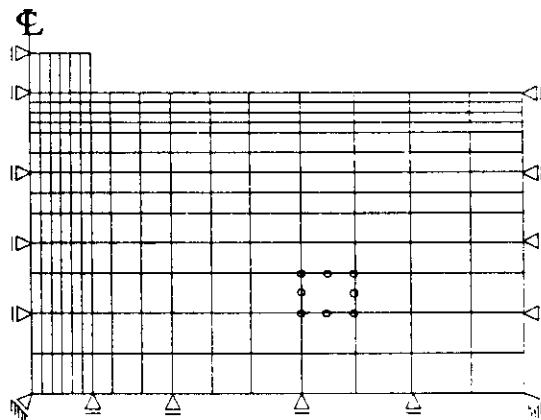


그림 3. 유한요소 MESH

표 3. Centrifuge 모델 실험 조건

실험 CODE	시료	기초폭 B(cm)	재하속도 \dot{q} (kPa/min)	상대재하속도 \dot{q} / k (kPa/cm)	$\rho B / c_0$	비 고
급속	M2	6	210	2.7E5	2.577	원심가속도 : 50g 기초형상 : 사각형
급속	M10	6	200	3.9E7	2.567	
완속	M10	6	2.2	4.3E5	2.567	$\rho = (c_u - c_0) / z$ c_u : 지반강도 c_0 : 표면지반강도 z : 지반깊이
완속	M2	6	2.2	2.8E3	2.577	

3. 계산결과 및 고찰

3.1 삼축실험

본 계산인 지지력 실험의 계산에 앞서 본 계산에 이용하는 파라메타의 적합성을 조사하기 위하여 시료 M2, M10에 대한 배수 및 비배수 삼축압축시험에 관하여 계산하여 그 결과를 실험결과와 함께 그림 4에 나타낸다. 비배수 상태의 계산결과에서는 축변형률이 약 1%이후의, 공시체가 한계상태에 달한 후는 축차응력이 일정치로 되어, 삼축시험으로부터 얻은 곡선과는 소성지수가 작은 시료에서의 형상에 차이가 보이나, 어떤 시료에서도 계산으로부터 얻어진 축차응력은 시험으로부터 얻은 축 변

형률이 10%까지의 축차응력의 평균적인 값으로 나타나고 있다. 또한 계산으로부터 얻는 곡선의 초기부의 기울기는 실험결과보다도 작게 나타나고 있으나, 이것은 그림 5에 나타난 과잉간극 수압이 시험결과에 있어서도 초기부에서 작고, 유효응력이 큰 것에 대응하고 있는 것으로 사료된다. 과잉간극수압은 이처럼 초기부에서 약간의 차이가 보이나, 변형률 2% 이후는 매우 잘 일치하고 있다.

배수상태의 계산으로부터 얻는 축차응력-변형률 곡선에서는 마이너스 다이레이탄시에 의해 체적이 감소하는 것에 의해 서서히 축차응력이 증가를 계속하고 M2의 시험결과와 잘 일치하고 있다. 또, 곡선의 초기부에서는 배수의 계산으로부터 얻은 축차응력이 비배수의 결

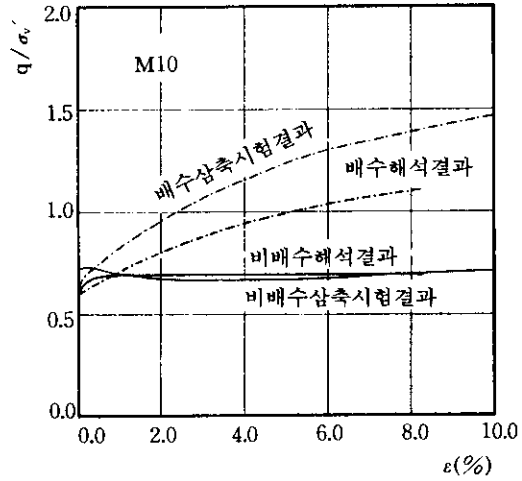
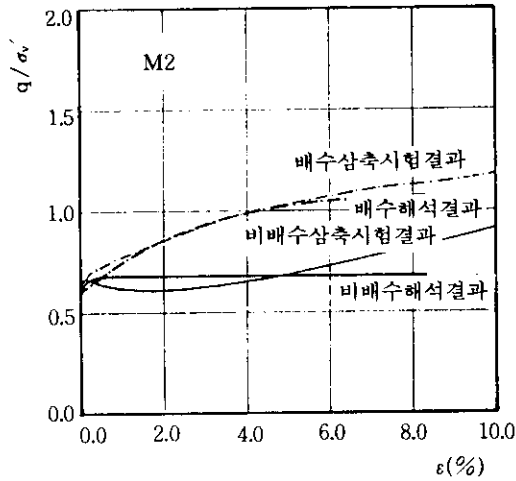


