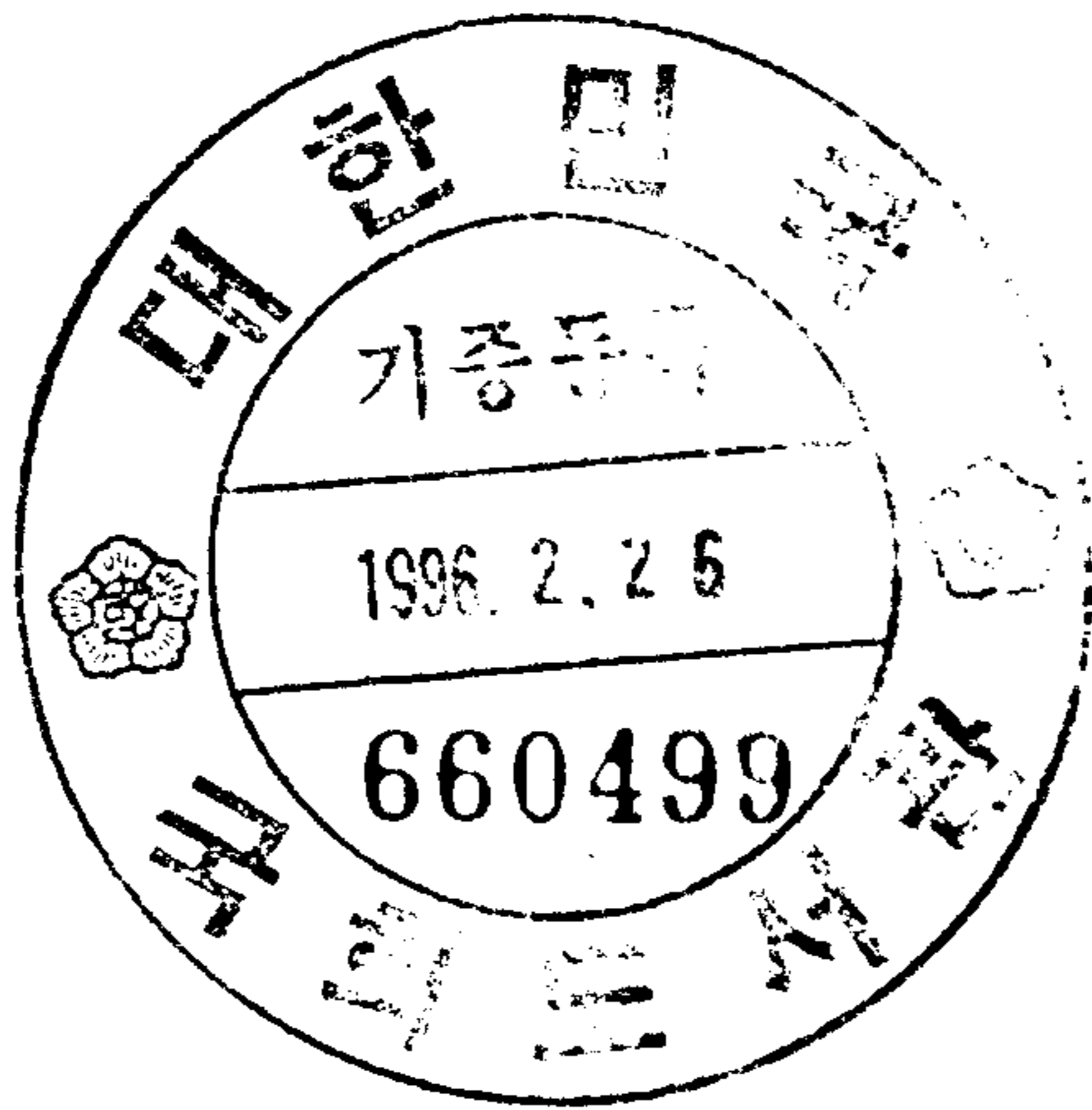


제1차년도
연차보고서

폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌
도로포장 공법의 개발(I)
Rural Road Pavement Construction using Recycled
Concrete and Asphalt Materials(I)

연구기관
강원대학교

농림수산부



제 출 문

농림수산부 장관 귀하

본 보고서를 “폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발” 과제의 제 1년차 연차 보고서로 제출합니다.

1995 년 12월 일

주관연구기관명: 강원대학교

총괄연구책임자: 김 광 우

연 구 원: 류 능 환

연 구 원: 김 희 남

연 구 원: 이 재 만

연 구 원: 안 경 애

연 구 원: 박 용 철

연 구 조 원: 최 영 규

연 구 조 원: 김 진 영

연 구 조 원: 임 경 재

협동연구기관명: 농어촌진흥공사

협동연구책임자: 김 주 인

여 백

요 약 문

I. 제목

폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발

II. 연구 개발의 목적 및 중요성

본 연구의 목적은 국내의 농어촌 도로 포장을 폐콘크리트 및 폐아스팔트 콘크리트를 재활용하여 포장하는 기법을 개발하는 것이다. 현재 우리 나라는 시 지역이 골목길까지 다 포장되어 있는데 비하여 군 지역은 도로 포장율이 상대적으로 낮으며 농어촌 도로의 포장율은 극히 낮아 개선이 시급한 상태이다. 더구나 선진국들에 비하여 국내 농촌 소도로의 포장율은 매우 낮은 실정이며 이의 향상을 위해서는 보다 구하기 쉽고 경제적인 재료에 의한 포장 공법의 개발이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구자는 다년간의 건설 재료 재활용에 대한 연구로부터 축적되어 온 재활용 기법 및 도로 포장에 관한 연구 기반을 이용하여 농촌 지역의 도로에 아스팔트 및 콘크리트 폐기물을 재활용하여 포장을 건설하는 공법을 개발하는 연구를 수행하고자 하는 것이다. 농어촌 주민의 생활수준 향상과 농촌 지역의 전원화 등의 차원에서 볼 때 농어촌 도로의 포장은 필수적이며 이를 위해 재활용 재료를 사용하는 것은 환경, 자원 절약, 경제적 이득 등 일거양득의 효과를 거둘 수 있는 매우 바람직한 일이라고 여겨진다.

III. 연구 개발 내용 및 범위

본 연구는 국내에서는 최초로 폐콘크리트를 다시 콘크리트로 재활용하여 농어촌 도로를 포장하는 연구로써 그간의 기초 연구를 근거로 하여 실용화를 위

한 연구에 치중하였다. 1차년도에 수행한 연구 내용은 (1) 농어촌 도로 환경 조사 및 폐콘크리트 재활용 실태에 관한 기본 연구, (2) 폐콘크리트 이용한 농어촌 도로용 보조 기층의 개발, (3) 폐콘크리트를 이용한 농어촌 도로 콘크리트 포장 공법의 개발 등이다. 하지만 본 연구에서는 3지역에서 수집된 재료만을 실험에 사용하였으며 한가지 규격의 농어촌 도로를 개발하는 연구를 수행하였다.

IV. 연구 개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 결과

- 가. 재생 굵은골재에는 폐콘크리트 외에 시멘트 벽돌, 붉은 벽돌, 아스콘 등도 첨가되어 있어 비교적 비중이 낮았으며 지금까지의 연구 결과에서와 마찬가지로 흡수율, 마모율이 천연골재보다 높았고 비중은 낮았다.
- 나. 재생골재는 시험 결과 소성지수, 마모 감량, CBR, 단위 중량 등이 보조 기층 재료로 사용키 위한 국내의 품질 규정에 모두 적합한 것으로 나타났다.
- 다. 배합설계 시 재생 굵은골재는 지금까지 본 연구팀의 연구 결과를 토대로 전체 굵은골재 량의 50%를 섞는 것을 목표로 하였으며, 물-시멘트 비 0.4, 단위시멘트량 388Kg, Fly Ash는 결합재 총량의 5%, 유동화제는 시멘트 량에 0.8%로 결정한 결과 현장에서의 적정 Workability를 얻었다.
- 라. 본 연구에서 제조된 재생콘크리트에 의한 포장은 유동성이 좋아 수작업으로 시공이 가능하였고, 경화 후 표면의 상태는 전반적으로 양호하였다. 현장 코어 공시체의 압축강도는 $\sigma_{28} = 250\text{Kg/cm}^2$ 이상 나타났고 휨강도는 45Kg/cm^2 이상, 탄성계수는 $220,000\text{Kg/cm}^2$ 이상 매우 양호한 상태

였다.

- 마. 시공일 현장에서 제조한 공시체를 동결융해 처리 후 시험한 결과 압축 강도 및 탄성계수가 크게 차이가 나질 않았는데 이는 재활용 콘크리트가 동결융해에 강하다는 과거의 연구 결과와 일치한다.
- 바. 결과적으로 현장 시험 시공까지의 결과 재생골재를 이용한 농어촌 도로 포장 공법은 충분한 실용 가능성이 있는 것으로 판정되었다.

2. 활용 방안에 대한 건의

- 가. 우선 본 연구 결과를 농림수산부를 통하여 전국 각 시·군에 보급하여 각 자치단체 별 담당 부서의 관할 하에 구역 내의 일정한 농어촌 도로에 직접 시범 포장 사업을 수행할 것을 제시한다. 그렇게 함으로써 자치단체별로 담당 부서 공무원 (예 기반 조성과)이 기술적인 부분을 먼저 습득하게 되고 아울러 현장 실용성 면을 확인할 수 있을 것이다.
- 나. 그리고 재활용에 대한 인식 제고와 사회적 분위기 형성을 위하여 이와 같은 사업을 관 주도하에 몇 번 더 수행해 봄에 따라 관공서 자체는 물론 농촌 주민들과 시공자들의 인식도 바뀌게 될 것이다. 그리고 필요하다면 본 연구에서 수행한 현장을 견학토록 하는 것도 고정관념 (재생콘크리트는 안 좋다는 생각)을 바꿀 수 있는 좋은 계기가 될 것이다.

여 백

Summary

Title

Rural Road Pavement Construction using Recycled Concrete and Asphalt Materials (I)

Objectives and Significance

Objective of this study was to develop a methodology for paving rural road using recycled construction materials (i.e., waste concretes and reclaimed asphalt materials) and to introduce this technique for practical use in rural road pavement construction. Infrastructure systems of country side in Korea is far less developed compared with those of city area and advanced foreign countries. Especially, the ratio of paved road in rural area is very lower than that in city area. Therefore, providing existing road with a certain type of pavement is very immediate project that is no longer ignored by government, not only for improving rural living standard but also for expediting mechanized farming.

Researcher of this study have worked on many projects in construction materials and their recycling system during last decade, and performed this work based on those background. If this projects is finished successfully, there will be a great advantage to the society not only due to constructing pavements on existing road in rural area with relatively cheap materials, but

also due to saving mineral aggregate resources and conserving environment by using recycled materials.

Scope

The scope of current study was divided into three major subjects. The first was to examine the condition of the rural road pavement in the country and to collect literatures regarding recycling practice and previous research in the country as well as in the world. The second was to examine usage of recycled concrete aggregates as subbase materials for recycled concrete pavement on rural road. And the third was to develop an approach to paving low-volume rural road, using recycled concrete materials, which can be practically applicable to existing roads in country sides. However, the works were limited to developing, with collected materials, only one type of pavement as a prototype with a thickness of 20cm and a width of 3m.

Results and Suggestions

Research Results

The recycled aggregate from waste concretes that was used in this study showed a relatively lower specific gravity, higher absorption and abrasion ratio, because it contained various light-weight particles of cement brick, red

earth brick, asphalt concrete etc. Test results of plastic index, abrasion loss, CBR, and unit weight showed that the recycled aggregate was acceptable for subbase materials by the specification for normal road construction.

In mix design, 50% by weight of coarse aggregate was replaced with recycled aggregate. The w/c ratio and quantity of cement was 0.4 and 388Kg, respectively. Contents of fly ash and plasticizer were 5% and 0.8%, respectively, by weight of binder.

Since the recycled concrete blended in a ready mixed concrete plant showed a good consistency, it was possible to construct the pavement manually by local workers without difficulty in the field.

Flexural strength, compressive strength, and elastic modulus of the recycled concrete in the field were over 45Kg/cm², 250Kg/cm², and 220,000 Kg/cm², respectively, after curing 28 days. Hardened surface was smooth and showed only some minor cracks.

Compressive strength and elastic modulus of the recycled concrete that was collected in the field on the day of construction and subjected to freezing-and-thawing conditioning were similar to those of unconditioned recycled concrete. This is an evidence that recycled concrete has a good resistance to freezing-and-thawing action and the result was coincide with the results from many previous studies.

Therefore, from the analyses of study results, it was concluded that

application of recycled concrete for rural road pavement construction appeared to be a feasible choice.

Suggestions for Practical Use

To promote the spread of this technique, launching a model project for paving a rural road with recycled concrete is suggested for each local government. By doing this, the local government officer will first acquire technical knowledges about this project and can judge a practical advantage of using recycled materials for rural pavement.

Conducting the project by the government and providing a specification for the recycled pavement construction will create a motive of using recycled materials to the society and will change the apprehension of general people. Also, it will be a good idea for making advertisement to those in construction industry to show the quality of current work through a field tour to the site if they want.

Contents

Chapter 1. Background and Presence -----	15
Section 1. Necessity of research -----	17
Section 2. Objective of research -----	18
Section 3. Contents and scope -----	19
Section 4. Research trend -----	20
Chapter 2. Presence of Pavement in Existing Rural Roads and Waste Concrete Treatment -----	38
Section 1. Characteristics and roll of rural road -----	40
Section 2. Current paving condition in rural roads -----	47
Section 3. Situation of waste concrete treatment -----	50
Chapter 3. Fundamental Characteristics of Recycled Concrete -----	59
Section 1. Summary of previous research results -----	61
Section 2. Materials -----	63
Section 3. Mix design and test for recycled concrete -----	69
Section 4. Results and discussion -----	72
Chapter 4. Development of Rural Road Pavement using Recycled Concrete -----	81
Section 1. Subbase course using recycled aggregate -----	83
Section 2. Design of subbase using recycled aggregate -----	88

Section 3. Field trial of recycled concrete pavement -----	89
Chapter 5. Results and Suggestions for Further Study -----	107
Section 1. Summary of Results -----	109
Section 2. Expected use and practical applicability -----	111
Section 3. Proposed studies -----	113
References -----	115
Appendix 1. Design and calculation for recycled pavement -----	127
Appendix 2. Test data -----	146

목 차

제 1 장 연구배경과 현황 -----	15
제 1 절 연구개발의 필요성 -----	17
제 2 절 연구개발사업의 목표 -----	18
제 3 절 연구내용 및 범위 -----	19
제 4 절 연구개발 동향 -----	20
제 2 장 농어촌 도로포장 실태 및 폐콘크리트 처분 실태 -----	38
제 1 절 농어촌 도로의 성격과 기능 -----	40
제 2 절 농어촌 도로의 포장 실태 -----	47
제 3 절 폐콘크리트 처분 실태 -----	50
제 3 장 재생콘크리트의 기초적 성질 -----	59
제 1 절 기존 연구결과의 요약 -----	61
제 2 절 재료 -----	63
제 3 절 재생콘크리트의 배합설계 및 시험방법 -----	69
제 4 절 결과 및 고찰 -----	72
제 4 장 재생콘크리트에 의한 농촌도로포장공법 개발 -----	81
제 1 절 재생골재 보조 기층 개발 -----	83
제 2 절 재생콘크리트 포장의 설계 -----	88
제 3 절 재생콘크리트 농어촌 도로 시험포장 -----	89

제 5 장 연구 요약 및 향후 연구 방향 -----	107
제 1 절 연구요약 -----	109
제 2 절 기대효과 및 실용화 방안 -----	111
제 3 절 향후 연구방향 -----	113
참고문헌 -----	115
부록 1 재생콘크리트를 사용한 포장설계 -----	127
부록 2. 각종 data sheet -----	146

제 1 장 연구의 배경과 현황

여 백

제 1장 연구의 배경과 현황

제1절 연구 개발의 필요성

본 연구는 낙후된 농어촌 지역에 도로포장을 시행하는데 있어서 건설 폐기물의 하나인 폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용하여 건설하는 공법을 개발하기 위하여 수행된 연구이다. 본 연구의 직접적인 동기는 농어촌의 소도로 포장율을 향상시키기 위하여 제한된 예산으로 보다 많은 포장을 가격이 저렴한 재료로 시행하기를 원하는 농촌 주민들과 농어촌 진흥 공사의 의견에 의하여 착안된 것이다. 간접적 동기로는 都農 어데 서나 발생하여 처분에 문제가 되고 있는 폐콘크리트의 재활용을 농어촌 도로의 포장에 실용화하여 환경 및 자연보호를 실현하기 위한 차원에서 수행되었다.

현재 우리 나라는 시 지역이 골목길까지 다 포장되어 있는데 비하여 군 지역은 도로 포장율이 상대적으로 낮으며 농어촌 도로의 포장율은 극히 낮아 개선이 시급한 상태이다. 더구나 산악 지역의 각종 소도로까지 거의 포장이 된 선진국들에 비하여 아직 국내 농촌 소도로의 포장율은 매우 낮은 실정이며 이의 향상을 위해서는 보다 구하기 쉽고 경제적인 재료에 의한 포장 공법의 개발이 필요한 실정이다. 이를 위해서는 우선 마을 내의 기존 포장 재료 이외에 보다 저렴한 가격의 재료에 의한 簡易 포장을 생각 해 볼 수 있으며 또한 재활용 재료에 의한 포장도 생각해 볼 필요가 있다. 따라서 본 연구자는 다년간의 건설 재료 재활용에 대한 연구로부터 축적되어 온 재활용 기법 및 도로 포장에 관한 연구 기반을 이용하여 농촌 지역의 도로에 아스팔트 및 콘크리트 폐기물을 재활용하여 포장을 건설하는 공법을 개발하는 연구를 수행하고자 하는 것이다.

농촌 지역의 도로는 그 용도상 대형 트럭 등의 진입이 매우 적고 또한 승용차

등 차량의 소통도 도시 지역의 도로에 비하여 매우 적은 편이어서 내구성이나 강도가 그리 크지 않은 재료를 사용한 포장도 가능하다. 또한 선진국과 같은 농촌 지역의 전원 도시화 등의 차원에서 볼 때 농어촌 도로의 포장은 필수 사항이며 이를 위해 재활용 재료를 사용하는 것은 환경, 자원 절약, 경제적 이득 등 일거양득의 효과를 거둘 수 있는 매우 바람직한 일이라고 여겨진다.

근래에 와서 환경 문제를 포함해 많은 이유 때문에 콘크리트의 폐기 처분은 점차 어려워지고 있다. 처분 장소의 제한 때문에 폐콘크리트 처분 거리의 증가는 천연골재의 고갈로 골재를 구입하는데 따른 운반 거리의 증가와 함께 건설 업계에 2중고를 유발한다. 또한 폐기 처분 장소를 구해도 처분 물량과 입자의 크기를 제한하므로 破碎 후 폐기해야 하는 경우가 대부분이며 게다가 폐기 처분 비용까지 내야 한다. 이와 같은 문제는 결국 폐콘크리트 등을 농촌 지역에 불법으로 투기하는 현상을 가져와 가뜩이나 오염되어 가는 농촌 환경을 더욱 악화시키는 사례가 많다. 따라서 본 연구와 같은 폐콘크리트와 폐아스콘 재료의 재활용 연구는 체계적으로 시행될 경우 농촌 지역의 도로포장 율의 향상에 기여할 수 있는 경제적인 재료를 제시함은 물론 재활용을 실용화함으로써 인한 환경 보호의 가시적 효과도 가져올 수 있을 것이다.

제2절 연구 개발 사업 목표

1. 최종 연구 개발 사업 목표

본 연구에서 해결하고자 하는 최종 연구 개발 목표는 폐콘크리트 및 폐아스팔트를 파쇄 하여 얻은 재생골재를 사용하여 농어촌 도로를 포장하는 공법을 개발하는 것이다. 이를 위해서는 폐콘크리트 및 아스팔트를 파쇄 하여 얻어지는 값어치 있

는 재생골재를 재활용 재료로서 실제 활용키 위한 각종 기초적이고 세부적인 사전 연구가 필요하다. 그리고 재생골재를 이용한 도로의 基層 (Base Course) 설치 및 그 실용성 평가, 이 基層 위에 재활용 콘크리트 포장을 건설하는 기술에 관한 연구를 수행하고 그 실용성 여부를 판정하여 체계적인 포장 공법을 개발하는 것이다.

2. 당해 년도 연구 개발 사업 목표

본 연구의 1차 년도 수행 목표는 폐콘크리트를 재활용한 농어촌 도로 포장 공법을 개발하는 것이다. 이를 위해서 1차 년도에는 폐콘크리트를 수집하여 재활용 될 포장 재료의 근본적 성질과 보조 기층 재료로의 적용성 여부 판정과 이를 이용한 보조 기층의 성능을 판정하였다. 또한 폐콘크리트를 섞어 생산한 재활용 콘크리트의 기초적 성질 및 특성을 분석하고 실용 가능성 점검을 위하여 현장 시범 시공을 통한 확인 과정을 거치도록 하여 하였다. 한편 2차 년도의 연구 목표는 폐아스콘을 재활용한 농촌 도로 포장 공법을 개발하기 위한 연구를 수행 할 것이다.

제3절 연구 내용 및 범위

본 연구는 농어촌 도로포장에 경제적이고 환경 보호에 도움이 되는 재활용 재료를 사용하기 위한 공법을 연구한 과제로 1차년도에 수행한 내용은 크게 다음과 같이 3가지로 구분할 수 있으며, 또한 각 항목별 세부 수행 내용은 아래와 같다. 특히 본 연구는 국내에서는 최초로 폐콘크리트를 다시 콘크리트로 재활용 하여 농어촌 도로를 포장하는 연구로써 많은 국내·외 자료를 수집하였고 그간의 기초 연구를 근거로 하여 실용화를 위한 연구에 치중하였다.

연구 개발 내용	세부 항목
1. 농어촌 도로 환경 조사 및 폐콘크리트 재활용 실태에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> * 농어촌 도로의 기능 및 역할 분석 * 농어촌 도로의 실태 파악 * 폐콘크리트 발생 및 재활용 실태 조사 * 선진국의 연구 사례 조사
2. 폐콘크리트 이용한 농어촌 도로용 보조기층의 개발	<ul style="list-style-type: none"> * 재생골재의 수집 * 골재의 특성 검사 * 보조기층 재료로서의 적용성 검토 * 재생골재 보조기층의 성능 평가 * 보조기층 설계 및 시공 방법 제시
3. 폐콘크리트를 이용한 농어촌 도로 콘크리트 포장 공법의 개발	<ul style="list-style-type: none"> * 재생골재의 물리적 성질 검사 * 배합설계 방법에 대한 연구 * 재생콘크리트의 강도 특성 규명 * 동결융해후 강도 특성 규명 * 시험포장의 시공 * 문제점 및 실용성 평가

제4절 연구 개발 동향

1. 농촌 도로에 관한 연구

국내의 고속도로 및 국도 등 일반 도로에 관한 연구에 비하여 농어촌 도로의 건설 및 포장 공법 개발에 관한 연구는 매우 드문 실정이다. 특히 이와 같은 연구는 그 동안 경제발전과 농업의 생산성 향상에 투자된 노력에 비하여 등한시되어 온 분야로써 1990년대 초 몇 편의 조사 및 연구 논문이 발표된 것을 중심으로 그 내용을 요약해 본다.

농어촌 진흥 공사의 오세훈(1990)은 농어촌 도로 건설 사업에 관하여 개요

와 현황을 발표하였다. 그는 이 연구에서 농어촌 도로 건설의 필요성에 대하여 역설하고 설계의 전산화를 도입할 것을 주장하였다. 또한 건설 기술 연구원의 박대권 (1990)은 농어촌 도로 건설 사업의 발전 방향에 관한 연구에서 포장의 중요성에 대하여 언급하였다. 연세 대학의 김수일(1990)은 그의 농어촌 도로 포장 공법 개선 방향에 관한 연구에서 Roller Compacted Concrete (RCC)에 의한 포장공법 등에 의한 농어촌 도로의 포장공법을 개선할 것을 제시하였다. 이 RCC공법에 의한 농촌도로 포장은 현재 건국대의 도덕현 교수 팀에 의하여 연구가 수행되고 있다. 또한 농어촌 진흥 공사의 구본충(1990)은 농촌도로에 대한 각종 정비 및 유지관리 기술에 관한 기사를 농공기술지를 통하여 발표하였다.

한편 1991년 10월 대한 토목학 회의 도로분과 에서는 중앙대학의 이용재 등에 의하여 농촌 도로포장에 관한 연구 논문이 3편 발표되었다. 이들은 농촌 도로에 대한 투자 분석 및 유지 관리에 관한 연구(이용재 등 1991a), 농촌도로의 계층별 설계 기준에 관한 연구 (이용재 등 1991b) 및 농촌도로 체계 설정에 관한 연구 (이용재 등 1991c) 등이다.

2. 건설 폐기물의 재활용 연구

가. 국내 건설 폐기물의 재활용 연구

지금까지 외국에서의 연구사에 의하면 선진국에서는 일찍이 환경과 자원 고갈에 대한 우려 속에 콘크리트 재활용에 대한 기초 연구는 물론 실용화를 위한 연구가 이미 진행되고 있다. 그를 위해서 그들은 규정의 제정 및 법제화, 강도 증진을 위한 연구, 철근 콘크리트에의 사용, 콘크리트 뿐 아니라 벽돌의 재활용과 함께 이미 시범 사업으로의 현장타설 및 그 성능 판정의 단계에 들어가 있

다. 하지만 국내에서는 1986년 충남대 김무한 교수 등의 논문이 대한 건축 학회에서 발표되었으나, 그 이후 1990년대 초반까지 대외적인 연구 발표는 거의 없었다. 그러나 최근 2-3년 사이에 급격한 관심의 증가와 함께 1994년 1월 환경처와 건설부 통합 고시에 의해 공사비 250억 이상 대형 공사에서 콘크리트 등 건설 폐기물의 재활용이 의무화되면서 이에 대한 연구가 증가하고 있다.

(1) 본 연구팀의 기존 연구

본 연구 책임자는 폐콘크리트의 재활용에 관한 연구를 1990년대 초부터 지금까지 지속적으로 수행하여 오고 있으며 그중 대표적인 것을 다음과 같다.

우선 재생 콘크리트 내에서 폐콘크리트 재생 골재의 성능에 관한 연구를 1992년 9월 미국 토목 학회(ASCE) 건설 폐기물 재활용 분과에서 발표하였다. 여기서는 재생 골재와 새로운 몰탈과의 부착 상태 관측을 위하여 재생골재를 염색하여 파괴 후 그 파쇄 선을 조사하였고, 재생 콘크리트의 파괴 특성을 고찰하였다. 그리고 재생 콘크리트의 변형 특성과 동결 융해 저항 특성에 대한 연구도 같은 해 발표하였다.

1994년 콘크리트 학회 학술 발표에서는 Fly Ash를 사용한 재생 콘크리트의 특성에 관한 연구를 발표하였고 1995년 4월 재생 콘크리트를 구조용 콘크리트로 재활용하기 위한 강도 증진과 특성 개선에 관한 연구를 수행하였다. 또한 그의 연구팀은 재생 콘크리트의 휨변형과 파괴 특성에 대한 연구를 발표하였고(김광우 등 1995b) 또한 1995년 9월 동아 그룹 창립 50주년 기념 건설논문 공모에서 폐콘크리트 재활용 기법에 관한 연구로 우수 상을 수상하였다(김광우 등 1995c).

(2) 김무한 교수 등 및 기타 연구

1993년 봄 콘크리트 학회 학술 발표에는 충남대의 김무한 교수 및 청주대의 한 천구 교수 연구진에 의한 6편의 콘크리트 재활용 연구가 발표되어 관심을 끌었다. 여기서는 재생콘크리트를 건축 구조용 콘크리트로 적용함에 있어 타당성 연구, 재생골재 혼합 조건이 재생콘크리트의 공학적 특성에 미치는 연구 및 재생콘크리트의 강도 조기 추정 및 비파괴 실험의 적용성에 관한 연구가 수행되었다.

같은 해 가을 콘크리트 학회 학술발표회를 통해 상기 연구진의 연구 논문이 2편 더 발표되었으며 이는 재생콘크리트의 강도 조기 추정 및 품질관리를 위한 비파괴 검사 법의 적용 성에 관한 것이었다. 또한 '95년 봄 콘크리트 학회에서 그는 남상일 등과 재생콘크리트에 플라이애쉬 사용에 관한 연구를 발표하였고, 최민수 등과 재생골재의 재파쇄 횟수가 재생골재 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 그는 1994년 후반부터 건설 교통부로부터 폐콘크리트를 재활용하기 위한 시스템 개발 등 포괄적인 연구를 수행하고 있는 중이다.

또한 한상욱 등(1995)은 첨단환경기술지에 “건설 폐기물의 실태와 대책 방안”이란 주제로 2회에 걸친 일련의 연구 발표를 게재하였다. 영남대의 신현국(1994)은 건축폐기물 관리방안을 첨단환경기술지에 발표하였다.

이상 국내·외 학회지 및 학술 발표 회지에 게재된 국내 연구자들의 논문을 중심으로 조사한 바에 의하면 내용상으로 대부분 재활용을 위한 기초 연구이므로 외국에 비해 아직 실용화 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 국내에서는 이 분야에 보다 많은 관심과 연구 노력이 필요한 것으로 사료되며 실용화를 위한 기업의 연대 노력도 필요한 실정이다. 특히 국내에서도 콘크리트의 폐기 물량이

매년 엄청나게 증가되고 있으나 아직 폐기물을 분리 처리하는 시설이 매우 초보 단계에 있으며 이를 골재 화하는 시설도 드물다. 따라서 관공서를 포함한 시행 기관에서 연구 기관 등과의 시험 사업을 통한 타당성 조사 등이 필요하며 이를 토대로 결과를 분석 보완하여 부분적인 시행을 시작하는 과정을 택해야 할 것으로 보여진다.

나. 외국 건설 폐기물의 재활용 연구

(1) 일본의 건설 폐기물 재활용

1988년 11월 7-11일 사이에 일본의 일본 대학교에서는 철거 폐기물 재활용에 관한 국제 심포지엄이 일본 건설성과 RILEM 주제 하에 구조물의 철거 방법과 철거물 재료의 재활용에 관한 두 부분으로 나뉘어 개최되었다. 이 심포지엄에서는 일본 대학의 Kasai교수를 비롯해 일본의 여러 연구자들에 의해 다수의 논문을 비롯해 총 30편의 논문이 발표되었다. 유럽 연구자로는 독일의 Schulz 등이 다수 참가하여 각기 논문을 발표하였으며 아세아에서는 싱가포르의 Sri Ravindrarajah가 참가하였다. 이 학회의 발표 논문을 분석 하여보면 크게, 1) Methodology and Practice for Recycling Cement, Concrete and Demolition Wastes, 2) Evaluation of Properties and Strength of Recycled Concretes, 3) Use of Demolished Materials for Road Base Materials, 4) Use of Recycled Concrete for Concrete Pavement Materials, 5) Recycling for Reinforced Concrete, 등으로 분류할 수 있다.

일본은 덴마크에서 열린 제 3차 RILEM 심포지엄에도 여러 편의 논문을 발표하였다. 이중 Kasai는 일본에서의 철거된 콘크리트의 재활용에 관한 현재 실

태와 재활용 지침 안을 제시하였다. 그리고 일본에서는 Kikuchi 등, Yagishita 등, Sano 등, Yanagi 등이 콘크리트의 재활용에 관한 논문을 발표하여 그들 나라의 높은 관심도를 보였다. 그 외에도 일본 국내에서는 이에 관한 많은 연구와 실용화가 이루어지고 있는 것으로 보고되고 있다.

일본은 환경문제에 국민적 관심이 높아지면서 1985년 7월에 「시가지토목공사공중재해방지대책요강」을 전면적으로 개정하여 신고 항목을 설치하고 잔토와 폐기물에 관하여 처리 계획, 위탁 처리, 운반 경로, 운행 관리에 필요한 조치를 강구하였다. 한편 잔토 이외의 건설폐기물 대책은 1990년 2월에 「총합적건설폐기물대책연구회」를 설치하여 1991년에 재활용법 및 「건설부산물 적정 처리 추진 요강」등을 제정하여 건설부산물 재활용을 추진하였다.

1994년 4월에는 2000년을 목표로 한 「건설부산물 대책 행동 계획(재활용계획21)」을 발표하였으며 그 내용은 다음과 같다.

- ① 설계의 연구 등에 의한 철저한 발생원 규제
- ② 공사간의 정보 교환 등에 의한 최대한의 재활용 추진
- ③ 재활용이 곤란한 폐기물의 적정 처리 추진
- ④ 적극적인 기술개발 추진

이 계획은 2000년까지 건설 폐기물을 예측 발생량의 약 10% 감소시키고, 또한 아스팔트 콘크리트 덩이, 콘크리트 덩이의 재활용 율을 1990년의 50%에서 90%, 건설 폐기물 전체의 재활용 율을 42%에서 80%로 증가시키는 것을 목표로 하고 있다. 또한 목표를 달성할 경우에는, 현시점과 비교하여 재생 쇄석의 사용량을 연간 4,000 만톤(덤프 330만대 분) 증가시킴으로 자연산 쇄석 사용 절감 등의 효과를 기대하고 있다.

일본의 건설 폐기물 발생은 건설성이 실시한 건설 폐기물 실태 조사에 의하면 1990년도에 건설 공사 반출된 건설토사량은 약 3억 7,000만^m³로서, 반출량 가운데 약 30%가 공공 공사 등에서 성토재 등으로 재활용되고 있으나 60%를 초과하는량은 농지나 택지 조성, 구릉지에의 매립 등에 활용되고 있다.

또한 건설 공사에서 배출되는 건설 폐기 물량은 약 7,600만톤 인데, 건설 폐기물의 종류별로는 콘크리트 덩이가 약 33%를 점유하고, 아스팔트 콘크리트 덩이, 오토니 순으로서 이 3종류의 배출 량이 전체의 80% 가까이 점하고 있다 (표 1-1). 재활용 현황을 보면 폐콘크리트 등은 약 50% 재활용되고 있으나, 나머지는 거의 그대로 매립 처분되고 있다. 재활용 및 감량 화가 비교적 진전된 것은 콘크리트 덩이, 아스팔트 콘크리트 덩이, 건설 오토니와 혼합 폐기물은 거의가 매립지에서 처분된다. 한편 이들을 재활용키 위한 규정을 표 1-2에서와 같이 제정하고 있다.

표 1-1. 일본의 건설 폐기물 발생 량 및 재활용 현황 (1990년)
(단위 : 만톤)

건설 폐기물 종 류	반출량	재활용 및 처리량		
		재이용량(%)	감량화량(%)	처분량(%)
폐콘크리트	2,540	1,220(48.0)	0	1,320(52.0)
폐 아스콘	1,760	890(50.6)	0	870(49.4)
건설 오토니	1,440	110 (7.6)	180(12.5)	1,150(79.9)

자료 : 일본 건설성, 건설부 산물 실태 조사(1990년)

표 1-2. 재활용재 품질의 관련 기준

용도 \ 항목	요령, 지침 등의 기준명	제정기관명
노반재	포장재 재생 이용 기술 지침(안)	(사) 일본 도로 협회
	JIS A 5001 (도로용 자갈)	
도로 성토재	설계 요령 제1집 토공	일본 도로 공단
기타 성토재	시공 관리 기준	주택 도시 정비 공단
콘크리트용 골재	재생 골재 콘크리트 설계시공 지침(안)	건설성
	JIS A 5004 (콘크리트용 모래)	
	JIS A 5005 (콘크리트용 자갈)	

(2) 독일의 건설 폐기물 재활용

독일의 Schulz는 1988년 독일의 폐콘크리트 재활용에 관한 논문을 발표하였으며 그는 또한 네덜란드의 Hendricks와 벽돌 파쇄 재료를 재활용하는 연구를 수행하였다. 콘크리트와 달리 파쇄 벽돌로부터 얻어진 골재는 그 특성이 다르며 따라서 그것의 재활용에 따른 연구도 별도로 취급되었다. 여기서 말하는 벽돌이란 건물의 벽체 재료로 사용된 시멘트 벽돌, 시멘트 블록, 경량 벽돌, 붉은 벽돌 등을 모두 포함하며 경우에 따라서 타일 부스러기도 포함된다. 그들은 결론에서 독일이나 네덜란드에서 벽돌 파쇄 재료를 콘크리트용 재료로 사용할 수 있도록 규정하고 있으나 사용되는 재료의 다양성 때문에 철저한 시험을 거쳐야 한다고 언급하였다. 또한 그는 독일에서 건물 파쇄 물을 콘크리트용 골재로 사용하는 과정을 소개하였다. 독일의 DIN 4226 Part 2 는 벽돌 재활용 재료에 불순물의 한계치를 규정하고 있다. 벽돌 재활용 콘크리트 단위 중량은 경량 콘크리트와 보통 콘크리트의 중간 정도로 측정되었으며 수축 계수와 크리프가 큰

것으로 나타났다. 한편 Klöpper는 철도침목 받침용 콘크리트를 재활용하는 특수 기술을 그리고 Rahlwes는 철근 콘크리트의 재활용을 환경과 경제적 측면에서 분석하였다.

구 서독에서는 100개 이상의 소형 및 10여개의 대형 재생 플랜트가 가동 중에 있다. 서독의 연방통계국의 발표에 따르면 1987년 발생한 산업 및 특수 폐기물은 약 2억500백만 톤이고 이 중 건설업과 관련한 토사, 건설 폐기물이 1억 2,000만 톤으로 가장 많아 전체의 60%정도를 점유하고 있었다. 산업별 폐기물발생량에서 건설업이 차지하는 비율은 1977년 54.2%, 1982년 59.3%, 1987년 53% 등으로 항상 50% 이상을 상회하고 있다.

연방 정부는 1990년 「건설 폐기물 억제를 위한 목표결정안」을 설립하여 16억7천9백만 톤의 잔토를 재활용하도록 하고 재활용을 증가를 위하여 시공사, 건설업자, 관청 등에서 해체 및 건설 공사가 체계적으로 연계되도록 하여 1999년까지 1987년의 절반 수준으로 유해 폐기물의 감량 화를 목표 설정하였다 (표 1-3).

표 1-3. 구 독일 연방 정부의 건설폐재 재활용을 목표

구 분	1989년 실적 (구 서독州)			재활용 목표(모든 州)			
	발생량 (백만톤)	재사용량 (백만톤)	재활용율 (%)	1992	1993	1994	1995
건설폐재 ¹⁾	22.6	3.7	16	30	30	50	60
건설현장 폐기물 ²⁾	10	-	-	10	10	30	40
도로공사 토사	20.4	11.2	55	60	60	80	90

자료: 국회 국립도서관, 입법고사국, 외국의 입법, 31편 31호

주 : 1. 콘크리트, 몰타르, 벽돌 등

2. 건설 현장 쓰레기는 나무 조각, 비철금속, 플라스틱, 종이, 도료 등

(3) 그 외 유럽 국가의 재활용 연구

영국의 Nixon은 RILEM 기술 위원회 37-DRC의 1차회의 위임으로 콘크리트 재활용에 관한 논문을 Materials and Structure에 게재하였다. 여기에서 그는 그 간의 여러 연구를 몇 가지 분야로 구분하여 항목별로 분류하였다. 그는 2차대전 직후 1946년 구 소련의 Glushge의 연구와 1948년 독일의 Graf의 연구를 최초의 콘크리트 재활용 사례로 소개하고 있다.

영국은 매년 2,000만 톤 이상의 건설폐재가 발생되며 그중 콘크리트가 50 ~ 55%, 폐벽돌이 30 ~ 40%나 된다. 이 중 대부분이 재생골재로 재활용되고 있으며 천연골재의 고갈, 자원 및 에너지 절약의 중요성이 재인식되어 활발한 연구 보고가 이루어지고 있고 사용규준안(BS 1047, BC 6543)이 작성되어 실용화되고 있다.

2차대전 직후 당시의 문헌에 의하면 각종 벽돌이 건축물 재료로 가장 널리 사용되었음을 Nixon은 기술하고 있다. 하지만 당시에는 이 분야에 대한 깊이 있는 연구가 별로 없었다. 1970년대에 접어들면서 戰後 또는 그 이전에 지은 노화된 콘크리트 구조물의 철거와 새로운 건설 물량의 증가와, 일부에서의 미래 천연골재의 고갈에 대한 우려가 시작되면서 폐콘크리트를 골재로 사용하기 위한 관심이 증가되었다.

Collins는 영국에서 해체 폐기물의 약 40%가 재활용되고 있으나 그중 대부분은 채움재 등과 같은 저급의 재료로 쓰이며 콘크리트 등과 같은 고급 재료로의 사용은 미약하다고 하였다. 그는 그 이유를 적절한 규정의 부족에 기인한다고 지적하였다. Wainwright 등은 재생 굵은골재와 잔골재를 사용한 재생콘크리트의 성능을 고유동화재, Pulverised Fuel Ash (PFA) 및 천연모래를 사용하여 개

선하는 연구를 수행하였다. 에이레의 O'Mahony는 영국의 Milligan과 함께 파쇄 폐콘크리트의 재활용을 위한 연구를 수행하였다.

유럽에서 1980년대부터 이 분야에서 가장 많은 연구를 수행 한 사람은 단연 덴마크의 Hansen 이라 할 수 있다. 그는 Narud와 1983년에 이 분야에 3편의 연구 논문을 발표하였다. 그중 하나는 파쇄 콘크리트의 굵은골재로 만든 재생 콘크리트의 강도에 관한 연구이며 나머지 둘은 재생콘크리트와 Silica Fume, 그리고 Fly Ash를 이용하여 Calcium Silicate 벽돌을 개발한 연구이다. 그는 Silica Fume를 첨가하여 상당한 압축강도의 증진을 얻었으며 Autoclave 양생 방법을 사용하였다.

Hansen은 다른 연구자들과도 많은 연구를 수행하였다. 그 중에는 재생골재의 성질이 본래 콘크리트의 혼화제에 따르는 영향, 재생콘크리트의 탄성과 건조 수축에 관한 연구, 토질의 개질 재료로써 파쇄 잔골재의 재활용에 관한 연구 등이 있다. 그리고 그는 1985년 콘크리트 재활용에 관한 State-of-the-Art 보고 논문을 Materials and Structure 지에 게재하였으며, 1990년 Fly-Ash와 재생골재를 이용하여 시멘트 없이 콘크리트를 생산하는 연구를 Cement and Concrete Research誌에 게재하였다. 그는 1992년 RILEM 위원으로서 1945-1989년 사이의 콘크리트 재활용에 관한 세 번째 State-of-the-Art 보고서를 내었다.

그 외에도 덴마크에는 많은 연구자들이 있다. 재활용 재료를 효율적으로 확보 할 수 있는 구조물 해체 (Demolition) 방법에 관한 경험적 연구가 Lauritzen 과 Jannerup에 의하여 수행되었으며 Lauritzen은 이 논문이 발표된 3차 RILEM 심포지엄의 에디터를 맡았다. 동명(성)의 Hansen은 벽돌 파쇄 물을 전체 다 재활용하는 기술을 제시하였다. 그는 진흙 벽돌과 몰탈을 한꺼번에 900°C 이상의

고온으로 가열하여 이를 칼슘 실리카질로 변화시켜 재활용에 사용하는 방법을 발표하였다. 이와 유사하게 진흙 벽돌을 다시 구워서 100% 재활용하는 연구를 Kristensen이 발표하였다. Gottfredsen과 Thogersen는 악조건 하에서의 콘크리트 재활용에 관한 연구에서 Fly Ash가 알칼리 반응 등을 저지시켜 준다고 보고하였다. 덴마크는 폐콘크리트를 1929년에 도로포장, 1959년에 공항에서의 도로포장, 1969년에 자동차용 도로포장에 활용하였으며 최근 그 발생량이 매년 증가하고 있어 다각적으로 폐콘크리트의 재활용을 연구 중에 있다.

한편 유럽의 RILEM(the International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures)은 1976년에 기술 위원회 37-DRC를 구성하고 1977년 영국에서 첫 번째 회의를 개최하였으며 “콘크리트용 골재로써의 재생골재”에 관한 보고서를 1978년 발표하였다. 이 위원회는 1981-1988년 사이 “Demolition and Reuse of Concrete”에 대한 연구를 수행을 하였으며 콘크리트 재활용(및 콘크리트 구조물 파괴)에 관한 제 1차 EDA-RILEM 심포지엄을 유럽 철거 협회(EDA)와 공동으로 1985년 Rotterdam에서 개최하였고, 같은 주제 하에 1988년 11월 제 2차 학술회의를 동경의 일본대학에서 개최하였다. 이들 학회에서는 콘크리트 재활용에 관해서만 40편 이상의 논문이 발표되었다. RILEM 2차 심포지엄에 참가한 주요 유럽의 연구자들은 덴마크의 Busch 등, Hansen 등, Puckman 등, 영국의 Mulheron 등, Trevorrow 등, 벨지움의 Gorle, 불란서의 Bauchard 등 여러 학자들이었다. 한편 이 위원회의는 1992년 폐콘크리트의 재활용에 관한 보고서도 출간하였다.

