

철근콘크리트보의 휨내력보강 공법에 관한 실험적연구

An Experimental Study on the Rehabilitation Technics of R/C Flexural Member

김 성 철* 이 희 경* 유 성 훈* 김 중 구** 정 란***
Kim, Sung-Chul Lee, Hee-Kyoung Yoo, Seong-Hoon Kim, Joong-Koo Chung, Lan

ABSTRACT

In this study, the behavior of R/C beam strengthened with carbon fiber laminate(C.F.L) is analyzed from the test results. Test parameters are the width and the thickness of C.F.L.

The failure mode and ultimate load are analyzed from these measured data.

Test results shows that the peak load of specimens strengthened with C.F.L is increased to 1.27~2.04 times of that of non-rehabilitation specimen. The wider lap width, larger amount of rehabilitation materials, the larger strength is obtained.

key words : carbon fiber laminate, epoxy mortar, rehabilitation

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 국내에서는 자주 야기되는 구조물의 안전사고로 인하여 콘크리트 구조물의 보수·보강에 관심을 갖게 되었으며 체계적 연구가 필요한 때이다.

현재 국내에서는 현장적용을 목적으로 구조물의 보수·보강 재료와 공법에 관한 실험 및 연구가 여러 연구자들에 의해서 진행^{1),2)}되고 있으나, 아직은 초기단계에 머물고 있다. 일반적으로 콘크리트 구조물의 균열은 시공 초기단계 및 사용중에 대부분 발생하며, 시공단계 및 사용하중 하에서 이러한 균열들의 발생원인을 이해하여 적절히 사전에 조치를 취함으로써 구조적인 문제를 야기시키는 균열발생을 줄일 수 있다.

따라서, 본 연구의 목적은, 연구의 성과를 적절하게 현장에 적용시킬 수 있는, 국내실정에 알맞는 재료 및 공법을 개발하는데 있다. 이미 현장에 적용되고 있는 에폭시 접착 탄소섬유 쉬트공법을 대체할 수 있는 보다 경제적인 에폭시 모르터 접착 탄소섬유판공법을 개발하여 적합한 시공방법의 근거를 제시하고, 이에 따른 보강효과를 고찰하고자 한다.

2. 실험 계획

2.1 시험체 계획 및 제작

시험체는 실험실의 조건과 시험체의 구조적 거동을 적합하게 나타낼 수 있는 크기로 계획하였다.

연구의 목적을 위하여 다음 그림1과 같이 시험체를 계획하였으며, 시험체는 휨에 의해 최대내력에 도달하도록 설계하였다.

철근배근은 길이 2.5m, 폭 15cm, 춤 25cm에 인장근과 압축근을 동일하게 2HD-13을 배근하였으며,

* 정회원, 단국대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정회원, 한국안전진단기술연구소 소장, 공학박사

*** 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 연구담당이사

전단보강근은 중앙부 구간(2.2m)에 D10을 100mm간격으로 배근하였다. 변형을 측정기(Strain gages)는 하부 인장주근의 중앙부위에서 5cm 떨어진곳에 1개와 이 위치에서 단부쪽으로 30cm, 60cm 떨어진 곳에 각각 1개씩을 부착하여 총 3개를 매입하였으며 보강재의 표면에 이와 동일한 위치에 부착하여 총 6개의 변형률측정기를 부착하였다.

본 연구의 목적을 위하여 시험체는 총 9개에 대하여 표1과 같이 각각의 변수에 대하여 하나씩 계획하였다.