그림 4. 삼축압축시험의 응력-축변형률 관계

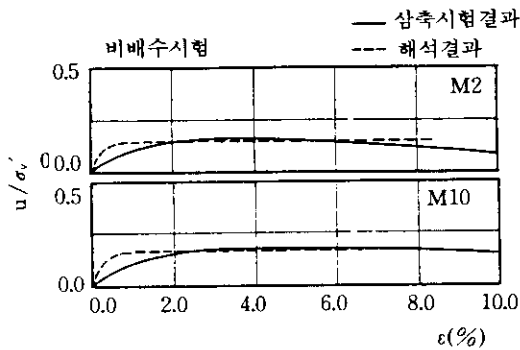


그림 5. 삼축압축시험의 간극수압-축변형률 관계

과 보다 크고, 축변형률이 1% 정도로 되어 있는 부분부터 대소관계가 역전되고, 시험결과와 경향을 유사하게 나타나고 있다. 또, 체적 변형률은 소성지수가 작은 시료에서 압축량이 작고, 시험으로부터 얻은 곡선과 거의 같게 나타나고 있다. 이상으로부터 비배수 조건에서의 축차응력-변형률 곡선의 형상에서는 계산결과와 시험결과에 약간의 차이는 있으나, 배수조건의 계산결과는 시험결과와 잘 일치하며, 시험에서의 배수조건의 차이에 의한 응력변형률 곡선의 차이를 계산결과는 잘 나타내고 있다고 할 수 있다.

3.2 지지력계산

3.2.1 하중 - 침하거동

계산으로부터 얻는 하중강도-침하곡선을 대응한 실험결과와 같이 그림 6에 나타낸다. 전체적으로 계산 결과의 하중강도는 실험치 보다 조금 작게 나타내고 있으나, M10보다 M2쪽이, 또 재하속도가 작은 쪽이 하중강도 및 침하에 동반되는 하중강도의 증가비율이 크게 나타나고 있어 실험결과와 좋은 대응을 보이고 있다.

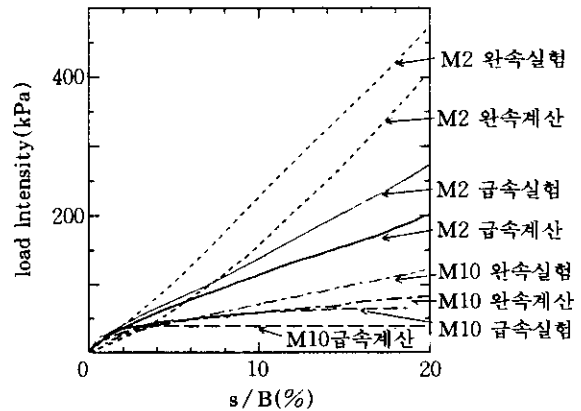


그림 6. 하중강도-침하 곡선

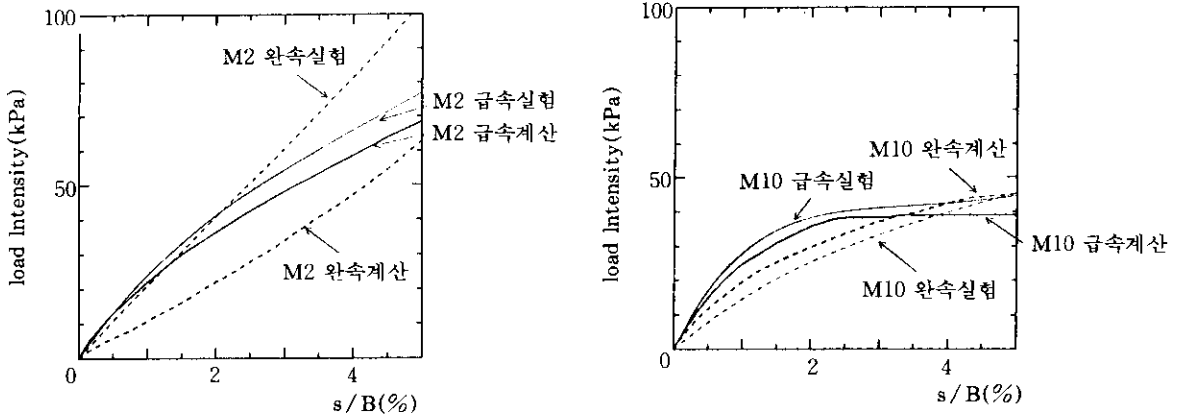


그림 7. 하중강도-침하 곡선(초기부)