RILEM은 37-DRC 기술 위원회의 연구 결과를 토대로 국제적인 재활용 지침 및 규정의 필요성을 인식하고 1989년 새로이 기술 위원회 121-DRG를 구성

하여 “Guidelines for Demolition and Reuse of Concrete and Masonry”에 관한 연구를 1989 - 1993년 사이 수행하였다. 또한 이들은 RILEM 제 3차 학술회의를 1993년 10월 덴마크에서 개최하였으며 여기서는 콘크리트 폐기물 재활용에 관해서만 총 34편의 논문이 발표되었다. 그들은 또한 지진 등 재해로부터 구조물의 폐기물이 크게 발생하는 점을 유의하여 이에 관한 연구 보고서를 출간하였다. 따라서 본 절에서는 상기의 3차 RILEM 국제 학술회의와 그 외 각종 국제 저널과 학술발표회의 Proceedings에 발표된 논문을 중심으로 그 연구 동향 및 활용 과정을 지역별 연대별로 고찰하였다.

벨기에에서는 Simons와 Henderieckx가 재활용 재료를 보다 양질로 그리고 많이 확보할 수 있는 구조물 해체 방법을 제시하는 연구를 수행하였다. Vyncke와 Rousseau는 벨기에의 현재의 철거물 재활용 실태와 미래의 발전에 대한 연구를 수행하였다. 또한 De Pauw는 재해 후 파괴된 구조물의 효율적인 철거 방법과 재활용에 대한 연구를 수행하였다.

네덜란드의 Barth는 건설폐기물의 재활용에 따른 경제적, 사회적, 정치적 면에서의 문제점들을 기술하고 있다. 한편 네덜란드의 재활용 규정초안에는 종이, 플라스틱 등 불순물이 중량과 용적으로 1% 미만이어야 한다고 규정하고 있다.

프랑스에서는 Merlet와 Pimienta가 재생콘크리트의 역학적 특성과 물리-화학적 특성을 연구하였는데 그들은 특히 재생콘크리트는 건조 수축이 크며, 물의 이동과 탄산화(Carbonation)의 비율도 크다고 지적하였다. 또한 Morel 등은 스페인의 Mana, 벨기에의 Rousseau와 함께 두나라의 재생골재 사용 지침을 제시하는 연구를 수행하였다. 그들은 재생골재를 얻을 수 있는 폐기물의 선별 방법, 재생골재의 품질을 측정하기 위한 시험방법 등 실용적인 기준을 제시하였다.

그 외 오스트리아의 Sommer는 콘크리트를 포장용 콘크리트로 재활용하는 연구를, 유고의 Pakvor 등도 콘크리트 폐기물의 재활용 연구를 수행하였다.

(4) 북미의 재활용 연구

미 육군 공병단 미시시피 연구소의 Buck는 콘크리트 재활용 가능성에 관한 실험 논문을 1973년 Highway Research Record에 발표하였다. 그는 불순물이 섞이지 않은 폐콘크리트를 골재 크기로 파쇄 하여 콘크리트용 골재로 사용하였으며, 이 재활용된 콘크리트의 성질을 일반 콘크리트와 비교하였다. Buck는 계속된 그의 연구⁷⁾에서 재생콘크리트가 일반 콘크리트보다 같은 물-시멘트 비와 슬럼프에서 낮은 항복 강도와 높은 흡수율을 가지며, 반면에 더 높은 동결 저항성을 보인다는 것을 발표하였다. 그는 이 연구에서 러시아의 Gluzhge의 보고서의 내용을 소개하였는데 그중 중요한 일부를 보면: (1) 재생 잔골재의 사용은 시멘트 사용 비율을 크게 증가시키며, (2) 재생콘크리트의 압축강도는 일반 콘크리트보다 낮고, (3) 파쇄 콘크리트를 포화되지 않을 정도 적셔서 사용하면 시멘트 비율을 줄일 수 있으며, (4) 같은 압축강도에서 재생콘크리트의 휨 강도가 더 높다는 것이었다.

같은 해 MIT의 Frondistou-Yannas 는 폐콘크리트 재활용의 경제성에 관한 연구를 Itoh와 함께 발표하였다. 여기서 그들은 대부분 대도시 지역에서 15마일 이내의 천연 골재 자원은 고갈되어 가고 있으며, 따라서 폐콘크리트의 재활용에 의한 재생골재 생산비는 \$2/ton 임에 비하여 천연골재의 구입 비는 \$3.3/ton 으로 더 높다고 하였다. 또한 그는 굵은골재를 콘크리트 파쇄 석으로 대치한 재생콘크리트의 역학적 성질을 규명한 연구에서 몰탈과 재생골재의 부착력이 일

반 콘크리트보다 55-88% 감소되며, 압축강도는 일반 콘크리트 강도의 76%내지 그 이상 그리고 탄성계수는 일반 콘크리트의 60-100% 정도임을 보여 주었다.

Ray는 국제 공군 페이브먼트 학회에서 포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장의 재활용에 관한 리뷰 논문에서 당시까지 미국에서 수행된 콘크리트 재활용에 관한 각종 사례들을 기술하고 있다. 그중 한가지는 Washington DC에서는 2개소의 재활용 플랜트가 설립되었으며 지하철 공사에서 나오는 폐콘크리트를 장거리 운송하여 폐기하는 것보다 이곳에서 재활용 할 수 있도록 덤프하는 것이 경제적이었다는 사례 등을 기술하고 있다. 미국의 Highway & Heavy Construction 1978년 1월 호는 이 Ray의 논문을 토대로 한 기사를 실고 있다.

D-균열이 많이 나타난 콘크리트 포장을 재활용한 사업이 1980년 Minnesota 주 교통국에 의해서 최초로 시행되었다. 대상은 이 주 남부에 1955년 건설된 US-25 도로 16 마일이었으며 이 도로는 D-균열에 취약한 석회석 골재를 주로 사용하여 건설되어 많은 D-균열이 나타나 있었다. 그들은 이 포장 콘크리트를 파쇄 하여 재생 굵은골재는 새로 건설되는 포장의 굵은골재로, 그리고 #4체 통과 분은 기존 기층의 안정 처리 재료로 사용하였다. 그들은 Fly Ash를 유동화제로 사용하여 수분의 소요량을 줄였다. 이 사업으로부터 그들은 \$725,000 를 절약한 것으로 추정하였다.

미국 연방도로국 (FHWA)의 Forster는 Concrete International Journal에 발표한 그의 논문을 통하여 비록 재생콘크리트가 일반 콘크리트보다 성질상 다소 다르기는 하지만 충분한 실험을 통하여 내구성 있고 강한 콘크리트를 제조할 수 있음을 시사하였다. 미국 콘크리트 포장 협회(ACPA)의 Yrajanson은 그의 NCHRP 보고서에서 콘크리트 포장이 재건설될 때는 언제나 기존 콘크리트의 재

활용을 고려해야 하며 이것이 폐기물 처리에 따른 환경적 문제와 골재 구입 비용을 줄이는 경제적 문제의 해답이 될 수 있다고 하였다. 그는 또한 파쇄 콘크리트를 재생 굵은골재로 사용할 때는 배합이나 워커빌리티에 큰 문제가 없으나 재생 잔골재를 사용할 때는 이것의 비율이 사용될 잔골재의 30%가 넘지 않도록 제한할 것을 제시했다. 따라서 잔골재를 모두 천연 잔골재로 사용하거나 제한된 양의 잔골재를 사용할 경우 재생콘크리트의 강도는 일반 콘크리트의 강도와 유사하다고 하였다.

한편 Florida 대학의 Kibert는 미국에서의 콘크리트/벽돌 재활용 과정을 소개하는 논문에서 미국의 재활용 사업은 아직 어떤 국가적인 규정이 정해져 있지 않은 상태이며 주로 환경 영향 적으로 타당할 때 행하여진다고 하였다. 캐나다의 Emery는 교통학회에서 캐나다 내의 도로 건설 폐기물 재활용에 관한 논문을 통해 캐나다의 콘크리트 폐기물 재활용 실태를 보고하였다.

(5) 미국 FHWA 시범 프로젝트 (DP#47)

미국의 연방도로국은 1980년대 초 중반 미국의 여러 주를 통하여 포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장의 재활용 시범사업 (Demonstration Project Program: DP#47)을 시행하였다. 이 프로젝트는 미국의 Wyoming주 등 10여개 주가 참여하여 1980년대 중반 성공적으로 끝났다. 이에 대한 자세한 내용은 본 연구 책임자 등에 의해 1992년 국내에 상세히 소개되었다.

(6) 아세아에서의 재활용 연구

사우디 아라비아의 Akhtaruzzaman 과 Hasnat는 파쇄 벽돌을 재활용한 콘크

리트에 관한 연구에서 구운 벽돌(국내의 붉은 벽돌과 유사)을 파쇄 하여 얻은 최대치수 19mm의 굵은골재를 콘크리트 제조에 사용하였다. 이 콘크리트는 탄성계수가 30% 정도 일반 콘크리트보다 낮은 반면 인장강도는 11% 높았고 중량이 보통 콘크리트와 경량 콘크리트의 중간 정도였다. 또한 사우디 아라비아의 Rasheeduzzafar와 Khan은 새로운 골재의 자원으로써의 콘크리트 재활용에 관한 연구에서 W/C 비율의 변화에 따른 재생콘크리트의 압축강도를 일반 콘크리트와 비교하였다.

싱가폴의 Sri Ravindrarajah는 몇몇 연구자들과 이 분야에서 여러 편의 연구 논문을 발표하였다. 그는 파쇄 콘크리트를 굵은골재로 사용한 재생콘크리트의 성질에 관한 연구에서 강도와 탄성계수 외에 충격 저항, 마모시험 등을 수행하였다. Ong과의 재생콘크리트의 역학적 성질과 파괴 에너지에 관한 연구에서 재생콘크리트의 낮은 강도와 강성은 재생골재의 부착에 기인한 파괴 에너지의 감소 때문으로 추정하였다. Tam과의 폐콘크리트를 재생 잔골재로 이용하는 연구에서 재생 잔골재의 사용은 콘크리트의 여러 가지 성질 저하를 유발하나 PFA를 사용하여 완화시킬 수 있음을 시사하였다. 그리고 현장에서 재생콘크리트의 강도를 평가하는 연구에서 재생골재의 강도 측정을 위하여 초음파 박동 속도와 반향수를 이용한 결과를 발표하였다.

한편 인도의 Bairagi 등은 재생콘크리트의 배합설계에 관한 연구에서 재생골재를 사용함에 따른 영향 요인들을 찾아 그 실험적 관계를 분석하고 그에 따른 배합 설계법을 개발하였다. 이 방법에 의하면 기존의 방법보다 약 10%정도 시멘트가 더 요구되는 것으로 나타났다.

다. 결 언

현재 건설 폐기물의 재활용은 초보 단계이므로 정부 차원에서 중간 처리 시설을 지원, 육성하여 재활용품 생산 및 폐기물의 처리 체계를 확립하여야 한다. 그리고 재활용품 화한 지정 부산물을 공공 공사에 시범적으로 적용하므로 각 건설 현장에서 재활용품을 사용할 수 있는 분위기를 조성하는 한편 선진국과 같이 관 주도로 건설 폐기물에 대한 종합적인 연구 개발, 제도 정비 등을 추진하는 대책이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이제 우리 나라도 Green Round (GR) 라고 하는 환경 보전을 위한 국제 협약이 ISO 14000 국제 규격으로 되므로, 제조업은 물론 건설 공사에도 적용될 것이며 건설 공사의 전 공정과 공사 완료에 이르기까지 건설 폐기물 발생을 감소시키고 환경오염을 최소화하는 공사를 수행하여야 할 것이다.

이를 위해서는 건설 폐기물에 대한 재활용·적정처리 연구, 적정 기술개발, 관계 제도 정비가 필수적이다. 그리고, 우선 건설 폐기물에 대한 발생량 및 성상에 대한 기초 조사를 철저히 하여 이 자료를 이용, 건설 공사 발주 처에 대한 재활용 의무 규정을 두어야 한다. 또한, 건설 폐기물의 적정 처리를 유도하기 위해 재활용품의 생산처, 생산량, 수요처 및 수요량에 대한 정보를 데이터 베이스화하여 생산자와 수요자를 연계, 재활용품 이용을 촉진시켜야 한다.

그리고 재활용품 화한 지정 부산물을 해당 공공 공사에 시범적으로 적용 시행하므로 각 건설 현장에서 재활용품을 안심하고 사용할 수 있는 분위기를 조성하는 한편 선진국과 같이 관 주도로 산·학·연 연구 추진을 위해 가칭 “건설 폐기물 대책 연구회”를 조직, 건설 폐기물에 대한 종합적인 연구, 기술개발, 관계 제도 정비 등을 추진하는 대책이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

여 백

제 2 장 농어촌 도로 포장 실태 및 폐콘크리트 처분 실태

여 백

제2장 농어촌 도로 포장 실태 및 페콘크리트 처분 실태

제1절 농어촌 도로의 성격과 기능

1. 농촌 도로의 정의

농촌 도로는 농촌 지역 내에 존재하는 시군 도 이하의 도로로서 크게 기반 도로 및 경지내 농도 등으로 볼 수 있다. 기반 도로는 군도 이상의 기간 도로와 연계된 「부락 간도로」 및 「연결 도로」로서 농어촌 지역의 정주 생활권 형성을 위한 농업 생산, 농수산물 유통 등의 농업적 이용과 농어촌의 일상생활에 활용되는 농어촌 지역의 기간 도로를 말한다. 부락간 도로는 지역 중심지와 배후 농촌 지역을 연결하여 지역개발을 유도하며 지역민의 정주 환경 개선과 농수산물 유통 체계를 확립하도록 기간 도로와 부락, 부락과 부락을 연결하여 지역민의 산업 활동 및 일상생활에 이용되는 도로를 말한다.

경지내의 경작, 영농 자재의 반입, 경지로부터 농산물 반출 등의 농업 생산 활동 등에 주로 이용되는 농촌 도로로서 경지내 농도라 하며 경지내 농도에는 간선 농도, 지선 농도, 경작 도가 있다.

간선 농도는 주산 단지로부터 농산물 반출 등의 농업 생산 활동에 주로 이용되며 주산 단지에서 기간 도로 또는 기반 도로와 가공 유통 시설 등을 연결하여 이용되는 도로를 말한다. 지선 농도는 기반 도로 및 간선 농도에서 분기하여 경지구역내를 연결하는 도로로서 농기계의 통행, 비료, 농약 등의 영농 자재 반입, 수확물 운반 등에 이용되는 도로를 말한다. 경작 도는 수확 및 방제, 농기

계 진입 등에 이용하도록 농구의 경계부 또는 경지 내에 설치되는 도로를 말한다.

2. 농촌 도로의 성격과 기능

가. 성격

농어촌 도로는 농촌 주민의 생활을 위한 기반으로써 현대적으로 지역 발전을 도모하기 위한 중요한 사회의 간접 자본의 하나이며 농촌의 자연적, 경제적 제약을 해소하며 농업 경영을 근대화하고 농업 생산력을 증진시켜 농촌의 생활 및 복리 수준을 향상시키기 위한 기반 시설이다.

나. 기능

농촌 도로는 농어촌의 자연적, 사회적 제약을 해소하여 농업 경영의 현대화, 기계화로 생산성 제고 및 소득 증진은 물론 농어촌 지역의 정주 생활 환경 및 복지 수준을 향상시켜 주는 사회 간접 자본으로서의 성격을 갖는다. 농촌 도로는 지역 농업 및 농외소득 기반을 조성하여 농어촌 소득 증대를 기하고 생활 환경 개선 및 농수산물 유통 구조 개선을 목적으로 농어촌 지역에 건설되는 농어촌 소득원 도로로서 다음의 기능을 갖는다.

- ① 농지의 유동화, 집단화, 범용 화와 영농 노력의 절감으로 광역 농업권 형성
과 농업·노동생산성 향상을 도모하고 농수산물 운송 거리 단축 및 유통 비용의 절감으로 농수산물의 유통 구조를 개선하여 농업 생산의 현대화를 도모한다.

- ② 공산품 원료 및 제품 운송의 원활화와 취업권 확대로 농촌 공업의 활성화를 도모한다.
- ③ 지역 민의 생활권 확대와 교통 편의 등 농어촌의 정주 생활 환경 개선을 도모한다.

3. 농어촌 도로의 종류

농어촌 도로는 농어민이 주로 사용하는 도로로서 법령의 개념 밖의 농도를 칭하는 것으로 농촌 도로도 그 이용도, 목적, 행정구역 또는 도로법 기타 여러 가지 측면에서 분류할 수 있으나 농어촌 도로의 기능 위주로 다음과 같이 분류될 수 있다.

가. 기능 위주의 분류

(1) 기간 농도

- 구조 : 폭 6.5m 이상, 포장폭 5.5m 이상
- 정의 : 농어촌 지역의 경제권 형성과 농촌의 사회 활동에도 이용되는 농어촌 지역의 기간적 도로
- 기능 : 농산물을 시장 등에 출하하기 위한 기존 국도 또는 지방도와 연결 구간, 수개부락 내지 농어촌 중심지에 이르는 농업지역 내를 연결하는 구간의 도로 역할을 한다. 또한, 조성하는 농공지구와 기존 도로와의 연결 구간 및 가공 출하 시설 등의 일관된 농업 시설을 중심으로 농업 생산 활동 및 유통 등의 일관된 작업이 이루어질 수 있도록 농업 시설 설치 구간과 취

락간을 효율적으로 연결하고 기존 국도 및 지방도 상호간을 연결하는 구간으로서의 기능을 가진다.

(2) 간선 농도

- 구조 : 폭 5.0m 포장폭 4.0m 내외
- 정의 : 생산 단지로부터 농산물 반출 등의 농업 생산 활동에 주로 이용되며 주산 단지에서 기존 도로, 기간 농도와 가공 유통 시설 등을 연결하여 이용되는 간선 도로, 기간 농도와 가공 유통 시설 등을 연결하여 이용되는 간선 도로이다.
- 기능 : 채소, 과실 등 생산 단지에서 기존 도로 기간 농도까지의 구간, 생산 단지에서 가공 집하시설 등 농업 시설까지의 구간의 기능을 담당한다.

(3) 지선 농도

- 구조 : 폭 4.0m 내외의 비포장
- 정의 : 간선 농도 또는 기간 농도로부터 분기하여 경지구역내를 연결하는 도로로서 경지 작업 목적의 농기계 왕래, 비료 및 농약 등의 영농 자재의 반입, 수확물이 농지로부터 반출에 이용되는 도로이다.
- 기능 : 경지 구역에서 경지 구역을 연결하는 구간 도로 역할 및 경지 구역에서 마을까지의 구간, 경지 구역에서 간선 농도 및 간선 농도까지의 구간, 경지에서 농업 기계가 용이하게 반입될 수

있는 진입로 등의 기능을 한다.

나. 포장 상태에 따른 분류

(1) 비포장도로

노반이 양질의 토사 또는 사질토로써 구축되고 노면은 일반적으로 자갈을 고르게 부설하여 노면 배수가 잘되고 자동차 통행에 견딜 수 있도록 Grader로 Milling 하면서 견고한 노면을 만들어 주어야 한다.

(2) 방진 표면 처리 도로

광재(Slag)나 유재가 발생하는 부근 도로의 노면에 주로 먼지가 나지 않도록 살포하면서 필요시에는 Grader로 Road mix하여 노면을 견고하게 이루어지도록 한다.

(3) 포장도로

농촌 지역의 포장도로에는 일반적으로 아스팔트·콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장 두 가지로 분류되고 이들의 장단점 비교 요약은 아래 표 2-1과 같으며 공법을 선정할 때 여러 가지 사항을 신중히 검토하고 결정하여야 한다.

표 2-1. 시멘트 콘크리트 포장과 아스팔트 콘크리트 포장 비교 요약

구 분	시멘트 콘크리트 포장	아스팔트 콘크리트 포장
시 공 성	콘크리트의 품질관리, 양생, 평탄성 줄눈 시공 등에 숙련 필요, 수작업 가능	장비가 꼭 필요함
경 제 성	아스팔트 포장보다 약간 저렴	시멘트 포장보다 다소 고가
차량 하중 및 내구성	중차량에 대한 적응성 양호 포장 수명 : 20~40년	대형 차량 및 과적 차량에 대한 급속도 설계 공용 기간을 단축시켜 포장 수명 단축. 5~10년에 한 번 오버레이 실시
장 비	보수 장비 소수 신 장비의 도입 필요	국내 보유 장비 풍부
유 지 보 수	유지 관리비 저렴 국부적인 파괴에 대한 보수 어려움	5~10년에 오버레이 실시 유지 관리비 고가 국부적 파괴에 대한 보수 용이 짚은 유지 보수로 필요
포장의 표면 처리	그루빙(Grooving)공법 좀더 연구 개발되어야 할 부분	골재 배급 비율, 칩핑 공법으로 비교적 쉽게 대책 수립
소 음	그루빙으로 인한 소음 증가	시멘트 콘크리트보다 적음
토 질 의 영 향	불균질의 토질에 불리함 균질성이 요구됨	지반처리가 좋으면 적응성이 좋다.
양 생 기 간	양생 기간이 길다.	즉시(하루) 교통을 통과시킬 수 있다.
승 차 감	강성이므로 아스팔트 콘크리트 포장보다 약간 뒤떨어진다.	승차감이 좋다
기 술 개 발	뒤떨어져 있는 시멘트 콘크리트 포장의 기술을 향상시킬 수 있다.	
시멘트 아스팔트의 공급	국내 생산으로 안정 공급 충분	현재는 공급이 충분하나 국제 원유 정세의 불안시 가격변동 예측이 불안정

4. 농어촌 도로 포장 사업의 체계

일반 도로의 포장 목적은 노면을 평탄하게 하여 자동차의 주행성을 좋게 하는데 있지만 농어촌 도로의 포장은 단순히 주행성의 개선뿐 아니라 노면의 불규칙으로 인한 여러 가지 문제점을 개선하기 위하여 필요하다. 즉, 농산물의 집출하, 과수, 수박, 참외 등 농산물의 손상 방지를 도모하고 상품의 가치를 제고 시킴과 동시에 먼지의 비산에 의한 도로변의 농산물과 과수 등의 생육 저하 등에 따른 피해를 경감시킨다. 또한 유지 관리비의 경감은 물론 농어촌 주민의 생활 개선을 위하여 농어촌 도로의 포장 건설이 필요하다.

이제까지의 농어촌 도로 포장 실적은 매우 빈약하다. 하지만 농어촌의 균형 개발과 생산물 유통 혹은 생활용으로 제공되는 도로이며, 상호 부락간, 부락에서 농어업시설 또는 시장 등의 공공 시설과의 연결을 담당하는 모세혈관과 같은 중요 역할을 하면서도 아직 비법정 도로이다.

농어촌 도로 포장 사업은 농림수산부가 농어촌의 소득 원을 증대키 위해 도지사로 하여금 대상 노선을 선정(군수 시행) 토록하여 이를 농어촌 진흥 공사가 현지 확인 조정한 후 농림수산부가 최종 기본 계획을 확정(도지사가 조정 가능)하면 군수는 합리적 공정 계획을 감안한 사업 시행 계획을 수립하여 도지사에게 제출 승인을 받아 매년 2월말까지 도지사가 각군의 사업·시행계획을 최종 확정 후 농림수산부장관에게 보고한다.

물론 사업 대상 노선을 결정할 때는 기본 조사 결과를 활용하고, 농어촌 소득원 도로 건설 사업 실무 자료(농림수산부 '87년 12월 제정)를 참고하여 결정되고, 설계 및 공사 감독은 농어촌 진흥 공사가 전담 시행하고 공사 발주 및 준공 후 도로 유지 관리는 군수가 시행하고 있다. 비법정 도로이므로 아직 사업

추진 절차가 대단히 복잡하다.

1985년부터 착수하여 1989년까지 약 1,100km의 농어촌 도로를 건설하였고, 1990년도에는 440km에 525억원을 투입하였으며 농림수산부는 1995년 약 1,300Km의 공사를 계획하고 있다. 앞으로 농어촌 도로 사업의 전망은 농어촌 주민들에게 대환영을 받고 있으므로 연간 많은 량을 계속 추진하여야 할 것으로 본다.

제2절 농어촌 도로 포장 실태

국토의 균형 개발 차원에서 활발히 추진되고 있는 각종 도로의 개설 및 擴·鋪裝 사업은 많은 소도로의 鋪裝을 진행하고 있다. 이는 농어민들의 차량 소유와 영농 장비의 현대화로 농어촌 지역내 도로의 포장이 절실한 실정에서 바람직한 일이다. 사회적으로 도로의 개설은 엄청난 효과가 있으며 도로가 제기능을 다하기 위해서는 鋪裝이 필수적이다. 군사 도로 등이 있었으나 그것이 非鋪裝임으로 인하여 奧地로 남아 있던 많은 지역이 포장과 함께 일약 발전되는 경우를 보면서 우리는 鋪裝이 사회적으로 미치는 중요한 영향력을 알게 된다.

그러므로 각 마을의 도로는 물론 農路 및 경작도 등도 모두 포장이 되어야 하나 농업 산업의 斜陽과 생산 연령 인구의 도시 이동으로 인한 사회적 무관심은 농촌을 점점 황폐하게 만들어 가고 있다. 이의 해결책의 하나가 농촌을 도시 배후 지역으로 개발하는 것이다. 하지만 이를 위해서라도 자동차가 들어갈 수 있는 소도로까지는 포장을 요하고 있으나 정부의 손길은 아직 요원한 상태로 보여진다. 예를 들어 작년 (1994) 말 강원 도내 소도로 포장 율은 13.1%로 나타났고 특히 농도의 포장율은 극히 낮아 개선이 시급한 상태임을 알 수 있다

표 2-2. 강원 지역의 농어촌 소도로 포장 실태

구분	총연장 (Km)	연도별 포장				'95 이후 비포장
		'94 말(Km)	%	'95계획(Km)	누계 %	
계	4,792.6	628.6	13.1%	114.0	15.5	4,050
면도	1,045	195.6	18.7	59.8	24.4	789.6
리도	3,107.5	404.3	13.0	51.4	14.7	2,651.8
농도	640.1	28.7	4.5	2.8	4.9	608.6



그림 2-1. 대표적인 국내 농촌의 비포장 도로(강원도 춘천시 신동면 의암리)

농촌의 비포장 도로는 사계절이 뚜렷하고 장마철 강수량이 큰 우리나라에서는 매우 큰 문제거리로 대두되어 왔다. 즉, 장마 직후는 파손과 세굴 등으로

그림 1에서와 같이 노면에 차량이 거의 소통키 어려운 심각한 상태가 되며, 이른봄 해빙기는 질어서 걸어다니기도 힘든 상태가 되기를 몇 千年 반복하여 왔다. 이는 산악 지역의 각종 소도로까지 거의 100% 포장된 선진국들에 비하여 아직 우리 농촌이 매우 낙후된 실정임을 나타내는 것이며 이의 시급한 해결을 위해서는 보다 경제적인 재료에 의한 포장 공법의 개발이 필요한 실정이다.



그림 2-2. 선진국의 한 농촌 소도로 (미국 캘리포니아 뤼치몬드의 한 오솔길)

제3절 폐콘크리트 처분 실태

1. 건설 폐기물의 종류 및 발생 실태

가. 건설 폐기물의 종류

건설 공사 현장에서 발생하는 폐기물은 건축·토목공사 및 건설 구조물 해체 공사에서 배출되는 폐기물이며, 이것에는 토사, 폐콘크리트, 폐아스콘, 옌, 나무, 종이, 금속, 폐플라스틱류, 폐유리, 폐도자기류 등이 포함된다. 우리나라는 법규상으로 건설 폐기물의 종류가 상세히 분류되지 않았으나 폐기물 관리법에 의하면 건설 폐기물은 일반 폐기물에 속하며, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률에 따라 재활용 대상 건설 폐기물은 지정 부산물로서 토사, 폐콘크리트, 폐아스팔트 콘크리트 등 3가지가 있고, 또한 건설 공사 현장에는 우리나라에서 특정 폐기물로 분류되고 있는 페페인트, 폐유, 석면 등이 공사 현장 특성에 따라 발생하는 곳도 있다.

나. 건설 폐기물의 발생 현황

현재 국내 건설 폐기물 발생량은 정확한 자료가 없지만 공사 현장에서 발생한 건설 폐기물은 발생 현장 또는 인근 공사장에서 재활용되었으며, 그 외는 대부분 불법 처리되었으며, 또한 1993년 5월 난지도에 폐기물 매립 중단시 까지 매립된 폐기물중 50%이상이 건설 폐기물에 해당하며 그중 상당량이 재활용 가능한 토사, 폐콘크리트, 폐아스팔트 콘크리트라 추정된다.

최근의 환경처 자료중 다량 배출자 신고 내용을 토대로 분석한 결과 '93년도 전국에서 발생한 건축 폐기물량은 3,867톤/일로 이중 58%인 2,262톤이 수도

권 지역에서 발생되고 있는 것으로 집계되었다.

건설 공사 현장에서 발생하는 폐기물의 발생 특성은 ① 다량 발생이 많고 그 대부분이 무해하며, ② 그 대부분이 자재로 재활용이 가능하고, ③ 분별에 의해서 자원화·재활용이 가능하다. 또한 건설 폐기물은 복수의 종류가 혼합된 형태로 배출되는 경우가 대부분인데 현재 국내의 경우 관계자의 의식 문제와 재래식 분류 방법으로 인한 경제성 문제 등으로 재활용이 곤란하다.

최근에 이러한 건설 쓰레기의 처분은 환경 관리 측면에서 큰 관심의 대상이 되고 있다. 이는 그간 국내 폐기물 관리법에서 폐콘크리트가 단순 건설 쓰레기로 취급되어 많은 문제를 일으켰기 때문이다. 그러나 건교부 및 환경부 통합 고시 '94.1.(건설폐재 배출 업자의 재활용 준수 지침)의 발효로 재활용에 대한 관심이 높아지고 있고, 나아가 곧 이 재활용 규정은 의무 조항으로 바뀌게 된다. 따라서 각 건설 회사 및 정부는 산하 연구 기관을 통하여 재활용의 실용화를 위한 많은 연구·노력을 기울이고 있다.

외국에서는 폐콘크리트의 재활용은 환경 문제의 해결 뿐 아니라 경제적으로도 이득이 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 국내의 경우 아직 폐콘크리트의 수거, 분리 및 재생골재 생산 체계의 미정립, 장비의 실용화 부족 등 때문에 확실한 경제성 분석은 어렵다. 그러나 기존 구조물을 철거, 운반, 파쇄, 처분하는 비용과 함께 천연골재를 구입하는 등 2중 비용이 소요되는 상황으로 보아 재생골재의 사용은 충분한 경제성이 있을 것임을 알 수 있다.

다. 폐콘크리트의 재활용 현황

국내 건설 폐기물의 자원화는 일반 폐기물이나 특정 산업 폐기물과 비교하

여 아직까지는 사회적인 관심이 부족하며 따라서 분류, 선별, 재처리 등 재활용 기술의 개발·보급이 지연되고 있으며, 폐기물 처리 체계가 미흡한 상태이다. 따라서 지금까지 건설 공사에서 발생하는 콘크리트 폐기물의 처리는 주로 매립에 의존하여 왔다. 하지만 날로 심각해져가는 처리장의 부족과 각종 규제 강화 및 새로운 쓰레기 처리장 건설의 어려움 등으로 그 처리는 날로 어려워지고 있다.

최근 우리 나라에서는 대략 1,000만 톤에 가까운 건설 폐기물이 매년 발생되는 것으로 추정되고 있다. 한편 유럽 공동체 (EC)에서 매년 철거되는 폐콘크리트의량은 약 5,000만 톤으로 추산되고 있으며 미국에서의 그 물량은 약 6,000만 톤으로 추산되고 일본도 약 2,000만톤 이상으로 알려지고 있다. 하지만, 아직 전세계적으로 볼 때 그중 매우 소량만이 재활용되고 있으며 그것도 콘크리트 구조용 고급 골재로 재활용되기보다는 대부분 매립용 막석 대용이나 도로의 기층 또는 보조 기층 등 저급 재료로 사용될 뿐 나머지는 그냥 사토장에 버려진다. 특히 국내는 아직 재활용 기술 수준이 낮아 더 어려운 상태인데 국내외 재활용 기술 수준을 비교해 보면 표2-3과 같다.

현재까지 알려진 재활용의 예는 (주)건영의 동부이촌동 재건축아파트 현장에서 1994. 6.경에 폐콘크리트를 파쇄 하여 성토재와 뒷채움재 등으로 사용하였으며, 코오롱건설은 남산 외인 아파트를 폭파 파괴한 폐콘크리트를 재생골재로 생산하였다. 동아 건설 산업(주)은 1994. 5. 초에 폐콘크리트 및 폐아스팔트 콘크리트용 파쇄 장비를 순수한 국내 기술로 제작한 이래 1994. 8.에 창동아파트 현장에서 폐콘크리트 재생 자재의 대부분을 성토용, 건물의 뒷채움용, 가설도로용 등으로 자체 현장에서 재활용하였다.

표 2-3. 콘크리트 폐기물 재활용 기술 비교

기술 수준		해결되어야 할 현안
선진 외국	국내	
<ul style="list-style-type: none"> * 도로의 하부구조 재료로 완전 재활용 * 도로포장 콘크리트로 완전 재활용(고속도로포함) * 기타 구조 재료로의 재활용 연구 중 (RC 재료 등) * 건축구조물에도 적용 시범 사례 발표 * 재활용품 보도 블록, 경계석, 하수관 생산 판매, * 시멘트 없이 플라이애쉬만으로 재생콘크리트 제조, * 재활용을 당연한 것으로 간주 * 파쇄 장비 시판 중 * 관련 규정 완비 	<ul style="list-style-type: none"> * 재생골재생산에 관한 인식부각 * 도로 하부구조 재료로의 재활용 검토 중 * 다시 콘크리트로는 재활용 불가 인식 * 재활용 의무 대상자증 발주자가 제외됨 * 건설 폐기물의 발생량과 성장에 대한 조사 미비 * 재활용 기술 및 장비 부족, 파쇄장비 제조 기술 및 완제품 수입 판매 (삼천리 기계 등) * 관련 규정 미비 * 건설폐재를 선별 배출하지 않아 근본적 어려움 상존 * 건설 폐기물의 발생 및 재활용품 수요처에 대한 정보 부족 	<ul style="list-style-type: none"> * 재활용 법적 체계 확립 * 적용이 용이하고 실용성이 큰 곳부터 실용화 추진 필요 * 경제성 문제 분석 * 재활용의 필요성 및 폐기물 심각성 부각으로 사회적 여건 마련 * 재활용 제품(공사)의 품질에 관한 사회적 기피 (불신) 해소 * 건설폐재 선별 배출 * 시범 사업을 통한 우수 재활용 사례 인센티브 필요

그 외 중간처리업 현황은 표 2-4와 같으며 이들의 상당수는 건설폐재를 분리하여 재생골재를 생산하고 있다. 그러나 폐콘크리트를 재생골재로 생산했을 때 수요 처가 확보되지 않을 경우에는 야적장 소의 확보가 어렵고 사회적인 무관심으로 인해 재활용 처리에 어려움이 가중되고 있는 실정이다.

현재 국내의 폐기물 발생량 증가 및 매립지 부족은 국가적 차원에서 폐기물 발생 억제 노력을 불러오고 있다. 즉, 지역마다 재활용품 수거 및 소각장 설치 등 폐기물 감량, 감용 화에 노력하고 있으며 이에 따라 1995년 1월부터 일반 생활 폐기물의 종량제가 실시되었다.

표 2-4 전국의 건설 폐기물 중간 처리 업체 현황

구 분	소재지		처리 시설 현황		'94 처리 현황 (톤/년)	
	업체명	주 소	전화번호	승인일		관리 인원
검단산업		인천광역시서구 오류동 410-29	0341-85-1658	95.7	-	
산환산업		인천광역시 남동구고잔동 512-1	032-467-8231	95.7	-	
재생산업		경기도 남양주시 진건 송농 55	0346-554-5531	94.9	28	48,000
경기환경		경기도 양주군 운현 봉암 20	0351-865-1744	95.1	-	-
협동산업		경기도 화성군 미도변 상송 1리 141	0339-3561588	94.5	15	110,000
남양산업		경기도 화성군 마도 슬항 220	0339-356-3590	94.11	15	2,500
오성개발		경기도 화성군 태안 안녕 188	0351-222-1071	94.11	3	7,200
샤프산업		경기도 화성군 서신 전곡 산 1	0351-57-4866	94.11	5	6,900
경신산업		경기도 연천군 청신 처상 301	0355-32-7100	94.9	15	77,000
대정환경		경기도 음인교 이동 서리 149	0336-33-7602	93.5	-	-
정일산업		경기도 용인군 남서 북리 3	0335-34-8888	94.4		-
북부산업		경기도 포천군 소흘 이농 92	0357-535-8010	95.2	1	-
대일환경		경기도 이천군 이천 장전 470	0336-32-8888	95.2	-	-
포천개발		경기도 포천군 신북면 만세교리116	0357-535-3718	95.6		-
광명산업		경기도 양주군 화천읍 고암리 445	0351-867-9316	95.4		-
한밭개발		대전 광역시 서구 갈마동 274-7	042-93-5322	-	20	-
녹색산업		강원도 춘천시 동산면 조양리 971	0361-56-4805	95.4	-	-
덕호산업		강원도 춘천시 남산면 수동리 236	0361-262-7781	95.4	-	-
금강개발		경남 김해시 삼계동 산 120	0525-35-8643	95.1	20	-

그러나 아파트 재건축과 재개발 지역의 증가로 건축 폐기물이 다량 발생되고, 김포매립지의 이용에 따른 운반비용의 상승으로 불법 투기가 증가하여 이에 대한 대책이 시급하다. 또한 건설 폐기물을 재활용하기 위한 처리 기술 및 시설, 수요처 확보, 경제성, 발생 현황, 공사 기획, 정보 및 사회적 인식의 미비 등 건설 폐기물 전반적인 문제에 대하여 정부, 기업체, 연구 기관 등의 유기적인 협조 체제를 갖춰야 하며 이에 대한 체계적인 연구와 적정 처리 체계 수립이 시급한 과제로 대두되고 있다.

2. 국내 건설 폐기물의 재활용 기준

가. 국내법상의 건설 폐기물 재활용 기준

환경부와 건설부는 94년 1월 7일에 [자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률]에 의거하여, 건설폐기물중 지정 부산물을 일정량 이상 배출하는 사업자는 '건설폐자재 재활용 지침'을 준수하도록 고시하였다.

고시된 내용중 시행령 11조에 규정한 지정 부산물 배출 사업자에 관한 기본 방침은 연간 시공 금액이 250억원 이상인 건설업자는 건설 현장에서 배출되는 지정 부산물로서 토사, 콘크리트 덩이, 아스팔트 콘크리트 덩이 등의 건설폐자재를 재활용하도록 하고 있다.

정부가 계획하고 있는 건설 폐기물 재활용 대상은 1,000m³이상 또는 1,600톤 이상의 토사, 500m³이상 또는 1,000톤 이상의 콘크리트 덩이, 200m³이상 또는 400톤 이상의 아스팔트 콘크리트, 기타 혼합 건설 쓰레기의 부피 1600m³이상 또는 1600톤 이상을 배출하는 공사장이 대상이다. 또한 동법 시행령에서 지정 부산물 배출 사업자는 재활용 방안을 준수, 기술개발 노력 수행, 재활용 계획 작

성 및 실적을 기록·유지하도록 고시하고 있다

표 2-5. 건설 폐기물 재활용 목표율

대상(발생량기준)	1,000(m ³) 또는 1,600(t)이상	500(m ³) 또는 1,000(t)이상	200(m ³) 또는 400(t)이상
	토 사 (%)	폐콘크리트 (%)	폐아스팔트 (%)
1995년 12월 31일까지	30	25	10
1996년 1월 1일부터 1998년 12월 31일까지	45	35	25
1998년 1월 1일부터	60	50	35

나. 건설 폐기물의 재활용·적정처리 문제점과 현안 과제

현재와 같이 건설 폐기물의 매립시 폐콘크리트나 폐아스팔트 콘크리트는 생활 환경의 2차 오염을 비롯 많은 문제점이 발생할 것으로 생각된다. 그 이유는 첫째, 사전에 적정 처리를 하지 않고 매립할 경우에는 공극률이 커서 쓰레기 층으로의 우수침투량 증가로 인한 침출수 발생 량의 증가 둘째, 유용한 자원의 비활용 셋째, 매립에 따른 복토재 수요 증가로 인한 삼림 파괴 및 운반 차량의 교통량을 유발 넷째, 건설 폐기물의 큰 용적으로 인한 매립지 토지 활용 문제점 발생 등을 들 수 있다

부족한 매립 장과 자원 부족에 시달리는 우리 나라는 재활용을 통한 감량화와 폐기물 발생을 억제하는 건설 공정의 도입이 건설 폐기물에 대한 가장 이상적인 대책이라고 생각되며 이것은 또한 그린 라운드가 국제 무역에 미치는

영향을 고려할 때 매우 시급한 문제라고 생각된다.

그러나 이러한 건설 폐기물에 대한 재활용·적정처리 대책을 수립하려면 우선 건설 폐기물 발생 현황의 정확한 조사가 선행되어야 하지만 현재 이에 대한 자료가 미비하며, 재활용에 대한 사회적 인식과 관련 제도 및 연구 등이 아직 체계적으로 이루어지지 않아 시행에 어려움이 많다. 따라서 현 시점에는 각종 건설 공사에서 발생하는 건설 폐기물에 대한 특성 및 제반 문제를 분석·파악하여 현안 과제로 제시하여야 할 필요가 있으며 그 내용은 앞의 표 2-3의 해결되어야 할 현안과 같다.

다. 건설폐기물중 재활용 대상 물질의 처리 방안

(1) 폐콘크리트 재활용

건설 폐기물의 지정부산물중 재활용 재료로서 가장 활용도가 높은 것 중의 하나가 폐콘크리트 덩이 이다. 폐콘크리트 덩이는 중간 처리에 의해 여러 가지 용도로 사용될 수 있는데 그 내용은 표2-6과 같다.

선진 외국은 일찍이 폐콘크리트의 처리를 단순한 성토재, 노반재, 보조기층재 등에 재활용하였고, 최근에는 미국, 독일, 일본을 중심으로 콘크리트 덩이를 파쇄 기로 파쇄한 후 굵기에 따라 분리 수거한 粗골재, 細골재, 미분 등을 다시 콘크리트 구조물에 사용하고 있다.

폐콘크리트의 파쇄는 단기간의 대규모 해체 공사의 경우 건설 현장에 이동식 파쇄 기를 반입하여 파쇄하며 중·소규모의 해체 현장에서는 대도시 근교에 위치한 중간 처리 시설로 운반하여 파쇄 하는 방법이 보통이다. 해체시 미리 선별하여 파쇄될 물질만 투입하는 방법이 재활용에 손쉬운 방법이며 해체 방법

은 브레이커를 이용하여 500mm정도의 크기로 거칠게 파쇄한 후 충격식 크러셔로 다시 소요 치수로 파쇄 한다.

표 2-6. 폐콘크리트 재활용 가능한 용도 제시

형상	용도	활용방안
부재· 덩어리	어초 바닥깔기돌	건물의 보, 기둥 부분을 절단하여 어초로 재 이용하고 얇은 부분은 가공하여 바닥깔기돌로 이용
1차파 쇄상태	어초 바닥다짐재 도로용 재료	건설 현장에서 1차 파쇄된 콘크리트를 30-50mm 정도로 2차파쇄하여 바닥 다짐 재료, 매립재, 혼합재, 노반 재료 이용하거나 불량토와 혼합교반 이용
재생 조골재	콘크리트용골재	폐콘크리트를 파쇄 하여 생산된 재생 조골재를 콘크리트 제조용 4.75mm이상의 粗골재로 재이용
재생 세골재	차단층용골재	폐콘크리트를 파쇄한 재생 세골재를 도로용 혹은 성토용 細골재로 재이용
미분말	지반 개량	지반 심층 혼합 처리에 이용

여 백

제 3 장 재생 콘크리트의 기초적 성질

여 백

제 3장 재생 콘크리트의 기초적 성질

제1절 기존 연구 결과의 요약

지금까지 선진국에서의 연구 결과 및 본 연구책임자의 기존 연구결과에 의하면 재생 굵은골재는 천연 굵은골재에 비하여 비중이 낮은 2.3~2.5 정도이며 따라서 흡수율도 높은 4~5% 이고, 마모율도 높아 40% 내외를 보였다. 하지만 재생 굵은골재는 비교적 유기불순물의 함량이 낮고 그것의 분리가 가능해서 도로의 기층 및 보조기층은 물론 콘크리트용 조골재로 이용이 가능하다.

반면에 재생 잔골재는 유기불순물의 함량이 많고 미분의 함량이 높아 흡수율이 매우 크며(10% 내외) 이를 콘크리트용 잔골재로 사용할 때 물-시멘트비 조절, Workability 조절에 어려움이 크고 수축 팽창이 매우 커져 균열 발생의 원인이 되었다. 따라서 일부 연구에서는 이를 소량만 사용할 것을 제시 하였고 다수는 아예 잔골재를 모두 천연 잔골재로 사용 할 것을 제시하였다. 따라서 재생 잔골재는 콘크리트용 잔골재 보다는 복토재 및 차단층용의 재료 등으로 사용하는 것이 바람직한 재활용 방법이다.