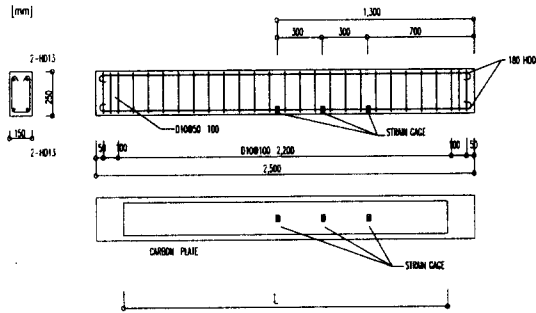


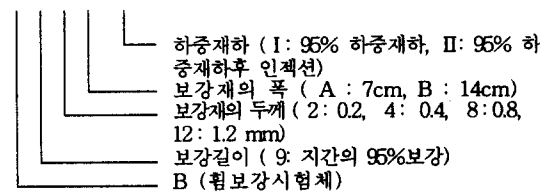
그림1 휨보강 시험체

표1 구조시험체 변수별 시험체 상세

시험체명	보강 길이 (cm)	보강재 두께* (mm)	보강재 폭 (cm)	비고
BN	—	—	—	무보강시험체
B9-2B	210	0.2	14	95% 보강길이
B9-4A	210	0.4	7	95% 보강길이
B9-4B	210	0.4	14	95% 보강길이
B9-8A	210	0.8	7	95% 보강길이
B9-8B	210	0.8	14	95% 보강길이
B9-12B	210	1.2	14	95% 보강길이
B9-4B-I	210	0.4	14	95% 하중재하
B9-4B-II	210	0.4	14	95% 하중재하후 인철편

변수당 각각 1개씩 총 9개

B9-4B-I



하중재하 (I: 95% 하중재하, II: 95% 하중재하후 인철편)
 보강재의 폭 (A : 7cm, B : 14cm)
 보강재의 두께 (2 : 0.2, 4 : 0.4, 8 : 0.8, 12 : 1.2 mm)
 보강길이 (9 : 지간의 95%보강)
 B (휨보강시험체)

* 탄소섬유판의 중량

0.2mm: 200g/m', 0.4mm: 400g/m', 0.8mm: 800g/m', 1.2mm: 1,200g/m'

2.2 사용 재료

휨보강시험체는 배합강도 210kg/cm²로 레미콘 타설하였으며, 28일 압축강도 실험결과 평균 압축강도는 194kg/cm² 이었다. 사용된 콘크리트의 배합표 및 28일 압축강도와 철근의 재료성질, 보수재료 및 보강재의 역학적 성질은 표2와 같다.

표2 (a) 콘크리트 배합표

배합강도 (kg/cm ²)	W/C (%)	배합중량(kg/m ³)				혼화제 (kg/m ³)	슬럼프 (cm)
		물	시멘트	모래	자갈		
210	60	201	335	847	942	0.67	12

표2 (c) 철근의 재료성질

종류	항복강도	인장강도	탄성계수
HD-13	4,134kg/cm ²	5,660kg/cm ²	1.6×10 ⁶ kg/cm ²
D-10	4,313kg/cm ²	6,203kg/cm ²	2.2×10 ⁶ kg/cm ²

표2 (e) 균열 보수재료의 특성

종류	배합비*		점도 CPS	점착강도 (kg/cm ²)	TYPE	비고
	주제	경화제				
에폭시	2	1	11500	146	이액형 대기양생	보강용 주입재

* 중량비

표2 (b) 콘크리트 28일 압축강도

지름 (cm)	높이 (cm)	단면적 (cm ²)	평균파괴하중 (ton)	평균압축강도 (kg/cm ²)
10	20	78.54	15.21	194

표2 (d) 보강재의 특성

종류	인장강도	설계탄성계수	비고
탄소섬유판	1.95×10 ⁴ kg/cm ²	1.55×10 ⁶ kg/cm ²	TZ-307 사용

표2 (f) 보강 접착재료의 특성

종류	배합비*		압축강도 (kg/cm ²)	점착강도 (kg/cm ²)	TYPE	비고
	주제	경화제				
에폭시 모르타	3	1	316	162	이액형 대기양생	보강용 접착재

* 중량비

2.3 시험체의 보수·보강

탄소섬유쉬트 에폭시 압착공법과 마찬가지로 각각의 시험체는 압착공법으로 접착하였으며, 공정은 다음과 같다. 보강전 보강재인 탄소섬유판의 먼처리는 접착효과를 높이기 위해 사포로 보강재의 접착면을 거칠게 한 후 깨끗이 닦아 처리하였다. 보강재는 각각의 변수에 따라 보강면을 그라인더로 하지 처리 후 에폭시 모르터를 일정두께(2mm)로 도포하여 변수에 따라 일방향 탄소섬유판을 폭과 두께의 변화를 주어 접착하였다.