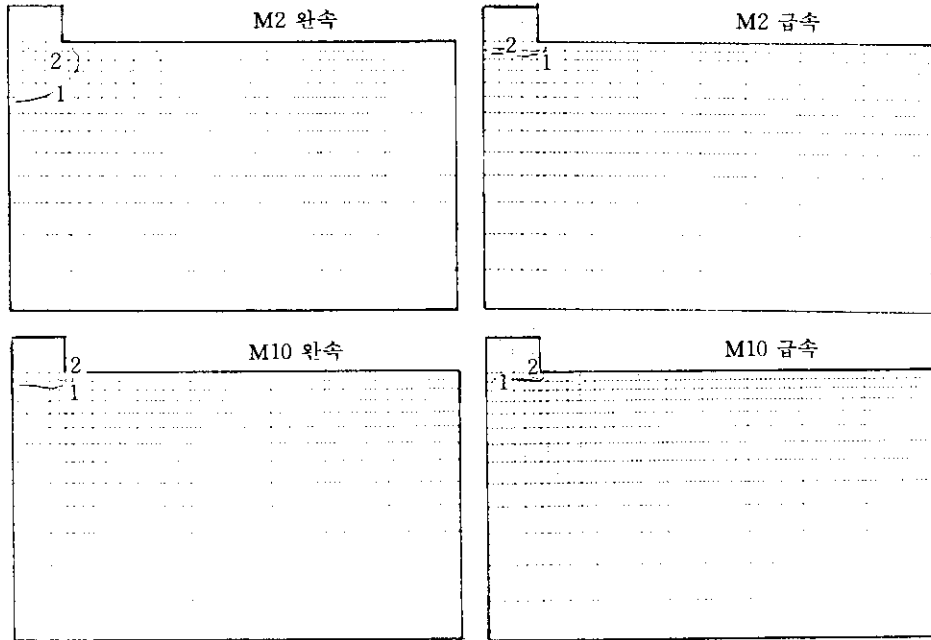


그림 8. 지반체적변형률 CONTOUR ($q=20\text{kPa}$)

또, 하중강도-침하곡선의 초기부를 확대한 그림 7에서도 계산결과는 재하속도의 큰 쪽이 시료에 관계없이 하중강도가 크며, 재하 후반부에서의 대소관계가 역전하는 실험결과의 경향을 잘 나타내고 있다. 계산에서는 재료의 점성을 고려하지 않기 때문에 같은 시료에 대한

계산결과에서 보이는 하중강도의 차이는 상대 재하속도 즉, 배수의 정도의 차이라 할 수 있다. 그림 8은 하중강도가 20kPa 시의 계산결과인 지반의 체적변형률의 등고선도이다. M2에서는 완속재하쪽이 급속재하보다도 지반의 체적 변형률은 상당히 크게 나타나고 있으며, 그림 7

에서의 하중강도 20kPa시의 침하량의 차이 약 1%는 이 체적변형률의 차이로 거의 설명되어진다. 한편, M10의 초기부에서의 하중강도도 완속재하쪽이 크게 나타나고 있으나, 재하속도에 의한 차이는 M2의 경우보다 매우 작게 나타나고 있고, 이에 대응하는 그림 8에 나타낸 기초바로밀의 체적변형률의 차이는 작게 나타나고 있다. 이로부터 실험으로부터 얻은 하중강도-침하곡선의 초기부에서 보이는 재하속도에 의한 차이는, 점성의 영향에 의한 비배수강도의 속도의존성뿐만 아니라 배수에 의한 침하량의 차이가 발생하기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다. 그림 9는 각 시료의 완속재하의 하중강도와 급속재하의 하중강도를 침하비에 대하여 나타낸 것이다. M10에서는 재하속도의 차이에 의해 하중강도의 증가율이 기초의 침하량의 증가와 함께 직선적으로 증가하고 있어, 계산결과와 실험결과와 경향이 일치하고 있다. 또, M2의 계산결과는 침하와 함께 직선적으로 증가하는 것으로 나타나고 있으나, M2의 실험 결과에서는 s/B 가 약 8%보다 큰 영역에서 곡선의 기울기가 작게 나타나고 있다. 실험에서

는 비배수삼축 시험에서의 응력변형률 곡선이 축변형률의 큰 범위에서 급증하는 것에 대응하여 M2 급속재하의 실험에서는 하중이 후반에 급증하여 q_{slow}/q_{quick} 이 거의 일정치를 나타내고 있는 것에 비해, 계산에서는 비배수조건인 변형률 경화현상을 표현할 수 없어 q_{slow}/q_{quick} 이 증가하고 있는 것으로 사료된다. 그러나, 계산과 실험으로부터 얻는 하중-침하거동은 전체적으로 매우 좋은 대응을 나타내고 있어, 본 계산법에 의한 중간토 지반의 응력 및 변형문제에 관한 배수의 영향을 높은 정도로 나타낼 수 있다고 할 수 있다.