재생굵은골재를 사용한 재생콘크리트의 경우 무혼화제시 압축강도가 같은 배합의 일반 콘크리트보다 낮아 80% 전후의 수준으로 나타났다. 또한 탄성계수도 낮아 하중재하에 따른 변형율이 상대적으로 크며 파괴인성도 낮게 나타났다. 이는 재생골재의 오래된 몰탈 부분과 새로운 몰탈과의 접착이 불량해 파괴시 균열 진전이 이 접착면을 따라 쉽게 진행하는데 기인하는 것으로 분석되었다.

그러나 재생콘크리트는 반복 동결-융해 처리후 측정된 압축강도의 저하비율이 일반 콘크리트의 저하비율보다 낮게 나타났으며 Fly Ash를 사용할 때 경우에

따라 동결융해 반복처리후에 도리어 강도가 향상되는 현상도 보였다. 이는 재생 골재의 몰탈부분에 공극이 크며 동결에 따른 내부 응력을 흡수해주는 역할 때문인 것으로 분석되었다.

그러므로 외국의 여러 연구자들은 이러한 결함을 보완하기 위하여 물-시멘트비의 조절, 배합설계의 조절, 혼화제의 첨가 등의 방법을 사용하였다. 사용된 혼화재료는 주로 Fly Ash가 가장 많았으며 그외에 감수제 효과를 내는 유동화제 (Plasticiser), 고강도화를 위한 실리카흙 등을 이용 하였다.

또한 Hansen 등은 재생골재에 시멘트 첨가 없이 재생콘크리트를 제조하는 특이한 연구를 한 경우도 있으나 실용성 면은 아직 없었다. 본 연구책임자의 기존 연구에서도 Fly Ash의 사용비율을 조절하며 품질 향상의 연구를 수행하였으며 그 결과 비교적 높은 강도의 재생콘크리트를 제조할 수 있었고, 충남대 김무한 교수의 연구에서는 재생골재의 최대크기를 20mm로 하고 물-시멘트비를 40% 정도로하여 유사한 결과를 얻은 것으로 보고되었다.

따라서 본 연구에서도 지금까지의 문헌조사와 사전 연구결과를 토대로 재생 콘크리트의 제조에 Fly Ash와 유동화제를 사용 하였다. 그런데 Fly Ash는 산업 부산물로 사용에 따른 여러 가지 장점도 있으나 그 량이 많아지면 강도저하의 원인이 되므로 본연구에서는 비교적 소량의 첨가를 원칙으로 하였다. 또한 유동화제도 Workability 향상과 타설시 유동성의 향상을 목적으로하여 가능한 소량을 첨가하는 것을 원칙으로 하였다.

제2절 재료

1. 재생골재

본 연구에서는 강원도 춘천시 남산면의 덕호산업 (Source A), 경기도 남양주시 진건면의 재생산업 (Source B), 대전광역시 금고동에 위치한 한밭개발공사 (Source C) 등 3 곳에서 폐콘크리트로부터 제조한 재생 굵은 골재 (Recycled Coarse Aggregate)에 대하여 각종 시험을 KS 규정에 따라 수행하였다. 굵은골재 최대 치수는 도로포장 콘크리트 규정에서 제시한 40mm로 하였으며 생산체계에 따라 25mm와 40mm로 구분하여 수집하였으며 각 산지별 재생골재의 물성 검사 결과는 표 3-1과 같다.

본 연구에서의 재생골재도 기존의 연구결과에서와 마찬가지로 흡수율, 마모율이 천연골재보다 높았고 비중은 낮았다. 이 중 Source A의 재생골재는 용벽용 콘크리트에서 수거된 폐콘크리트로부터 제조된 것으로 비교적 기존 굵은골재 (자갈)의 함량이 큰 것으로 나타났으며, Source B의 재생골재는 유기물 함량이 높고 입도에 대한 선별이 불완전 하였다. 한편 Source C는 폐콘크리트외에 시멘트 벽돌, 붉은 벽돌, 아스콘 등도 첨가되어 있어 비교적 비중이 낮았으나 입도 구분이 좋고 생산라인에서 수작업으로 유기물을 1차 선별하여 유기물의 함량도 비교적 낮았다.

그림 3-1은 Source C로부터 수집된 재생골재를 춘천시 호반레미콘 야적장에 야적해 놓고 배합전날 수작업으로 눈에 보이는 유기 불순물을 골라내는 작업을 하는 과정이다. 그림 3-2는 본 연구의 재생콘크리트 제조 및 보조기층 시공에 사용된 Source C의 25mm 와 40mm 재생골재를 보여준다.

표 3-1. 산지별 재생골재의 물리적 성질

Max. Size	SSD Specific Gravity			Absorption (%)			Abrasion (%)		
	Source A	Source B	Source C	Source A	Source B	Source C	Source A	Source B	Source C
25mm	-	-	2.29	-	-	7.48	-	-	45.70
40mm	2.42	2.40	2.31	4.94	6.10	6.99	43.18	45.30	44.10



그림 3-1. Source C로부터 수집,야적한 재생골재로부터 유기물을 선별하는 광경

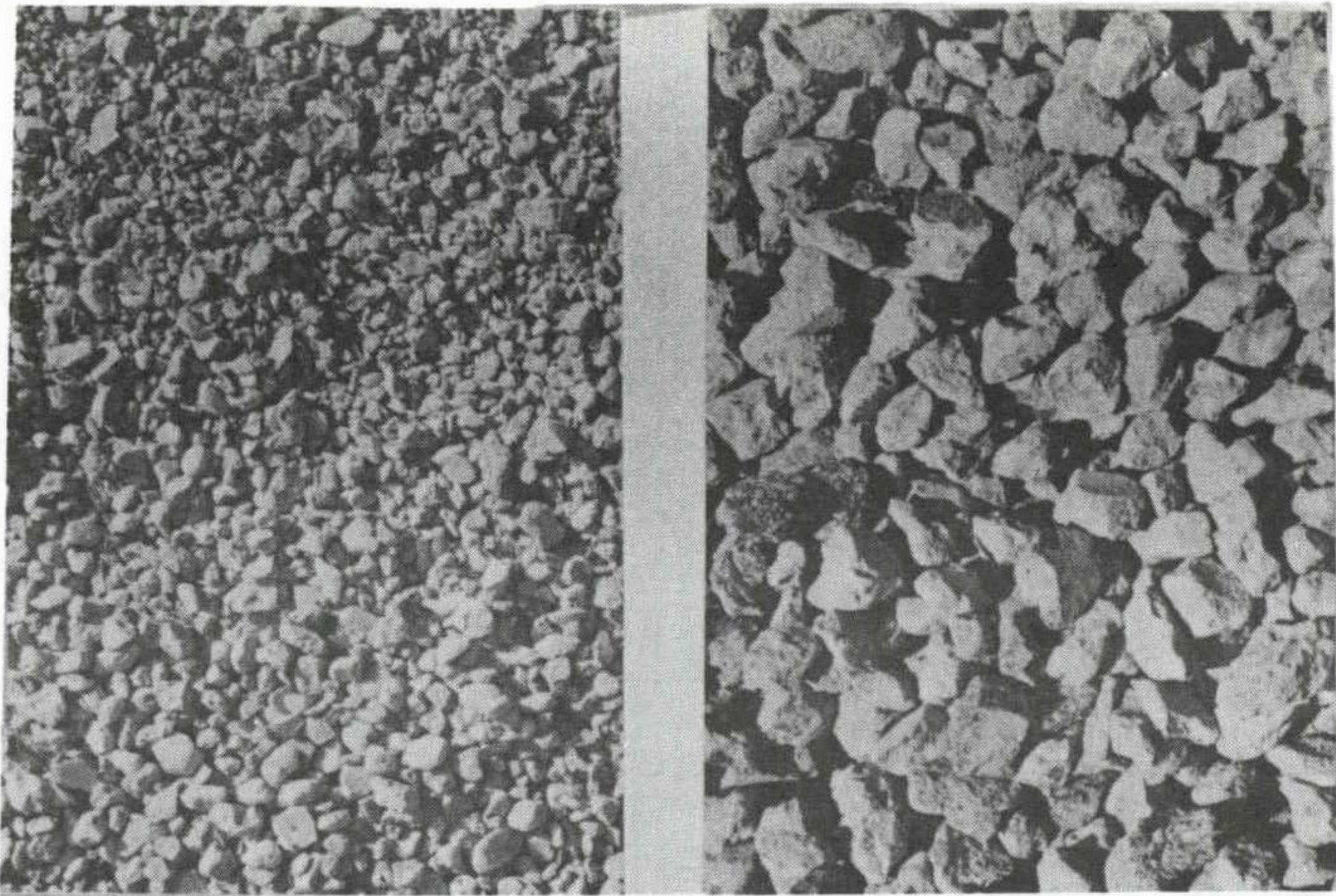


그림 3-2. 재생골재 25mm 와 40mm (Source C)

2. 천연골재

재활용 콘크리트는 배합설계시 재생골재와 천연골재를 50 : 50으로 섞는 것을 목표로 하였다. 사용한 천연 굵은골재로는 화강암 쇄석으로 강원도 춘천 지역에서 생산되는 재생골재와 같은 최대 치수 40mm와 25mm를 사용하였고, 천연 잔골재는 강원도 춘천시 하상의 자연산 모래를 사용하였다. 천연 잔골재 및 굵은골재에 대한 물리적 성질은 표 3-2와 같고, 입도 분포는 재생 굵은골재와 함께 그림 3-3에 제시되었다.

천연골재와 재생골재를 50 : 50으로 혼합하는 과정에서 각 골재별 25mm와 40mm의 혼합 비율은 합성입도를 결정하는데 매우 중요하다. 즉 이 4가지 합성

골재의 입도 분포가 포장 콘크리트 입도 규정에 적합하도록 조정하기 위하여 골재 혼합용 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램은 미국 Clemson 대학교에서 개발된 Basic 언어로 만들어진 것으로 IBM 호환 기종 컴퓨터에서 사용할 수 있으며 필요한 혼합비를 쉽게 구할 수 있다. 4종류의 골재로 혼합된 합성입도를 그림 3-3에서 보여준다. 이 프로그램에 대한 상세한 설명은 El Kholly(1985)에 제시되어 있다.

표 3-2. 천연골재의 물리적 성질

Aggregate	Max. Size	SSD SG	Absorption(%)	Abrasion(%)	F.M.
Fine Agg.	-	2.59	1.94	-	2.80
Coarse Agg.	40mm	2.62	1.03	30.14	-
	25mm	2.60	0.70	32.03	-

* (재생 굵은골재 50% + 천연 굵은골재 50%) 마모율 = 33.90%

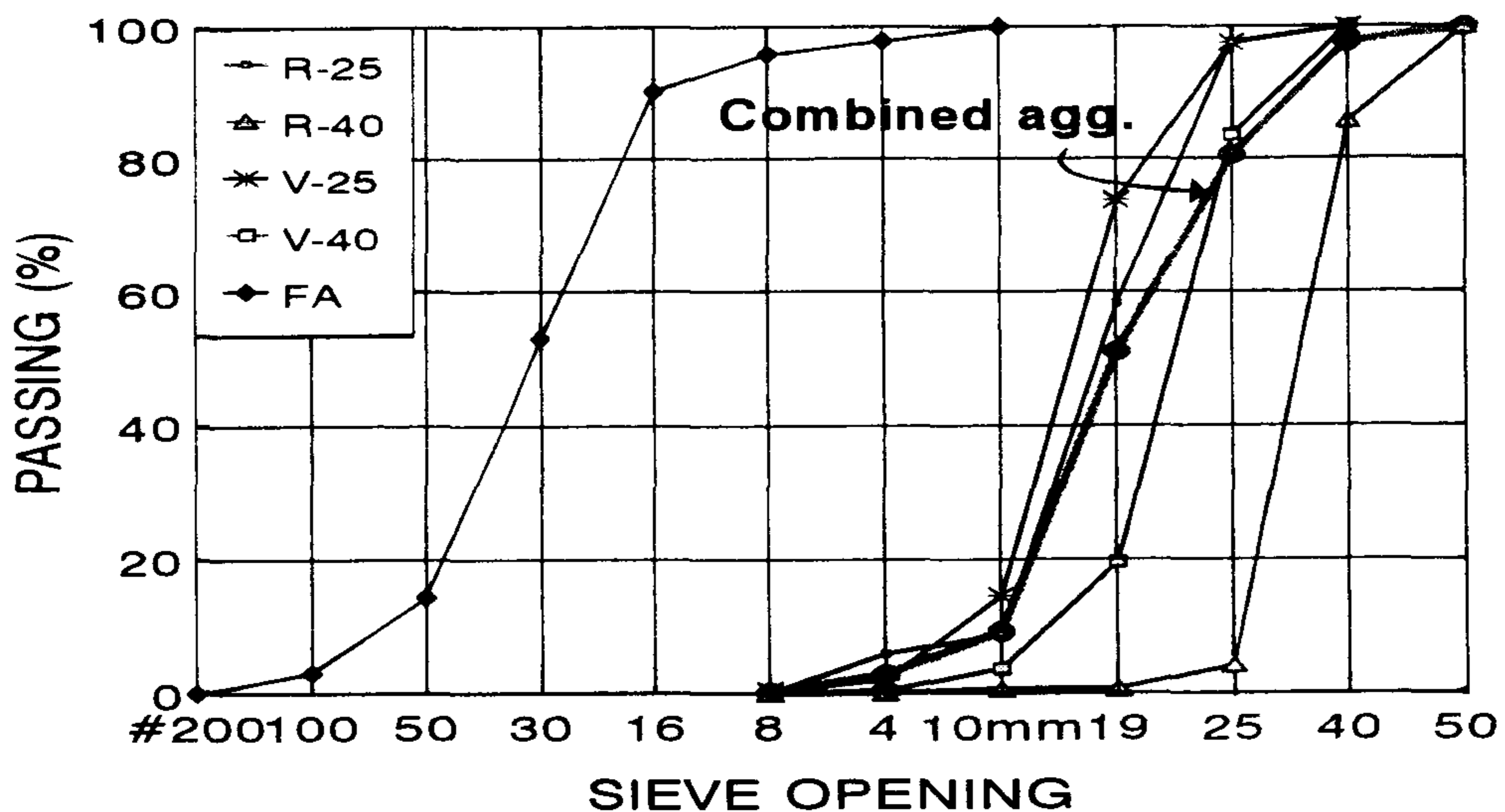


그림 3-3. 골재의 입도 분포

3. 시멘트 및 혼화재료

재활용 콘크리트의 제조를 위한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(국내 S사 제품)를 사용하였다. 혼화재료는 우선 가장 값이 싸고 취급이 용이하며 선진국의 연구에서 가장 많이 이용된 Fly Ash를 사용키로 선정하였다.

Fly Ash는 일반적으로 알려져 있듯이 유연탄을 1400 - 1500°C 연소하였을 때 유기물이 연료로 연소됨과 동시에 무기물은 재로 남아 있게 된다. 이 재들은 보일러 연통 내에 분산되며 무거운 입자는 보일러 하부에 떨어지고 가벼운 입자는 고온의 연소 가스와 더불어 굴뚝에 이르는 도중 보일러 연도로부터 전기 집진기에 의하여 채취되며 이때 입자는 급격히 냉각되어 표면장력에 의해 구형으로 생성되는 미세 분말이 된다.

입자가 무거워 하부로 떨어진 재를 Bottom Ash라 부르고 분산되어 날아다니다가 상기와 같이 채취된 재를 Fly Ash라 부른다. 이것은 보통 시멘트와 같은 방법으로 저장 보관되며 사용시 시멘트의 중량 비로 일정 비율 시멘트를 대체하여 사용한다. 따라서 일정 기간 이상 보관된 것은 사용전 입도를 검사하여 입자의 크기가 45 μ m 이하가 80% 이상 되는지 확인하여야 한다. 본 연구에 사용된 Fly Ash는 충남 서천화력산으로 그 특성은 표 3-3과 같다.

표 3-3. 플라이애쉬의 화학 성분 및 물리적 성질.

Chemical Composition (%)					Physical Property	
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg. Loss	Specific Gravity	Fineness
89.8	0.3	0.2	1.0	4.5	2.23	3200cm ² /g

Fly Ash는 내구성과 알칼리 골재 반응을 줄이는 효과를 가져오며 적절한 양생시 수밀 성을 증진시키고 일정량의 시멘트 대신 결합 재료 사용될 때 수화열을 감소시키는 효과도 가져온다. 그리고 소정의 워커빌리티를 얻는데 어느 정도의 수량을 감수시키는 효과가 있고 펌핑 작업성도 향상시켜 준다.

Fly Ash를 포함한 콘크리트는 어느 정도 공기 함량이 적절하면 동결 융해에 따른 내구성이 향상되며 Bleeding을 감소시켜 재료 분리를 막아 준다. 또한 장기 강도의 증가, 화학 부식 저항성 증가, 건조 수축의 감소, CO₂의 부식 저항성 증가 등의 장점도 보인다. 또한 한 경우 제설·제빙용 염분 하에서 표면 박리(Scaling) 저항을 증가시키는 것으로도 보도되었으며, Fly Ash는 특히 도로포장 콘크리트에 성공적으로 많이 이용되고 있다. 미국 캔사스주에서는 맵균열(Map Crack)을 줄이는 결과를 낳은 것으로 보도되었다 (ACI Committee 226, 1987). 그리고 Fly Ash로 일정량의 시멘트를 대체하므로 비용의 절감으로 경제적인 콘크리트가 얻어진다고 하겠다.

또한 Workability의 증진을 위하여 유동 화제(Plasticizer)를 사용하였는데 이 유동 화제는 국내 S사 제품이며 이 혼화제의 성질은 다음의 표 3-4와 같다.

표 3-4. 유동 화제의 화학 성분 및 물리적 성질.

Solid Intensity	SO ₄ -2 Intensity	pH	Cl ⁻ Intensity	Ion	Solubility
>41%	<1.2%	8.0	<500ppm	Negative	Dissolved in Water

제3절 재생콘크리트의 배합설계 및 시험 방법

1. 배합설계

각종 문헌 조사와 현재까지 본 연구팀이 수행한 연구에 의하면 재생 잔골재의 혼입은 재활용 콘크리트의 제조(혼합)과정 및 경화된 콘크리트의 물리적 성질 및 화학적 성질에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 여러 연구자들은 따라서 재생 잔골재를 아예 첨가하지 않았으며, 어떤 경우는 그 비율을 소량으로 제한하고 있다 (예, 잔골재 량의 20%이하 등). 본 연구팀의 현재까지 실험에 의하면 재생 잔골재의 혼입은 보다 높은 물-시멘트 비(W/C)를 요구하며 따라서 몰탈 강도 저하의 원인이 되었다. 따라서 이를 콘크리트에 사용할 경우 보다 많은 시멘트 량을 요구하게 되어 비경제적인 콘크리트가 될 것이며 또한 보다 큰 경화 수축이 예상되고 높은 수화 열을 유발할 것으로 예상된다.

콘크리트 표준 시방서의 도로포장용 배합 방법에서는 일반 도로용 콘크리트의 28일 목표 휨강도를 45Kg/cm^2 로 제시하고, 슬럼프 공법 등의 경우 슬럼프 값을 2.5cm, 일반 장비 및 수작업시 6.5cm로 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 여러 가지 여건을 고려하여 농어촌 도로 포장용 콘크리트의 목표 휨강도를 일반 도로보다 낮게 40Kg/cm^2 로 설정하였다. 그리고 재생골재의 품질은 일반 골재에 비하여 불량하며 불순물이 많이 함유되어 이것으로 제조되는 재생콘크리트의 강도에 불확실성(Uncertainty)이 크므로 변동 계수(Coefficient of Variation)를 비교적 높은 16%로 추정하고 이로부터 증가 계수 $\alpha = 1.15$ 를 곱해 배합 강도를 46 Kg/cm^2 로 설정하였다.

또한 실제 현장에서의 포장공사시 슬럼프 6.5cm는 매우 작업이 어려워 인부들은 물을 첨가하는 경우가 대부분이어서 비합리적이다. 따라서 본 연구에서

는 실제 농촌 현장에서 주민들이 시공시 수작업을 할 것으로 가정하고 적정 작업 가능 슬럼프 값을 16cm 정도로 설정하였다. 그래서 레미콘 공장에서 생산되어 유동화제 첨가 이전의 슬럼프를 6.5cm, 그리고 현장에서 유동화제 첨가후 슬럼프를 16±2cm로 설정하여 실험실에서 물-시멘트 비와 유동화제 첨가량을 결정하였다. 따라서 물-시멘트 비를 40%로 하고 주어진 천연골재에 재생골재를 각각 50% 재활용하는 것을 목표로 하여 배합설계를 수행한 결과 표 3-5와 같이 각 재료의 배합량을 얻었다.

표 3-5. 재활용 콘크리트의 시방 배합 성과표

W/C	유동화제 첨가 전/후 슬럼프 (Cm)	단위량 (Kg/m ³)								
		물	시멘트	플라이 애쉬	유동 화제	천연 잔골재	천연굵은골재		재생굵은골재	
							25mm	40mm	25mm	40mm
0.40	6.5/16±2	163	388	20	3.10	605	398.0	137.0	349.0	190.0
비 고	1. 설계기준 휨강도 = 40Kg/cm ² 2. 배합 강도 = 46Kg/cm ² 3. 시멘트 종류 = 보통포틀랜드 시멘트 4. 잔골재의 FM = 2.80 5. 굵은골재의 종류 = 재생골재(50%) + 화강암 쇄석(50%) 6. 굵은골재의 공극율 = 7.23% (재생), 1%미만 (천연) 7. 혼화제의 종류 = Fly Ash, 유동화제 (LIGACE-F) 8. 운반시간 = 15분 9. 시공시기 = 1995. 9. 15. 오전 10. 기타 = 유동화제는 현장 도착 후 타설 2~3분 전 트럭에 혼합함									

위 표에서 보듯이 재생콘크리트의 변동 계수를 고려하여 충분한 휨강도를 내게 하기 위하여 유동화제를 사용하고 여기에 또 플라이애쉬를 첨가하여 몰탈과 재생골재의 접착을 개선토록 노력하였다. 재생 굵은골재는 지금까지 본 연구팀의 연구 결과를 토대로 전체 굵은골재 량의 50%를 섞는 것을 목표로 하였으며, Fly Ash는 결합재 총량의 5%, 유동화제는 w/c를 고정한 상태에서 Slump 값으로부터 결정하였다. 즉, 현장에서의 적정 Workability를 Slump 값 $16 \pm 2\text{cm}$ 로 보고 예비 실험을 통하여 이 범위 안의 Slump가 얻어지는 유동화제의 량을 결정하였으며 이 량은 시멘트 량의 중량비 0.8%로 결정되었다.

2. 시험 방법

본 연구에서의 시험 항목은 28일 압축강도 측정, 동결 융해에 따른 압축강도 저하 측정 시험, 휨강도, 압축 탄성계수 시험 등으로 구분되었다. 휨강도를 제외한 모든 공시체는 원통형 ($\phi 15 \times 30\text{cm}$) 공시체를 사용하였으며 휨강도용 보는 $12 \times 12 \times 52\text{cm}$ (지간 48cm)로 하여 각각 3개씩 제조하였으며 3점 재하시험을 하였다.

폐콘크리트는 장기간 기후 변화에 노출되어 왔기 때문에 재활용 콘크리트에 대한 반복 동결 융해 처리는 재생 굵은골재에서 시멘트 몰탈의 골재 결속력의 완화와 조직의 이완을 일으키리라 기대되었다. 따라서 동결 융해에 손상을 받은 공시체는 압축강도 저하가 나타날 것으로 보고 동결 융해 전후, 그리고 동결 융해 반복 횟수 등 2가지 측면에서 압축강도의 변화를 고찰하였다. 동결 융해 1 사이클은 각각 12시간의 동결과 융해가 -25°C 와 $+25^{\circ}\text{C}$ 에서 일어나도록 하였다. 공시체는 제작후 2일만에 탈형 하여 7일간 수중 양생한 후 동결 융해 처리 상

태로 배치하였다. 동결 용해 공시체는 비닐로 방습 포장을 하여 동결 용해 시험기에 넣었으며 강도 측정 시험은 계획된 각 사이클의 용해 후(14, 60 사이클) 3개씩 공시체를 무작위로 선정하여 압축강도를 측정하였다. 탄성계수는 KS F2438 방법으로 수행되었다.

파괴 인성 측정을 위해서는 휨강도 시험용과 같은 공시체에 초기균열비 (a_0/W) 0.3의 초기 균열을 만들었다. 휨강도는 보 공시체에 대하여 3점 재하시험으로 측정하였고, 파괴 인성은 3점 재하 시험을 통하여 소요의 정보를 얻어 호주의 Kirihaloo & Nallathambi (1989)가 개발하고 RILEM Technical Committee 89-FMT(Fracture... 1991)가 추천한 Effective Crack Model (ECM)을 이용하여 파괴 인성을 계산하였다. 휨강도 및 파괴 인성 측정 시의 정하중의 수직재하는 초당 2.6Kg으로 공시체가 파괴에 이를 때까지 일정하게 가해졌다.

본 연구의 각종 시험은 강원대학교 장비를 이용하여 수행되었다. 동결용해 시험기는 국제 싸이언스사의 제품이며, 압축강도, 활렬인장강도, 탄성계수 측정을 위해서는 영국 ELE의 만능시험기가, 그리고 파괴 인성 시험은 시마쯔사의 피로시험기를 이용한 정하중 재하로 수행하였으며 각종 시험 결과의 측정과 기록은 산에이사의 Data Logger를 사용하였다.

제4절 결과 및 고찰

1. 재생콘크리트의 강도 특성

본 연구진의 기존 연구 결과에 의하면 재생콘크리트는 같은 물-시멘트 비로 제조된 일반 콘크리트보다 압축강도가 낮고 변형률이 크며 탄성계수도 낮았다. 또한 압축강도에 대한 인장 및 휨강도의 비도 일반 콘크리트의 그것보다 낮

아 개선이 필요한 것으로 보고되었다. 예를 들어 재생콘크리트의 압축강도는 혼화제를 첨가하지 않은경우 같은 배합의 일반 콘크리트의 82% 수준(Kim et al 1992) 이었다.

이와 같이 강도가 낮은 원인은 재생골재의 몰탈과 새로운 몰탈의 부착이 불량한 것에 기인하는 것으로 보아 왔다. 따라서 본 연구에서는 이의 개선을 위해 Fly Ash를 첨가하고 유동화제를 사용하여 물-시멘트 비를 낮추어 품질을 개선하도록 하였다. 기존 연구에서는 Fly Ash를 시멘트 량의 20%까지 첨가하여 실험을 하였으나 함량의 증가가 큰 효과를 보이지 못했다. 즉, Fly Ash량의 증가는 강도의 저하, 파괴 인성의 저하를 유발하므로 많은 량의 첨가는 강도 특성상 좋지 못한 것으로 나타났다. 하지만 이것이 재생콘크리트 내에서 미세 충전제 역할을 하고 장기 강도의 증진 및 시멘트 절약 등의 효과가 있으므로 본 연구에서는 결합재(시멘트+Fly Ash)량의 5% 만을 넣도록 하였다.

재생골재를 굵은골재 소요량의 50% 대치한 콘크리트를 실험실에서 표3-5의 배합에 따라 제조하여 슬럼프를 측정하고 28일 수중 양생후 압축강도 및 휨강도를 측정한 결과는 표 3-6과 같다. 제조된 재생콘크리트의 휨강도는 28일 양생 후 45.4Kg/cm²로 배합설계에서 목표로 한 46Kg/cm²와 비슷하게 나타났으며 압축강도는 약 250Kg/cm²으로 매우 양호하였다.

표 3-6. 재활용 콘크리트의 배합 강도 측정 결과

양생	슬럼프		휨강도	압축강도
	유동화제 첨가전	유동화제 첨가후		
수중 양생 (25° C)	6.5cm	16±2cm	45.37Kg/cm ²	249.30Kg/cm ²

이 휨강도는 압축강도의 18.2%이며 이는 일반 콘크리트의 압축강도 대 휨강도 비율 20% 수준 보다 다소 낮은 것이라 할 수 있다. 이는 재생골재의 취약한 몰탈 부분의 함유가 주원인인 것으로 보여진다. 도로포장용 콘크리트에 휨강도가 중요시되는 점을 감안한다면 상기의 배합에 의한 재생콘크리트의 제조는 휨강도 상으로 볼 때 농촌 도로포장용 콘크리트에 적절한 것임을 알 수 있다.

한편 사용된 천연 굵은골재만을 이용하여 혼화재료 없이 제시된 시멘트 량으로 제조한 레미콘의 압축강도는 280Kg/cm^2 인 것으로 나타나 재생콘크리트의 압축강도가 같은 배합 일반 콘크리트의 약 89% 수준이었다. 이는 재생골재의 비중이 천연골재보다 낮고, 유기 물질 (발포 스타이렌폼, 비닐, 나무 조각 등) 및 기공이 큰 벽돌 파쇄 입자 등이 포함되어 있어 이에 기인하는 근본적인 문제인 것으로 볼 수 있다. 하지만 그 수준이 일반 콘크리트의 압축강도에 90% 가까이 까지 향상되었고 충분한 휨강도를 내고 있어 좀더 연구를 하면 일반 구조물용 콘크리트로도 사용이 가능할 것으로 사료된다. 또한 일반 콘크리트와 같이 배합 설계를 통한 강도의 조절이 어느 정도 가능함을 알 수 있었다.

2. 재생콘크리트의 파괴 인성

콘크리트의 유효 균열 모델 (ECM)을 임계응력확대계수 (파괴 인성: Fracture toughness, K_{Ic}) 계산에 이용하였다. 이 방법은 Griffith의 관계식에 근거하여 개발되어 취성재료 균열 전방의 프로세스 지역의 비선형 거동을 고려하도록 수정된 것이다 (Karihaloo and Nallathabi 1989). 이 방법에서 제시된 식 1이 3점 재하 보 시험으로부터 K_{Ic} 를 계산하기 위하여 사용되었다.

$$K_{IC} = 1.138 \sigma_n \sqrt{a_e} F(\alpha_e) \quad \text{----- (1)}$$

여기서 σ_n 은 공칭 휨응력으로 $3SP_{\max}/(2BW^2)$ 이며 S, B, W는 그림 3-4에 정의되어 있다. 또한 $\alpha_e = a_e/W$ 로서 유효 균열 대 보 높이 비이며, 교정 함수 $F(\alpha_e)$ 는 다음과 같다.

$$F(\alpha_e) = \int_0^{\alpha_e} \alpha F^2(\alpha) d\alpha \quad \text{----- (2)}$$

여기서 $F(\alpha) = A_0 + A_1\alpha + A_2\alpha^2 + A_3\alpha^3 + A_4\alpha^4$ 이며 계수

$A_i (i=0, 1, \dots, 4)$ 는 Karihaloo and Nathambi (1989)에 제시되어 있다.

이 계수는 $S/W=4$ 와 8에 대한 것이며 선형 보간이 허용된다. 유효 균열 길이 a_e 는 최대 하중 시까지 진전된 균열의 길이이다. 이것은 균열 길이 a_o 를 가진 감소된 강성과 같은 강성(E에 비례)을 띠는 한 균열 길이 a_e 를 가진 가상의 보를 도입함으로써 계산할 수 있다고 가정한다. 즉, 최대 하중 시의 처짐 $d_{P_{\max}}$ 는

$$d_{pmax} = \frac{P_{\max}}{4BE} \left(\frac{S}{W}\right)^3 \left[\frac{1+5wS}{8P_{\max}} + \left(\frac{W}{S}\right)^2 \left(2.70 + 1.35 \frac{wS}{P_{\max}} \right) - 0.84 \left(\frac{W}{S}\right)^3 \right] + \frac{9}{2} \frac{P_{\max}}{BE} \left(1 + \frac{WS}{2P_{\max}} \right) \left(\frac{S}{W}\right)^2 F_2(\alpha_e) \quad \text{----- (3)}$$

이며 여기서 E와 w 는 각각 탄성계수와 보의 단위 길이 당 중량이다.

α_e 는 식 3을 푸는 과정에서 시산 법에 의하여 계산된다. E의 초기 치는 식 3으로부터 α_e 에 $\alpha_o = a_o/W$ 를 이용하고 그림 10에서와 같이 P_{\max} 와

$d_{P_{max}}$ 를 P_i , d_{P_i} 를 구하여 대입한 후 양변에 E 를 곱하고 d_{P_i} 로 나누어 구한다. 그리고 실험으로부터 P_{max} , $d_{P_{max}}$ 와 E 그리고 식 2로 구한 $F(\alpha_e)$ 를 식 3에 넣고 새로운 E (즉, E_1)를 구한다. 시산 과정은 컴퓨터 프로그램을 이용하여 균열 길이 증가 비를 $\Delta\alpha = 0.001$ 만큼씩 증가시키며 $E_1 = E \pm \varepsilon (=0.005\%)$ 될 때까지 계속 한다. 그래서 최종 α 값을 α_e 로 취하고 이때의 균열 길이 a_e 를 유효 균열 길이라 한다. 이 a_e 와 $F(\alpha_e)$ 그리고 σ_n 을 이용하여 파괴 인성을 식 1로 계산한다.

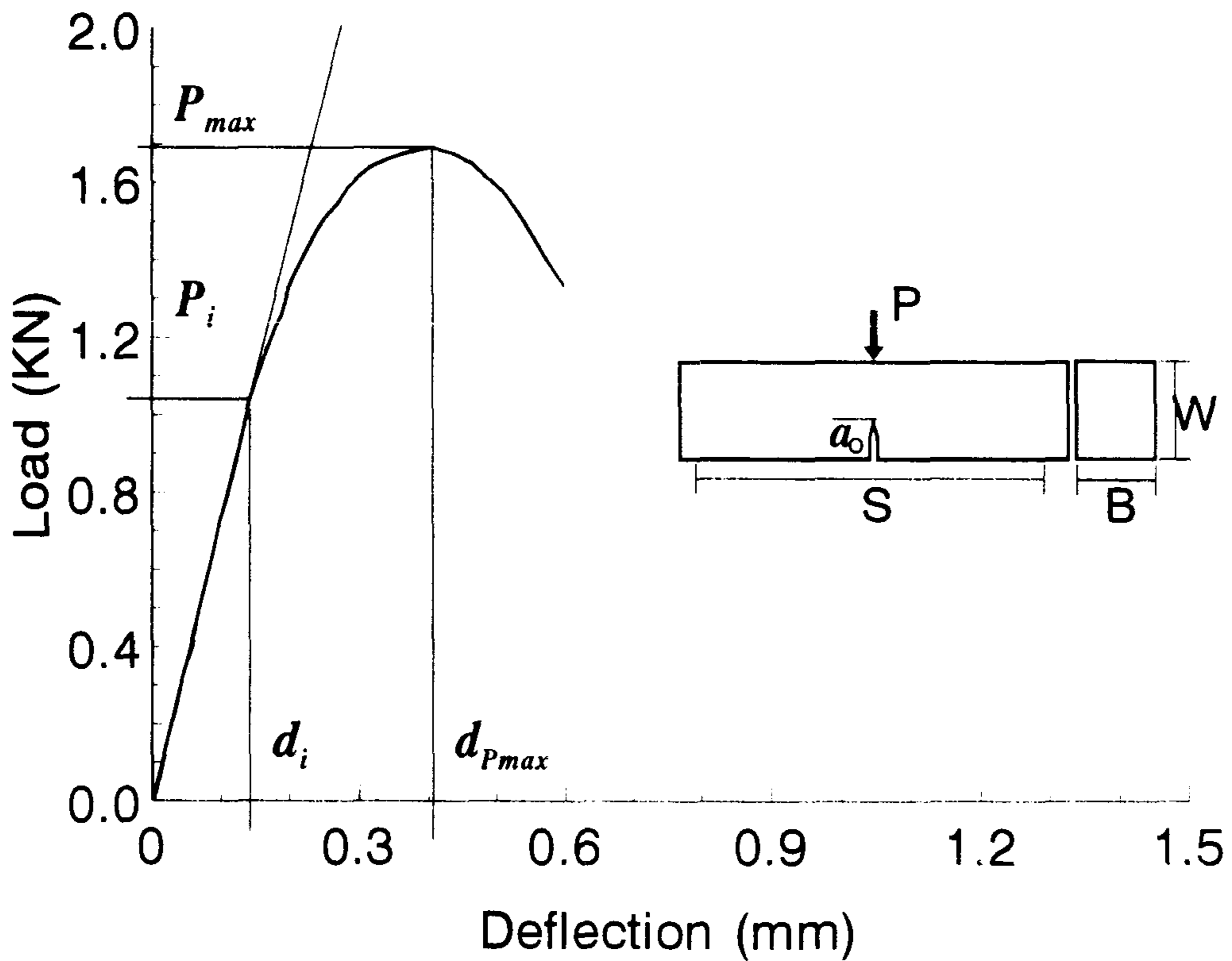


그림 3-4. 하중-처짐 곡선과 P_i , d_{P_i} , P_{max} , $d_{P_{max}}$

재활용 콘크리트의 파괴 인성 (K_{IC})을 조사하기 위하여 초기 균열(a_0)을 낸 보에 대하여 파괴 인성을 측정하여 식 1~3을 풀기 위하여 개발된 컴퓨터 프로그램에 입력시켜 얻어진 결과를 표 3-7에 나타내었다. 그리고 대표적인 하중 처짐 곡선을 그림 3-5에 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 재생골재 콘크리트의 하중-처짐 곡선의 기울기는 보통 콘크리트 보다 현저히 낮으며, 이는 낮은 탄성계수와 높은 변형률로부터 이미 예견되었던 사실이다. 또한 극한 하중도 낮아 표 3-7에서 볼 수 있듯이 이 모든 결과는 결국 낮은 파괴인성치로 나타났다. 어떤 재료의 파괴인성치는 그 재료가 급속 파괴(Fast Fracture)에 대하여 견디는 능력을 나타내는 지수이므로 이 결과로 볼 때 재활용 콘크리트는 보통 콘크리트보다 낮은 파괴 저항력을 지님을 알 수 있었다.

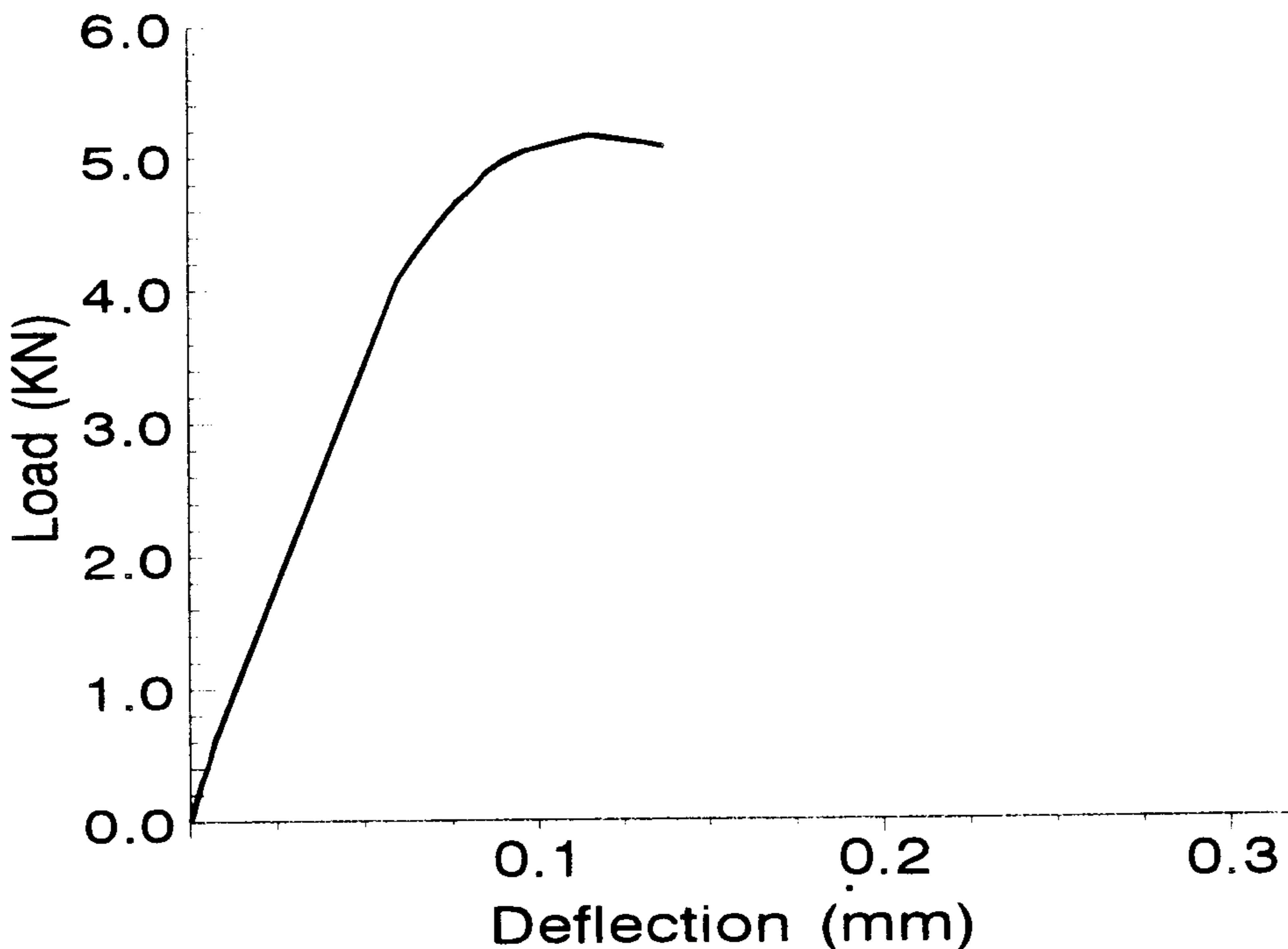


그림 3-5. 대표적인 재생콘크리트의 하중 처짐 곡선

표 3-7. 파괴인성 시험 결과

콘크리트 종류	일반콘크리트			재생콘크리트		
K_{Ic} (MPa·m ^½)	1.012	0.951	0.937	0.964	0.779	0.847
평균	0.967			0.863		

한편 재생콘크리트는 일반 콘크리트의 파괴인성치의 약 89.3% 나타나 압축 강도에서의 비율과 유사하게 나타났다. 따라서 재생콘크리트의 강도나 파괴 인성이 일반 콘크리트에 비하여 그 수준이 더 낮음을 알 수 있었다. 이는 앞서 언급하였듯이 재생골재의 사용으로 인한 취약 부분이 재생콘크리트 내부에 존재하기 때문이며 이를 향상시키는 것이 앞으로의 연구 과제 중 하나라 할 수 있다.

3. 재생콘크리트의 동결융해 저항성

재생콘크리트 공시체를 동결융해 처리후 압축강도 및 탄성계수를 측정하여 재생콘크리트의 동결융해 저항성을 비교하였다. 공시체에 가한 동결융해 사이클은 -25°C와 +25°C에서 동결~융해 각각 12 시간 씩 1일 1사이클 반복이었으며 공시체를 14, 60 사이클을 반복한 후 압축강도를 측정하였다. 표 3-8의 시험 결과에서 보듯이 시공 일에 현장에서 제조한 공시체를 동결융해 시험한 결과 압축강도 및 탄성계수가 동결융해 무처리에 비하여 크게 차이 나지 않았는데 이는 재활용 콘크리트가 동결융해에 강하다는 과거의 연구 결과와 일치하는 것이다.

표 3-8. 재생콘크리트의 동결융해 저항 특성 측정 결과 (단위 Kg/cm²)

구 분	재활용 콘크리트			
	압축강도	할렬인장강도	휨강도	탄성계수
무처리공시체	303.3	30.2	54.0	2.41x10 ⁵
F/T 공시체 ¹⁾	295.2	-	-	2.40x10 ⁵
F/T 공시체 ²⁾	317.2	-	-	2.42x10 ⁵

¹⁾ F/T = Freezing/Thawing (동결/융해) 14 Cycles 처리 후 측정

²⁾ F/T = Freezing/Thawing (동결/융해) 60 Cycles 처리 후 측정

재생콘크리트 압축강도 인장강도 및 휨강도의 비율은 각각 평균 9% 및 18% 여서 일반 콘크리트에 비하여 그 비율이 다소 낮았다. 이는 앞의 배합설계 시 공시체의 강도에서도 나타났던 현상이다. 하지만 탄성계수는 240,000Kg/cm² 이상 인 것으로 나타나 매우 양호한 상태였다. 그림 3-6은 한재생콘크리트의 압축탄성계수를 구할 때 나타난 대표적인 응력-변형을 곡선을 보여준다.