9개의 시험체중 2개는 95% 하중가력후 변수에 따라 에폭시 보수 및 미보수 후 보강하였다. 시험체의 보수·보강은 시공전문업체에 의해서 시행되었다.

3. 실험 및 실험결과

3.1 시험체 설치 및 가력

시험체는 그림2와 같이 시험체 밑 양단부에서 각각 15cm위치에 힌지를 설치하여 시험체를 올려놓고, 가력은 시험체 위 중앙에서 양쪽으로 10cm 떨어진 곳에 힌지를 각각 설치하여 그 위에 H-200×200형강을 올려놓고 2소점 가력을 실시하였다. 가력 중심은 추를 띄어 유지하였으며, 시험체의 수평은 수평기를 이용하여 수평을 유지하여 보에 편심이 발생하지 않도록 가력하였다. 모든 시험체는 지간 길이를 220cm로 하여 보강길이를 지간길이의 95%를 유지하였다.

변위의 측정은 보의 중앙하부와 여기서 단부방향으로 10cm 떨어진 가력점 하부에 변위측정기(L.V.D.T)를 설치하여 처짐을 측정하였다. 측정 위치와 가력은 그림2와 같으며 하중의 가력은 변위제어방식(Displacement Control)에 의해 하중을 가력하였으며 최대하중 이후 하중의 증가 없이 변위만이 증가하면 가력을 중지하였다.

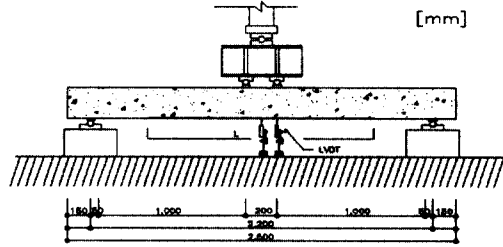


그림2 휨보강 시험체의 설치 상황 (TEST SET-UP)

3.2 실험결과 및 고찰

3.2.1 실험결과

보강된 모든 시험체는 휨균열의 발생후 최대하중부근에서 한쪽 단부쪽의 보강재 박리로 파괴에 이르렀으며 보강재가 박리되기까지 일부 연성을 나타냈으나 보강재의 박리후 급격한 취성파괴를 보였으며, 변수별 실험결과는 표3에 나타나 있다.

BN시험체의 경우 전형적인 휨파괴의 양상을 보였으며 항복하중도달이후 배근된 인장근으로 급격한 취성의 양상을 보이지는 않았다. B9-2B시험체의 경우 최대하중부근에서 하중의 감소와 증가를 반복하였으며 최대하중을 지나 약간의 하중감소후 보강재가 박리되어 하중은 무보강시험체의 항복하중까지 감소되었다. 이러한 현상은 모든 시험체에서 볼수있었다. B9-4B시험체, B9-4A시험체 및 B9-8A시험체는 최대하중부근에서 보강재의 박리되는 소리와 함께 하중의 증감은 없었고 약간의 하중감소후 보강재가 박리되었다.보강량이 많았던 B9-8B, B9-12B시험체들은 최대하중이후 보강재의 박리와 함께 급격한 취성파괴를 보였으며, 보강량이 적었던 전자의 시험체들에 비하여 사전에 예고없이 취성파괴되었다. 하중재하 후 보강하였던 B9-4B-I, B9-4B-II시험체들은 초기하중재하 여부에 상관없이 초기하중재하가 없었던 시험체들과 큰 내력의 차이가 없었으며 오히려 높은 하중을 보였으며, 이는 에폭시 모르터의 양생온도에 기인한 것으로 사료된다

표3 실험 결과

시험체명	최대 하중 (ton)	BN시험체와 내력차이비 (ratio)	처짐량(mm)		초기 균열하중 (ton)	보강재 박리하중 (ton)
			중앙부	가력점		
BN*	4.42	1	6.00	6.04	2.20	—
B9-2B	5.95	1.35	15.86	16.02	1.90	5.70→4.52
B9-4A	5.60	1.27	12.36	12.81	2.85	5.54→4.48
B9-4B	7.31	1.65	15.68	15.35	2.00	7.28→4.44
B9-8A	6.20	1.40	10.28	10.31	2.70	6.00→4.20
B9-8B	8.14	1.84	13.02	13.34	3.30	8.00→4.40
B9-12B	9.00	2.04	12.95	13.10	3.50	9.00→4.10
B9-4B-I	7.80	1.76	15.40	15.20	2.60	7.60→4.40
B9-4B-II	7.06	1.60	11.95	11.88	3.40	6.94→4.57