3.2.2 지반의 변형특성

그림 10은 지반의 침하량비가 15% 시점에서의 계산으로부터 얻은 지반중의 과잉간극수압의 등고선이다. 계산 결과인 과잉간극수압은 기초바로 밀의 지반 중심부에서 최대치를 나타내 간극수압이 큰 영역이 수평방향으로 확장되어 있다. 또, 과잉간극수압의 값은 상대재하속도 \dot{q}/k 가 큰쪽이 크며, \dot{q}/k 가 아주 작은 M2 완속재하의 경우에는 거의 0에 가깝다. 그림에 나타낸 숫자는 대응하는 실험에서 측정된 기초의 침하량비 15%시의 과잉간극수압이며, 이것들은 계산결과와 비교하면 재하속도에 관계없이 계산 결과의 과잉간극수압이 크게 나타나고 있으나, 과잉간극수압의 분포의 형상은 양자 모두 같은 모양으로 나타나고 있다. 그림 11은 계산 결과로서 기초의 침하량비 15%시의 지반의 변위벡터로서 실험결과와 대비시킨 것이다. 상대재하속도가 큰 M10 급속재하의 변형도에서는 기초바로밀에 역삼각형 모형의 썩기가 형성되어 수동영역 표면 방향의 변위가 발생하고 있으며, 상대재하속도가 작은 M2의 완속에서는, 기초 바로밀에서는 배수에 의한 큰 압축현상이 발생하고 있는 국부전단과피 형태가 나타난 전형적인 배수상태의 지반변형을 나타내고 상방향의 변위가 발생하는 영역은 없어지는 실험결과와 같은 경향을 나타내고 있다. 그림 12의 체적변형률의 등고선도를 보면,