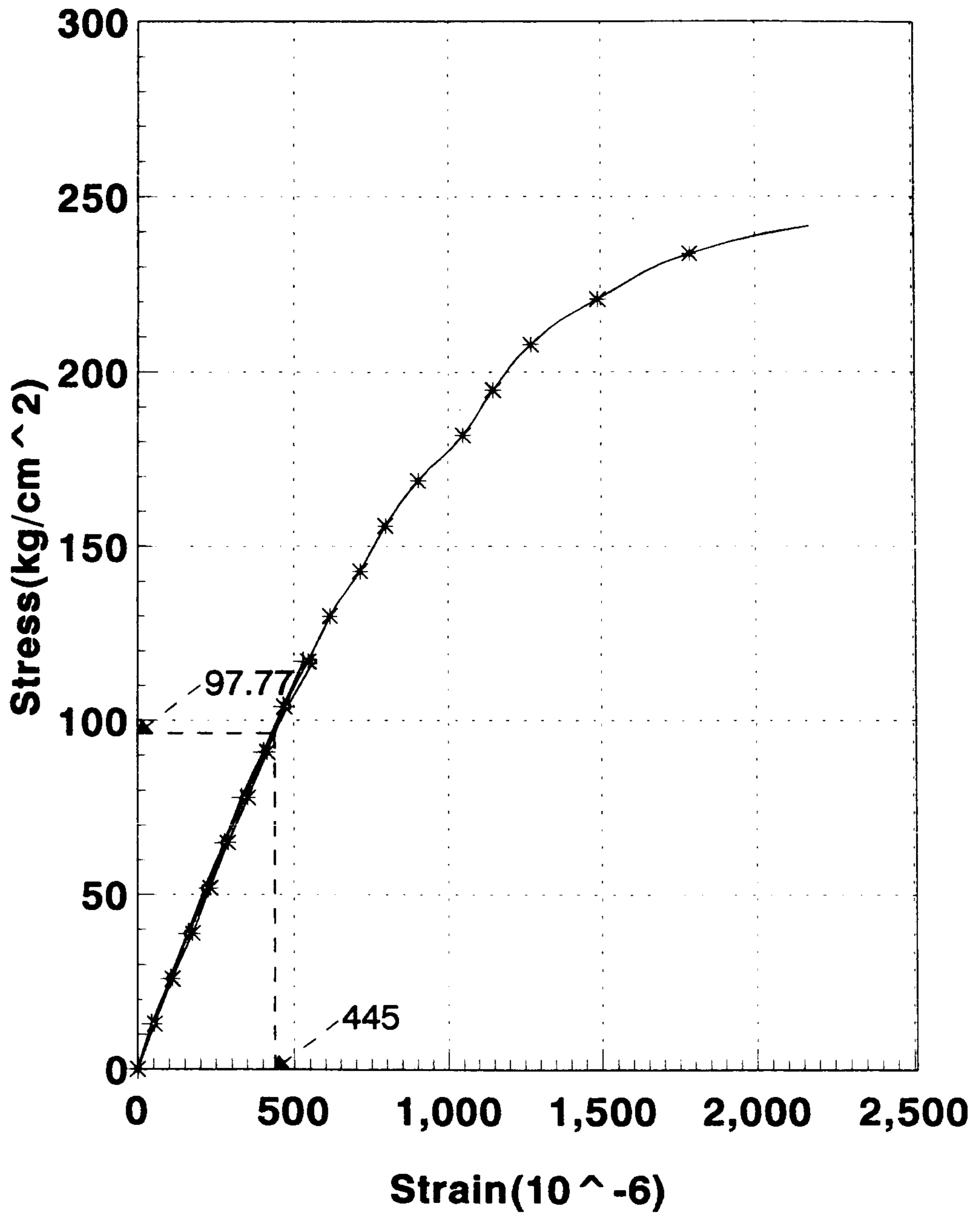


그림 3-6. 재생 콘크리트의 압축 응력-변형률 곡선

제 4 장 재생콘크리트에 의한 농촌 도로포장 공법 개발

여 백

제 4장 재생콘크리트에 의한 농촌 도로포장 공법 개발

제1절 재생골재 보조 기층 개발

1. 재료 및 방법

Source C에서 구입한 재생골재는 폐콘크리트 외에 시멘트 벽돌, 붉은 벽돌, 아스콘 등도 첨가되어 있어 비교적 비중이 낮은 편이었다. 그러나 입도 구분이 좋고 생산 라인에서 수작업으로 유기물을 1차 선별하여 유기물의 함량도 비교적 낮아 이것을 사용하였다.

재생골재에서 유기물을 제거한 구성 성분 표는 표 4-1과 같고, 또한 재생골재에 포함된 유기물 함량 조사 결과는 표 4-2와 같았다. 또한 사용된 골재의 물성은 표 4-3과 같았으며 이의 입도 분포는 일반 콘크리트 포장도로의 보조 기층 재료로서의 규정(표 4-4)에 적합하도록 25 mm와 40mm를 앞서 언급한 TKholy (1985) 프로그램을 사용하여 결정된 비율로 섞어 이용하였다.

표 4-1. 폐콘크리트 재생골재의 구성 성분 (%) 조사표

구분	입도	25mm	40mm
시멘트 콘크리트		94.67	96.85
아스팔트 콘크리트		3.34	1.56
적벽돌		1.82	1.64
기타(유리, 타일 등)		0.17	0.05
합계		100.00	100.00

표 4-2. 폐콘크리트 재생골재에 함유된 유기물 함량

구분 \ 입도	25mm	40mm
시료 중량	3,000g	3,000g
유기물 중량 평균	24.0g	39.9g
유기물 함량	0.80%	1.33%

표 4-3. 재생골재의 물리적 성질

굵은골재 최대 치수	SSD 비중	흡수율 (%)	마모율 (%)
25mm	2.29	7.48	45.70
40mm	2.31	6.99	44.10

표 4-4. 시멘트 콘크리트 포장 보조 기층 재료의 입도 규정

체	체통과 중량 백분율
40mm	95~100
19mm	60~90
#8	20~50
#200	2~10

폐콘크리트로부터 얻어진 재생골재를 보조 기층 재료로 재활용키 위한 입상 재료 분석을 위해 마모 감량 시험을 KSF 2508, 소성지수 시험을 KS F 2304, 실내 CBR 시험을 KS F 2320의 방법에 따라 수행하였다. 또한 보조 기층을 강원대학교내 4평 정도의 시험 Pit에 15cm 두께로 40mm이하 폐콘크리트 재생골재로 하여 다졌다. 사용한 다짐기는 사진 4-1에서 보이는 소형 다짐기 였다. 다져진 성능 평가를 위하여 평판재하시험으로 K값을 구하였고 이를 기존의 연구 결과치와 비교하였다 (그림 4-1, ~4.4).

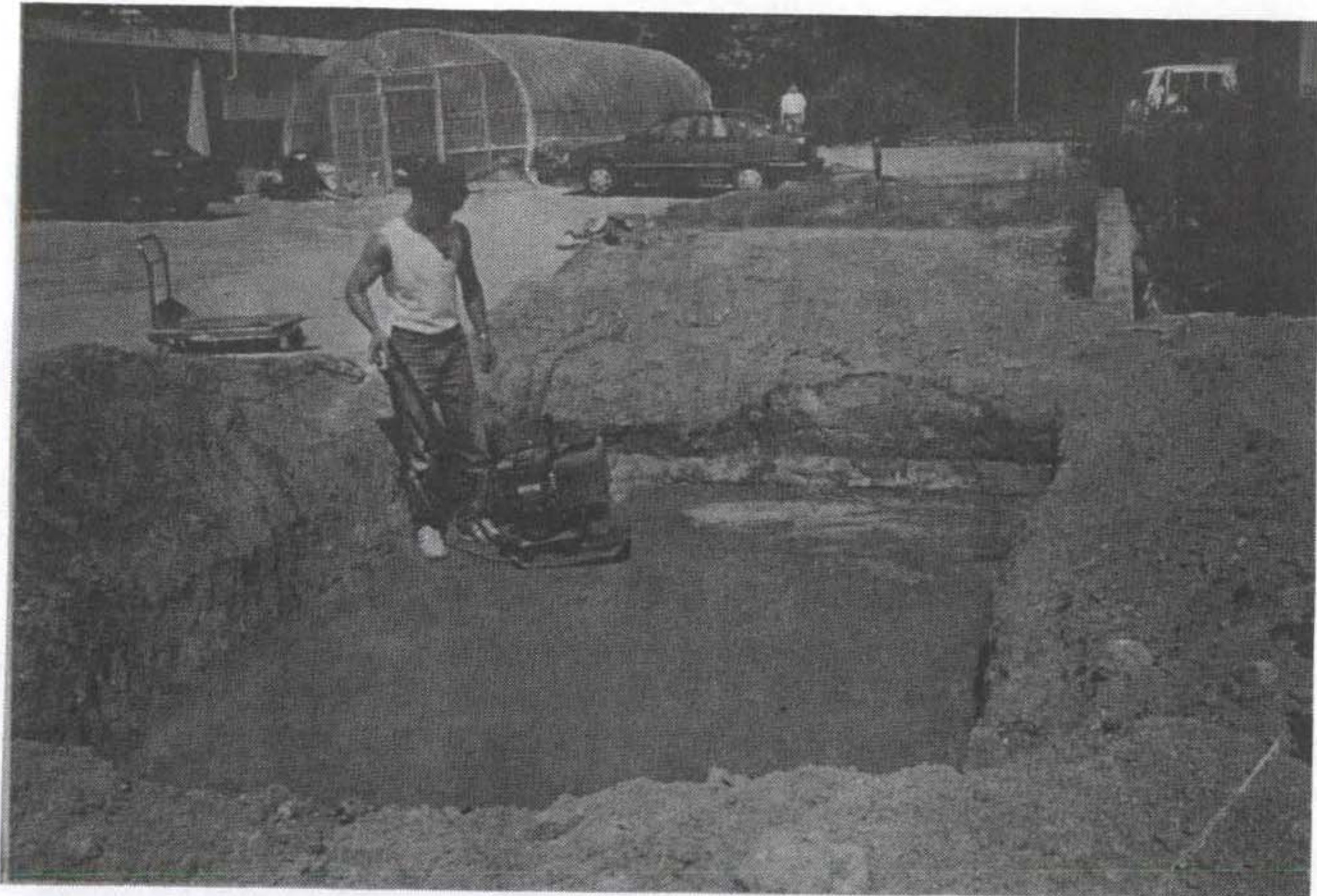


그림 4-1. 교내 시험 Pit의 바닥을 다짐하는 광경



그림 4-2. 교내 시험 Pit에 보조 기층으로 재생골재를 15cm로 다진 광경

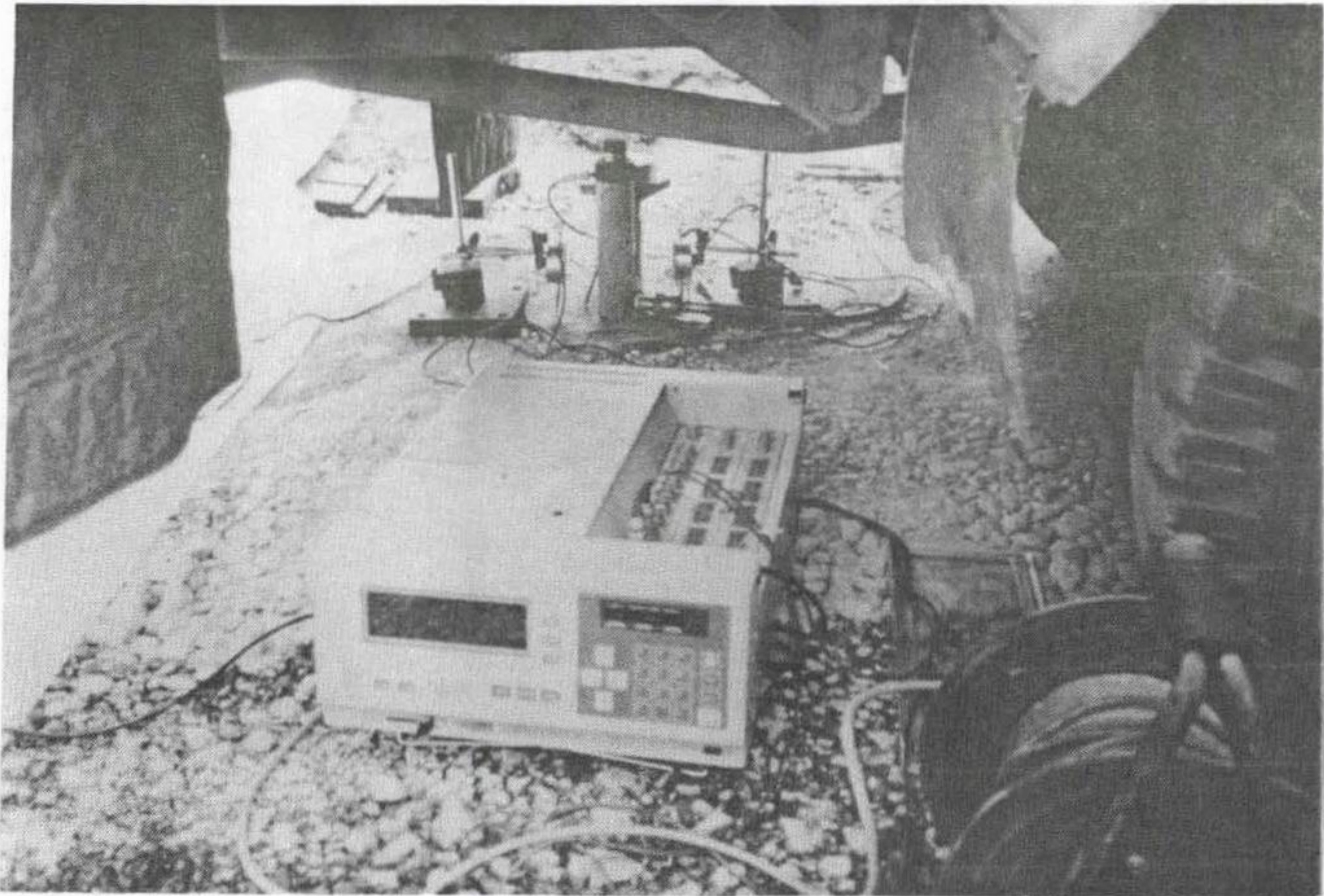


그림 4-3. 보조 기층의 평판재하시험

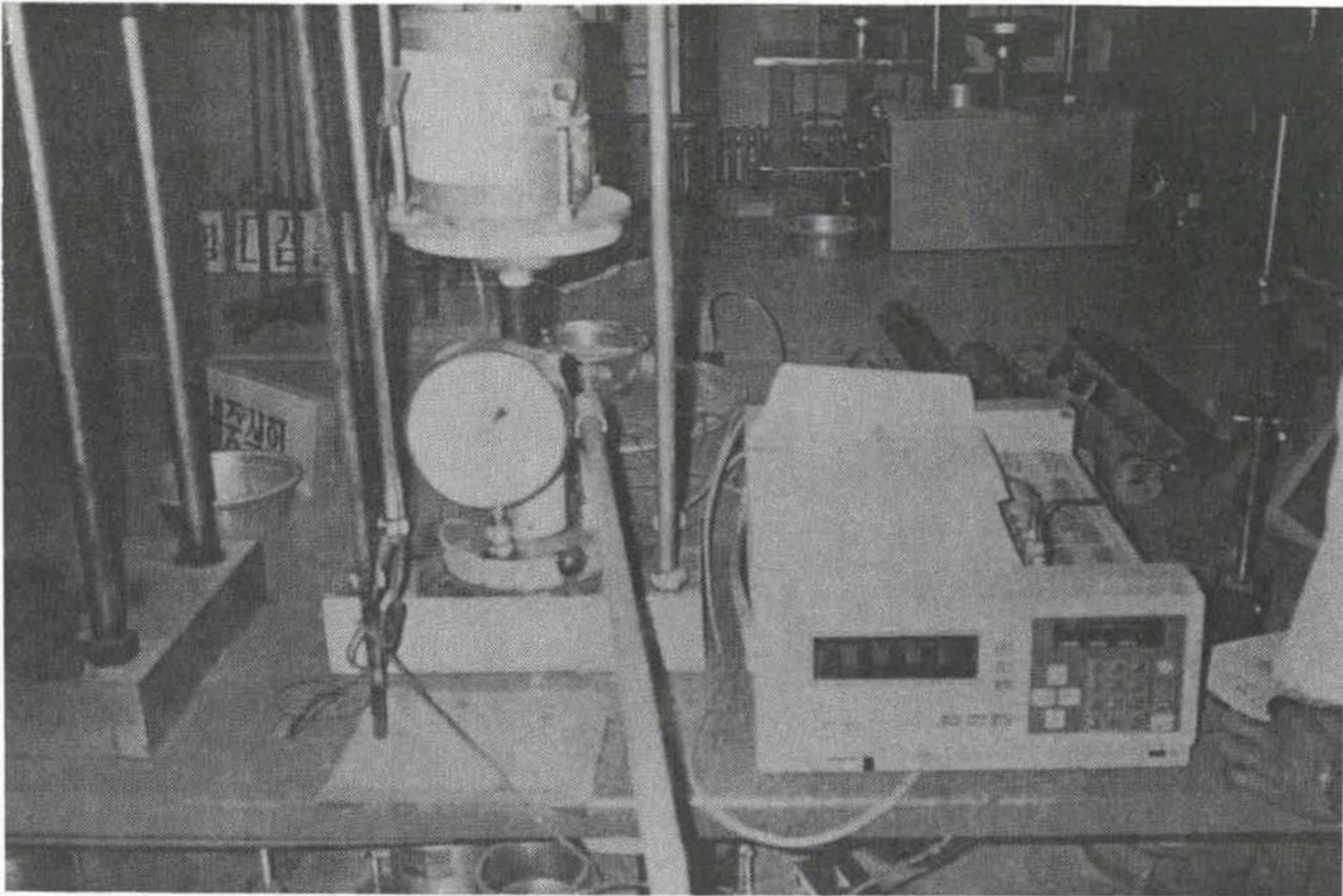


그림 4-4. 노상 토의 CBR시험

2. 결과 및 고찰

수집된 3종류의 재생골재 중 유기물의 선별이 양호하며 재생골재를 입도 별로 대량 생산하는 기능을 갖춘 Source C의 재생골재를 사용하여 현장의 보조 기층에 사용할 각종 시험 결과는 표 3과 같다. 사용된 재료는 표준입도규정에 적합하도록 40mm 재생골재와 25mm 재생골재를 적절한 비율로 혼합한 것이며, 표 4-5에서와 같이 시험 결과 재생골재는 소성지수, 마모 감량, CBR, 단위 중량 등이 보조 기층 재료로 사용키 위한 품질 규정에 모두 적합한 것으로 나타났다.

표 4-5. 보조 기층 재료로서 재생골재의 시험 결과

Test	Plastic Index	Abrasion(%)	CBR(%)	Unit Weight (ton/m ³)
Specification Limit	< 6	< 50	> 30	-
Recycled Aggregate	N.P.	41.10	35.89	1.43

N.P. : Non-Plastic

또한 시험 구간에 재생골재 보조 기층을 다짐한 상태에서 지반 계수 K 값을 구한 결과 16.4Kg/cm³ 으로 도로 보조 기층 최대치인 15Kg/cm³ 이상이 되어 매우 안정한 것으로 나타났다. 따라서 폐콘크리트로부터 생산된 재생골재는 도로의 보조 기층 재료로 양호한 것이며 이를 사용한 보조 기층은 국내 일반 도로 규정에 합격되는 것으로 나타났으므로 이를 비교적 차량의 소통이 적은 농촌 도로의 보조 기층에 사용하여도 무방할 것으로 사료되었다.

제2절 재생콘크리트 포장의 설계

재생골재를 이용한 보조 기층의 설계는 상기에 제시한 재생골재로 기존의 건설부 도로포장 설계·시공 지침(1991)을 기준으로 하고 이에 현장 조건과 농어촌 실정을 감안하여 수행하였다. 또한 재생콘크리트 포장 표층의 설계도 주어진 시험 및 조사 결과치와 상기 지침에 의하여 수행 되었다. 이에 대한 상세한 내용과 각종 설계서 및 계산 방법, 시험 결과 등은 부록 1, 2에 제시되었다.

제3절. 재생콘크리트 농어촌 도로 鋪裝

1. 재료 및 방법

본 연구에서는 계획된 대로 강원도 춘천시 신동면 의암리 마을 안길 100m를 재생콘크리트를 이용하여 시험 포장하였다. 이 도로는 하천 변의 막석다짐 형태의 비포장으로 개설된지 수십년된 도로로서 차량 소통이 일일 수십 대 정도로 영농 장비 및 마을에서 생산되는 농산물을 운반하기 위한 소형 트럭 등이 다닌다.

이 포장을 수행하기 전에 강원대학교의 캠퍼스 내에 약 4평의 Pit를 설치하고 실제 포장을 수행하기 전의 각종 사항들을 사전에 시험을 통하여 준비하였다. 즉, 이곳에 재생골재를 다짐한 보조 기층을 설치하여 시공성과 성능을 평가판재시험 등을 통하여 점검하였다. 또한 그 위에 재활용 콘크리트로 포장을 타설 함에 있어 소요의 워커빌리티 및 반죽 질기를 결정하였으며 재활용 콘크리트의 유동성과 성형성 그리고 경화 과정에서의 블리딩 현상 등 특징을 관찰하였다.

그림 4-5와 4-6은 현장의 위치를 나타내는 지도이며 그림 4-7은 현장의 포장 형태를 보여주는 개략도 이다. 포장을 수행한 현장은 자연 상태의 지반이 매우 견고한 막석 다짐 상태의 비포장 도로였다. 시험 포장 총 100m 구간 중 6m는 일반 콘크리트를 사용하였으며 폐콘크리트를 사용한 재활용 콘크리트를 타설한 구간은 94m 이었다. 이는 재활용 콘크리트의 성능을 평가함에 있어서 일반 콘크리트와의 특성을 비교하기 위한 목적으로 시행된 것이다. 따라서 6m구간의 일반 콘크리트는 레미콘 회사에서 일반적으로 농어촌 도로포장에 많이 사용하는 180Kg/cm² 강도의 콘크리트를 사용하였다.

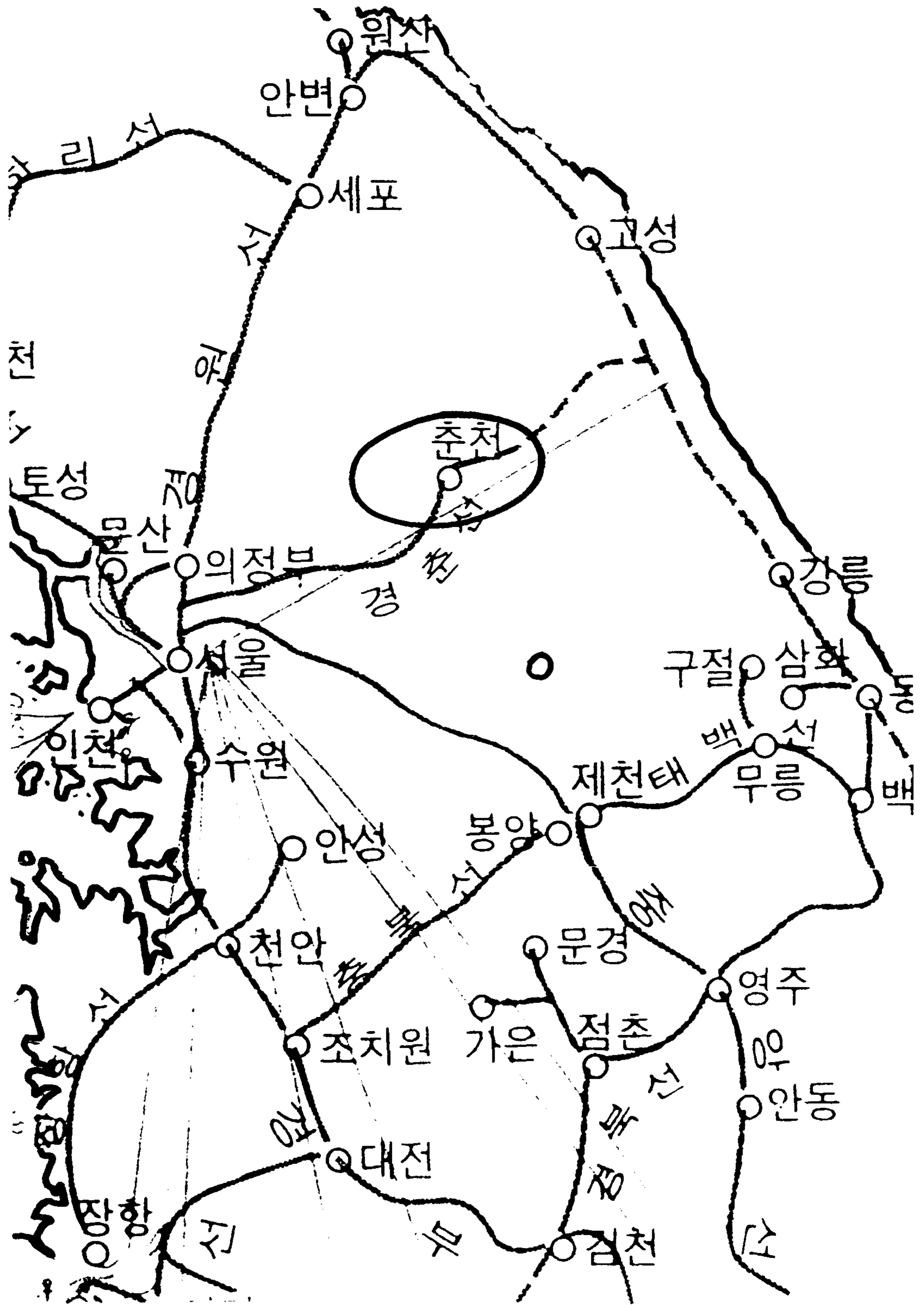


그림 4-5. 춘천 지역의 위치도

位置平面圖 (1:50,000)

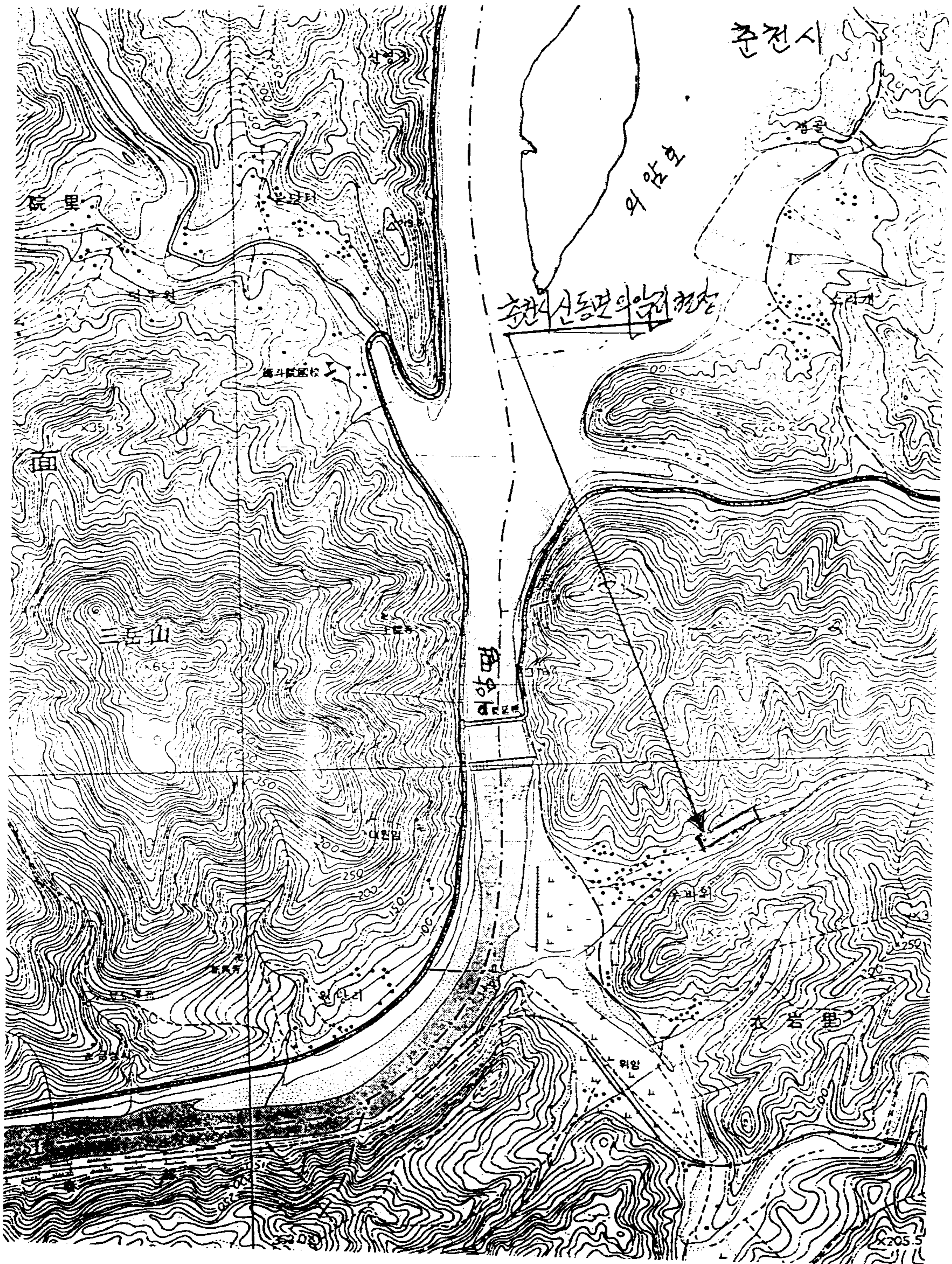


그림 4-6.현장의 위치도

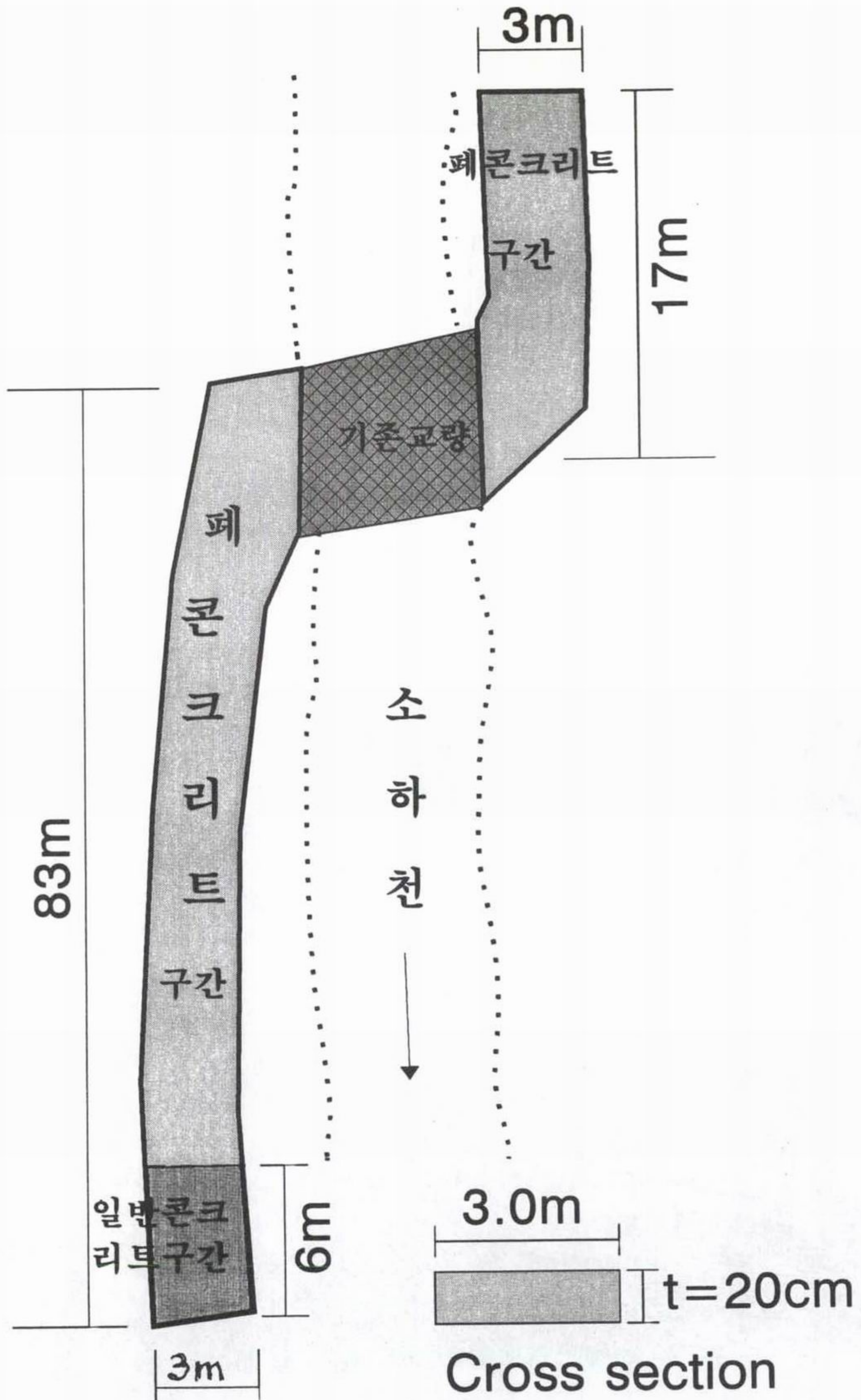


그림 4-7. 현장 개략도.

시험 포장의 폭은 3m로 연결되는 기존 도로포장의 폭과 같이 맞추어 시행하였다. 포장의 두께는 현장의 지반 상태, 교통량 등을 이용하여 설계하였으며 재료의 불확실성을 고려하여 충분한 강도를 낼 수 있도록 20cm로 결정하였다.

포장을 시공할 현장을 측량하고 고르기와 다지기를 한 후 거푸집을 설치하였다 (그림 4-8, 4-9). 재활용 콘크리트는 춘천시 소재 호반 레미콘의 협조로 표 3-5에 결정된 배합에 따라 플랜트에서 배합하여 현장까지 레미콘 트럭으로 운반하였다. 재활용 레미콘 제조시 플랜트에는 플라이애쉬를 공급할 수 있는 라인 이 없어 잔골재 운반 컨베이어 벨트 위에 플라이애쉬를 소정량 수작업으로 공급하여 혼합되도록 하였다. 운반 거리는 약 10km 이었으며 트럭이 현장에 도착 후 대기 (약 5분 이내) 하는 동안 그림 4-10과 같이 레미콘 트럭에 소정 량의 유동화제를 첨가하여 강제 혼합하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 현장 시공성

혼합된 콘크리트는 준비된 현장에 타설 되었으며 하단부에 8번선 메쉬 (철망)를 깔고 그 위에 잘 다졌으며 평상시 농촌에서 할 수 있는 방식인 수작업으로 다지고 표면 마무리를 그림과 같이 수행하였다 (그림 4-11 ~ 4-15). 재활용 콘크리트의 유동성은 같은 반죽 질기라도 더 작업하기 어려웠으며 특히 표면 마무리는 어려웠다. 즉, 재활용 콘크리트는 Workability 및 Finishability 가 나쁜 것으로 판명되었다. 이는 흡수율이 크고 표면이 거친 재생골재의 존재와 비중이 낮은 목재 (그림 4-16) 및 스타이렌폼 (그림 4-17)등과 같은 유기물이 위로 떠오르기 때문인 것으로 보여졌다.

하지만 이는 부분적인 현상이며 전반적으로는 슬럼프가 좋아 일반 콘크리트를 수작업으로 타설할 수 있는 사람이면 누구나 다소 다르기는 하지만 시공은 가능하였다. 즉, 시공상 공법의 어려움보다는 사용할 재료의 특성 시험과 그에 근거한 배합설계만 적절히 이루어지면 큰 문제는 없는 것으로 보여진다.