BN* : BN시험체의 최대하중은 항복하중

3.2.2 파괴 양상

빔 보강된 보의 파괴는 여러재료의 복합체로써 몇가지 양상을 나타낼 수가 있으며, 이러한 파괴양상은 그림3에서와 같이 대략적으로 8가지로 분류될 수 있다.³⁾ 본 실험에서 발생한 파괴양상은 시험체별 변수에 따라 인장축(하부) 콘크리트의 파괴, 중앙부 인장철근의 항복, 콘크리트 표면과 탄소섬유판과의 부착파괴, 예폭시 모르터면과 탄소섬유판과의 박리로 파괴, 탄소섬유판의 판분리로 파괴되는 양상을 보였으며, 본 실험의 파괴양상을 시험체별로 분류하면 표4와 같다.

3.2.3 하중-처짐 관계비교

보강된 모든 시험체는 시험체의 변수에 따라 일부 다른 양상을 보였으나 최종적으로 보강재 박리와 함께 급격스런 파괴양상을 나타냈다.

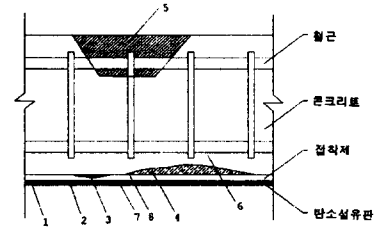
시험체의 과도한 처짐으로 인하여 보강면에 작용하는 높은 인장력으로 시험체 하부의 콘크리트가 보강재와 함께 박리되었다. 무보강시험체 항복하중(4.42ton)시의 처짐을 1로 산정하여 보강된 시험체들의 하중이 4.42ton일 때의 처짐과 비교하면 0.72~0.91의 범위를 나타내며, 이는 무보강시험체와 비교시 변수에 따라 차이가 있으나 처짐 제어효과가 있는 것으로 판단된다.

보강된 시험체에서 하중이 증가함에 따른 상당한 처짐이 발생하여 일부 에너지 흡수능력이 있는 것으로 판단되나, 최종적으로는 취성적인 파괴양상을 나타냈다. 또한 증가되는 하중에 따른 처짐을 감소시킬수 있어 사용성 향상에 유용한 것으로 나타났다.

표4 시험체별 파괴양상

시험체명	파괴양상	최종파괴양상
BN	—	—
B9-2B	⑦+6	보강재의 완전박리
B9-4A	⑧+6+2	보강재의 완전박리
B9-4B	⑦+6	보강재의 완전박리
B9-8A	⑧+6+2	보강재의 완전박리
B9-8B	④+6+8+2	보강재의 한쪽박리
B9-12B	④+6+8	보강재의 한쪽박리
B9-4B-I	④+6+7+8	보강재의 완전박리
B9-4B-II	⑦+6	보강재의 한쪽박리

○ : 주(主) 파괴원인



- 탄소섬유판의 인장파괴
- 탄소섬유판의 판분리파괴
- 철근의 항복 또는 파단
- 인장부위의 콘크리트파괴
- 압축부위의 콘크리트파괴
- 철근의 항복 또는 파단
- 탄소섬유판의 부착파괴
- 콘크리트표면의 부착파괴

그림3 보강된 시험체의 파괴양상

표5 하중-처짐 관계 비교

시험체명	BN 시험체 항복하중시 변수별 처짐		
	재 하 하중* (ton)	중앙 처 짐 (mm)	처 짐 량 비 (BN처짐=1)
BN	4.42	6.00	1.00
B9-2B	4.42	5.31	0.89
B9-4A	4.40	5.46	0.91
B9-4B	4.37	4.95	0.83
B9-8A	4.40	5.17	0.86
B9-8B	4.41	4.42	0.73
B9-12B	4.40	4.31	0.72
B9-4B-I	4.45	4.62	0.77
B9-4B-II	4.40	5.14	0.86

* 보강된 시험체 하중은 BN시험체 항복하중과 가장 근사한 하중값을 산정, 이때의 처짐을 취득

3.2.4 변형률 관계

보강재로 사용된 탄소섬유판은 거의 완벽한 취성재료이다. 탄소섬유판의 파단시의 변형률은 재료시험시 0.0126이며, 이것은 콘크리트 파괴시의 변형률(0.003)에 비하여 4.2배이며 철근의 항복강도시의 변형률에 0.63배이다.