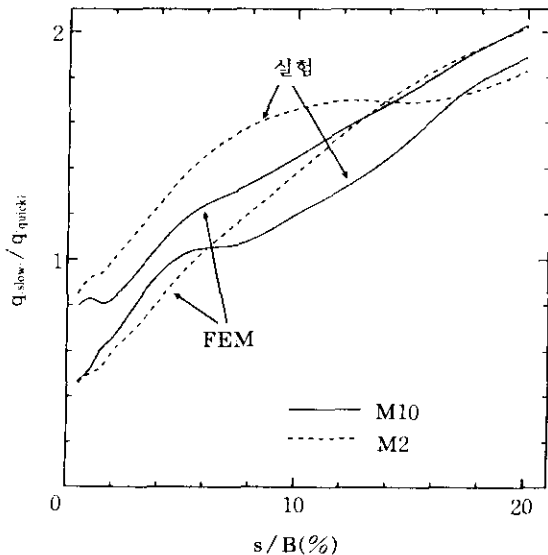


그림 9. 하중강도비-침하량비 관계

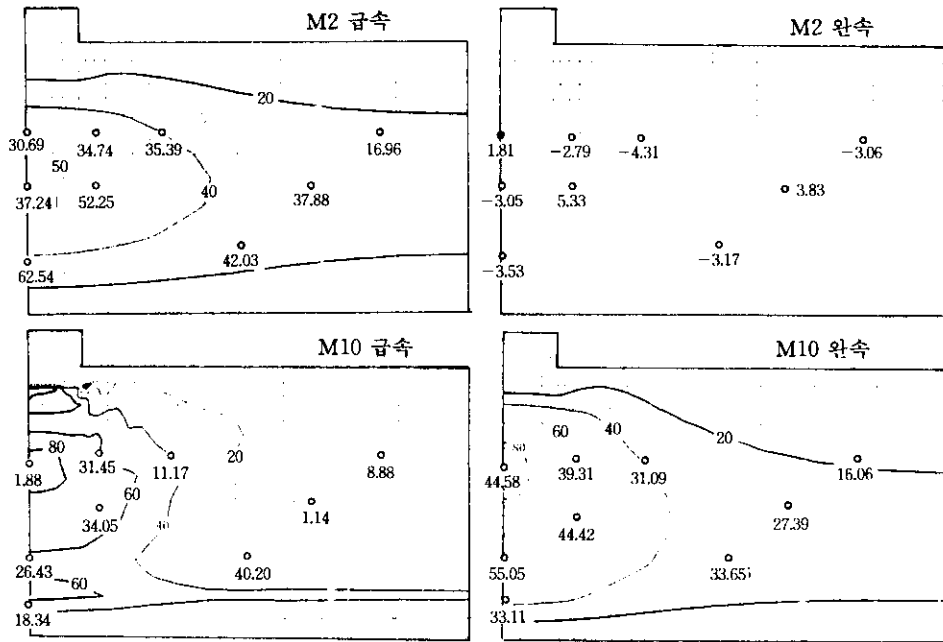


그림 10. 간극수압 CONTOUR

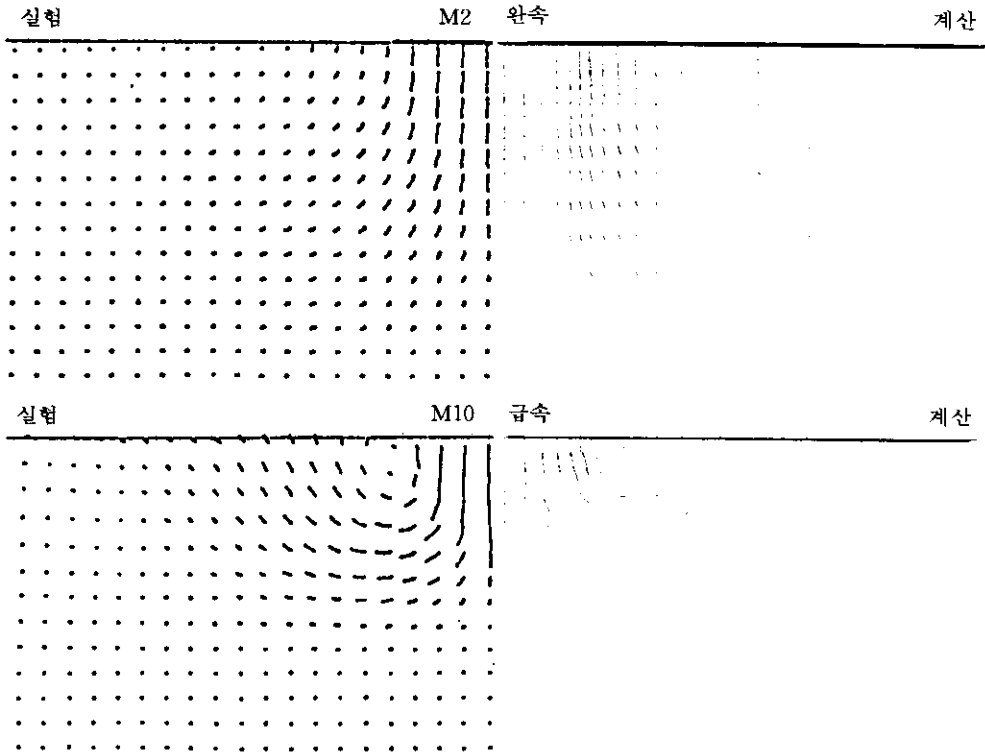


그림 11. 변위 VECTOR

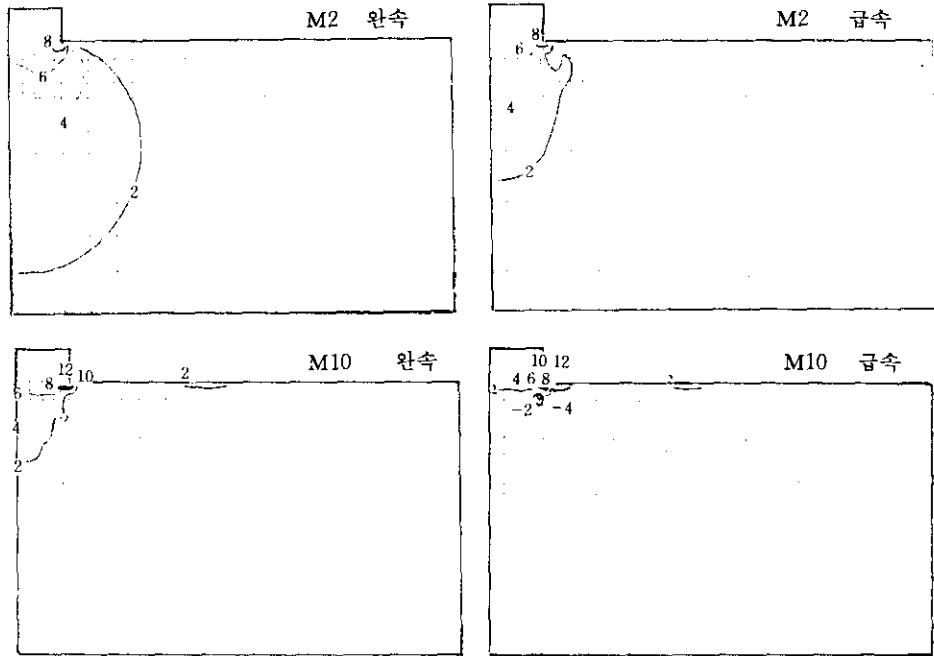


그림 12. 체적변형률 CONTOUR($s/B=15\%$)