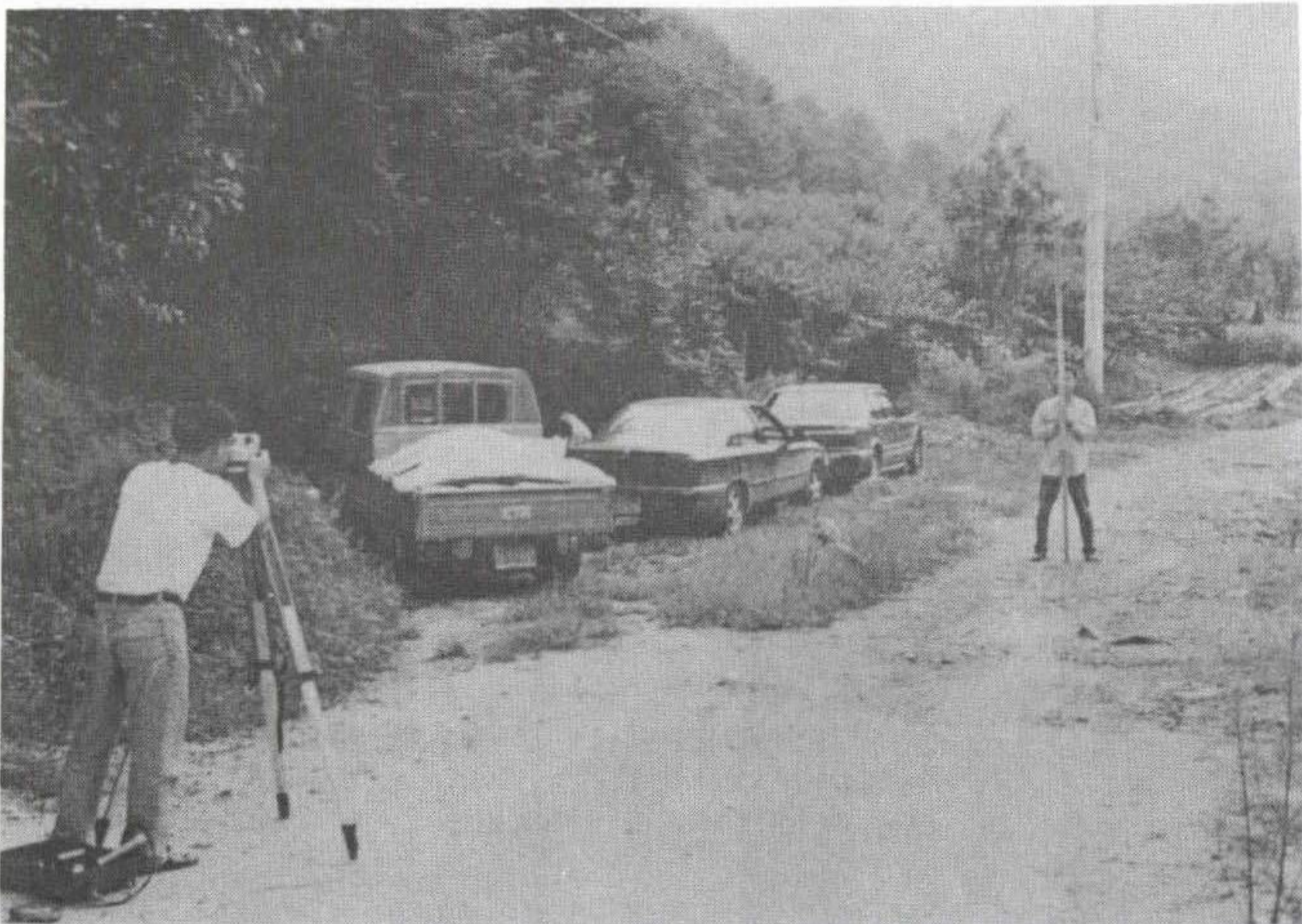


그림 4-8. 시험 포장할 현장을 측량하는 과정



그림 4-9. 시험 포장할 현장의 노면 상태



그림 4-10. 현장에서 레미콘 트럭에 혼화제를 첨가하는 모습

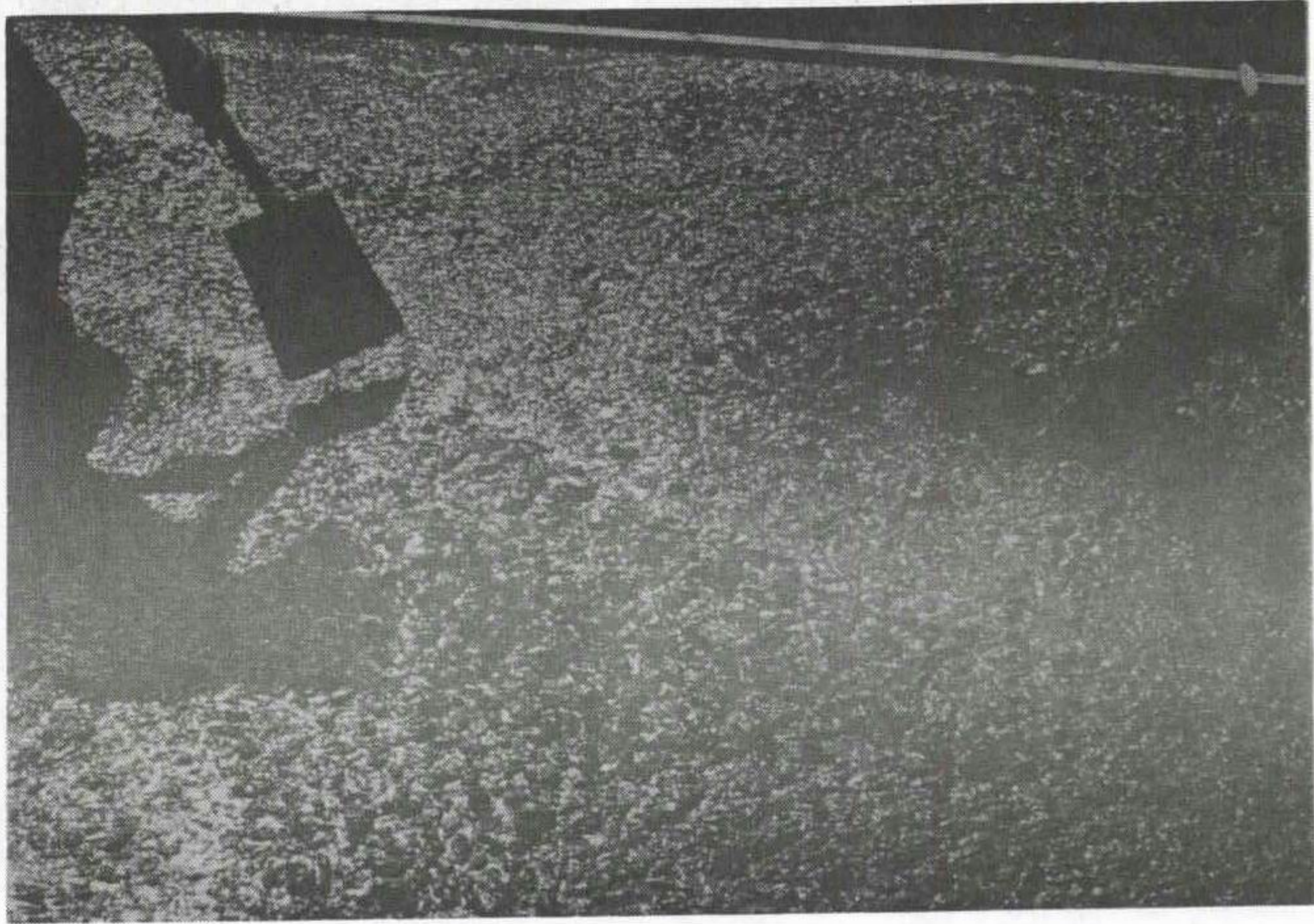


그림 4-11. 레미콘 트럭으로부터 나오는 재활용 콘크리트의 상태



그림 4-12. 현장 타설하는 모습

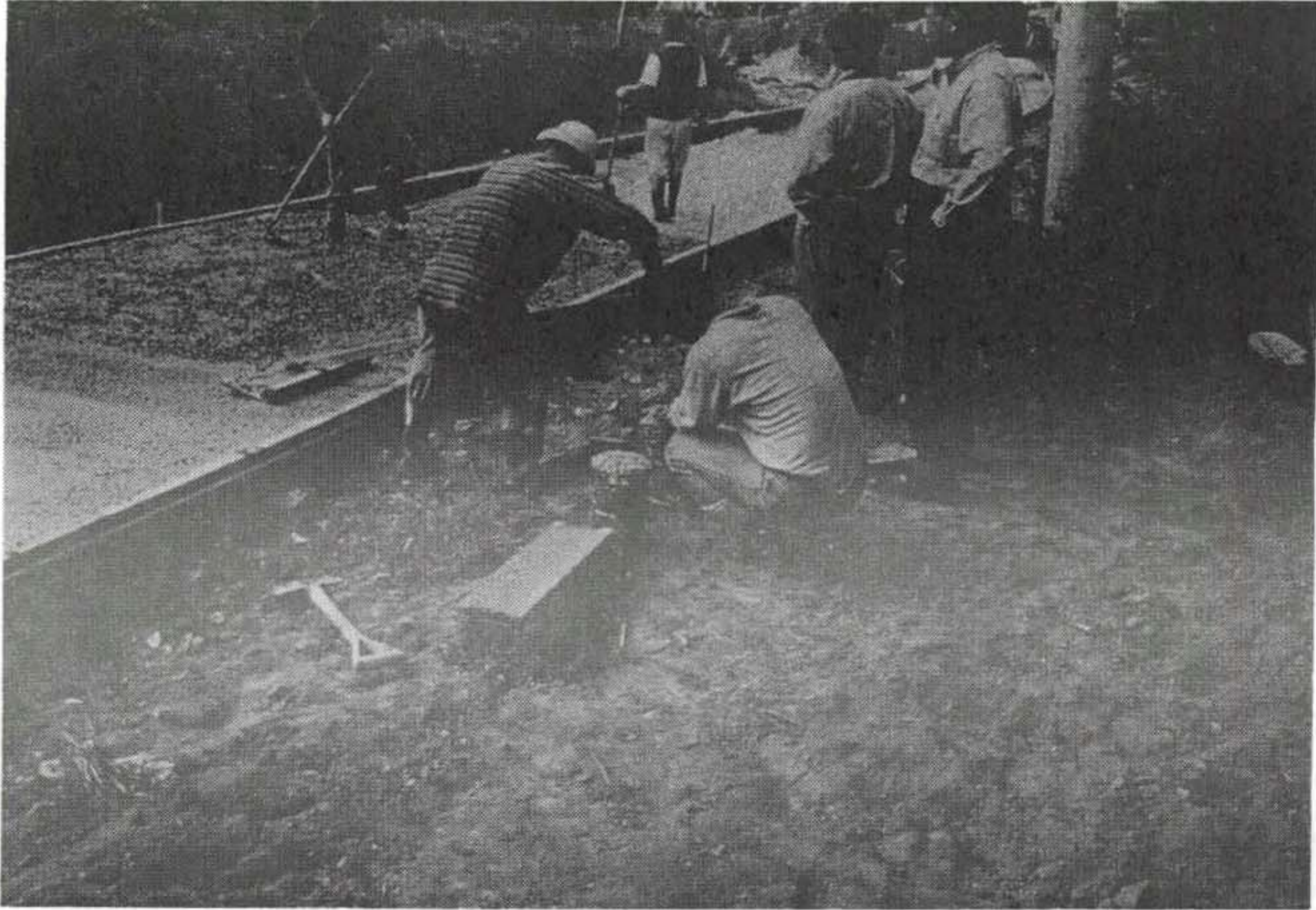


그림 4-13. 현장에서 공시체를 제조하는 모습

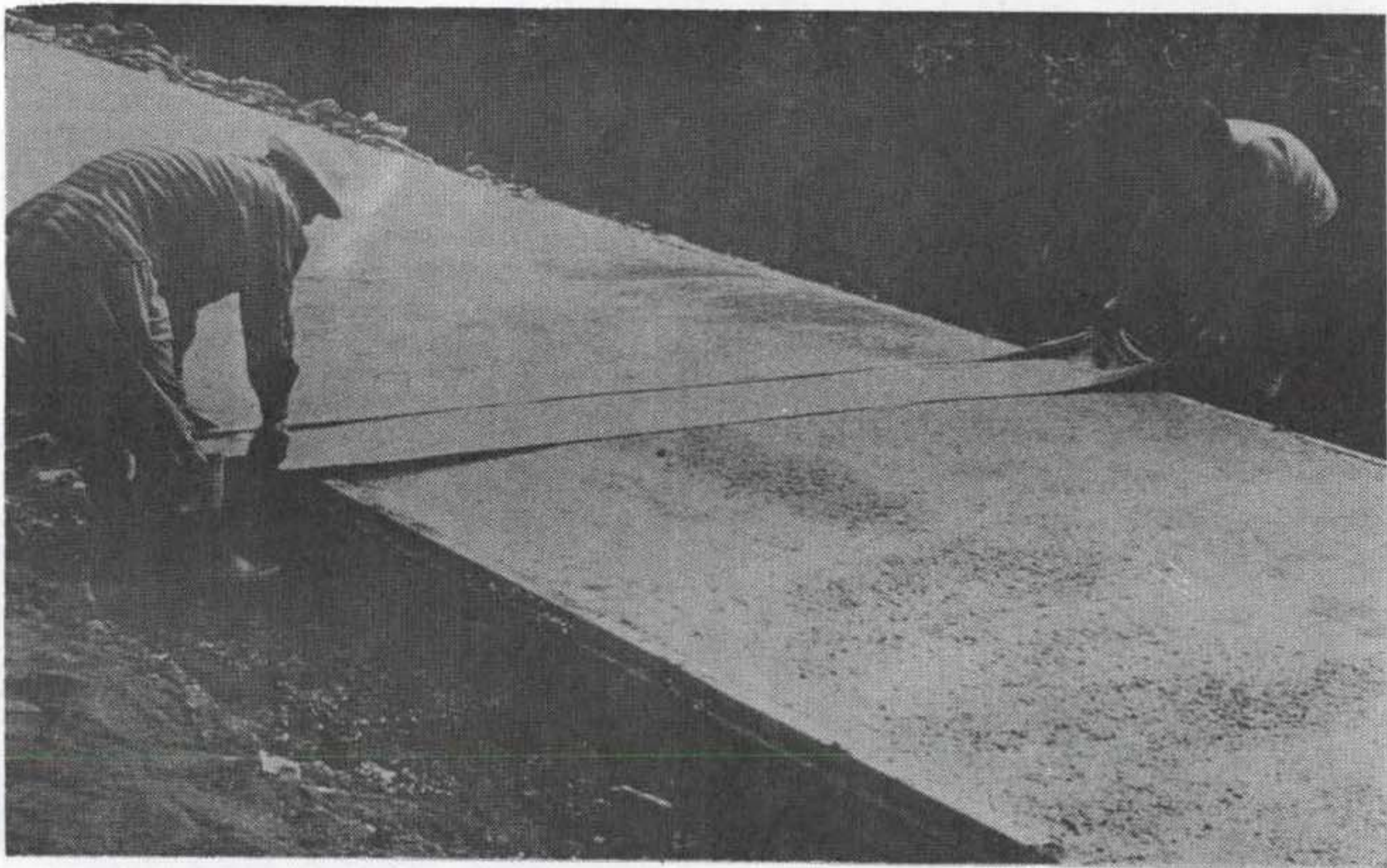


그림 4-14. 수작업으로 표면 마무리(Finish)를 하는 모습

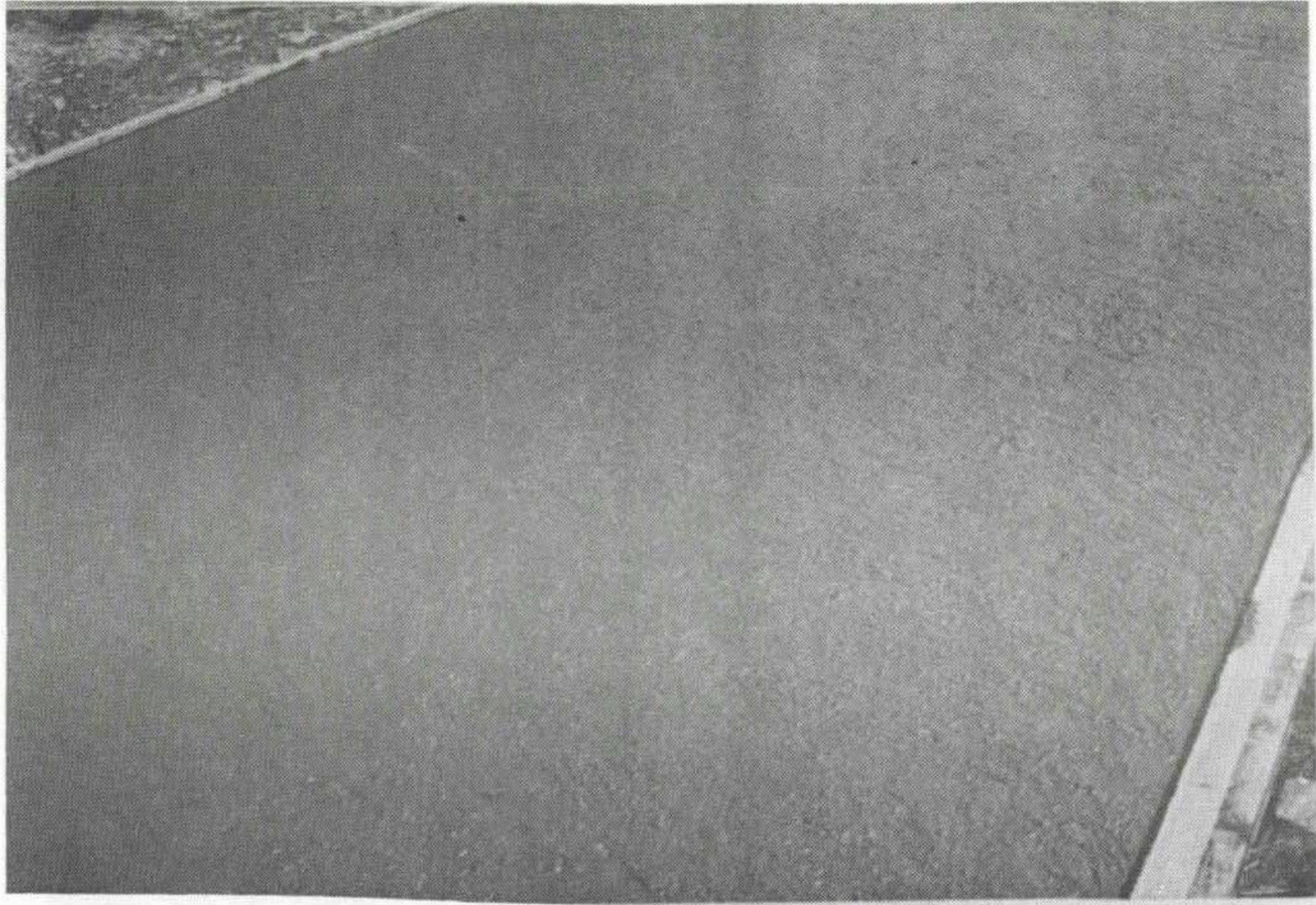


그림 4-15. 마무리된 포장의 굳기전의 표면상태



그림 4-16. 타설 다음날 표면에 떠오른 나무 조각



그림 4-17. 타설 다음날 표면에 나타난 스타이렌폼 조각

나. 양생 및 코아 채취

시공 후 7일간 양생을 거쳐 거푸집을 제거하였다. 시기적으로 9월 중순이어 이 지역의 기온이 15~25C 이었으므로 매우 양생이 잘되었다. 표면의 상태는 전반적으로 양호하였으며 약간의 경사진 구간에서 미세한 균열이 횡방향으로 부분적으로 나타났고 재생골재가 충분히 묻히지 않은 곳에 그림 4-18과 같이 다소의 곰보가 있었을 뿐이었다. 전 구간에 걸쳐 8m 간격으로 신축 조인트를 8mm 두께의 콘크리트 컷터로 횡방향으로 절단하였다 (그림 4-19).

포장의 양생 기간에는 타설 24시간 후인 다음날부터 5일간 매일 1회씩 오후 1~2시경 양수기를 이용하여 옆에 있는 개울로부터 물을 끌어올려 충분히 뿌려 주었다 (그림 4-20). 또한 완성된 포장에서 3주 후에 코어채취기를 이용하여 전 구간에 걸쳐 직경 10cm의 코어를 12개 채취하였다 (그림 4-21). 그림 4-22, 4-23의 채취된 코어에서 보듯이 콘크리트의 내부에는 붉은 벽돌, 아스콘, 발포 스티렌폼 등이 들어 있음을 확인 할 수 있었다.

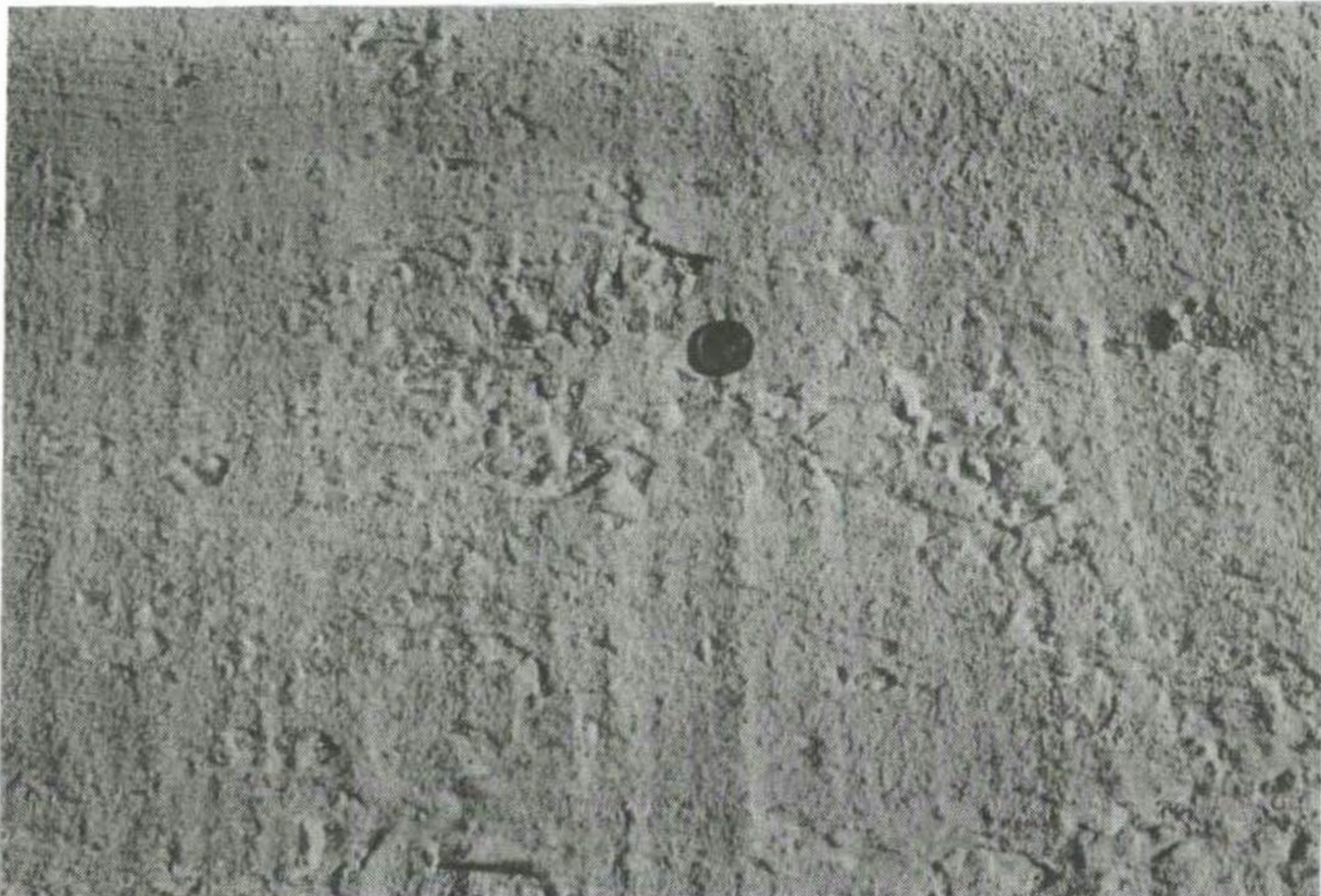


그림 4-18. 마무리된 표면이 굳고 난 후 거친 부분

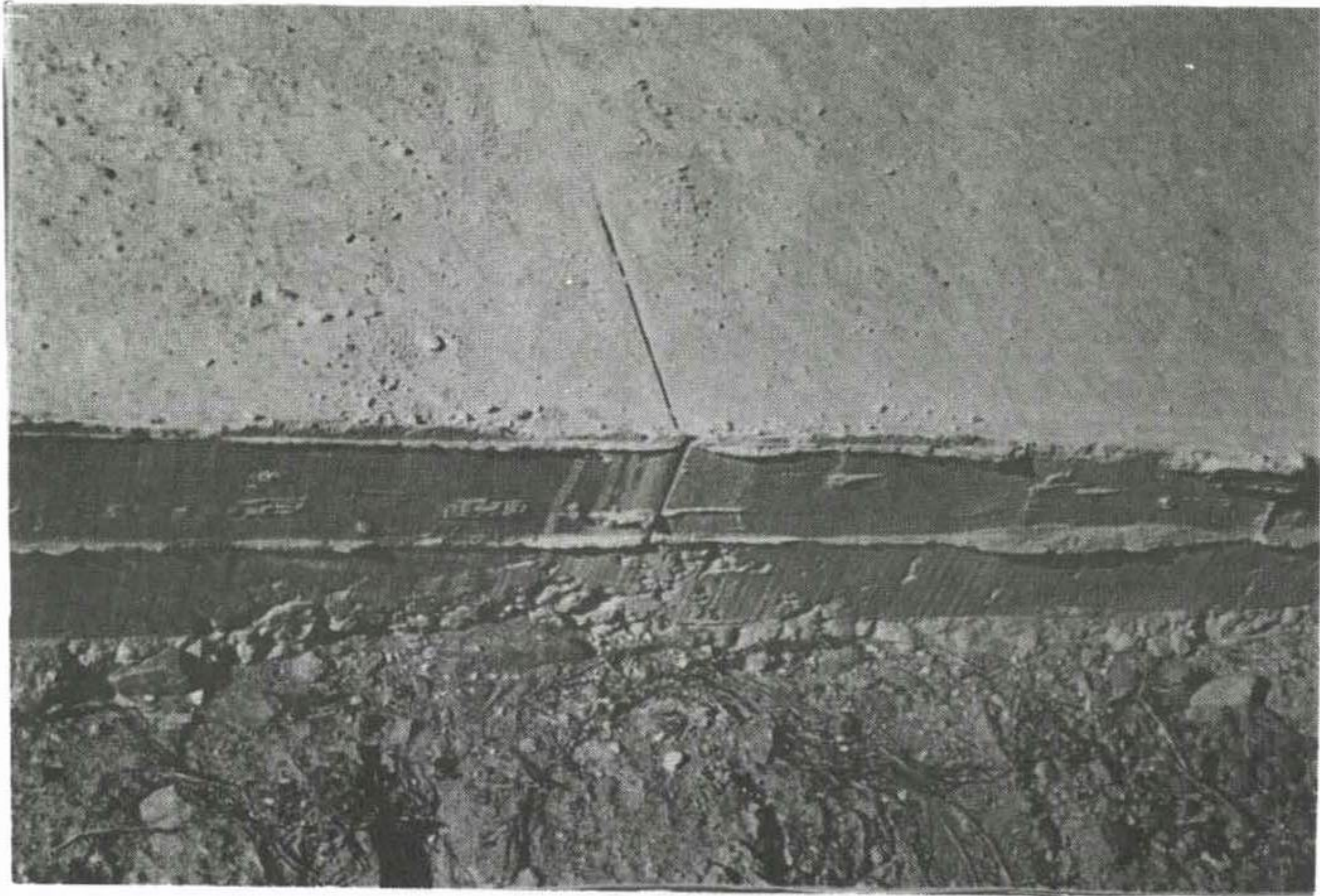


그림 4-19. 포장의 측면과 컷팅한 신축 조인트

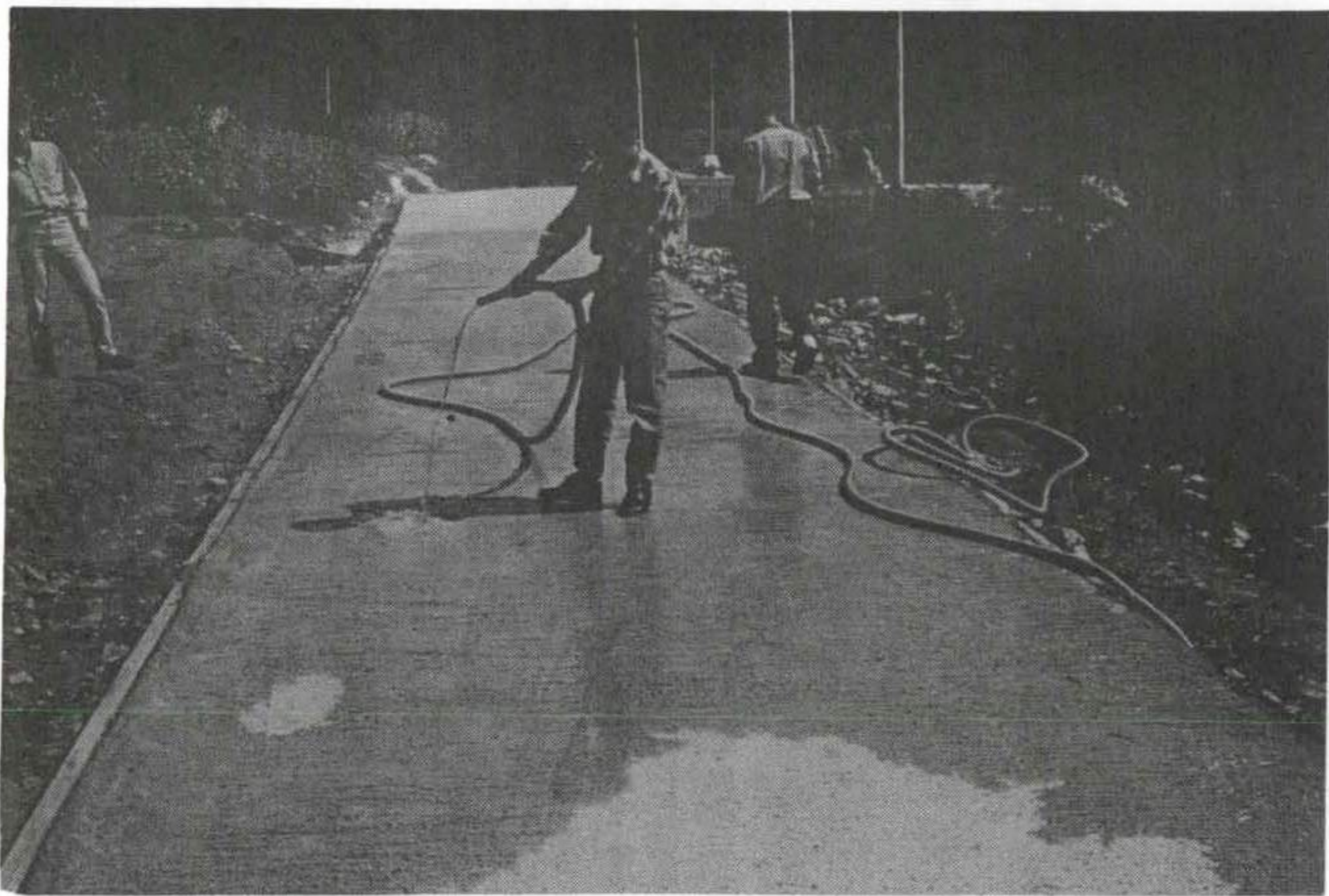


그림 4-20. 시공 24시간 후 표면에 살수하는 장면



그림 4-21. 완성된 포장에서 코어를 채취하는 광경

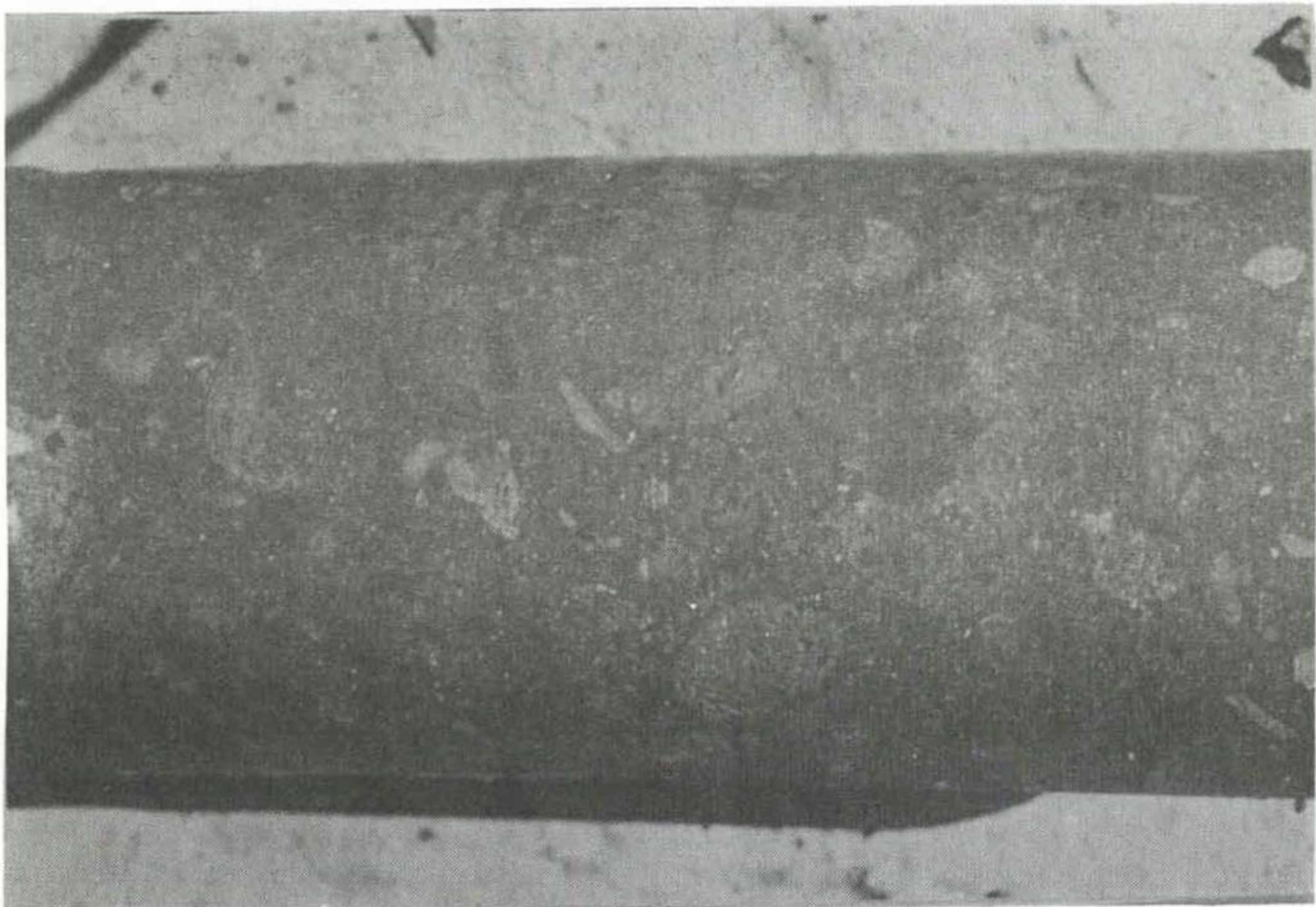


그림 4-22. 재활용 콘크리트에 포함된 다양한 재료들을 보여주는 코어 공시체



그림 4-23. 포장이 완성된 현장 모습

다. 현장 타설 콘크리트의 강도

현장 시험 시공까지의 결과 재생골재의 농어촌 도로포장에의 이용은 매우 바람직 한 것으로 판정되었다. 우선 강도상 채취된 코어공시체와 그림 4-13에서와 같이 현장에서 제조한 공시체를 이용하여 압축강도를 측정한 결과 코어공시체의 경우 $250\text{Kg}/\text{cm}^2$ 이상, 현장 제조 공시체의 경우 $300\text{Kg}/\text{cm}^2$ 이상 매우 우수하게 나타났다.

채취된 코어공시체의 경우 전체적으로 강도가 낮게 나타났는데 이는 일반적인 현상이라 하겠다. 즉, 이는 현장에서 제조된 공시체가 보다 충분한 다짐을

받았고 실험실에서 양생되었기 때문에 강도가 높은 반면, 재활용 콘크리트의 현장 시공성이 나쁜 점과 나아가 공시체를 채취하는 과정에서 콘크리트의 원통형면에 다소 훼손이 있는 점 등 때문에 코어 공시체 강도가 상대적으로 낮은 것으로 추정된다.

압축강도 대 인장강도 및 휨강도의 비율은 각각 평균 9% 및 18% 여서 일반 콘크리트에 비하여 그 비율이 다소 낮았다. 이는 앞의 배합설계시 공시체의 강도에서도 나타났던 현상이다. 하지만 탄성계수는 더 우수하여 240,000Kg/cm² 이상 인 것으로 나타나 매우 양호한 상태였다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 압축강도를 고려하면 배합설계시 물-시멘트 비를 다소(약 3~5%) 높일 수 있을 것으로도 생각 되나 현장의 시공성이 나쁜 점과 그로 인해 코어공시체의 강도가 낮은 점등을 고려한다면 일단 현재의 배합을 적용하는 것이 적합할 것으로 보여진다.

표 4-6 현장 타설 콘크리트의 강도 특성 측정 결과 (단위 Kg/cm²)

구 분	일반콘크리트	재활용 콘크리트			
	압축강도	압축강도	할열인장강도	휨강도	탄성계수
제조공시체	189.9	303.3	30.2	54	2.41x10 ⁵
코어공시체	174.1	252.0	21.0	-	2.20x10 ⁵
F/T 공시체 ¹⁾	-	295.2	-	-	2.40x10 ⁵
F/T 공시체 ²⁾	-	317.2	-	-	2.42x10 ⁵

¹⁾, F/T = Freezing/Thawing (동결/융해) 14 Cycles 처리

²⁾, F/T = Freezing/Thawing (동결/융해) 60 Cycles 처리

또한 시공 일에 현장에서 제조한 공시체를 동결융해 시험한 결과 압축강도 및 탄성계수가 크게 차이가 나질 않았는데(표 4-6) 이는 재활용 콘크리트가 동결융해에 강하다는 과거의 연구 결과와 일치한다. 공시체에 가한 동결융해 사이클은 -20C와 +25C에서 동결-융해 각각 12 시간 씩 1일 1사이클 반복이었으며 공시체를 처음 2주간은 수중 25°C 양생 후 후반 14, 60 사이클을 반복하고 같은 방법으로 강도를 측정하였다.

한편 공사 구간 중 일반 콘크리트(설계 강도 180Kg/cm²) 타설 구간에서 채취한 코어에 대한 압축강도는 재생콘크리트보다 매우 낮았다. 이는 유동화제 및 플라이애쉬 없이 물-시멘트 비를 0.5이상으로 설정하여 목표슬럼프치를 12cm로 타설한 일반 콘크리트이므로 이는 배합설계의 소요 강도 범위 내에 해당하는 적절한 값으로 보여진다.

3. 실용성 평가

따라서 지금까지의 실험실 및 현장 타설 재활용 콘크리트에 대한 시험 성과를 종합해 본 결과 재활용 콘크리트는 농어촌 도로의 포장 재료로서 충분한 이용 가치가 있는 것으로 판명되었다. 한편 시공법은 기존의 콘크리트 재료를 사용한 공법에 의한 방법을 거의 그대로 적용 할 수 있어 농어촌에서 일반적으로 쉽게 시공 할 수 있음을 알 수 있었다. 다만 공법상 배합 설계시 플라이애쉬 및 유동화제를 첨가하여 배합하는 과정을 본 연구에서 제시 한대로 수행하면 가능 할 것으로 사료되며 이를 위한 지방 규정은 최종 보고서에 제시될 것이다.

또한 본 연구의 수행 시까지는 문제로 대두되었던 재생골재의 확보 및 유기 불순물의 선별 문제는 각 지방자치 단체에서의 자구 노력에 힘입어 전국적인 재활용 플랜트의 설치로 매우 급속도로 발전되고 있어 향후 그 해결 가능성이

매우 밝다 하겠다.

4. 결 론

재생콘크리트에 의한 시험 포장과 그로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 가. 본 연구에서 제조된 재생콘크리트에 의한 포장은 전반적으로는 슬럼프가 좋아 일반 콘크리트를 수작업으로 타설할 수 있는 사람이면 누구나 시공이 가능하였다.
- 나. 경화후 표면의 상태는 전반적으로 양호하였으며 약간의 경사진 구간에 서 미세한 균열이 횡방향으로 부분적으로 나타났는데 이는 타설시 혼화제량의 미세 조정으로 유동성을 조절하면 제어 할 수 있을 것으로 보여진다.
- 다. 채취된 코어 공시체와 현장에서 제조한 공시체를 이용하여 압축강도를 측정 한 결과 코아공시체의 경우 250Kg/cm^2 이상, 현장 제조 공시체의 경우 300Kg/cm^2 이상 매우 우수하게 나타났다.
- 라. 현장타설한 재생콘크리트의 탄성계수는 $240,000\text{Kg/cm}^2$ 이상 인 것으로 나타나 매우 양호한 상태였다.
- 마. 현장에서 제조한 공시체를 동결융해 시험한 결과 압축강도 및 탄성계수가 크게 차이가 나질 않았는데 이는 재활용 콘크리트가 동결융해에 강하다는 과거의 연구 결과와 일치한다.
- 바. 이상의 결과를 종합해 볼 때 압축강도를 고려하면 배합설계시 물-시멘트 비를 다소(약 3~5%) 높일 수 있을 것으로도 생각 할 수 있으나 현장의 시공성이 나쁜 점 등을 고려한다면 일단 현재의 배합이 적합한 것으로 보여진다.

제 5 장 연구 요약 및 향후 연구 방향

여 백

제 5장 연구 요약 및 향후 연구 방향

제 1절 연구 요약

본 연구에서 수행한 폐콘크리트의 농촌 도로포장 콘크리트로의 재활용은 국내에서는 폐콘크리트를 다시 콘크리트로 개발한 최초의 일이며 이는 본 연구팀이 지난 수간 지속적으로 수행한 기초 연구의 바탕에서 금번 농수산부 지원의 실용화 연구의 결실이다. 본 연구의 결과에 대한 지금까지의 종합 결론은 다음과 같다.

1. 문헌 및 자료 조사 결과 재생 잔골재는 유기 불순물의 함량이 많고 미분의 함량이 높아 흡수율이 매우 크며(10% 내외) 이를 콘크리트용 잔골재로 사용할 때 물-시멘트 비 조절 Workability 조절에 어려움이 크고 수축 팽창이 매우 커져 균열 발생의 원인이 되었다. 따라서 재생 잔골재는 콘크리트용 잔골재보다는 복토재 및 차단 층용의 재료 등으로 사용하는 것이 바람직한 재활용 방법이다.
2. 재생 굵은골재에는 폐콘크리트 외에 시멘트 벽돌, 붉은 벽돌, 아스콘 등도 첨가되어 있어 비교적 비중이 낮았으나 입도 양호하였으며, 본 연구에서의 재생골재도 지금까지의 연구 결과에서와 마찬가지로 흡수율, 마모율이 천연골재보다 높았고 비중은 낮았다.
3. 재생골재는 표준입도규정에 적합하도록 40mm 재생골재와 25mm 재생골재를 적절한 비율로 혼합한 것이며, 시험 결과 재생골재는 소성지수, 마모 감량, CBR, 단위 중량 등이 보조 기층 재료로 사용키 위한 품질 규정에 모두 적합한 것으로 나타났다.
4. 배합설계 시 재생 굵은골재는 지금까지 본 연구팀의 연구 결과를 토대로

전체 굵은골재 량의 50%를 섞는 것을 목표로 하였으며, Fly Ash는 결합재 총량의 5%, 유동화제는 w/c를 고정한 상태에서 Slump 값으로부터 결정된 결과 현장에서의 적정 Workability를 얻었으며 타설 및 경화 후 강도 등에 있어서 만족하였다.

5. 본 연구에서 제조된 재생콘크리트에 의한 포장은 유동성이 좋아 일반 콘크리트를 수작업으로 타설할 수 있는 사람이면 누구나 시공이 가능하였다. 특히 시공상 공법의 어려움보다는 사용할 재료의 특성 시험과 그에 근거한 배합설계만 적절히 이루어지면 큰 문제는 없는 것으로 나타났다.
6. 경화 후 표면의 상태는 전반적으로 양호하였으며 약간의 경사진 구간에서 미세한 균열이 횡방향으로 부분적으로 나타났는데 이는 타설시 혼화제양의 미세 조정으로 유동성을 조절하면 제어 할 수 있을 것으로 보여진다.
7. 채취된 코어 공시체와 현장에서 제조한 공시체를 이용하여 각종강도를 측정한 결과 코아공시체의 압축강도는 $\sigma_{28} = 250\text{Kg/cm}^2$ 이상, 휨강도는 45Kg/cm^2 이상, 현장 제조 공시체의 경우 300Kg/cm^2 이상 매우 우수하게 나타났고, 탄성계수는 $220,000\text{Kg/cm}^2$ 이상 인 것으로 나타나 매우 양호한 상태였다.
8. 시공일 현장에서 제조한 공시체를 동결융해 처리 후 시험한 결과 압축강도 및 탄성계수가 크게 차이가 나질 않았는데 이는 재활용 콘크리트가 동결융해에 강하다는 과거의 연구 결과와 일치한다.
9. 이상의 결과를 종합해 볼 때 압축강도를 고려하면 배합설계 시 물-시멘트 비를 다소(약 3~5%) 높일 수 있을 것으로도 생각되나 현장의 시공성과 재생골재 품질 상의 불확실성 등을 고려한다면 일단 현재의 배합을

적용하는 것이 적합할 것으로 보여진다.

10. 결과적으로 현장 시험 시공까지의 결과 재생골재를 이용한 농어촌 도로 포장 공법은 충분한 실용 가능성이 있는 것으로 판정되었다.

제2절. 기대 효과 및 실용화 방안

1. 기대 효과

본 연구는 생산 기반 분야에서 다루는 필수 사안으로 환경 정비를 통한 농촌 선진화를 위하여 가장 시급한 과제인 농촌 도로포장 문제를 경제적이며 환경 적인 재료를 이용하여 해결하기 위해 수행된 연구로서 다음과 같은 효과가 기대된다.

가. 본 연구가 완수될 경우 농도 포장을 저렴한 가격의 재료로 보다 경제적이고 용이하게 수행할 수 있는 공법의 개발이 제시 될 것이며 이는 같은 예산으로 보다 많은 농도 포장을 가능케 하고 아울러, 농촌 환경의 개선 및 폐콘크리트를 재활용하므로 향후 예견되는 GR에 대비한 국내 재활용 기술 축적 등 매우 다양한 효과를 가져 올 수 있다.

나. 농어촌 지역 도로의 포장에 따른 생산 기반의 향상은 주민 생활의 편리 제공, 영농 기계화 장비의 원활한 소통, 농·어·축산물의 운반 및 공급 과정의 촉진, 도시 배후 지역으로써의 농촌 개발 효과 등 농촌을 경제적으로 부가가치가 상승되게 하는 효과가 있다. 또한, 폐기물 재활용에 따른 자원 절약과 환경 관리비용의 절감 등 간접적인 경제적 이득 등 다양한 효과를 기대할 수 있다.

다. 전국적으로 이 공법을 보급함은 각 자치단체가 설치하는 재활용 플랜트

에서 생산하는 재생골재의 큰 수요를 형성하게 되어 재활용 순환 사이클 실용화의 일익을 해결하는 역할을 하게 될 것이다.

라. 농림수산부에서는 농촌 도로를 도시 도로와 차별화 하여 보다 경제적이면서도 시공이 용이한 새로운 재료 및 기법으로 포장 율을 향상시킬 대안을 추구하여 왔으며, 낙후된 농촌 개발을 위하여 매년 농도 등의 포장 사업을 크게 확대해 가고 있다. 따라서 본 연구가 농림수산부를 통하여 보급될 경우 같은 예산으로 보다 많은 도로포장을 시행할 수 있어 농어촌 환경 개선을 가속화시키는 효과를 얻게 될 것이다.

2. 실용화 방안(제시)

본 연구 결과를 실용화하기 위해서는 다음과 같은 과정이 필요한 것으로 사료된다..

가. 우선 본 연구 결과를 도내는 물론 농림수산부를 통하여 전국 각 시·군에 보급하여 각 자치단체 별 담당 부서의 관할 하에 구역 내의 일정한 농어촌 도로에 직접 시범 포장 사업을 수행할 것을 제시한다. 그렇게 함으로써 자치단체별로 담당 부서 공무원 (예 기반 조성과)이 기술적인 부분을 먼저 습득하게 되고 아울러 현장 실용성 면을 확인할 수 있을 것이다.

나. 그리고 재활용에 대한 인식 제고와 사회적 분위기 형성을 위하여 이와 같은 사업을 관 주도하에 몇 번 더 수행해 봄에 따라 관공서 자체는 물론 농촌 주민들과 시공자들의 인식도 바뀌게 될 것이다. 나아가 관공서에서 이와 같이 재활용 포장 공사를 발주를 하게 되면 시공 회사 입장에서도 이 기술을 이용해 공사를 수행하게 될 것이다.

다. 또한 현재 새마을 사업으로 수행하는 마을 안길 포장 사업에 이 공법을 포함시켜 보급하고 장려하는 제도적 장치를 마련하는 것도 좋은 방법이다. 그리고 필요하다면 본 연구에서 수행한 현장을 견학토록 하는 것도 고정관념(폐콘크리트는 안 좋다는 생각)을 바꿀 수 있는 좋은 계기가 될 것이다.

라. 궁극적으로는 자치단체에서 발주하는 농촌 소도로 포장 공사의 일정 비율 이상을 재활용 포장으로 수행하도록 하는 제도적 장치를 수년 내에 마련하므로써 향후 지속적으로 재활용을 실용화 할 수 있게 될 것이다.

제3절. 향후 연구 방향

지금까지의 연구는 농어촌 도로포장에 폐콘크리트 및 폐아스콘을 이용한 공법 개발하기 위한 연구의 1차년도 연구로써 향후 2차년도에는 다음과 같은 연구를 수행하여 실용화를 위한 기틀을 마련할 예정이다.

1. 재생콘크리트 농어촌 도로포장 실용화 연구

현재까지의 재생콘크리트 농어촌 도로포장 연구의 결과 충분히 실용 가능성이 있는 것으로 판명되었으므로 2차년도에는 이의 실용화를 위하여 기존 포장의 상태를 지속적으로 Monitoring하고, 배합설계를 수정 보완하는 연구를 수행하며 시공 지침서 및 표준 품셈을 개발 할 예정이다.

2. 재생 아스콘의 기층 개발

현재 폐기 처분되는 폐아스콘을 이용하여 새로이 개발될 재생 아스콘 농어촌 도로포장의 기층을 개발하여 재활용할 연구를 수행코자 한다. 이는 기존 일반 도로의 아스콘 포장의 기층이 아스팔트 안정 처리 기층으로 이루어지고 있는 점을 본다면 충분히 가능성이 있다고 보여진다.

3. 재생 아스콘 농어촌 도로포장 개발

재생 아스콘을 이용한 기층의 개발에 이어 이 재생아스콘을 농어촌 도로의 표층으로 개발하는 연구를 수행코자 한다. 이의 개발은 재생 아스팔트 분석 및 혼합 아스콘 제조, 재생 아스콘이 배합설계, 재생 아스콘의 강도 특성 규명 등을 통하여 이루어지게 된다. 또한 작은 구간에 시험 포장의 설치와 그를 평가후 시공 지침서 및 표준 품셈을 개발 할 예정이다.

또한 이때 재생콘크리트를 사용하여 아스콘을 제조하는 연구도 수행 예정인데 이는 기존의 골재 일부를 재생골재로 대체하여 아스콘을 개발할 수 있을지 그 가능성을 타진하는 연구라 할 수 있다. 이와 아울러 폐콘크리트 및 폐아스콘 등 재생 재료를 사용한 포장 공사 시의 경제성 분석도 수행하여 제시하고자 한다.

참고 문헌

1. ACI Committee 226 (1987), "Use of Fly Ash in Concrete," (ACI 226.3R-87), ACI Materials Journal, Vol. 84, No. 5, Sept.-Oct. 1987, pp 381-409
2. Akhtaruzzaman, A. A. and Hasnat, A. (1983), "Properties of Concrete Using Crushed Brick as Aggregate," Concrete International, Feb., pp. 58-63.
3. Bairagi, N. K., Vidyadhara, H. S. and Ravend, K. (1990), "Mix Design Procedure for Recycled Aggregate Concrete," Construction & Building Materials, Vol. 4, No.4, December, pp. 188-193.
4. Barth, H. P. (1994), "Financial, Economical and Political Aspects of the Reuse of Construction and Demolition Waste," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon. London.
5. Bauchard, M. (1988), "The Use in Roads of Aggregates made from Demolition Materials," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 719-725.
6. Bergren, J. V. and Britson, R. A. (1977), "Portland Cement Concrete Utilizing Recycled Pavement." Iowa Department of Transportation, Division of Highways, Office of Materials, January
7. Buck, A. D. (1973), "Recycled Concrete," Highway Research Record 430, HRB, pp. 1-8.
8. Buck, A. D. (1977), "Recycled Concrete as a Source of Aggregate," ACI Journal, Title No. 74-22, May, pp. 212-219
9. Busch, C. (1988), "Crushed Concrete used as Basecourse Material on Runway 04R-22L at Copenhagen Airport," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 766-774.
10. 최민수, 김무한, Namba, Abe, (1995), "재생조골재의 물리적 특성에 미치는 재 파쇄횟수의 영향에 관한 연구," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제12집, 경북대학교.
11. 최진성, 윤병수, 임정수, 김진만, 남상일, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 재생골재 혼합조건의 영향에 관한 실험적 연구 (제 1 보)," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 건국대학교.
12. 최청각, 윤기원, 한천구, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 강도조기추정 및

비파괴실험 적용성에 관한 연구 (II) - 제1보 역학적 성질 및 강도 조기추정," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 9집, 전남대학교.