시험체의 최대내력 도달이전 중앙부위의 모든 인장철근은 항복하였으며 이후 추가되는 내력은 탄소섬유판이 부담하였다. 시험체의 최대하중에 도달하기전에 중앙부의 인장철근이 항복하여 재료시험시의 응력-변형률 곡선과 유사한 모습을 보였으며, 인장철근의 항복 이후 추가되는 모든 하중을 탄소섬유판이 부담하였으나, 탄소섬유판의 파단시 변형률에 도달하기전에 모든 시험체가 파괴되며 보강재가 박리되는 결과를 보였다. 중앙부에서 단부쪽으로 떨어진 인장철근의 경우 아직 항복하지 않은 시험체와 항복한 시험체로 나뉘어지는데 최대내력에는 큰 영향이 없는 것으로 판단된다.

3.2.5 시험체 손상의 유무 및 보수의 유무에 따른 영향

무보강시험체 파괴하중의 95%하중재하 후 보강한 시험체 및 95%하중재하 후 보수 및 보강한시험체를 비교하면 그림4의 하중-처짐 곡선과 같다. 실험결과 내력의 차이는 크지 않았으나 처짐량의 경우 보수 후 보강한 시험체 B9-4B-II의 처짐량이 제일 작았으며, 이는 주입된 에폭시의 영향에 기인한 것으로 판단된다.

3.2.6 보강량에 따른 영향

(1) 보강재 폭에 따른 영향

같은 두께의 보강재로서 폭을 각각 7cm와 14cm로 변화를 주어 실험한 결과, 보강재의 폭을 넓게 보강한 시험체들이 내력에 있어서 폭을 좁게 한 시험체들 보다 1.11~1.31배의 내력증가를 보였다. 또한 처짐에 있어서도 보강재의 폭이 넓은 모든 시험체들이 처짐 제어효과가 더 있는 것으로 나타났다. 이는 같은 두께로 보강시 보강면이 넓은쪽이 내력향상 및 처짐제어 효과에 우수한 것으로 판단된다.

(2) 보강재 두께에 따른 영향

보강재의 폭은 같고 두께가 다른 시험체들을 비교하면 그림5의 하중-처짐 곡선과 같다.

보강재의 폭이 14cm인 시험체들의 경우 무보강시험체에 대한 보강효과비가 1.35~2.04배의 보강효과를 나타냈으며, B9-2B 시험체의 보강효과를 1로 산정했을시 변수에 따른 보강효과비의 비례관계는 1.23~1.51배의 범위로 선형적 비례관계를 나타내지는 않았다. 또한 보강재의 폭이 7cm인 시험체의 경우에도 보강재 폭이 넓은 시험체와 마찬가지로 보강효과가 선형적 비례관계를 나타내지는 않았다. 처짐의 경우에는 보강재의 두께가 두꺼울수록 처짐에 대한 제어효과가 있었으며 취성파괴를 나타냈다. 그러므로 일

정두께 이상의 보강은 보강효과나 경제성을 고려했을시 충분한 검토가 요망된다.