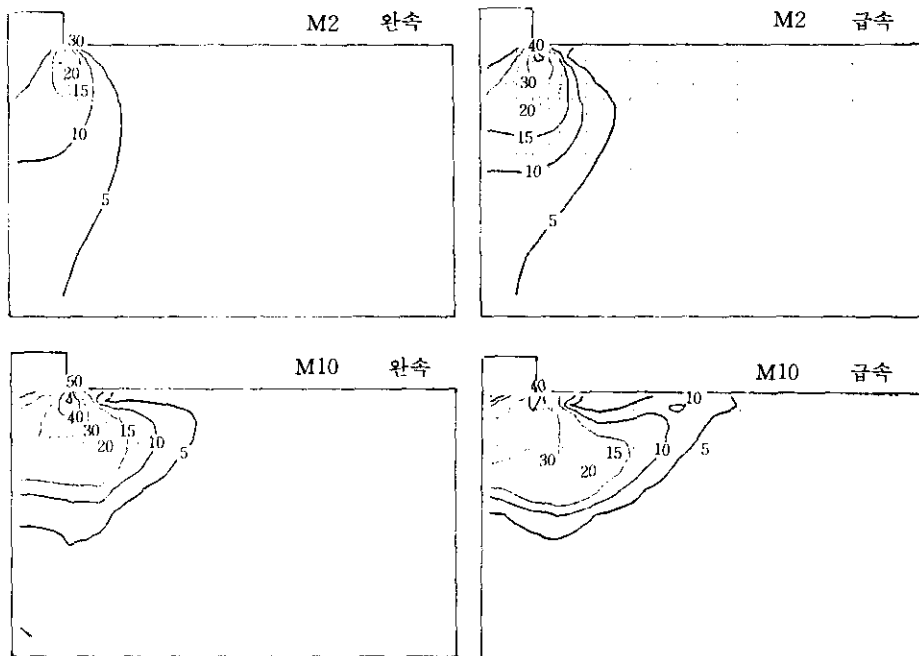


그림 13. 최대전단변형률 CONTOUR($s/B=15\%$)

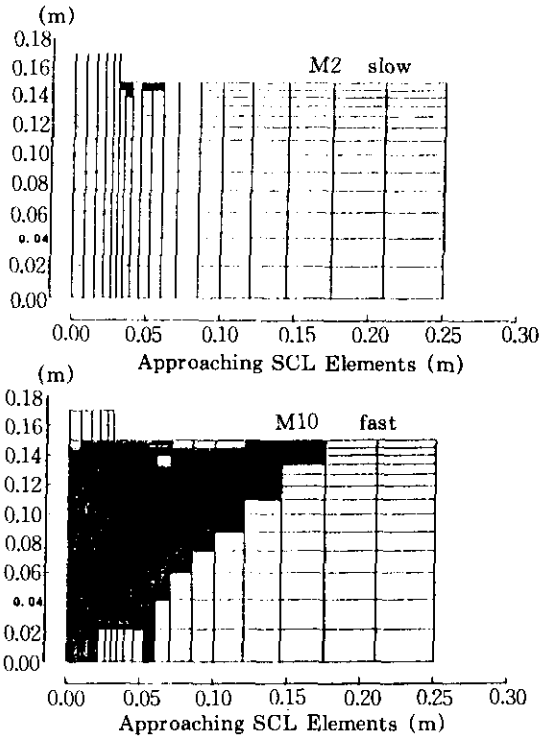


그림 14. 한계상태에 달한 요소

M10의 급속재하에서는 기초단부 부근에서 약간의 체적이 감소하는 영역이 존재하지만, 지반 전체적으로 비배수상태를 만족하고 있는 것으로 간주할 수 있다. 한편 상대재하속도가 작은 M2의 완속재하에서는 기초바로밑에 넓은 범위에서 배수에 의한 체적감소가 보인다. 또 그림 13에 나타난 최대전단변형률의 등고선도에서는 M10의 급속재하의 경우에 기초바로밑부터 수동영역을 향한 큰 변형률의 영역이 확장되어 있어 지반은 전반 전단파괴를 하고 있는 것에 대해 M2의 완속재하의 경우에는 기초단부의 외측에서는 변형률의 큰 영역은 나타나지 않고, 파괴형태가 국소 전단 형태로 나타나고 있음을 알 수 있다. 더욱이 침하비 s/B 15%시의 한계상태에 달한 요소를 나타낸 그림 14에서는 상대재하속도가 큰 M10이 급속재하의 경우에는 기초주변의 지반의 넓은 범위의 요소가 한계상태에 달해 있음에 비해, 상대재하속

도가 작은 M2의 완속재하에서는 한계상태를 나타내는 요소는 거의 없고, 기초침하의 대부분이 지반의 배수에 의한 침하이며, 지반의 전단 변형에 의한 것은 작은 것으로 사료된다.