13. Collins, R. J. (1994), "Reuse of Demolition Materials in Relation to Specifications in the U. K.," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
14. "Crushing converts rubble into subbase aggregate," (1971), Roads and Streets, May.
15. De Pauw, C. (1994), "Demolition and Reuse Following Disaster," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
16. "Disaster Planning, Structural Assesment, Demolition and Recycling," (1994), Report of Taskforce 2 of RILEM Technical Committee 121-DRG, Ed. by C. D. Pauw and E. K. Lauritzen, E & FN Spon, London
17. "도로포장설계· 시공지침," (1991), 건설부
18. Eldin, N. N. and Senouci, A. B. (1993), "Observation on Rubberized Concrete Behavior," Cement, Concrete, and Aggregate, Vol. 15, No. 1, pp. 74-84
19. El Kholy, F. A. (1985), "Aggregate Blending using Microcomputers," Report, Department of Civil Engineering, Clemson University, Clemson, SC.
20. Emery, J. (1993), "Use of Waste, Surplus Materials and By-Products in Transportation Construction," Paper presented at Annual Conference of Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada, Sept.
21. Faase, R. M. W., Manhoudt, J. H. J. and Kwint, E. (1991) "Power Concrete," Waste Materials in Construction, Proceedings of International Conference on environmental implication of construction with waste materials, Studies in Environmental Science 48, Elsevier Amsterdam, pp. 415-423.
22. Forster, S. W. (1985), "The use of recycled Pcc as aggregates in PCC pavements," FHWA, Office of Engineering and Highway Operation Research Development, Washington, D.C.
23. Forster, S. W. (1986), "Recycled Concrete as Aggregate," Concrete International, Oct. pp. 34-40.
24. "Fracture Mechanics Test Methods for Concrete," Report of Technical Committee 89-FMT, RILEM, Ed. by Shah and Carpinteri, Chapman Hall, London, 1991, pp. 1-86.

25. Frondistou-Yannas, S. (1977), "Waste Concretes as Aggregate for New Concrete," *ACI Journal*, August, pp. 373-376.
26. Frondistou-Yannas, S. and Itoh, T. (1977), "Economic Feasibility of Concrete Recycling," *Journal of Structural Engineering Div., ASCE*, April, pp. 885-899.
27. Gottfredsen, F. R. and Thogersen, F. (1994), "Recycling of Concrete in Aggressive Environment," *Proc., 3rd Int'l RILEM Symp*, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
28. Gorle, D. and Saeys, L. (1988), "Reuse of Crushed Concrete as a Road Base Material," *Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM*, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 736-745.
29. Graff, O. (1948), "Crushed-Brick Concrete, Sand Stone Concrete and Rubble Concrete," *Die Bauwirtschaft (Wiesbaden)*, Jan. - Mar.
30. 한상욱, 조윤주, (1995), "건설폐기물의 실태와 대책방안 (1)," *첨단환경기술*, 5월호, pp. 78-86.
31. 한상욱, 조윤주, (1995), "건설폐기물의 실태와 대책방안 (2)," *첨단환경기술*, 6월호, pp. 74-79.
32. Hansen, H. (1994), "A Method for Total Reutilization of Masonry by Crushing, Burning, Shaping and Autoclaving," *Proc., 3rd Int'l RILEM Symp.*, Ed. by Lauritzen, E&FN Spon, London, pp. 407-410.
33. Hansen, T. C. (1986), "Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete: Second State-of-the-Art Report Developments 1945-1985," *Materials and Structures*, 19 (111), June, pp. 201-246.
34. Hansen, T. C. (1990), "Recycled Concrete Aggregate and Fly Ash Produce Concrete without Portland Cement," *Cement and Concrete Research*, Vol. 20, pp. 355-356.
35. Hansen, T. C. (1992), "Recycling of Demolished Concrete and Masonry," Part 1, *Report of Technical Committee 37 - DRC*, RILEM, E & FN Spon, London, pp. 1-160.
36. Hansen, T. C. and Angelo, J. W. (1986), "Crushed Concrete Fines Recycled for Soil Modification," *ACI Journal*, Title No. 83-87, pp. 983-987.
37. Hansen, T. C. and Boegh, E. (1985), "Elasticity and Drying Shrinkage of Recycled- Aggregate Concrete," *ACI Journal*, Title No. 82-56, pp. 648-652.

38. Hansen, T. C. and Hedegard, S. E. (1984), "Properties of Recycled Aggregate Concrete as Affected by Admixtures in Original Concretes," ACI Journal, Title No. 81-3, pp. 21-26.
39. Hansen, T. C. and Marga, M. (1988), "Strength of Recycled Concrete Made from Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 605-612.
40. Hansen, T. C. and Narud H. (1983a), "Strength of Recycled Concrete made from Crushed Concrete Coarse Aggregate," Concrete International, Jan., pp. 79-83.
41. Hansen, T. C. and Narud H. (1983b), "Recycled Concrete and Fly Ash make Calcium Silicate Bricks," Cement and Concrete Research, Vol. 13, No. 4, pp. 505-510.
42. Hansen, T. C. and Narud H. (1983c), "Recycled Concrete and Silica Fume make Calcium Silicate Bricks," Cement and Concrete Research, Vol. 13, No. 5, pp. 626-630.
43. Hansen, T. C. (1992), "Recycling of Demolished Concrete and Masonry," Part 1. Report of Technical Committee 37 -DRC, RILEM, E & FN Spon, London, pp. 1-160
44. Halverson, A. D. (1985), "Recycling Portland Cement Concrete Pavement," Minnesota Department of Transportation, Office of Research and Development.
45. Ikeda, T., Yamane, S. and Sakamoto, A. (1988), "Strength of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 585-594.
46. Kaga, H., Kasai, Y., Takeda, K. and Kemi, T. (1988), "Properties of Recycled Aggregate from Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings. 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 690-698.
47. Kakizaki, M., Harada, M. and Motoyasu, H. (1988), "Manufacturing of Recovered Aggregate Through Disposal and Recovery of Demolished Concrete Structures," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 699-708
48. Kakizaki, M., Harada, M., Soshiroda, T., Kubota, S., Ikeda, T. and Kasai, Y. (1988), "Strength and Elastic Modulus of Recycled Aggregate Concrete," Reuse

- of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 565-574.
49. Karihaloo, B. L. and Nallathambi, P., "An Improved Effective Crack Model for the Determination of Fracture Toughness of Concrete," Cement and Concrete Research, Vol. 19, 1989, pp. 603-610.
 50. Kasai, Y., Hisaka, M. and Yanagi, K. (1988), "Durability of Concrete Using Recycled Coarse Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 623-632.
 51. Kawai, T., Watanabe, M. and Nagataki, S. (1988), "Preplaced Aggregate Concrete made from Demolished Concrete Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 680-689.
 52. Kawamura, M. and Torii, K. (1988), "Reuse of Recycled Concrete Aggregate for Pavement," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 726-735.
 53. Kibert, C. J. (1994), "Concrete/Masonry Recycling Progress in the USA," Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proc. of 3rd Intern'l RILEM symp., Ed. by Lauritzen, Odense, Denmark, pp. 83-92
 54. Kikuchi, M., Yasunaga, A. and Ehara, K. (1994), "The Total Evaluation of Recycled Aggregate and Recycled Concrete," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
 55. Kikuchi, M., Mukai, T. and Koizumi, H. (1988), "Properties of Concrete Products Containing Recycled Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall.
 56. 金光宇 (1990), "Correlation Between Mixture Distress and Strength of Bituminous Concretes," 韓國農工學會 論文集 제 32 권 English Edition.
 57. 金光宇, 延圭錫 (1992), "Probabilistic Thickness Design of Flexible Pavement Surface," 韓國農工學會 論文集 제 34권 제1호.
 58. 金光宇, 延圭錫, 崔重대 (1992), "노화에 의한 아스팔트 시멘트의 형질변화의 HP-GPC 분석," 大韓土木學會 論文集 제 12권 4호.
 59. 김광우, 박제선. (1992). "폐콘크리트의 재활용-미국 FHWA 시범 프로젝트 (DP#47) 의 소개," 대한토목학회지 10월호

60. 김광우, 이봉학, 도영수. (1992a). "재생콘크리트의 동결융해 저항성과 변형특성," 콘크리트학회논문집, 제 4권 4호.
61. Kim, K. W., Lee, B. H., Park, J. S. and Doh, Y. S. (1992). "Performance of Crushed Waste Concrete as Aggregate in Structural Concrete," Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction, ASCE, New York.
62. 김광우, 연규석, 이병덕. (1992b) "재생콘크리트의 강도특성상의 문제점," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 7집, 충남대학교.
63. 김광우, 연규석, 박제선, 이봉학 (1994), 콘크리트 재활용 실태 및 연구동향, 기술기사, 한국콘크리트 학회지, 제 6권 6호.
64. 김광우 (1995), 폐콘크리트를 이용한 도로포장, 농공기술 통권 제 47호.
65. 김광우, 김주인, 김기성, (1995) "재생콘크리트의 휨변형과 파괴특성." 한국농공학회 논문집 제 37권 4호
66. 김광우, 도영수, 김진영, 박용철, (1995) "콘크리트 폐기물을 재활용한 콘크리트의 제조 및 품질특성 연구," 동아그룹 창립 50 주년기념 동아 건설논문상 우수상 수상 논문집.
67. 김광우, 유능환, 김주인, 박용철, 최상용, 최영규, (1995) "농촌도로 포장재료로 폐콘크리트의 재활용에 관한연구," 한국농공학회 학술발표회 논문집.
68. 김기철, 윤기원, 한천구, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 강도조기추정 및 비파괴시험 적용성에 관한 연구 (I) - 제1보 역학적 성질 및 강도 조기추정," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 건국대학교.
69. 김무한 외. (1986), "잔·굵은골재로서 폐기콘크리트를 사용한 콘크리트에 관한 실험적 연구 (제1보 - 제4보)," 대한 건축학회 학술발표회 논문집 6(1).
70. 김무한, 최희용, 김진만, 남상일 (1995), "플라이애쉬를 혼입한 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제12집, 경북대학교.
71. 김진만, 유광우, 남상일, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 구조체 적용성에 관한 실험적 연구(제 2보)," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 건국대학교.
72. 김진영, 金光宇, 李奉鶴, 박제선, (1994) "Fly Ash를 사용한 구조용 재생콘크리트의 강도특성," 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제6권 2호(통권 11집), 동국대학교.

73. 김수일, (1990), “농어촌도로 포장공법의 개선방안,” 농어촌 도로의 역할과 발전방향. pp. 34-44
74. Klöpffer, R. (1994), “Special Techniques for the Recycling of Concrete Base Plate (Railway Slippers),” Proc., 3rd Int’l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
75. Kobayashi, S. and Kawano, H. (1988), “Properties and Usage of Recycled Aggregate Concrete,” Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 547-556.
76. Kristensen, P. (1994), “Recycling of Clay Bricks,” Proc., 3rd Int’l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
77. 구본충. (1990), “농촌도로의 정비 및 유지관리,” 농공기술 7권 5호, pp. 69-92
78. Lauritzen, E. K. and Jannerup, M. (1994), “Guidelines and Experience from the Demolition of House in Connection with Oresund Link between Denmark and Sweden,” Proc., 3rd Int’l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
79. 이봉학, 김광우, 박제선, 김진영, (1995) “재생 폐콘크리트의 성능 향상에 관한 연구.” 콘크리트 학회지, 제 7권 2호, pp. 136-145
80. 이상수, 최민수, 김진만, 남상일, 김무한. (1993), “재생골재 콘크리트의 구조체 적용성에 관한 실험적 연구(제 1보),” 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 건국대학교.
81. 이용재, 윤기종. (1991a), “농촌도로 투자분석 및 유지관리에 관한 연구,” 대한토목학회 학술발표회 초록집
82. 이용재, 오주삼. (1991b), “농촌도로의 계층별 설계기준,” 대한토목학회 학술발표회 초록집
83. 이용재, 손진현, (1991c), “농촌도로 체계설정의 방법에 관한 연구,” 대한토목학회 학술발표회 초록집
84. Merlet, J. D. and Pimienta, P. (1994), “Mechanical and Physico-Chemical Properties of Concrete Produced with Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregates,” Proc., 3rd Int’l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
85. Mukai, T. and Kikuchi, M. (1988), “Properties of Reinforced Concrete Beams Containing Recycled Aggregate,” Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd

- International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 670-679.
86. Mulheron, M. (1988), "The Recycling of Demolition Debris: Current Practice, Products and Standards in the United Kingdom," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai Ed., Chapman and Hall, pp. 510-519.
 87. Mulheron, M. and O'Mahony, M. (1988), "The Durability of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 633-642.
 88. 남상일, 김진만, 최희용, 김무한. (1995), "플라이애시를 혼입한 재생골재콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구." 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집
 89. 남상진, 이상수, 유광우, 박정일, 김진만, 김무한. (1993), "재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 재생골재 혼합조건의 영향에 관한 실험적 연구 (제 2 보)," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 건국대학교.
 90. Nishibayashi, S. and Yamura. K. (1988), "Mechanical Properties and Durability of concrete from Recycled Coarse Aggregate Prepared by Crushing Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 652-659.
 91. Nixon, P. J. (1978), "Recycled Concrete as an Aggregate for Concrete - a Review," Materials and Structures, Vol. 11. No. 65. pp. 371-378.
 92. 오세훈, (1990), "농어촌도로 건설사업 개요와 현황," 농어촌 도로의 역할과 발전방향. pp. 18-23
 93. "Old pavement recycled into new subbase (1975)," Concrete Construction, Oct., pp. 441-442.
 94. O'Mahony, M. M. and Milligan, G. W. E. (1991), "Recycling of Construction Waste," Waste Materials in Construction, Proceedings, International Conference on environmental implication of construction with waste materials, Studies in Environmental Science 48, Elsevier Amsterdam, pp. 225-231.
 95. Ong, K. C. G. and Sri Ravindrarajah, R. (1987), "Mechanical Properties and Fracture Energy of Recycled-Aggregate Concrete," SEM/RiLEM International Conference on Fracture of Concrete and Rock, Houston, TX. June, pp. 150-158.

96. Pakvor, A, Muravljov, M. and Kovacevic, T. (1994), "Exploration of Concrete and Structural Concrete elements Made of Reused Masonry," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
97. 박대권, (1990), "농어촌도로 건설사업의 발전방향," 농어촌 도로의 역할과 발전방향. pp. 24-33
98. 박영진, 박원철, 박은영, 최영훈, (1995), "도로성토재료로서 폐콘크리트의 활용성 연구," 대한토목학회 학술발표회 논문집 I 권 (도로분과), pp. 516-519
99. Ploger, R. R. (1947), "An Investigation of the Compressive Strength of Concrete in Which Concrete Rubble was Used as Aggregate," MS Thesis, Cornell University, Ithaca.
100. Puckman, K. and Henrichsen, A. (1988), "Reuse of Concrete Pavements," Reuse of Demolition Waste. Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 746-755.
101. Rahlwes, K. (1994), "Recycling of Reinforced Structures and Buildings Using Composite Construction: Approach to an Environmental-Economic Assessment," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
102. Rasheeduzzafar, and Khan, A. (1984), "Recycled Concrete - A Source for New Aggregate," Cement, Concrete, and Aggregates, Vol. 6, No. 1, pp. 17-27.
103. Ray, G. K. (1978), "Recycling Portland Cement Concrete Pavement," Paper for Worldwide Air Force Pavement Conference, Panama City Beach, Oct.
104. "Recycle Old Concrete? It can save you money," (1978), Highway & Heavy Construction, January pp. 30-31.
105. "Recycled rubble saves contractors money," (1973), Roads & Streets, April, pp. 80 and 83.
106. "Recycled Slab is New Runway Base," (1977), Highway & Heavy Construction, July, pp. 30-33.
107. "Recycling portland cement Concrete," (1985), Demonstration Project Program: DP#47, FHWA, US Department of Transportation
108. "Recycling roads and buildings with portable plants," (1973), Pits & Quarry, Feb., pp. 90-91, 106.
109. Sadler, T. B. (1973), "A Crushing Success: aggregate from concrete," Public Works, Apr., pp. 72-73

110. Sano, M., Yagishita, F. and Yamada, M. (1994), "Recycling Powdered Concrete Waste," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
111. Schulz, R. R. (1988), "Concrete with Recycled Rubble -Developments in West Germany," Proc., 2nd Int'l RILEM Symp., Ed. by Kasai, Chapman and Hall, pp. 500-509.
112. Schulz, R. R. (1994), "The Processing of Building Rubble as Concrete Aggregate in Germany," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
113. Schulz, R. R. and Hendricks, C. F, (1992), "Recycling of Masonry Rubble." Part 2, Report of Technical Committee 37 - DRC, RILEM, E & FN Spon, London, pp. 161-255
114. Simon, B. P. and Henderickx, F. (1994), "Guidelines for Demolition with Respect to the Reuse of Building Materials." Proc., 3rd Int'l RILEM Symp. Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
115. 신현국, (1994) "건축폐기물 관리 방안," 첨단환경기술, 1994. 10월호, pp. 44-47
116. Sommer, H. (1994), "Recycling of Concrete for the reconstruction of the concrete Pavement on the Vienna-Salzburg Mortorway," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
117. Sri Ravindraiah, R., Loo, T. H. and Tam, C. T. (1988), "Strength Evaluation of Recycled- Aggregate Concrete by in-situ Tests," Materials and Structures, 21 (124), July, pp. 289-295.
118. Sri Ravindraiah, and Tam, C. T. (1985), "Properties of Concrete Made with Crushed Concrete as Coarse Aggregate," Magazine of Concrete Research, Vol. 37, No. 130, March, pp. 29-38.
119. Sri Ravindraiah, and Tam, C. T. (1988a), "Recycling Concrete as Fine Aggregate in Concrete," The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 9, No. 4, November, pp.235-241.
120. Sri Ravindraiah, and Tam, C. T. (1988b), "Method Improving the Quality of Recycled Aggregate Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 575-584.

121. Schulz, R. R. (1988). "Concrete with Recycled Rubble –Developments in West Germany," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai Ed., Chapman and Hall, pp. 500–509.
122. Schulz, R. R. and Hendricks, C. F, (1992), "Recycling of Masonry Rubble," Part 2, Report of Technical Committee 37 – DRC, RILEM, E & FN Spon, London. pp. 161–255
123. Trevorrow, A. Joynes, H. and Wainwright, P. J. (1988), "Recycling of Concrete and Demolition Waste in the U. K.," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 520–526.
124. "Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction," (1992), Proceedings, '92 ASCE National Convention, Ed. by Inyang & Bergeson, New York, NY.
125. Vyncke, J. and Rousseau, E. (1994), "Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
126. Wainwright, P. J., Trevorrow, A., Yu, Y. and Wang, Y. (1994), "Modifying the Performance of Concrete Made with Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregates." Proc., 3rd Int'l RILEM Symp. Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
127. Yamato, T., Emoto, Y., Soeda, M. and Sakamoto, Y. (1988), "Some Properties of Recycled Aggregate Concrete." Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 634–651.
128. Yagishita, F., Sano, M. and Yamada, M. (1994), "Behavior of Reinforced Concrete Beams Containing Recycled Aggregate." Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.
129. Yanagi, K. and Hisaka, M. (1988), "Effect of Impurities in Recycled Coarse Aggregate upon a Few Properties of the Concrete Produced with It," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 613–622.
130. Yanagi, K., Hisaka, M. and Kasai, Y. (1994), "Physical Properties of Recycled Concrete Using Recycled Coarse Aggregate Made of Concrete with Finishing Materials," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London.

131. Ying, P. (1991), "Developing a New Field of Utilization of Concrete with Waste Materials," Waste Materials in Construction, Proceedings, International Conference on environmental implication of construction with waste materials, Studies in Environmental Science 48, Elsevier Amsterdam, pp. 407-414.
132. Yoshikane, T. (1988), "The instances of Concrete Recycled for Base Course Materials in Japan," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 756-765.
133. Yoda, K., Yoshikane, T., Nakashima, Y. and Soshiroda, T. (1988), "Recycled Cement and Recycled Concrete in Japan," Reuse of Demolition Waste. Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 527-536.
134. Yrjanson, W. A. (1989), "Recycling of Portland Cement Concrete Pavements," NCHRP Syn. 154, TRB, December.
135. 윤기원, 김기철, 한천구, 김무한. (1993a), "재생골재 콘크리트의 강도조기추정 및 비파괴실험 적용성에 관한 연구 (II) - 제2보 비파괴시험," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 건국대학교.
136. 윤기원, 최청각, 한천구, 김무한. (1993b). "재생골재 콘크리트의 강도조기추정 및 비파괴실험 적용성에 관한 연구 (III) - 제2보 비파괴 시험." 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 9집, 전남대학교.

부록 1. 재생콘크리트를 사용한 포장 설계

여 백

부록 1. 재생콘크리트를 사용한 포장 설계

1. 개요

自然地盤은 過大한 交通荷重을 지지할 수 없으며 또 表層으로서도 效果가 없기때문에 輪荷重을 넓은 面積에 分布시키기 위해서 表層도 適當한 포장을 할 필요가 있다. 鋪裝은 可撓性鋪裝과 剛性鋪裝이 있고, 剛性鋪裝에 要하는 Cement-Concrete 鋪裝은 고속주행에도 미끄럼을 방지할 수 있고, 포설시에 아스팔트 포장과 같이 일일이 가열하지 않아도 되므로 포설 및 수선이 용이하고, 소규모에서 대규모 공사에 이르기까지 가능하며 우리나라와 같이 국산용 시멘트 생산이 가능한 지역에서는 유리한 점이 많다.

특히 경제적인 면에서도 고온하에서도 변형량이 작으며, 마모성이 낮으며, 중소 교통내지는 농촌도로에서 저가이며 내구성이 높아 정밀시공만 하면 내구연한이 20~40년 까지 가능하며, 미끄럼저항 및 동상에 대한 저항성이 크고, 교통량이 적은 농로의 경우 동상방지재 위에 직접 슬래브 시공이 가능하며, 석유생산이 되지 않고 시멘트 부존자원이 풍부한 우리의 실정과 유사한 벨기에의 경우 농어촌 도로의 52.7 %가 콘크리트 포장임은 우리에게 시사하는바가 크다.

鋪裝設計에 가장 重要한 것은 鋪裝이 交通荷重을 받았을때 어느 부분에도 과대한 응력이 발생되지 않고, 또 路床이나 路盤에 過大한 荷重이 加해지지 않도록 그 두께를 決定하는 일이다. 또 路盤 및 路床의 性狀은 剪斷強度, CBR(支持力比) 및 K(支持力係數)등에 左右되기 때문에 이들 土質狀態의 性狀에 의하여 鋪裝두께를 設計하는데에는 여러가지 방법이 提案되었다.

今回の 研究에서는 지금까지 提案된 方法中에서 Sheet 등에 의한 이론식과 토질공학적 실험결과를 종합하여 CBR 및 K 값에의한 방법으로 결정하고 도로포장

설계 시공지침(건설부), 농지개량사업 표층설계(농진공) 및 농어촌도로 구조설계기준에 대한 규칙해설 및 지침(내무부)에 의하여 결정하였다.

2. 각종 토질시험결과의 개요(부록2: data sheet 참조)

2.1. 花崗土의 定義 및 性分

본 시험지구는 춘천시 신동면 의암리 21번지내 양협곡에 위치하며, 의암댐 건설시에 조성된 마을로 50여 가구가 농업에 종사하고 있다. 본 흙은 朝鮮系에 屬하는 花崗土로서 시생대 말기에 Magma가 분출 지층의 절리에 관입하여 기존의 堆積層과 辨性岩을 변화시켜서 花崗片麻岩을 형성하였고, Jura기를 거쳐 현재의 花崗岩質岩石을 이루었다가 이들이 다시 風化, 침식, 퇴적 및 충격 작용을 받아서 상당히 깊은 층의 花崗土層을 구성하고 있다. 전형적인 화강토는 주로 석영, 斜長岩, 正長岩, 흑운모, 백운모, 각섬석 및 소량의 자철광으로 구성되어 있고, 본 시험에서 나타난 화강토의 화학적 성분은 표-1, 표-2, 표-3과 같다.

Table-1 Chemical Properties of Weathered Granite Soil used.

Component (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig.Loss	pH
Area (II)	73.50	14.68	1.25	0.76	1.03	0.21	4.90	2.97	0.68	5.7

Table-2 Mineral Component of Weathered Granite Soil used.

Mineral (%)	Quarts	Felapas	Coloured mineral
Area (II)	33.8	43.7	23.4

Table-3 Specific Gravity of Minerals.

mineral(%)	Specific gravity
Quartz	2.65
Orthoclase	2.60
Plagioclase	2.6~2.7
Biotite	2.8
Hornblend	3.0~3.3

花崗土라는 명칭은 옛날부터 文學的 表現으로 使用되어 왔으며, 土質力學的 觀點에서 본 語源은 확실치 않으나 花崗岩風化土地帶에서 널리 사용하던 것이 一般化 되었다고 推測된다. 이에 따라서 大韓地盤工學會에서는 「花崗岩質 岩石의 結晶性 深成岩 및 이와 同質의 片麻岩이 風化되어 그 장소에 殘留되어 있는 殘積土(Residual soil) 및 이들로 부터 派生된 崩積土 등을 말한다」로 정의하고 있다.

2.2 一般的 特性

2.2.1 含水比 및 粒度

비교란 花崗土의 자연함수비, 밀도 및 간극율은 風化度에 따라서 다르나 본 測定結果에서는 자연함수비가 地表에 向하여 20%에서 10%까지 변하고 그의 평균치는 14.67%이며 간극율은 20%에서 40%까지 크게 변하고 지표 부근에서는 50%에 달하는 곳도 있었으며 強熱減量은 8.4%의 높은 값을 나타내어 風化度의 指表로 活用할 수 있다. 즉 lg의 값이 3% 이상으로 되면 질소와 수분에 의하여 比表面積의 값에 큰 차를 나타내고, 수분의 응축이 쉬워서 공극이 쉽게 발달하므로 풍화가 촉진되었음을 알 수 있고, 현장밀도는 1.583 g/cm^3 으로 중위 정도를 나타냈다.

2.2.2 比重

본 花崗土의 진비중은 風化에 따라서 거의 변하지 않으나 長石雲母는 선택적으로 변질되어 약간 변하는 것으로 판단된다. 比重의 값은 2.58~2.61로 평균 2.60 정도였다.

2.2.3 粒度分布

花崗土는 土粒子가 破碎되기 쉬워서 粒度分析이 힘들고 따라서 대부분 不連續 粒度(Gap grading)을 나타내는 경우가 있어서 注意를 要하며, 또 粒度分布도 粗粒에서 細粒에 이르기까지 粒度分布가 良好하며, 風化의 程度에 따라서 粗粒의 砂礫土에서 砂質loam에 이르기까지 다양 하였으며, Fig.1과 같이 Cu는 44, Cg는 1.0, #200 통과량은 18%이고 USC에 의한 分類는 SM으로써 Well Graded 分布度를 나타내었다.

2.2.4 Consistency

흙의 Consistency는 그 흙속에 포함되어 있는 粘土鑛物의 種類와 量에 左右되며, 또 有機物의 含量에도 관계되는 것으로 본 흙은 비교적 유기물의 함량이 높기 때문에 액성한계도 30.75%로 비교적 높고, 소성한계는 22.22%, 소성지수는 8.53으로써 비교적 압축성도 작아서 수축계수도 27.3%에 불과하였다(Fig. 2). 특히 본 흙은 粗粒分이 많고 破碎性이 커서 KSF 2303으로는 곤란하여 콘크리트 Slump 시험을 적용, Slump 3cm 일때의 함수비를 유동한계로 정의하여 액성한계를 보정 측정하였다.

2.2.5 保水性

花崗土는 風化가 진전됨에 따라서 細粒化가 촉진되어 比表面積이 增大된다. 이와같은 특성은 흙의 保水性에도 크게 영향을 미치고 있다. Fig. 3에서 보수성 P_F 값은 약 2.75로써 풍화가 진행된 花崗土에서는 동일 P_F 의 값일지라도 비풍화토 보다 함수비가 높게 된다.

2.2.6 다짐특성

Fig. 4와 같이 외견상 보통토와 유사하며, 토공의 설계 및 시공상 가장 중요한 요소인 최적함수비 및 최대건조밀도는 11.52% 및 1.882 g/cm^3 이었고, 다짐에너지가 클수록 γ_{dmax} 는 증가하고, W_{opt} 는 감소하는 경향을 보였으며, 同一 다짐에너지 하에서는 풍화가 진행된 흙이 γ_{dmax} 는 감소되고, W_{opt} 는 증가하는 경향을 보였다.

2.2.7 흙의 투수성

화강토의 투수성을 지배하는 주요인자는 풍화도, 풍화형태 및 모암의 성질등이며 본 흙은 풍화가 상당히 진행되어 간극율의 증대로 투수성이 크게 되었으며 $4.2 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 의 값을 나타내었다. 또 다짐시에는 투수계수가 크게 감소되어 최소의 투수계수는 최적함수비의 습윤측에서 나타났고, 그 값은 8.7×10^{-5} 로써 다짐에 의하여 투수성은 약 5배 정도 감소되고 투수시험 시간을 길게 취할수록 투수계수는 감소하는 경향을 보였으며 이는 흙의 포화로 인한 입자의 세립과 이로인한 time lag 현상으로 판단됨.

2.2.8 地盤係數 (K值)

지반상에 원형의 剛板을 놓고 계단상으로 하중을 加하여 荷重-沈下量 關係에

서 地盤反力係數 및 極限支持力을 求하는 所謂 平板載荷試驗을 通하여 求한 地盤係數(K) 값은 Fig. 5. ㉠,㉡,㉢ 에서와 같이 路床土에서는 15.36 kg/cm^3 , Cement 다짐에서는 16.4 kg/cm^3 및 Asphalt 에서는 15.68 kg/cm^3 로 路床土는 비교적 堅固한 地盤으로 判斷 되었으며 道路의 補助基層의 最大值인 15 kg/cm^3 값을 상회하므로 자연 노상을 직접 보조기층으로 使用이 가능하다고 判斷되며 극한 支持力은 載荷重의 不足으로 직접구할 수 없어서 KSF-2310의 규정에 의하여 추정된 결과 약 93 t/m^2 로 허용지지력은 약 31 t/m^2 로 간주되었다.

2.2.9 支持力係數 (CBR)

地盤 特히 道路의 路床, 路盤의 支持力의 大小를 判定하는 方法으로서 剪斷試驗, 貫入試驗 및 平板載荷試驗이 있으며, KSF 2320에 규정된 直徑 5 cm의 강봉을 地中에 貫入시켜서 支持力의 大小를 測定하는 CBR 試驗이 있다. 이 方法은 1928년 Porter가 California에서 可撓性鋪裝의 破壞調査를 行하였을때 地方材料의 強度特性을 간단히 비교하기 위하여 CBR을 使用할 것을 提案한 이래 오늘날에는 道路工事現場에서 盛土施工中の 重機械의 Trafficability의 判定, 路床, 盛土, 철도노선 등의 다짐도관리 및 아스팔트 포장의 두께나 構成을 決定하고 또한 路床의 設計 CBR을 決定하기 위하여 가장 신뢰성 있게 使用되는 常數이다.

본 화강토의 CBR 특성은 他 風化土에 비하여 극히 잘 다져지기 때문에 다소 낮은 값을 나타냈다. 이는 강봉의 관입시에 관입봉과 흙과의 접촉부에서 토립자가 파쇄되어 관입량이 다소 증가되기 때문이며 따라서 粒度和 CBR값은 꼭 대응되는 것은 아니며, 다짐에너지의 크기에 따라서도 CBR값은 변화되며, 함수비가 높을 때에는 過轉壓現象이 발생하여 밀도가 增大하여도 CBR값은 감소되는 경우가 있었다. 본 시험에서는 Fig. 6 ㉠,㉡와 같이 교란 수침인 경우 25.62%, 비교란 비

수침의 경우 34% 및 비교란 수침인 경우에는 29.4%로써 設計CBR은 35.89%로 산출되었고, 路床 및 盛土材料로써 적합한 것으로 判定되었다.

2.2.10 콘 支持力 係數

지반 조사의 방법으로써 현재에는 현지 보링에 의한 것이 대부분이지만 이를 보조하는 수단으로 Sounding 방법이 있다. 정적 콘 관입시험은 Sounding 시험의 일종으로 圓錐形의 콘을 땅속에 관입하여 그때의 심도와 관입저항의 관계를 추정하여 토층의 경연, 성토의 다짐상태와 토층의 배열, 구성, 지반 개량 효과나 압밀에 의한 지반강도 증가량 등을 판정할 수 있는 간이 시험법으로 많이 사용되고 있다.

본 시험에서는 $\phi 16 \text{ mm}$, $\theta=30^\circ$ 및 $A=6.45 \text{ cm}^2$ 의 관입봉을 사용하여 구한 심도별 q_c 의 값은 Fig. 7과 같고 $20\sim 60 \text{ kg/cm}^2$ 의 콘지수를 나타내었다.

2.2.11 凍結 및 凍上性

기온이 빙점이하로 되면 흙속의 공극수가 동결하여 토립자 사이에 얼음이 형성되고 이에 따라서 얼음의 결정과 토립자가 접해있는 부분의 흡착수는 흡착수 결정력과 분자인력의 2가지 힘을 받게되고, 흡착수 결정력이 크게 되면 얼음의 결정이 성장하고 동시에 하부로 부터 수분을 吸引하여 lens상의 빙층을 형성하여 지층을 상부로 팽기시키는 힘이 발생한다. 이로인한 지반의 상승현상을 凍上이라 하고, 기온이 점점 강하됨에 따라서 동결층이 침입하여 지반 전체를 동결시키고 이의 한계 깊이를 동결심이라 한다. 반면에 계절동토지역에서는 해빙기에 지층이 융해되면 함수비가 증가하고 이로인하여 지층의 연화로 연약지층을 형성하므로 도로의 노반침하, 포장의 파괴 및 각종 토질구조물의 붕괴의 원인을 제공하므로 동

결과 동상량은 토질구조물의 안전상 매우 중요한 요소이다.

흙의 凍上性の 判定은 土質試驗에 의한 定性的 方法과 凍上試驗에 의하여 上 載壓이나 凍結速度를 여러가지로 변화시켜 定量的으로 求하는 方法의 2가지가 있다.

(i) 흙의 凍上性은 粒度分布, 粒徑, 土粒子 形狀 등에 관계되며 Gaskin에 의한 路盤 路床으로써의 判定基準은 Table-4와 같다.

(ii) 또 日本道路土工 및 排水工設計에 의하면 동결 및 동상토는 다음과 같이 정의하고 있다.

① 砂 : #200체 통과량이 6% 이하

② 砂利혼입토 : #200체 통과량이 9% 이하

(iii) Willis의 提案

砂質土 : $LL < 12\%$

粘質土 : $LL > 50\%$ 및

$$LL - PI > \frac{(LL - 14)}{1.6} \text{ 또는 } LL < 21 - 1.1 \sqrt{LL - \frac{LL^2}{800}}$$

(iv) 동결시험 결과에 의한 판정

Table- 4 凍上性の判定例

國名 및 發表者	各粒徑以下の 粒子量(%)			기타조건	동상 작용 가능성	비고
	20 μ m	75 μ m	기타			
Finland	10 이하			모세관상승고 100 cm 이하	무	
England		10이하		PI 15 이상 PI 20 이상	무 무 무	투수성이좋은 점성토 투수성이나쁜 점성토 비 점성토
Norway	3 이하 5 이하 6 이하 3~12 12 이상 12 이상		200 μ m 이하 50이상 200 μ m 이하 50이하 로써 2 μ m가 40%이상		무 무 무 小 中 大	보통 도로의 노상 " " 저급 도로 노상
Sweden		16이하 16~43 43이상		모세관 상승고 1m 이하 " 1~1.5 " 1.5 이상	무 中 大	
USA 및 Swizland	1.5이하 1.5~ 3 3 이상				무 小 小~大	사. silt질 사
Deutzland			63 μ m 이하 5이하 63 μ m 이하 15이하	균등계수15이상 균등계수 6이하	무 무	
Beskow			62 μ m 이하 25 이상 125 μ m 이하 35이상			유
Casagrande	10 이상 3 이하			균등계수 5이하 균등계수15이상		유

Table-5 凍上性の判定

번호	동결양식	동상율	판정
1	콘크리트상 동결 (氷粒散在 포함)	20% 미만	合格
		20% 이상	要注意
2	부분적 극미세립 霜降伏 동결을 포함하는 콘크리트상 동결	20% 미만	要注意
		20% 이상	不合格
3	미세립 霜降, 霜柱氷層 등이 나타나는 氷晶分離의 경향을 띠는 凍結	동상율의 크기에 무관	不合格
4			
5			

이상의 判定規定에 의하여 本 흙의 凍上 및 凍結性を 判定한 結果 凍上성이 낮으며 또 凍結深度는 42cm에 달하였다.

3. 鋪裝 設計 計算書

3.1 포장두께 설계

- (1) CBR 設計 曲線에 의한 方法
- (2) 最大 凍結深度를 求하여 CBR 曲線과 比較하여 求한다.
- (3) 凍結深度를 경험적으로 推定하기 곤란할 때에는 凍結指數를 利用한다.

Table- 6. 우리나라의 지방별 동결 깊이 (1956~1965)

지명	서울	강릉	인천	수원	추풍령	대구	광주	전주	포항	춘천
평균동면길이	76	46	72	76	66	48	45	50	38	89.0

Table- 7. 黃垠教授研究(1968~1988) by Corps of Engineers Formula

지 명	三 陟	江 陵	束 草	高 城	인 제	春 川	洪 川	大 關 嶺
평균동결길이	59	58	68	106	103	100	107	136

(4) 平板載荷試驗에 의한 方法

(5) 壓縮試驗(一縮 및 三縮)에 의한 方法

(6) 標準貫入試驗에 의한 方法

(7) 路床土의 分類에 의한 方法

(8) 路床土의 群指數에 의한 方法

(9) ① 이론적 方法 $d = 0.564\sqrt{\frac{w}{q}}$

w: 집중하중, q: 지반의 지지력, d: 포장 두께

② $d = 0.564\sqrt{\frac{w}{q}} - a$

a: tire의 접지면적을 원으로 했을때의 그 등치단면

③ Sheet의 간이법 $d = \sqrt{\frac{2 \cdot w \cdot c}{s}}$

s: 콘크리트의 Bending strength(kg/cm²)

c: 노반의 지지력에 의한 계수

w: 집중하중(분하중 kg)

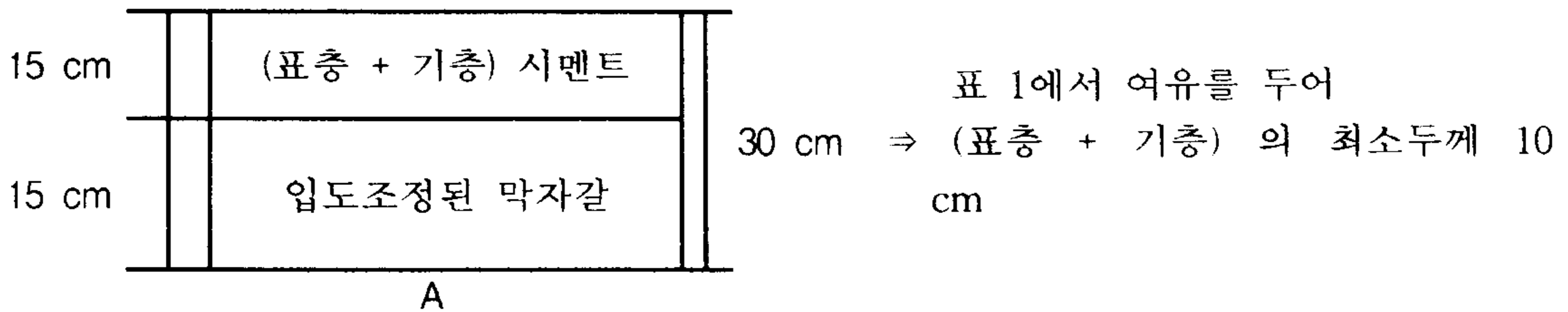
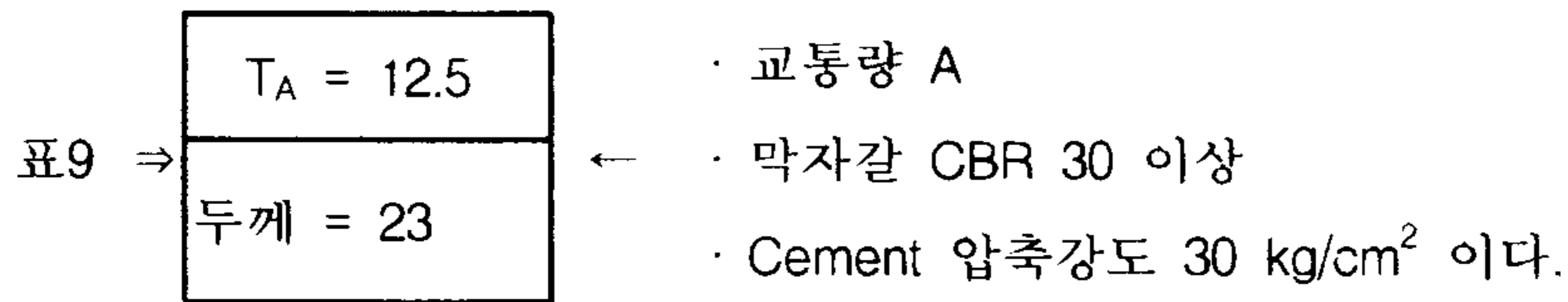
3.2 CBR의 決定

(1) 학내 현장 :

- 교란 수침 CBR = 25.62 % 현장 CBR = 47.63 %
- 비교란 비수침 CBR = 34.00 %
- 비교란 수침 CBR = 29.40 %

$$\text{설계 CBR} = 47.63 \times \frac{25.62}{34} = 35.89 \%$$

(2) 포장 두께 : CBR 10 이상이므로 총두께는 23 cm



검토 : Liddle 식에 의한 A의 검토

$$\begin{aligned}
 T_{A1} &= a_1T_1 + a_2T_2 + a_3T_3 \\
 &= 0.25 \times 15 + 12 \times 1 = 3.75 + 12 = 15.75 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$H_1 = 15 + 15.75 = 30.75$$

여기서 T_{A1} = Structural Number (포장두께 지수)

∴ $T_{A1} > T_A$, $H_1 > H$ 이므로 OK

따라서 시멘트 포장은 15 cm, 총 포장두께는 30 cm로 결정한다.

3.3 K값에 의한 결정

3.3.1 노반두께와 K_1 , K_2

㉠ 노반의 지반계수는 15 kg/cm^2 (30 cm 재하판) 이상

㉡ K_1 : 노반면

K_2 : 노상면

㉢ 設計 지반계수 K_2

$$K_2 = (\text{실측한 } K_2) \times \frac{\text{CBR(교란되지않은시료, 4일수침)}}{\text{CBR(교란되지않은시료, 자연함수비)}}$$

㉣ 노반재료는 A 곡선 - Fig. 10

3.3.2 보조기층의 두께 설계

(1) 보조기층의 두께는 최소 15 cm

(2) 보조기층의 다짐도의 K_1 값은 20 kg/cm^3 이상

(3) 노상면에서 K_2 값을 求하여 K_1/K_2 의 비 즉 $20/K_2$ 의 값으로 Table 11에서 보조기층의 두께를 설계 $K_2 = 15.36 \text{ kg/cm}^3$, $K_1 = 16.40 \text{ kg/cm}^3$ (Cement), $K_1 = 15.68 \text{ kg/cm}^3$ (Asphalt)

$$3.3.3 \quad \frac{K_1}{K_2} = \frac{20}{15.36} = 1.30$$

Table 11에서 $H = 15 \text{ cm}$

보조기층의 두께를 15 cm로 하면 $\frac{K}{K_2} \cong 1$ 로 보아서

$$\frac{K_1}{K_2} \approx 1 \text{에 대한 보조기층 두께는 } 15 \text{ cm}$$

3.4 이론식에 의한 방법

3.4.1 Sheets의 간이법

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot w \cdot c}{s}}$$

d : 포장두께 (cm)

s : 콘크리트 bending strength (40 kg/cm²)

c : 路盤支持力係數에 의하여 정해지는 계수 (Fig. 9)

w : 輪荷重 (kg)

① 1일 교통량 1차선 150대 미만, 자동차 중량 9t, 따라서 륜하중은

$$w = 3.6 \text{ t 임}$$

② 포장의 수명을 최소 20년으로 하면 응력 반복횟수는

$$150^{\text{대}} \times 365 \times 20 = 1,095,000 \text{ 회}$$

③ 콘크리트의 bending strength에 대한 安全率

$$s = \frac{40}{2} = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$\textcircled{4} K_{75} = \frac{1}{2.2} K_{30} = \frac{15.36}{2.2} = 6.982 \text{ kg/cm}^2$$

⑤ Fig 9에서 $K_{75} = 6.982$ 일때 계수 $c = 0.865$

$$\textcircled{6} \therefore d = \sqrt{\frac{2 \times 3600 \times 0.865}{20}} = \sqrt{\frac{6228}{20}} = \sqrt{311.4} = 17.64 = 18 \text{ cm}$$

⑦ 충격을 가한 경우에는

$$d = \sqrt{\frac{2.4 \cdot w \cdot c}{s}} = \sqrt{\frac{2.4 \times 3600 \times 0.865}{20}} = 19.33 \approx 20 \text{ cm}$$

⇒ 콘크리트 포장 두께

3.5 이상의 결과를 종합하여 보면 CBR, K 및 이론식에 의한 포장 두께의 결정에서, CBR 값을 기준으로 하여 콘크리트 포장 최소 두께 15 cm, 보조기층 15 cm, 통합 최소 30 cm로 하여 포장 단면을 결정하여도 보조기층 재료 자체가 동상 방지층의 역할을 하므로 동결 및 동상에도 안전한 것으로 판단되며 최종 결정안으로 확정한다.