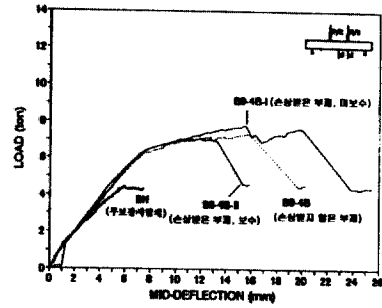


그림4 시험체 손상의 유무 및 보수의 유무에 따른 영향 비교

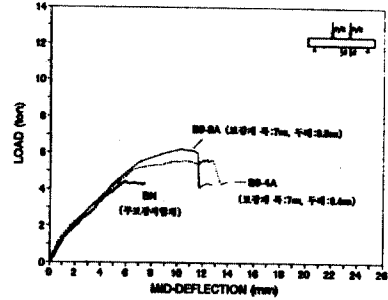


그림5 (a) 보강재 두께에 따른 영향 비교

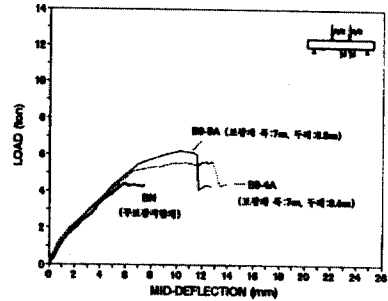


그림5 (b) 보강재 두께에 따른 영향 비교

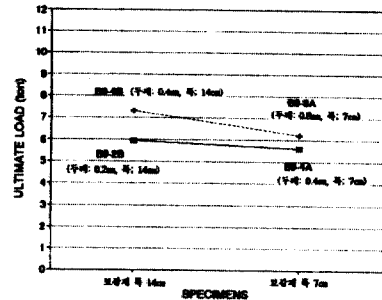


그림6 보강재의 폭-두께비에 따른 영향 비교

(3) 보강재의 폭-두께비에 따른 영향

폭 - 두께비(2B/4A, 4B/8A)가 다르고 같은 보강량을 가진 시험체들을 각각 비교해 보았을 때 그림6에서 나타났듯이, 보강재의 폭이 넓고 두께가 얇은 시험체들이 1.06~1.16배의 내력을 보였다. 이는, 같은 보강량으로 접착면이 많은쪽이 더 많은 인장력에 대한 저항을 보여주나 내력에는 크게 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다. 부착면의 표면정도, 에폭시 모르타의 양생온도등의 상호 복합작용으로 실제 구조물에서는 좀더 복잡한 양상을 띄게 될 것이다.

4. 결 론

철근콘크리트 보의 휨 보강효과를 파악하기 위하여 탄소섬유판으로 보강한 휨시험체의 실험결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 탄소섬유판으로 보강된 휨 부재의 파괴 원인은 주로 콘크리트 표면과 섬유판 사이의 부착파괴 또는 에폭시 모르타면과 섬유판 사이의 부착파괴가 주요한 것으로 나타났다.

(2) 시험체에 하중재하 상태에서의 보강이 아닌 경우, 보수후 보강을 한 경우와 보수없이 보강을 한 경우의 내력은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 처짐량의 경우, 보수후 보강한 시험체의 처짐량이 보수를 실시하지 않은 시험체의 처짐량보다 동일 하중 하에서 작게 나타나 사용성 및 내구성을 고려하여 보강전 균열에 대한 보수가 바람직한 것으로 판단된다.

(3) 신 보강재료인 탄소섬유판의 보강효과는 뚜렷하여 본 실험연구의 경우 시험체별 변수에 따라 무보강시험체에 비해 대략 27~104% 정도의 내력 증대효과를 나타내었다.

(4) 길이에 대한 보강비가 동일할 때 보강재의 폭이 넓을수록 보강효과는 컸으며, 보강량이 많을수록 보강효과는 증대되었으나, 선형적으로 비례하지는 않았다. 또한, 보강량이 증대할수록 구조물은 취성파괴되었다.

(5) 탄소섬유는 인장강도와 탄성계수가 매우 크고 처짐조절 효과가 우수하며, 특히 탄소섬유판을 이용한 보강공법은 가공성, 효율성, 시공성이 우수하고 내력증진 효과도 뚜렷하므로 보다 많은 연구를 통하여 건축, 토목분야에 폭넓은 활용이 기대된다

감사의 글

본 연구는 1995년도 건설교통기술 연구개발 사업일환으로 건설교통부와 삼성건설 및 신원건축환경기술연구소의 연구비 지원으로 수행된 연구로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 신영수, 홍기섭, 최완철, 홍영균, "탄소섬유슈트로 밀면 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동", 대한건축학회논문집 11권 8호 통권 82호, 1995. 8
- 2) 홍상균, 박기철, 정현수, "보강재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨내력보강에 관한 실험적연구", 대한건축학회학술발표논문집 제16권 제2호, 1996. 10. 26
- 3) Deuring M., "CFRP Laminates in the Construction Industry", EMPA Research Report, Feb. 1994