3.2.3 재하속도를 10배씩 변화시킨 계산

상대재하속도와 지반의 응력·변형특성을 좀 더 살펴보기 위해 M10 지반에 대해 재하속도 \dot{q} 를 0.02kPa/min~2000kPa/min까지, M2지반에 대해서는 2~200000kPa/min까지 10배씩 변화시켜 계산을 하였다. 그 결과인 하중속도-침하곡선을 그림 15에 나타낸다. 또, 그림 16은 이들의 곡선의 s/B 15%시의 하중강도와 상대재하속도 \dot{q}/k 의 관계이다. 상대재하속도가 2×10^{10} 보다 큰 범위 및 2×10^7 보다 작은 범위에서는 하중강도가 재하속도에 관계없이 일정하게 나타나고 있고, 이들의 중간 상대재하속도의 범위가 부분배수가 발생하는 범위이며, 이 범위의 폭이 약 10^3 정도임은 Asaoka(1988, 1992) 中野(1990, 1993)의 보고와 거의 일치한다. 상대재하속도가 충분히 크고, 지반이 비배수상태로 가정될 수 있는 시료에 의한 압축성 차이의 영향을 무시할 수 있는 경우는 하중-침하곡선은 재하속도 및 시료에 관계없이 거의 동일한 것으로 되어 있으나, 상대재하속도가 크면 같은 상대재하속도에서도 시료에 의한 하중침하곡선 및 s/B 15%시의 하중강도에 차이가 나타난다. 여기서 그림 15의 하중강도-침하곡선의 횡축을 지반의 압축성의 대표치 λ 로 나눈 것을 그림 17에 또, 기초의 침하비가 어느 정도 큰 경우에 해당하는 $s/\lambda B$ 의 300에 있어서의 하중강도와 상대재하속도의 관계를 그림 18에 나타낸다. 여기서 지반의 압축성을 고려한 기초의 침하비 $s/\lambda B$ 가 같은 시점의 하중강도는 지반이 소성화 되지 않고 기초바로밑의 지반의 등방적인 압력의 밑에서 압축하여, 이에 의해 침하가 발생하는 경우에 같게 나타나는 것이다. 그림 18의 부분배수 및 배수 범위에서는 같은 상대재하속도에서도 하중강도에 차이가 나타나 지반내의 응력이 등방적이지 않기

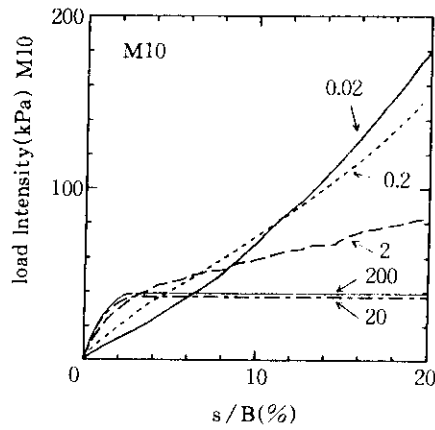
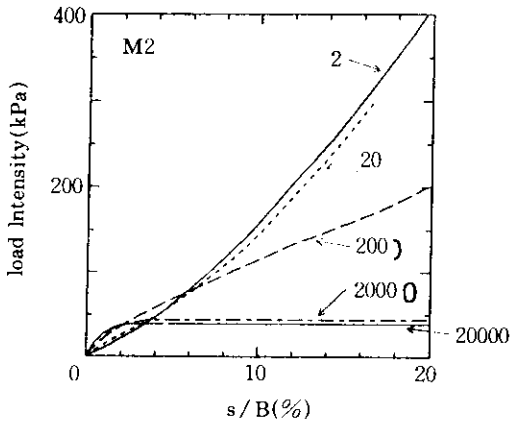


그림 15. 재하속도를 10배씩 변화시킨 하중강도 - 침하량비(계산)