Table- 8. 交通量の區分 및 (表層+基層)의 最小두께

交通量の區分	大型車交通量 (台/日·一方向)	(表層+基層)의 最小두께 (cm)
A	250 未滿	5
B	250 以上 ~ 1000 未滿	10 (5)
C	1000 以上 ~ 3000 未滿	15 (10)
D	3000 以上	20 (15)

() 内는 上層路盤에 歷靑安定處理를 사용하는 경우

Table- 9. T_A와 鋪裝 전체 두께 (cm)

設計 CBR	目 標 두 께 (cm)							
	A 交 通		B 交 通		C 交 通		D 交 通	
	T _A	전체두께	T _A	전체두께	T _A	전체두께	T _A	전체두께
2	21	62	29	74	39	90	51	105
2.5	20	55	27	66	36	79	48	92
3	18	49	25.5	58	34	70	45	82
3.5	17.5	45	24.5	54	32.5	65	43.5	76
4	17	41	23.5	50	31	61	42	70
5	15.5	35	22	43	29.5	54	39	60
6	14.5	30	21	38	28	48	36	53
8	13.5	27	19	33	26	40	33	47
10 以上	12.5	23	17.5	29	24	34	31	40

B 교통 : 250~1,000 臺/1방향/日
 C 교통 : 1,000~3,000 臺/1방향/日
 D 교통 : 3,000 臺/1방향/日 이상

Table- 10. T_A의 계산에 사용하는 等値換算係數

사용하는 位置	公法·材料	條件	等値換算係數
表層·基層	表層基層用加熱 아스팔트 混合物		1.00
上層路盤	歷靑 安定處理	안정도 350 kg 以上	0.80
		안정도 250~350 kg	0.65
	시멘트 安定處理	一軸壓縮強度 30 kg/cm ²	0.55
	粒度調整	修正 CBR 80 以上	0.35
	浸透式		0.55
	매커덤		0.35
下層路盤	碎石, 자갈, 모래 등	修正 CBR 30 以上	0.25
		修正 CBR 20~30	0.20

Table- 11. 補助基層 두께 (cm) 단, K_i = 20 kg/cm³

보조기층 두께 (cm)		15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
K ₁ /K ₂	막자갈, 모래	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33	3.67	4.00	4.33	4.67
	시멘트 安定處理	2.5	3.0	3.5	4.0	-	-	-	-	-	-

- (1) 보조기층의 最小두께는 15 cm로 한다.
- (2) 보조기층의 다짐 후 K_i 값은 20 kg/cm³으로 한다.
- (3) 보조기층의 두께가 30 cm 이상이면 경제적으로 施工하기 위해 두 층으로 나누어 아래층은 값이 싼재료로 하되 地下排水 등을 목적으로 모래 또는 막자갈 층을 두어야 한다.
- (4) 路床面에서 K₂ 값을 求해 K₁/K₂의 比 즉 20/K₂의 값을 구해 Table-11에서 보조기층의 두께를 결정한다.

(5) Table에서 중간 값을 구하려면 比例式으로 산출하면 된다.

Table- 12.

自動車의 重量 (t)	後輪荷重 (kg)	交通量 (대/일)
9	3,600	150 이하
13	5,200	150~1000
20	8,000	1000 이상

Table- 13.

通過回數(應力の 반복 回數)	bending strength 에 대한 安全率
1.1 萬回	1.55
1.5 "	1.60
1.9 "	1.65
2.5 "	1.70
3.2 "	1.75
4.0 "	1.80
5.0 "	1.85
6.4 "	1.90
8.3 "	1.95
10.0 "	2.00

여 백

부록 2. 각종 Data Sheet

여 백

시험번호 : 의암-1
Test No. _____

시험일자 : 1995.6
Date _____

의 암 지 구
PROJECT

토 질 시험 결과 표
TEST RESULTS

강 원 대 학 교
농 공 학 과

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING
KANGWEON NATIONAL UNIVERSITY

여 백

흙의 기본성질표

STANDARD PROPERTIES TEST RESULTS OF SOILS

시험번호 Test No. _____ 시료채취자 Sampled by _____ 지구명 Project _____ 의암지구

채취위치 Sampled at _____ 의뢰자 Requested by _____ 시험자 Test by _____ 최상용

시료명 Sampled	심도 Depth m	입도 (%) Grain-size Percent						균등계수 Coeff. of Uniformity C _u	곡률계수 Coeff. of Curvature C _c	비고 Remark
		Clay	Silt	Sand	Gravel	Cobble	Oversize			
		mm <0.005	mm 0.005 ~0.074	mm 0.074 ~No.4	mm No.4 ~76.2	mm 76.2 ~127	mm 127<			
의암 -1	2	2	18	80			44	1.0		

시료명 Sample	조도 Atterberg Limits				비중 Specific Gravity	분류 Unified soil Classifi- cation	현장함수비 Natural Moist Content ωf. %	현장밀도 Natural Density γt g/cm ³
	액성한계 LL. %	소성한계 P.L. %	소성지수 P.I.	수축한계 S.L. %				
의암 -1	30.75	22.22	8.53	27.3	2.60	SM	14.67	1.583

흑 의 비 중 시 험

조사명· 목적	시험일자 년 월 일
시료번호 의암-1	시험자 최 상 용

측 정 번 호	1	2	3	4
병 번 호				
병 무 계 (W _i)	44.57	53.87		
병 + 건조시료 무게 (W _a)				
병 + 건조시료 무게 + 물 (W _b)	159.69	168.54		
건조로에서 꺼낸후 온도 (T°)	22	22		
병 + 물 무 계 (W _{a'})	144.31	153.24		
건조로에 넣기전 온도 (T°)	18	18		
건 조 시 료 무 계 (W _s)	25	25		
흑 의 비 중	2.61	2.58	2.60	

$$W_2(T^\circ \text{ 일때}) = \frac{\text{건조로에서꺼낸후 } T^\circ \text{ 일때의물의밀도}}{\text{건조로에넣기전측정시}(T)\text{물의밀도}} \times (W_{a'} - W_i) + W_i$$

$$G = \frac{W_s}{W_s + (W_a - W_b)} \times K = 2.6 \times 0.9987 = 2.596 \approx 2.60$$

W _{a1} = × () + =	비 고
G ₁ = × () =	
W _{a2} = × () + =	
G ₂ = × () =	
W _{a3} = × () + =	
G ₃ = × () =	
W _{a4} = × () + =	
G ₄ = × () =	
평균치 G = $\frac{G_1 + G_2 + G_3 + G_4}{4}$ =	

흙의 함수비 시험

조사명·목적		시험일자 년 월 일			
시료번호 간-3		시험자 최 상 용			
시료번호	함수비의 측정	ω (%)	함수비의 측정	ω (%)	평균함수비
간-3	No. ㉠	15.04	No. ㉡	12.91	
	W _w 69.29 D _w 62.23		W _w 88.96 D _w 80.69		
	D _w 62.23 T _w 15.29		D _w 80.69 T _w 16.67		
	W _e W _s		W _e W _s		
시료번호	함수비의 측정	ω (%)	함수비의 측정	ω (%)	평균함수비
	No. ㉢	16.06	No. _____	14.67	
	W _w 74.76 D _w 66.73		W _w D _w		
	D _w 66.73 T _w 16.74		D _w T _w		
	W _e W _s		W _e W _s		
시료번호	함수비의 측정	ω (%)	함수비의 측정	ω (%)	평균함수비
	No. _____		No. _____		
	W _w D _w		W _w D _w		
	D _w T _w		D _w T _w		
	W _e W _s		W _e W _s		
시료번호	함수비의 측정	ω (%)	함수비의 측정	ω (%)	평균함수비
	No. _____		No. _____		
	W _w D _w		W _w D _w		
	D _w T _w		D _w T _w		
	W _e W _s		W _e W _s		
시료번호	함수비의 측정	ω (%)	함수비의 측정	ω (%)	평균함수비
	No. _____		No. _____		
	W _w D _w		W _w D _w		
	D _w T _w		D _w T _w		
	W _e W _s		W _e W _s		
비 고					

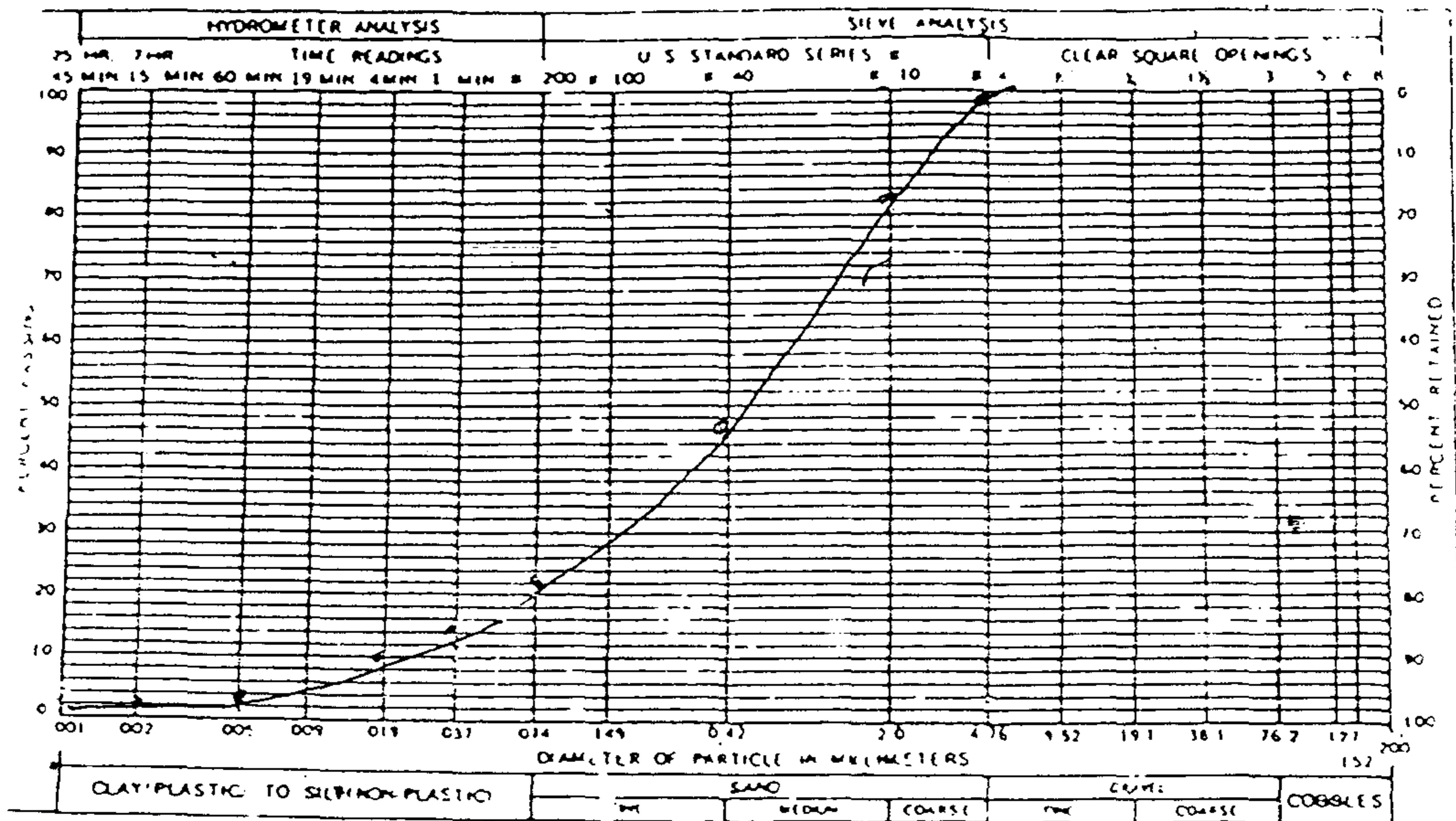


Fig. 1 Grain Size Distribution Curve

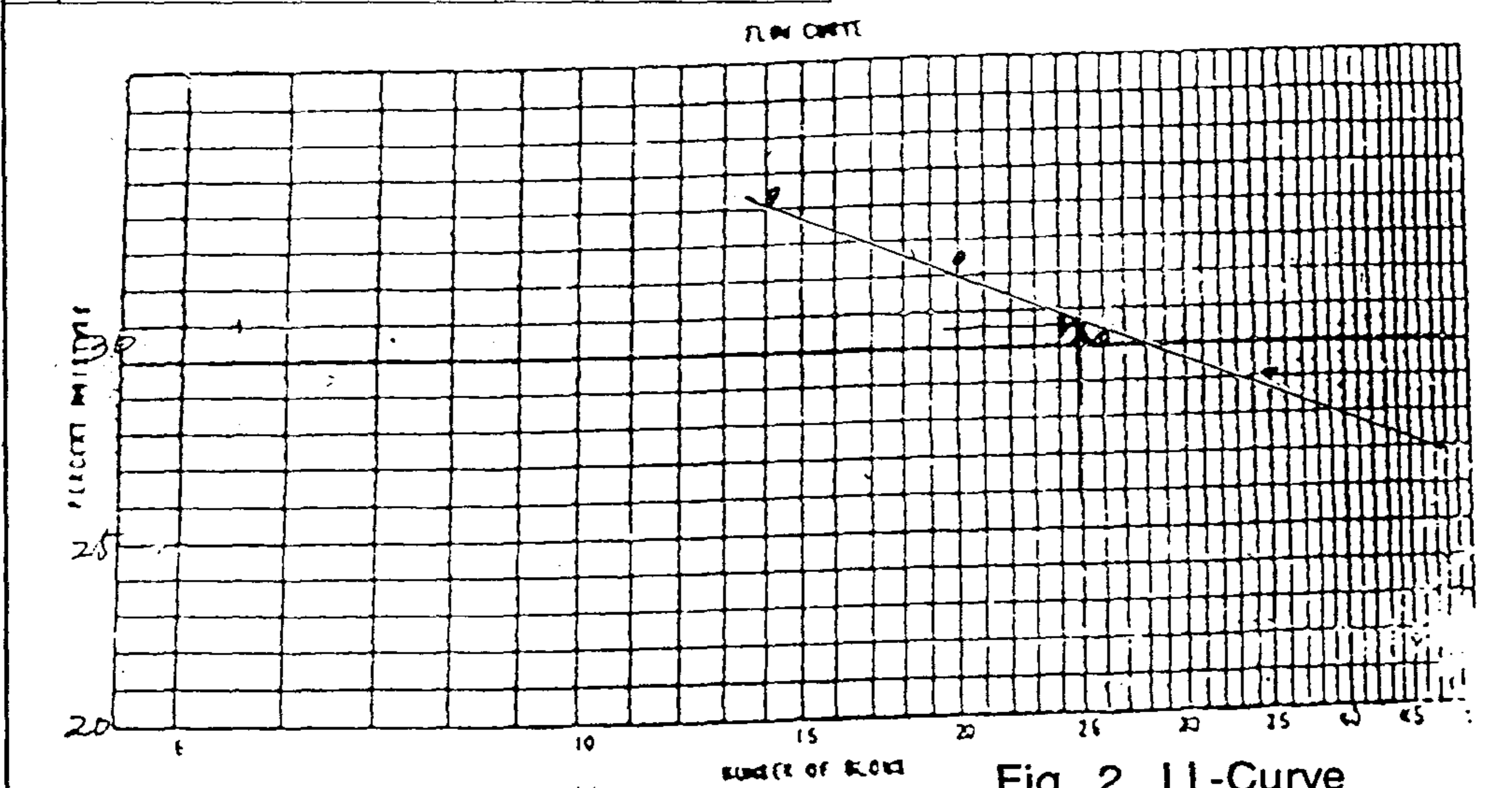
EARTH TESTING SOIL CONSISTENCY TEST

RECLAMATION

SAMPLE NO. _____ FEATURE. _____ PROJECT _____

EXCAVATION NO. _____ DEPTH _____ DATE _____

LIQUID LIMIT — PLASTIC LIMIT — PLASTICITY INDEX									
TRIAL NO.	PLASTIC LIMIT	LIQUID LIMIT							
DOSH NO.	1	2	3	1	2	3	4	5	
NO. OF BLOWS				45	35	27	20	13	
1	WT. DISH+WET SOIL	19.60	17.64	19.41	29.29	25.16	26.65	30.64	26.26
2	WT. DISH+DRY SOIL	18.84	17.27	18.75	27.32	22.84	23.95	27.65	23.39
3	WT. OF DISH	15.31	15.67	15.67	15.05	14.84	15.13	18.42	14.65
4	WT. OF WATER (1-2)								
5	WT. OF DRY SOIL (2-3)								
6	% MOISTURE (4 / 5 × 100)	21.62	23.42	21.62	21.76	29.00	30.61	32.39	32.83
7	AVERAGE PLASTIC LIMIT	22.22							



LIQUID LIMIT (LL)	30.75	PLASTIC LIMIT (PL)	22.22	PLASTICITY INDEX (PI=LL-PL)	8.53
-------------------	-------	--------------------	-------	-----------------------------	------

SHRINKAGE TEST

1	SHRINKAGE DISH NO.		8	VOL. SHRINKAGE DISH (V)	50.45
2	WT. OF DISH+WET SOIL	107.39	9	VOL. DRY SOIL (V ₀)	29.40
3	WT. OF DISH+DRY SOIL	78.02	10	V - V ₀ = (8-9)	21.05
4	WT. OF DISH	47.52	11	$\frac{V - V_0}{W_0} \times 100 = (\frac{10}{6} \times 100)$	69.00
5	WT. OF WATER (2-3)	29.37	12	SHRINKAGE LIMIT (7-11)	27.30
6	WT. OF DRY SOIL (W ₀ = 3-4)	30.50	13	SHRINKAGE RATIO (6 / 9)	
7	% MOISTURE (6 / 6 × 100)	96.30			

REMARKS _____ TESTED BY _____ DATE _____
 _____ COMPUTED BY _____ DATE _____
 _____ CHECKED BY _____ DATE _____

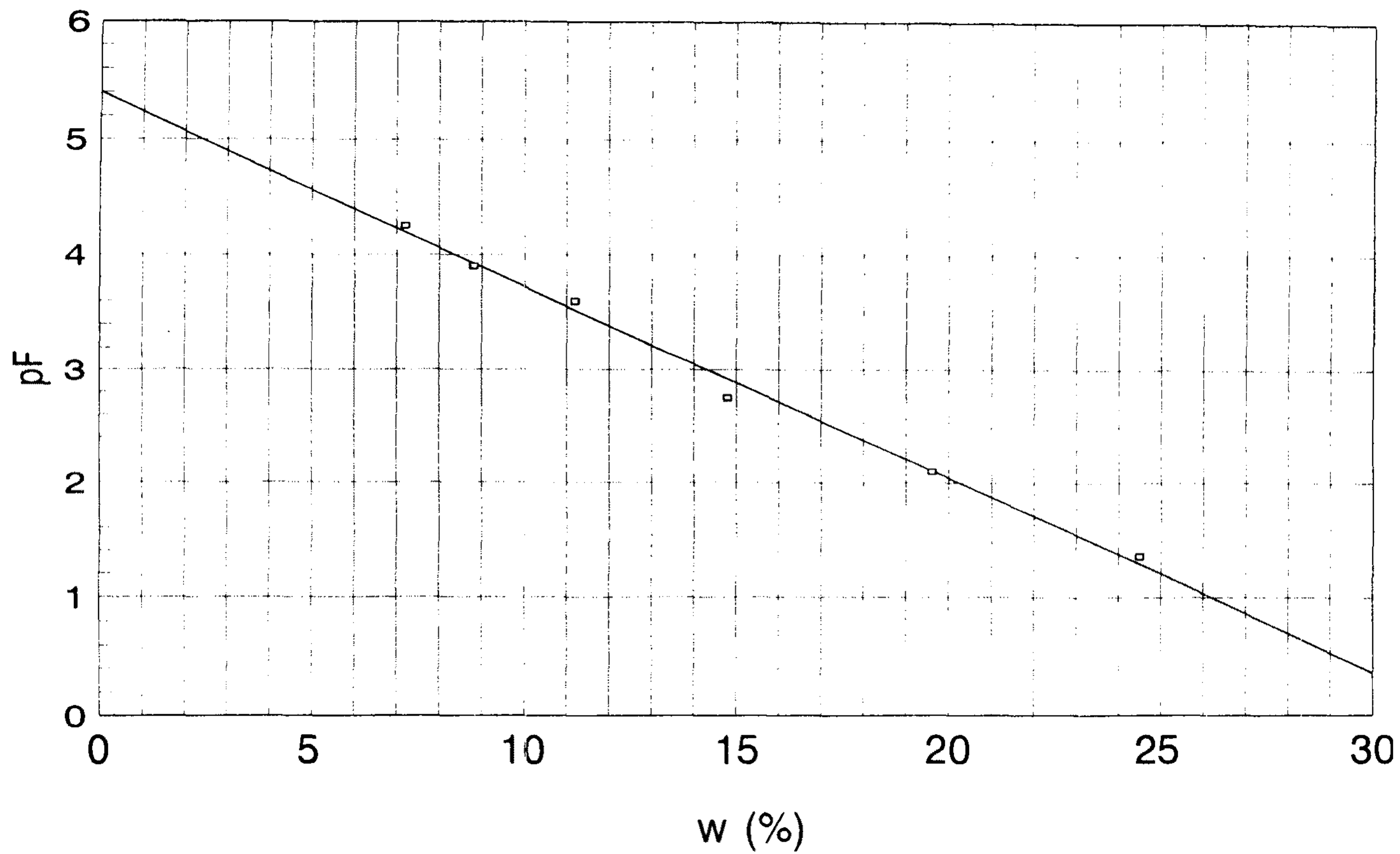


Fig. 3 Water Holding Property of Soil

다짐 시험 결과 표

PROCTOR COMPACTION TEST RESULTS

시험번호 Test No. _____ 시료채취자 Sampled by _____ 지구명 Project _____
 채취장소 Sampling at _____ 의뢰자 Requested by _____ 시험자 Tested by _____

시료구분 Sample	최대건밀도 Max. Dry Density gr/cm ³	최적함수량 Opt. Moisture Content %	관입저항 Penetration Resistance kg/cm ²	최대건밀도시의 at Max. Dry Density		현장함수비 Field Moisture Content %	비고 Remark
				공극율 Porosity %	습밀도 Wet Density gr/cm ³		
	1.882	11.52		27.58	2.158	14.67	

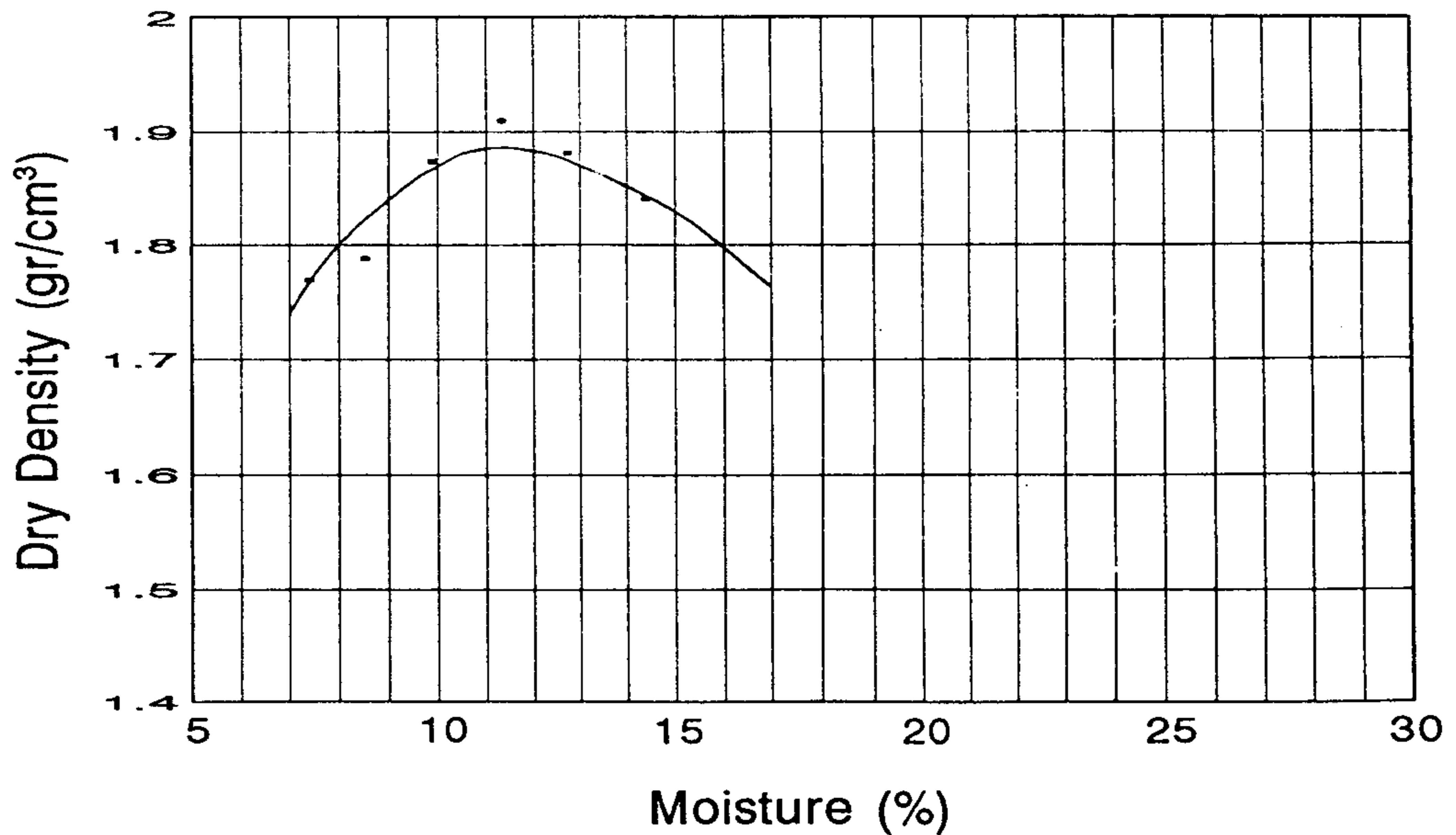


Fig. 4 Dry Density Curves

흙의室內透水試驗

報告用紙

調査名·調査地點 _____ 試驗年月日 _____
 試料番號·깊이:No. _____ 試驗者 _____
 試驗器番號 _____ 容器番號 _____ 試料의狀態 : 교란하지않은試料·교란된試料
 試料製作 : _____

유리관의 直徑	cm	供試體의 狀態	試驗前	試驗後
유리관의 斷面積	a cm ²	(容器+試料)의 重量	W' g	
試料 直徑	cm	試料重量	W _i =W'-W ₀ g	
透水面積	A cm ²	濕潤密度	$\gamma_t = W_i / V$ g	
試料 길이	L cm	飽和度	S _r %	
試料體積	V = AL cm ³	含水比	ω %	
容器重量	W ₀ g	乾燥密度	$\gamma_d = \gamma_t / (1 + \frac{\omega}{100})$ g/cm ³	
土粒子의比重	G _a	間隙比	e	

測定番號	1	2	3	試驗前含水比
測定開始時刻	t ₁			No. _____ W _w _____ D _w _____
測定終了時刻	t ₂			D _w _____ T _w _____
t ₂ - t ₁	sec			W ₀ _____ W _s _____
定水位法	水頭 h	cm		$\omega =$ _____ %
	A · (t ₂ -t ₁)			No. _____
	L / h			W _w _____ D _w _____
	透水量 Q	cm ³		D _w _____ T _w _____
	Q / A (t ₂ -t ₁)			W ₀ _____ W _s _____
$K_T = \frac{L}{h} \frac{Q}{A(t_2-t_1)}$	cm/sec			$\omega =$ _____ %
變水位法	時刻 t ₁ 에서의水位	h ₁ cm	3.52	
	時刻 t ₂ 에서의水位	h ₂ cm	20.18	
	h ₁ / h ₂		5.73	
	log ₁₀ (h ₁ / h ₂)		0.2528	
	a · L		32.36	
	aL / A		0.412	
	$2.3 / (t_2 - t_1)$		0.0000432	
$K_T = \frac{aL}{A} \frac{2.3}{(t_2-t_1)} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$	cm/sec	4.5 × 10 ⁻⁴	4.7 × 10 ⁻⁴	5.7 × 10 ⁻⁴
水溫 T	℃	21℃		
μ_T / μ_{15}		0.859		
$K_{15} = K_T \frac{\mu_T}{\mu_{15}}$			4.96 × 10 ⁻⁴	
平均值	K ₁₅	cm/sec	4.2 × 10 ⁻⁴	
			試驗後含水比	
			No. _____	
			W _w _____ D _w _____	
			D _w _____ T _w _____	
			W ₀ _____ W _s _____	
			$\omega =$ _____ %	
			No. _____	
			W _w _____ D _w _____	
			D _w _____ T _w _____	
			W ₀ _____ W _s _____	
			$\omega =$ _____ %	
			平均含水比 $\omega =$ _____ %	

備考 : μ_T 는 T °C에서의 물의 粘性係數

單位體積重量試驗 (캘리피)	報告用紙
-----------------------	-------------

調查名·調查地點 _____ 試驗年月日 _____ 年 月 日
 試驗者 _____

試料番號·깊이 : No. _____ (_____ m ~ _____ m)

供試體番號		1	2	3	4
供試體重量 W	g				
供試體平均높이 L	cm				
供試體上部平均直徑 D _t	cm				
供試體中央部平均直徑 D _c	cm				
供試體下部平均直徑 D _b	cm				
供試體平均直徑 D=(D _t +D _c +D _b)/3	cm				
供試體斷面積 A=π D ² /4	cm ²				
供試體體積 V=A·L	cm ³				
濕潤單位體積重量 γ _t =W/V	g/cm ³				
含水比 ω	%				
乾燥單位體積重量 γ _d =γ _t /(1+ $\frac{\omega}{100}$)	g/cm ³				

含 水 比 測 定

No. _____	No. _____	No. _____	平均含水比 ω = _____ %
W _w _____ D _w _____ W _s _____ ω = _____ %	W _w _____ D _w _____ W _s _____ ω = _____ %	W _w _____ D _w _____ W _s _____ ω = _____ %	

試料番號·깊이 : No. _____ (_____ m ~ _____ m)

供試體番號		1	2	3	4
供試體重量 W	g	106.69			
供試體平均높이 L	cm	5.06			
供試體上部平均直徑 D _t	cm	4.18			
供試體中央部平均直徑 D _c	cm	4.16			
供試體下部平均直徑 D _b	cm	4.02			
供試體平均直徑 D=(D _t +D _c +D _b)/3	cm	4.12			
供試體斷面積 A=π D ² /4	cm ²	13.32			
供試體體積 V=A·L	cm ³	67.40			
濕潤單位體積重量 γ _t =W/V	g/cm ³	1.583			
含水比 ω	%	14.67			
乾燥單位體積重量 γ _d =γ _t /(1+ $\frac{\omega}{100}$)	g/cm ³	1.380			

含 水 比 測 定

No. _____	No. _____	No. _____	平均含水比 ω = 14.67 %
W _w _____ D _w _____ W _s _____ ω = _____ %	W _w _____ D _w _____ W _s _____ ω = _____ %	W _w _____ D _w _____ W _s _____ ω = _____ %	

	有機物含有量試驗	報告用紙
--	----------	------

調查名·調查地點	의암	試驗年月日	1995 年 6 月 日
試料番號 · 깊이	의암-1 (m ~ m)	試驗者	어성룡

強熱減量法

試料番號	有機物含有量測定						平均有機物含有量
	No. 1		No. 2		No. 3		
	W ₂ 31.299	D ₂ 31.299	W ₂ 32.487	D ₂ 32.487	W ₂ _____	D ₂ _____	ω = 8.4 %
	D ₁ 19.349	T ₃ 30.272	D ₁ 19.217	T ₃ 31.399	D ₁ _____	T ₃ _____	
	W ₂₋₁ 11.950	W ₂₋₃ 1.027	W ₂₋₁ 13.27	W ₂₋₃ 1.088	W ₂₋₁ _____	W ₂₋₃ _____	
	ω = 8.6 %		ω = 8.2 %		ω = _____ %		
	No. _____	No. _____	No. _____	No. _____	No. _____	No. _____	ω = _____ %
	W ₂ _____	D ₂ _____	W ₂ _____	D ₂ _____	W ₂ _____	D ₂ _____	
	D ₁ _____	T ₃ _____	D ₁ _____	T ₃ _____	D ₁ _____	T ₃ _____	
	W ₂₋₁ _____	W ₂₋₃ _____	W ₂₋₁ _____	W ₂₋₃ _____	W ₂₋₁ _____	W ₂₋₃ _____	
	ω = _____ %		ω = _____ %		ω = _____ %		

유기물함유량 ω

$$\omega = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\% = \frac{1.027}{11.950} \times 100 = 8.6$$

$$= \frac{W_{2-3}}{W_{2-1}} \times 100\% = \frac{1.088}{13.270} \times 100 = 8.2$$

W₁ : 恒量化한 도가니의 重量 (g)

W₂ : 試料와 도가니의 重量 (g)

W₃ : 強熱한 후의 試料와 도가니의 重量 (g)

W₂₋₁ : (= W₂-W₁) 試料採取量 (g)

W₂₋₃ : (= W₂-W₃) 試料重量減少量 (g)

重 크롬酸法

試料番號	W _s (g)	S (ml)	T (ml)	S - T	S × W _s	$\frac{(S-T) \times 26.8}{S \times W_s} (\%)$

有機物含有量 ω

$$\omega = \frac{(S-T) \times 26.8}{S \times W_s} (\%)$$

W_s : 試料量 (g)

S : 黃酸第一鐵암모늄 溶液의 濃度決定時에
要한 酸第一鐵암모늄 溶液의 平均滴定量 (ml)

T : 重 크롬酸칼륨溶液 消費量 測定時에 要한
黃酸第一鐵암모늄 溶液의 平均滴定量 (ml)

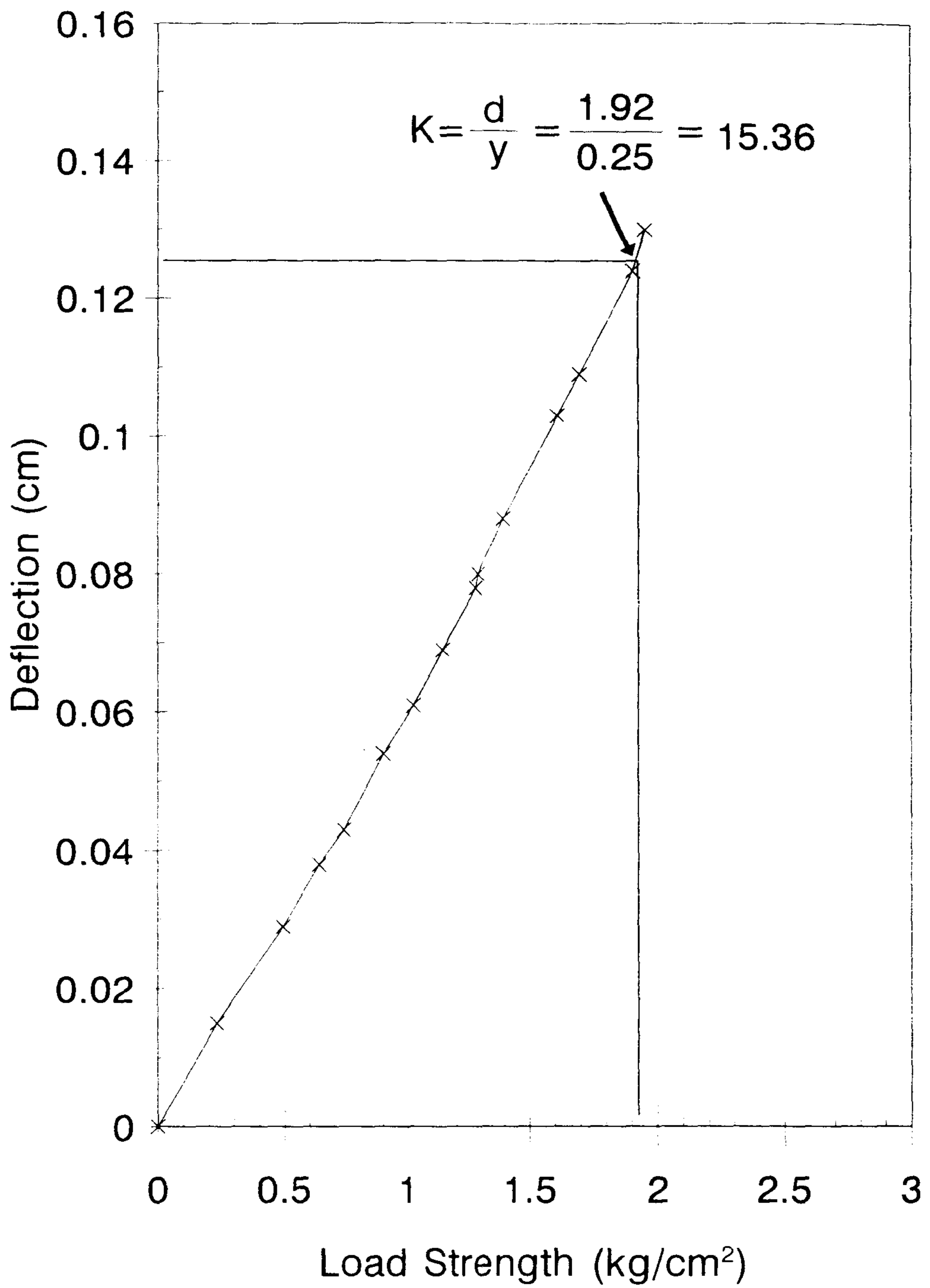
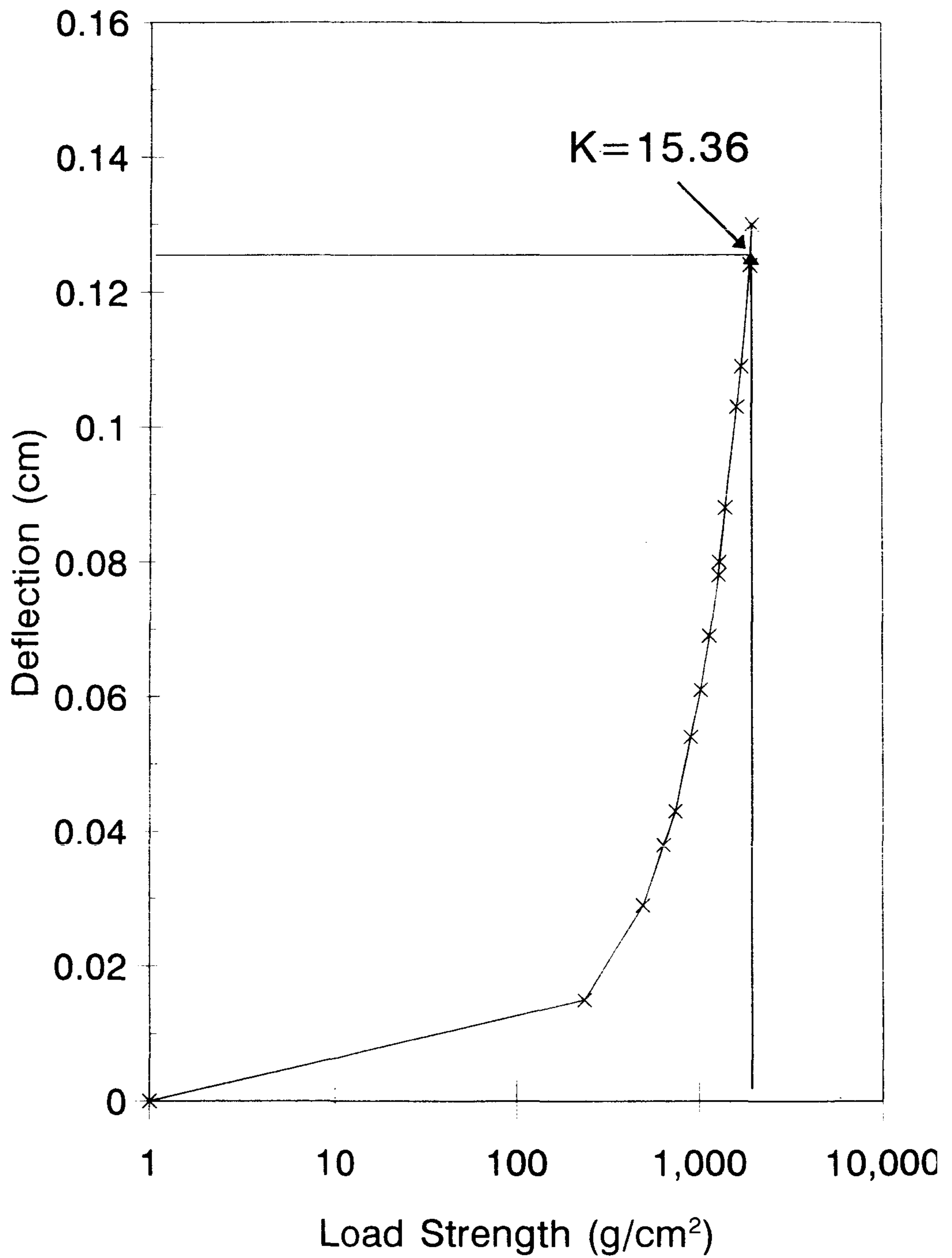


Fig. 5. (a) PBT of Subgrade



PBT of Subgrade

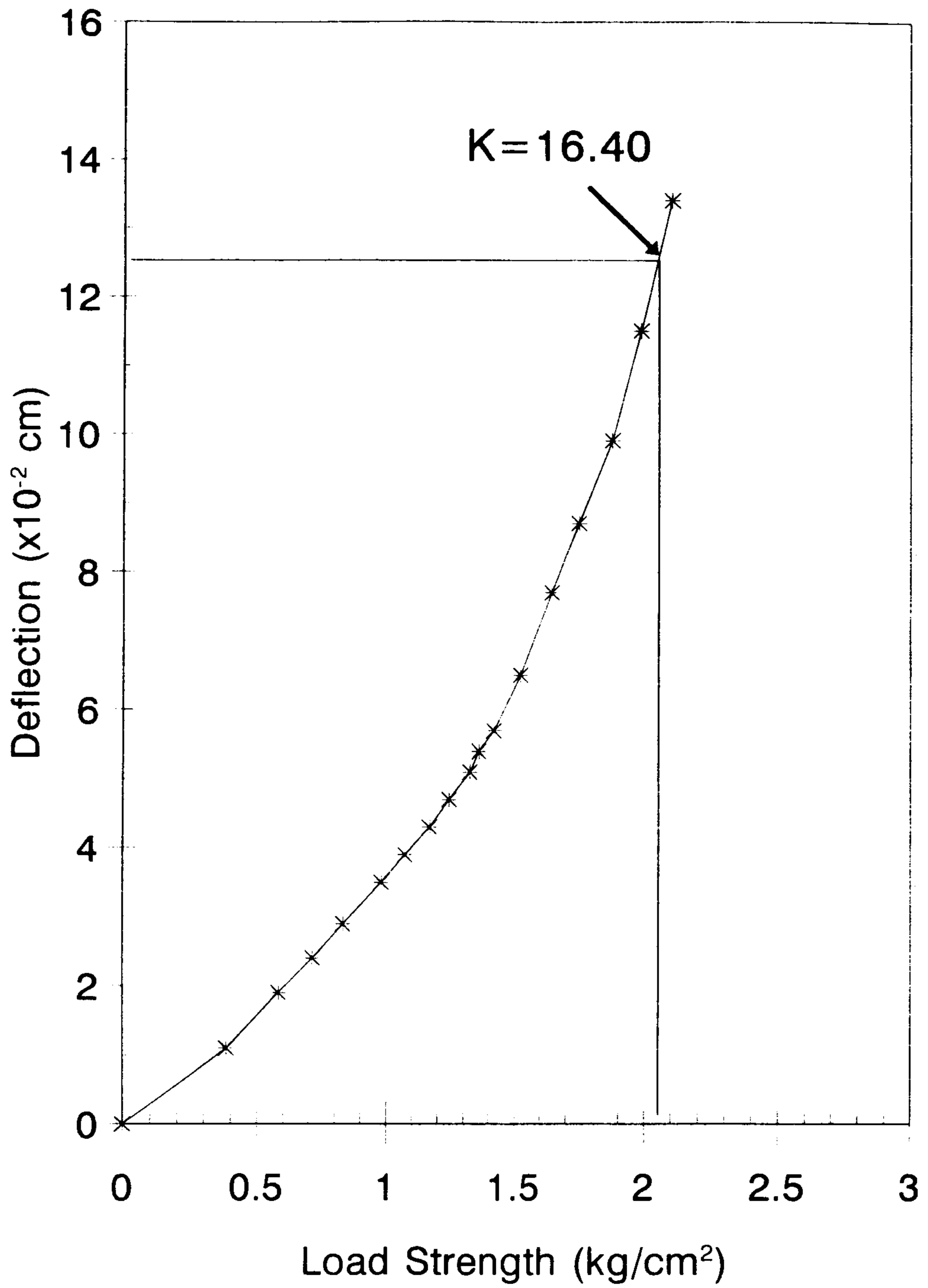
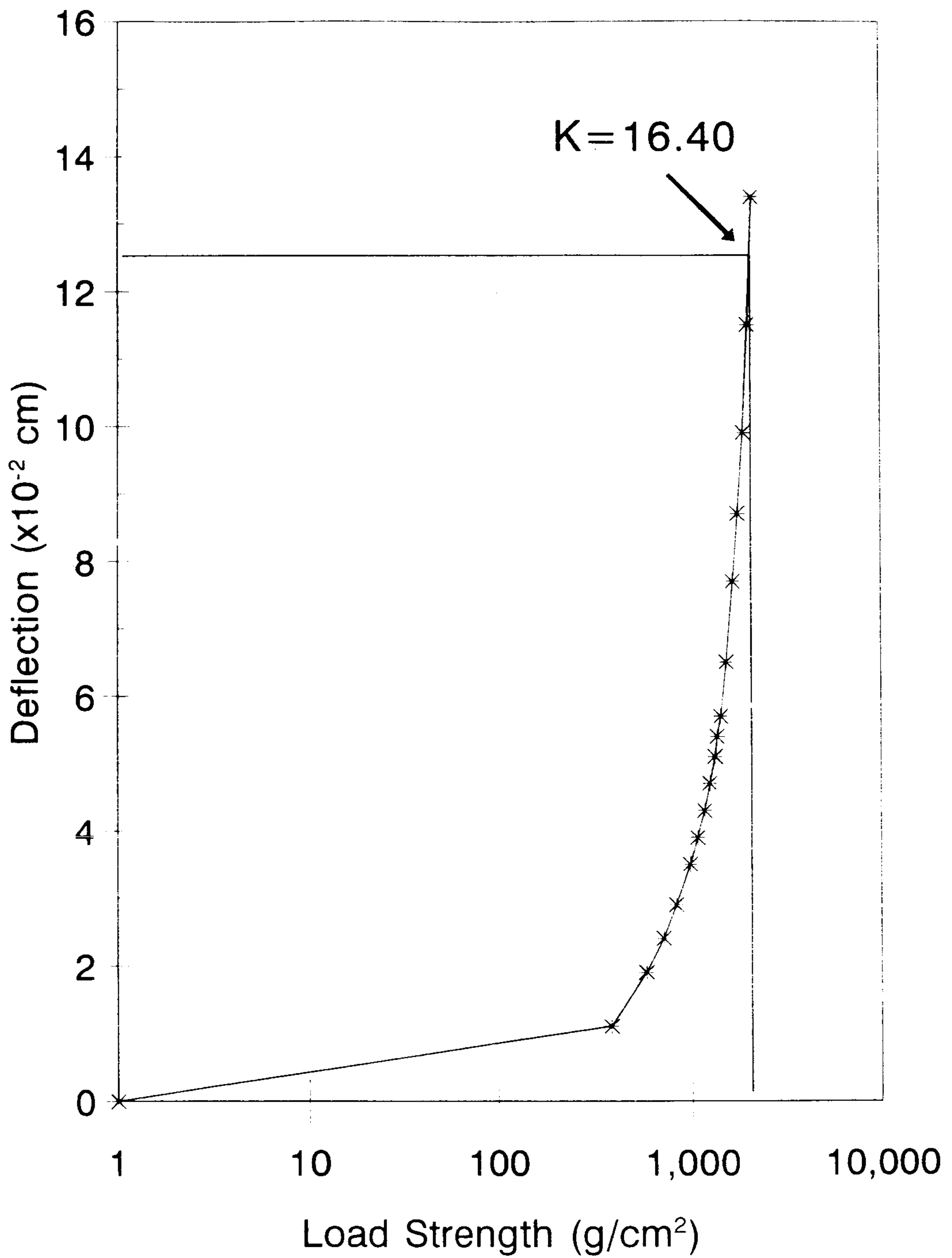


Fig. 5 (b) PBT of Cement Base Course



PBT of Cement Base Course

		실내 CBR 시험 (교란된 흙) 원상상태								
조사명·조사지점		시험년월일 _____ 년 _____ 월 _____ 일								
시료번호·깊이 No. _____ m~ _____ m		시 험 자								
공시체 번호		다짐시험방법	KSF 2312, D-2							
시료 상태	호트러진	최적함수비	8.26	최대건조밀도	2.053					
시료의 준비	비건조	다짐횟수	10	25	55					
시험 조건	비수침	함수비	8.26	8.26	8.26					
I. 공시체의 밀도										
다짐 횟수	몰드 번호	(습윤시료+ 몰드)중량 (g)	몰드중량 (g)	습윤시료 중량 (g)	공시체높이 (cm)	공시체체적 V (cm ³)	습윤밀도 γ_1 (g/cm ³)	건조밀도 γ_d (g/cm ³)		
10		9830	4900	4930	14	2474	1.9927	1.8406		
25		4890	5230	5230	14	2474	2.1139	1.9526		
55		4890	5560	5560	14	2474	2.2473	2.0758		
II. 흡수팽창시험										
다짐 횟수	수침시간	0	1	2	4	8	24	48	72	96
10	다이알 게이지 읽음									
	팽창량 mm									
	팽창비 (%)									
25	다이알 게이지 읽음									
	팽창량 mm									
	팽창비 (%)									
55	다이알 게이지 읽음									
	팽창량 mm									
	팽창비 (%)									
III. 흡수팽창시험후의 공시체의 건조밀도 및 함수비										
다짐 횟수	몰드 번호	(습윤공시체+몰 드)중량(g)	습윤공시체 중량(g)	팽창비 γ_s (%)	공시체체적 V' (cm ³)	습윤밀도 γ_1' (g/cm ³)	건조밀도 γ_d' (g/cm ³)	함수비 ω' (%)		
10										
25										
55										

시험의 명칭 ①				CBR 시험 (실내관입시험)									
조사명 · 조사지점				시험년월일				년 월 일					
공시체조건: 				관입속도 0.1mm/분				시 험 자					
하중판: 5kg				검력계 No.									
관 입 시 험								피스톤단면적 A: 19.6 cm ³					
다짐 횟수	10				25				55				
	관입 량 (mm)	검력계 (1/100 mm)	하중 (kg)	하중 강도 (kg/cm ³)	CBR	검력계 (1/100m m)	하중 (kg)	하중 강도 (kg/cm ³)	CBR	검력계 (1/100 mm)	하중 (kg)	하중 강도 (kg/cm ³)	CBR
0	0	0	0			0	0	0		0	0	0	
0.5	0.65	100	5.092			0.540	150	7.639		0.675	325	16.552	
1.0	1.22	175	8.913			0.998	300	15.278		1.165	600	30.557	
1.5	1.71	225	11.459			1.615	500	25.465		1.690	850	43.290	
2.0	2.23	300	15.278			2.005	600	30.557		2.207	1125	57.295	
2.5	2.77	350	17.825			2.470	750	38.197		2.675	1450	73.847	
5.0	5.22	525	26.738			4.880	1300	66.208		5.193	2650	134.963	
7.5	7.94	675	34.377			7.030	1800	91.673		7.955	3750	190.986	
10.0	10.32	850	43.290			9.930	2200	112.045		10.603	4650	236.986	
12.5	13.08	1000	50.929			12.718	2650	134.960		11.750	5000	254.648	

$N = 10 \quad CBR_{2.5} = \frac{17.80}{70} \times 100 = 25.48$ $\frac{26.73}{105} \times 100 = 24.51$	관입 시험후의 함수비 (깊이 3cm) 다짐횟수 : 10 No. W _w 64.86 D _w 61.38 D _w 61.38 T _w 16.08 W _w 3.48 W _s 45.30 $\omega = 7.68$
$N = 25 \quad CBR = \frac{38.19}{70} \times 100 = 54.56$ $\frac{66.20}{105} \times 100 = 63.05$	
$N = 55 \quad CBR = \frac{73.84}{70} \times 100 = 105.49$ $\frac{134.96}{105} \times 100 = 128.53$	
$\therefore CBR = 29.4\%$	
다짐횟수 : 25 No. W _w 81.90 D _w 71.78 D _w 71.78 T _w 16.57 W _w 10.12 W _s 55.21 $\omega = 18.33$	
다짐횟수 : 55 No. W _w 65.39 D _w 61.78 D _w 61.78 T _w 16.06 W _w 3.61 W _s 45.72 $\omega = 7.895$	

KSF 2320		CBR 시험 성과표 (외압리 현장 ①)						
조사명 · 조사지점			시험년월일					
시료번호 · 깊이			시험자					
시료의 상태 호트러진			시료의 비중					
측정번호	1	2	3	4	5	6	7	8
건조밀도 γ_d	1.976	1.985	2.053	2.045	1.937	1.905		
평균함수비(%)	4.68	5.91	8.26	10.07	12.40	13.52		
다짐시험결과			C.B.R 시험결과					
최대건조밀도 $\gamma_d \text{ max}$	2.053	다짐 횟수	함수비(%) ω	수침후 함수비 ω' (%)	팽창비 (%) γ_e	건조밀도 $\gamma_d(\text{g/cm}^3)$	C.B.R	
		10	8.26			1.8406		
최적함수비 ω_{opt}	8.26	25	8.26			1.3526		
		55	8.26			2.0758		

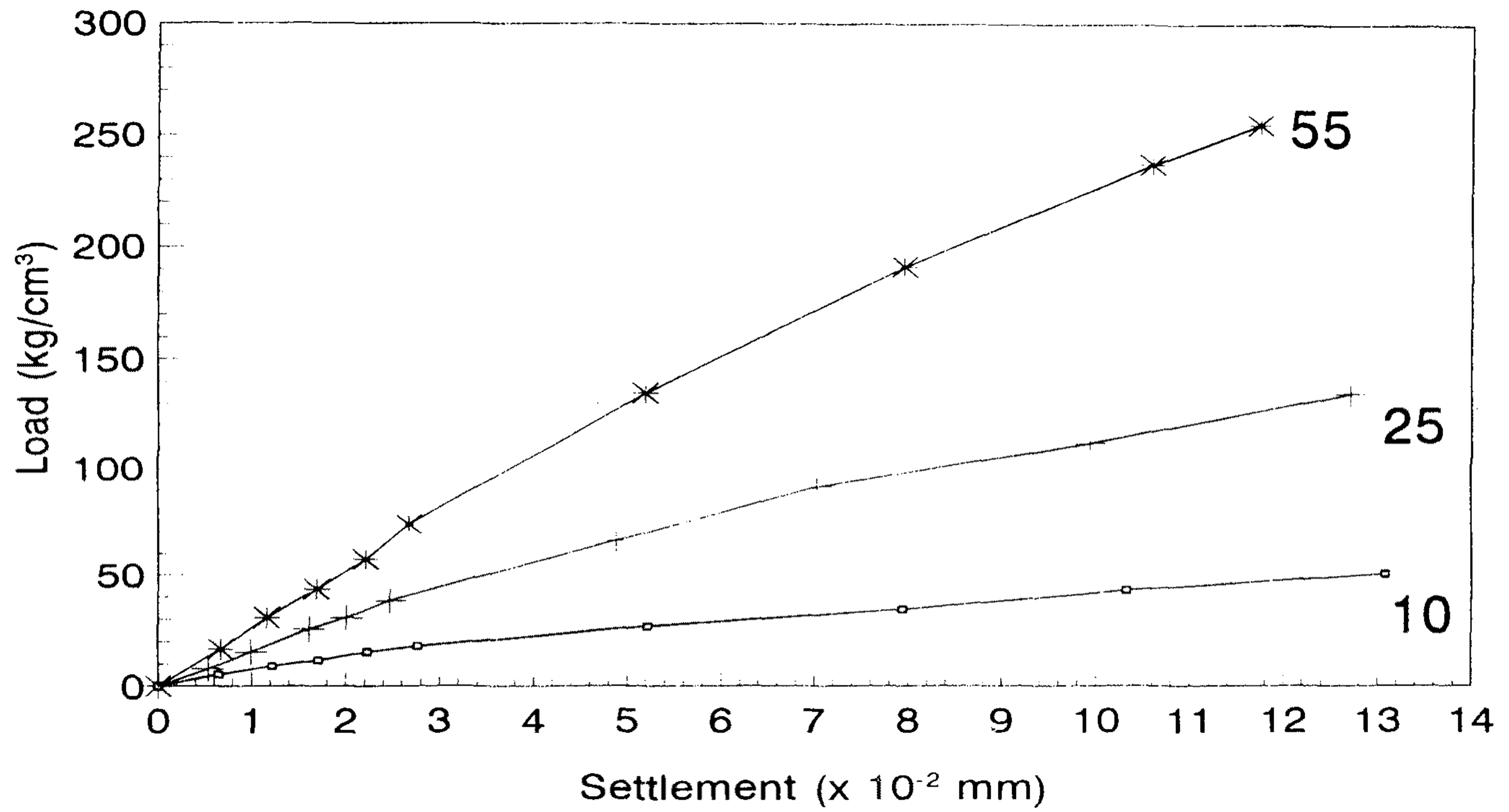


Fig. 6 (a) Load-Settlement Curve

의암리 현장		CBR 시험 (실내관입시험)											
조사명 · 조사지점							시험년월일		년	월	일		
공시체조건: 수침		관입속도 0.1mm/분					시 험 자						
하중판: 5kg		검력계 No.											
관 입 시 험							피스톤단면적 A: 19.6 cm ³						
다짐 횟수	10				25				55				
관입 량 (mm)	검력계 (1/100 mm)	하중 (kg)	하중 강도 (kg/cm ³)	CBR	검력계 (1/100m m)	하중 (kg)	하중 강도 (kg/cm ³)	CBR	검력계 (1/100 mm)	하중 (kg)	하중 강도 (kg/cm ³)	CBR	
0	0	0	0		0	0	0		0	0	0		
0.5	0.47	25	1.28		0.54	60	3.06		0.47	125	6.37		
1.0	0.90	75	3.83		1.00	125	6.38		1.13	325	16.58		
1.5	1.48	125	6.38		1.48	200	10.20		1.59	475	24.23		
2.0	2.03	150	7.65		2.05	275	14.03		2.16	650	33.16		
2.5	2.49	175	8.93		2.51	350	17.86		2.78	900	45.91		
5.0	4.86	350	17.86		4.98	625	31.88		5.43	1500	76.53		
7.5	7.29	475	24.23		7.84	925	47.19		8.17	2275	116.07		
10.0	9.76	625	31.89		10.02	1175	59.95		10.97	2850	145.41		
12.5	12.22	725	36.98		12.53	1450	73.37		13.87	3350	170.91		
$N = 10 \quad CBR = \frac{8.93}{70} \times 100 = 12.76$ $N = 25 \quad CBR = \frac{17.86}{70} \times 100 = 25.51$ $N = 10 \quad CBR = \frac{45.91}{70} \times 100 = 65.59$									관입 시험후의 함수비 (깊이 3cm)				
									다짐횟수 : 10				
									No. W _w 127.03 D _w 117.05 D _w 117.05 T _w 29.57 W _w 9.98 W _s 87.48 ω = 11.40				
									다짐횟수 : 25				
									No. W _w 113.55 D _w 106.07 D _w 106.07 T _w 29.17 W _w 7.48 W _s 76.9 ω = 9.72				
									다짐횟수 : 55				
									No. W _w 117.82 D _w 110.53 D _w 110.53 T _w 29.97 W _w 7.29 W _s 80.56 ω = 9.05				

CBR 시험 (교란된 흙) 의암리 현장										
조사명 · 조사지점					시험년월일 년 월 일					
시료번호 · 깊이 No. m ~ m					시 험 자					
공시체 번호			다짐시험방법	KSF 2312, D-2						
시료 상태	호트러진		최적함수비	8.26	최대건조밀도	2.053				
시료의 준비	비건조		다짐횟수	10	25	55				
시험 조건	추진		함수비	8.26	8.26	8.26				
I. 공시체의 밀도										
다짐 횟수	몰드 번호	(습윤시료+ 몰드)중량 (g)	몰드중량 (g)	습윤시료 중량 (g)	공시체높이 (cm)	공시체체적 V (cm ³)	습윤밀도 γ_1 (g/cm ³)	건조밀도 γ_d (g/cm ³)		
10		9820	4880	4940	14	2474	1.9967	1.8443		
25		10040	4890	5150	14	2474	2.0816	1.9227		
55		10325	4900	5425	14	2474	2.1928	2.0254		
II. 흡수팽창시험										
다짐 횟수	수침시간	0	1	2	4	8	24	48	72	96
10	다이알 게이지 읽음	17	17.8	17.8	17.8	17.9	18.5	18.5	19.2	19.5
	팽창량 mm	0.00	0.008	0.008	0.008	0.009	0.015	0.015	0.022	0.025
	팽창비 (%)	0	0.0057	0.0057	0.0057	0.006	0.011	0.011	0.016	0.018
25	다이알 게이지 읽음	75.5	77.8	77.9	78	78	78.2	78.2	78.4	78.8
	팽창량 mm	0.00	0.023	0.024	0.025	0.025	0.027	0.027	0.029	0.033
	팽창비 (%)	0	0.016	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.024
55	다이알 게이지 읽음	87.7	87.7	87.7	87.7	88.9	89.3	89.3	89.3	89.3
	팽창량 mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.012	0.016	0.016	0.016	0.016
	팽창비 (%)	0	0	0	0	0.008	0.011	0.011	0.011	0.011
III. 흡수팽창시험후의 공시체의 건조밀도 및 함수비										
다짐 횟수	몰드 번호	(습윤공시체+물 드)중량(g)	습윤공시체 중량(g)	팽창비 γ_s (%)	공시체체적 V' (cm ³)	습윤밀도 γ_1' (g/cm ³)	건조밀도 γ_d' (g/cm ³)	함수비 ω' (%)		
10		9820	4940	0.018	2474	1.9721	1.8439	8.26		
25		10040	5150	0.024	2474	2.0811	1.9222	8.26		
55		10325	5425	0.011	2474	2.1925	2.025	8.27		

KSF 2320		CBR 시험 성과표 (회합리 현장)						
조사명 · 조사지점			시험년월일					
시료번호 · 깊이			시험자					
시료의 상태 호트러진			시료의 비중					
측정번호	1	2	3	4	5	6	7	8
건조밀도 γ_d	1.976	1.985	2.053	2.045	1.937	1.905		
평균함수비(%)	4.68	5.91	8.26	10.07	12.40	13.52		
다짐시험결과			C.B.R 시험결과					
최대건조밀도 $\gamma_d \text{ max}$	2.053	다짐 횟수	함수비(%) ω	수침후 함수비 ω' (%)	팽창비 (%) γ_e	건조밀도 $\gamma_d(\text{g/cm}^3)$	C.B.R	
		10	8.26	8.26	0.018	1.8439		
최적함수비 ω_{opt}	8.26	25	8.26	8.26	0.024	1.9222		
		55	8.26	8.26	0.011	2.025		

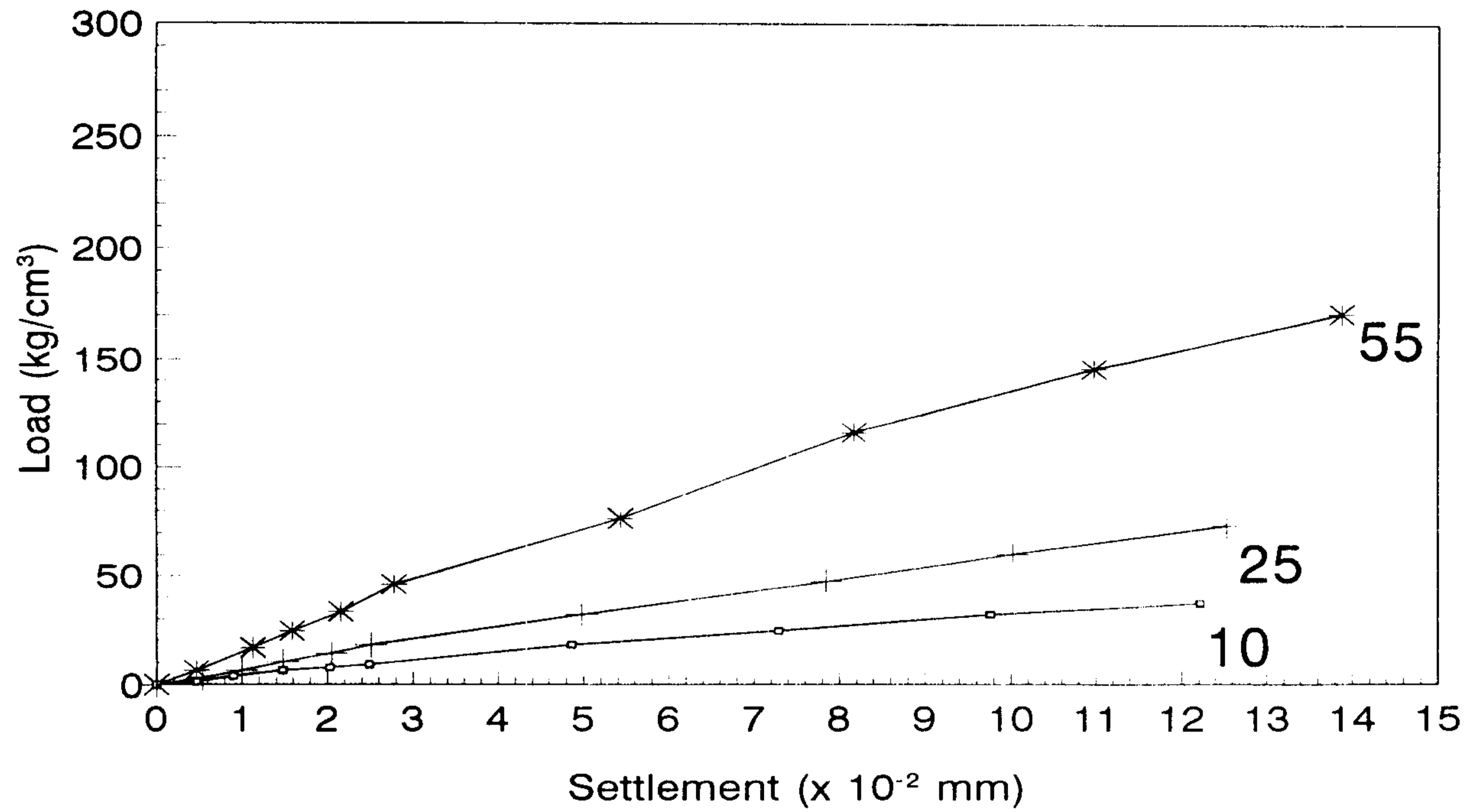


Fig. 6 (b) Load-Settlement Curve

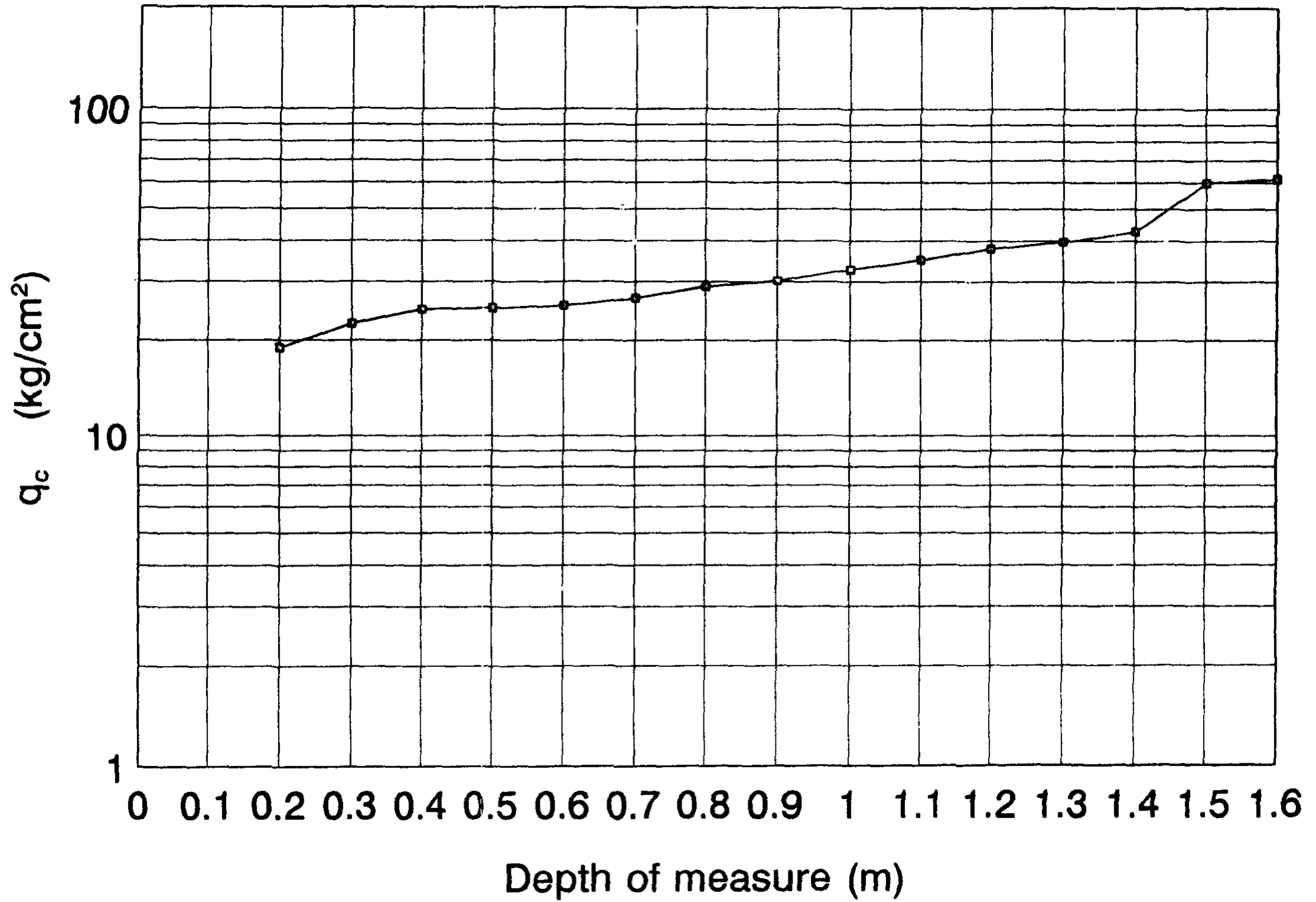


Fig. 7 Portable Cone Penetrometer Test

	흙의 pH 試驗	報告用紙
--	----------	------

調査名·調査地點 _____ 試驗年月日 _____ 年 月 日
 試料番號·깊이 No. _____ (m ~ m) 試驗者 _____

No. _____ W_w _____ D_w _____ W_e _____ $\omega =$ _____ %	No. _____ W_w _____ D_w _____ W_e _____ $\omega =$ _____ %	No. _____ W_w _____ D_w _____ W_e _____ $\omega =$ _____ %	平均含水比 $\omega =$ _____ %
--	--	--	-----------------------------

測定法·試料番號	pH (H ₂ O)		pH (KCl)	
項目				
試料의 含水量 %	14.67	14.67		
測定時의 試料溫度 ℃	20 ℃	20 ℃		
pH 值	5.6	5.8		
pH 平均 值	5.7			
pH(H ₂ O)와 pH(KCl)의 差				
試料採取後의 日數	2일 후			
試料의 保存方法	비닐봉지에 밀폐보관			
pH 計의 名稱	유리전극식 pH메타 (HM-5A)			

	흙의 pH 試驗	報告用紙
--	----------	------

調査名·調査地點 _____ 試驗年月日 _____ 年 月 日
 試料番號·깊이 No. _____ (m ~ m) 試驗者 _____

No. _____ W_w _____ D_w _____ W_e _____ $\omega =$ _____ %	No. _____ W_w _____ D_w _____ W_e _____ $\omega =$ _____ %	No. _____ W_w _____ D_w _____ W_e _____ $\omega =$ _____ %	平均含水比 $\omega =$ _____ %
--	--	--	-----------------------------

測定法·試料番號	pH (H ₂ O)		pH (KCl)	
項目				
試料의 含水量 %				
測定時의 試料溫度 ℃				
pH 值				
pH 平均 值				
pH(H ₂ O)와 pH(KCl)의 差				
試料採取後의 日數				
試料의 保存方法				
pH 計의 名稱				

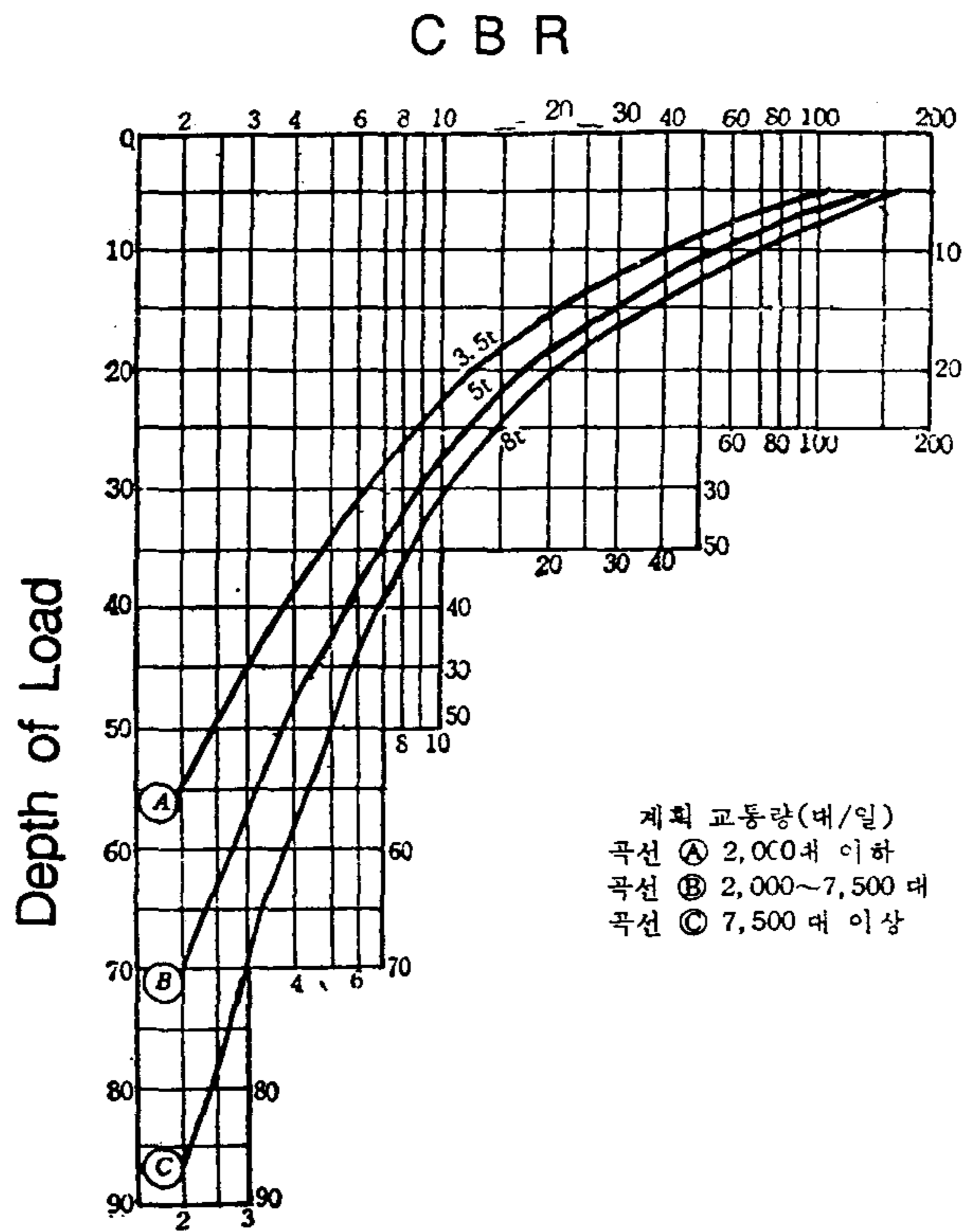


Fig. 8 CBR Design Curve

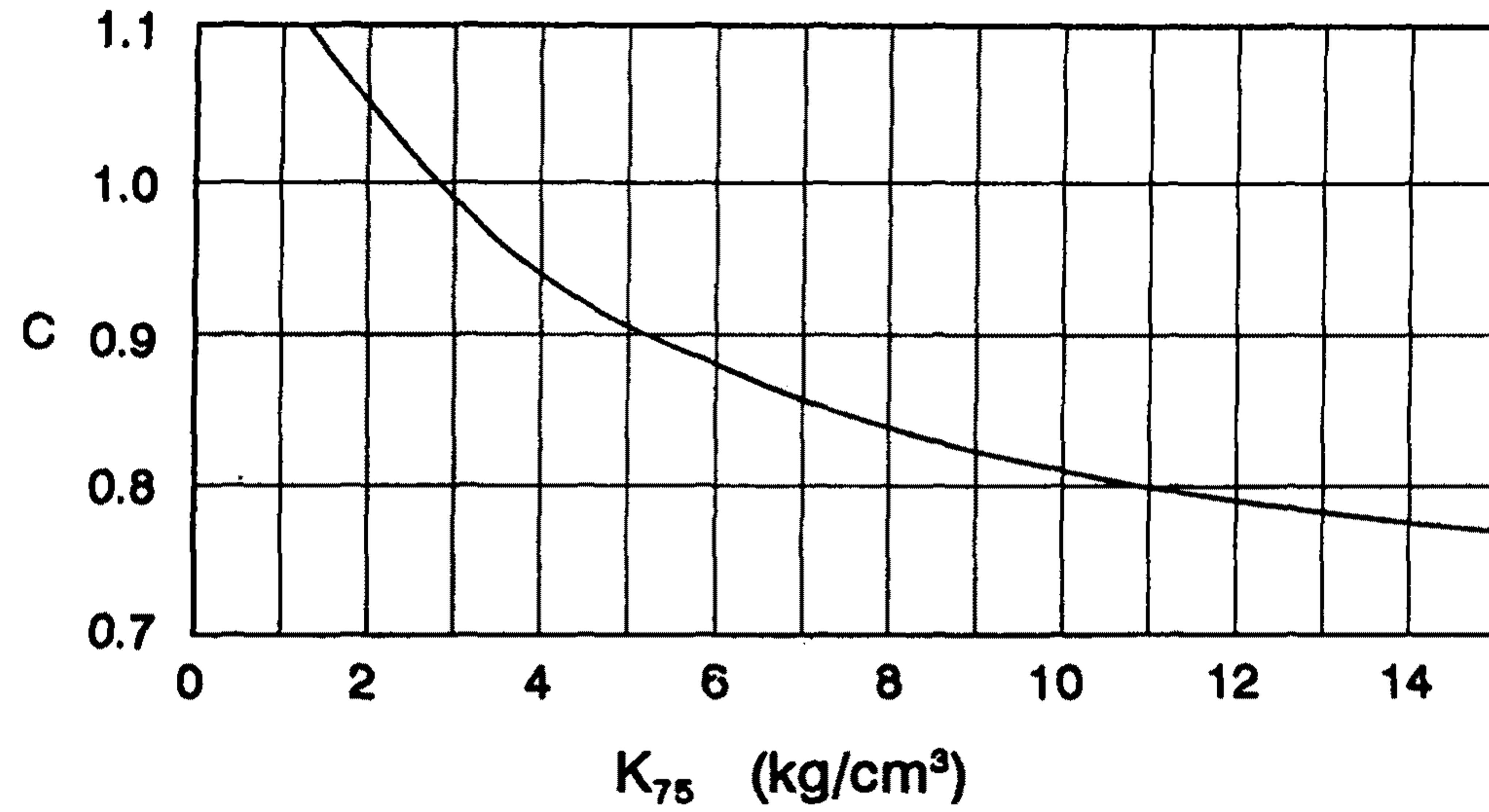


Fig. 9 Relationship of C and K_{75}

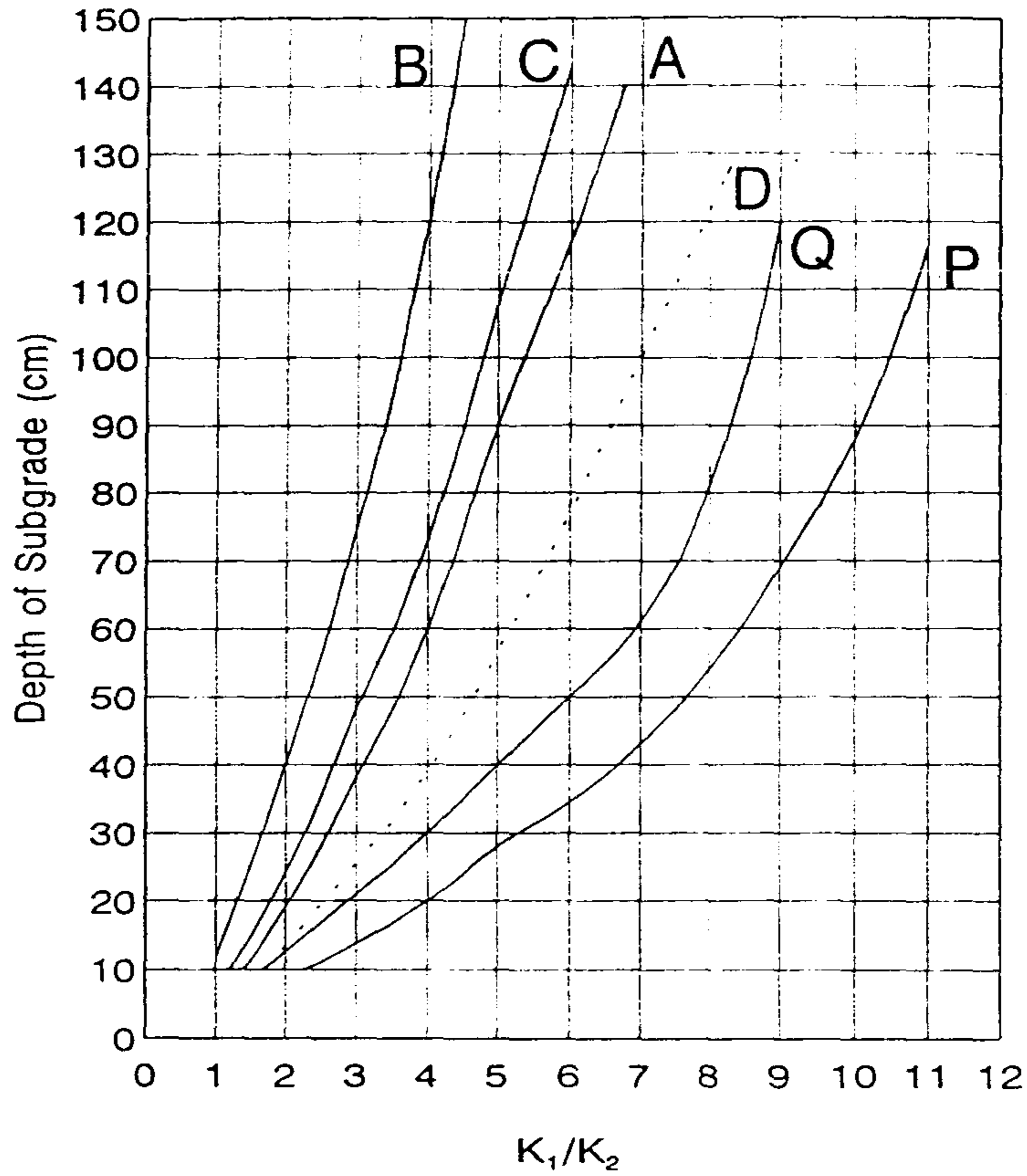


Fig. 10 Relationship of K_1 and K_2

그림중의 A~Q의 곡선은 路盤재료의 종류를 나타내면 다음과 같다.

A : 크라샤-란, 메카담, 理想粒度의 자갈, 모래, 細粒土混合物

B : 모래

C : 막자갈, 단 흙갈기 두께 15 cm 이하에서 10 t

D : 理想粒度재료의 흙갈기두께 15 cm 이하에서 10 t 이상의 2종류의 로울러로 12~16 회 轉壓 했을 경우

P : 路盤施工後 2 週間이상 교통에 開放하고 교통량이 10 만대에 이를 경우

Q : 路盤施工後 2 週間이상 교통에 開放하고 교통량이 5 만대에 이를 경우

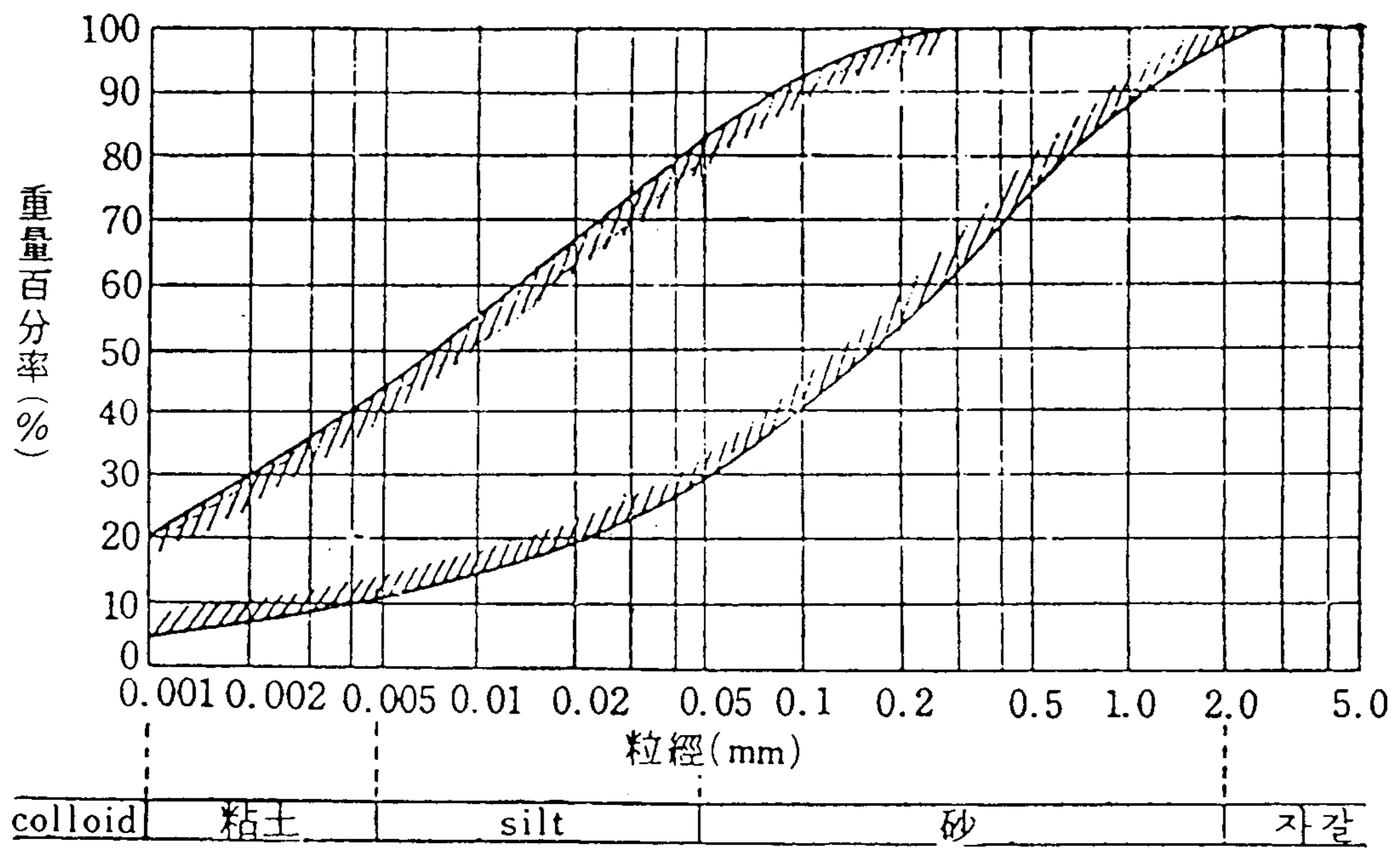


Fig. 11 동해를 받기 쉬운 흙의 粒度