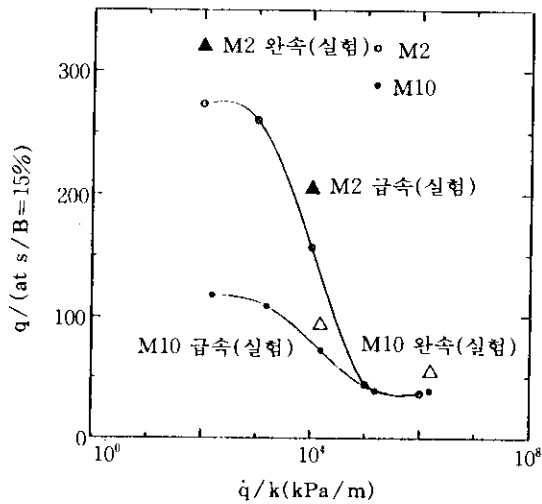


그림 16. q (at $s/B=15\%$) - $\log(\dot{q}/k)$

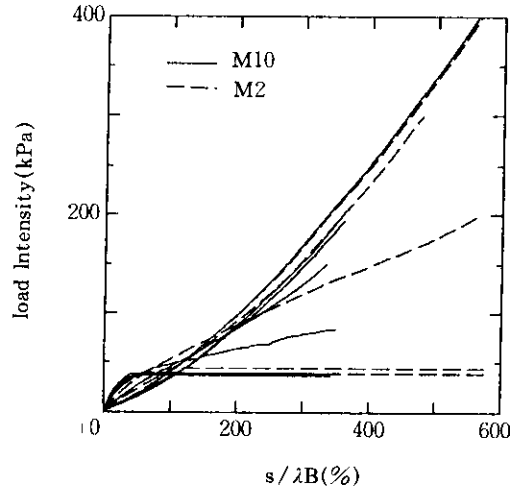


그림 17. 하중강도 - $s/\lambda B$ 곡선

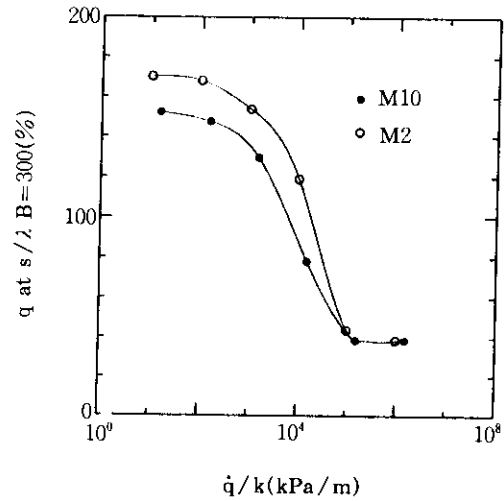


그림 18. q (at $s/\lambda B=300$) - $\log(\dot{q}/k)$

때문에 λ 가 지반의 압축성의 대표치로 되지 않는 것을 나타낸다. 그러나, 이 그림에 나타낸 시료에 의한 곡선의 차이는 비교적 작고, λ 에 변화하는 지반의 압축성의 지표를 이용하는 것에 의해 하중강도와 상대재하속도의 관계를 하나의 곡선으로 나타낼 수 있음을 시사하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

수정 Cam-clay 모델을 이용한 M2 및 M10

의 요소시험 및 정규압밀지반에 대한 기초폭 6cm의 지지력 실험을 유한요소법에 기초한 연성해석을 하여 그 결과를 아래와 같이 나타낸다.

1. 수정 Cam-clay 모델을 구성식으로 한 유한요소해석에 의해, 배수 및 비배수삼축시험 결과를 충분한 정도로 표현할 수 있다.
2. 계산 결과인 하중강도-침하관계는 실험결과와 잘 일치하고, 특히 부분배수의 영향을 받는 기초 바로 밑에 큰 체적압축이 발생하는 연약한 중간토의 경우 동법에 의해 침하량으로부터의 지지력 평가가 유효한 수단이 된다.
3. 재하속도를 10배씩 변화시킨 계산결과로부터 상대재하속도와 침하량비인 $s/B \approx 15\%$ 시의 하중강도와의 사이에는 유니크한 관계가 얻어져, 이로부터 비배수영역, 부분배수영역, 배수영역의 3영역으로 분류 가능하고 비배수, 배수의 천이영역인 부분배수영역의 상대재하속도는 10^3 의 범위이다.
4. 상대재하속도가 작으면, 압축성이 작은 시료는 동일침하량비에서의 하중강도가 크게 된다.

참 고 문 헌

1. 박중배(1996) : 재하속도를 이용한 중간토의 지지력 평가, 한국지반공학회, 제12권, 제4호, pp. 101-113
2. 박 중배, 전 몽각(1995) : 중간토의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국지반공학회, Vol. 11, No. 3, pp. 113-122
3. 中野・淺岡 (1990) : 飽和粘性土のせん断強度に及ぼす載荷速度效果に関する非排水・部分排水三軸試験, 土木學會第45回年次學術講演會 pp. 204~205
4. 中野正樹(1993) : 粘土の非排水, 部分排水舉動の解析と軟弱地盤上の盛土設計への應用に関する研究名古屋大學土木工學科學位論文
5. 岡村未對, 竹村次朗, 木村孟(1993) : 砂地盤における円形及び帯基礎の支持力に関する研究 土木學會論文集 No. 436/Ⅲ-22, pp. 85-94
6. 竹村次朗 (1990) : 強度が深さと共に變化する粘性土地盤の支持力並びに變形特性に関する研究, 東京工業大學 學位論文
7. 山口柏樹(1959) : Kotter方程式の理論土質力學への適用, 土木學會論文集 Vol. 165, pp.1-9
8. Asaoka(1992) : Prediction of the partially drained behavior of soft clays under embankment loading., Soils and Foundations Vol. 32, No. 1, pp. 41-58
9. Asaoka, A., Nakano, M. and Matsuo, M. (1988) : Prediction of the partially drained behavior of soft clays under embankment loading., Soil and Foundations, Vol. 32, No. 1, pp. 41-58
10. Chen. C. W(1975) : Limit analysis and soil plasticity. , Elsevier.
11. Davis, E. H. & Booker, J. R. (1973) : The effect of increasing strength with depth on the bearing capacity of clays., 4, pp. 551-563
12. Kusakabe, O., Yamaguchi, H. and Morikage, A. (1991) : "Experiment and analysis on the scale effect of NY for circular and rectangular footings", Proc. Centrifuge 91, pp. 176-186, A. A. BALKEMA
13. Roscoe, K. and Burland, J. B. (1968) : On the Generalized stress-strain behavior of wet clay, Engineering Plasticity, Ed. by Heyman and Leckie, Cambridge Univ.
14. Terzaghi, K(1943) : Theoretical soil mechanics, John Wiley & Sons, Inc., New York

(접수일자 1996. 10. 31)